

Предложенная схема эксперимента, объединяющая химико-аналитический и токсикологический подходы, может быть использована для оценки эффективности методов очистки вод.

Ключевые слова: торф, тяжелые металлы, водные растворы, токсичность

Авторы

Фокина Анна Ивановна

кандидат биологических наук, доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»

E-mail: annushka-fokina@mail.ru

Tel.: 8 (922) 940-10-42

Олькова Анна Сергеевна

кандидат технических наук, доцент кафедры экологии и природопользования ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»

E-mail: morgan-abend@mail.ru

Tel.: 8 (909) 717-98-30

Будина Дарья Викторовна

ассистент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»

E-mail: budina_dashenka@mail.ru

Tel.: 8 (909) 136-63-62

Скугорева Светлана Геннадьевна

кандидат биологических наук, научный сотрудник Института биологии Коми НЦ УрО РАН;

доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии Вятского государственного университета

магистрант Вятской государственной сельскохозяйственной академии

E-mail: skugoreva@mail.ru

Tel.: 8 (833) 237-02-77

Keywords: peat, heavy metals, water solutions, toxicity

Authors

Anna Ivanovna Fokina

Ph.D. of Biological Sciences, Associate Professor at the Department of Fundamental Chemistry and Methods of Chemistry Training FGBOU VO «Vyatka State University»

E-mail: annushka-fokina@mail.ru

Tel.: 8 (922) 940-10-42

Anna Sergeevna Olkova

Ph.D. of Biological Sciences, assistant professor at the Department of Ecology and Na-ture Management, FSBEI of higher education «Vyatka State University»

E-mail: morgan-abend@mail.ru

Tel.: 8 (909) 717-98-30

Darya Viktorovna Budina

assistant of the department of basic chemistry and methods of teaching chemistry of the «Vyatka State University»

E-mail: budina_dashenka@mail.ru

Tel.: 8 (909) 136-63-62

Svetlana Gennadevna Skugoreva

Ph.D. of Biological Sciences, researcher of the Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS

associate professor the department of basic chemistry and methods of teaching chemistry of the Vyat-ka State University, graduate student of the Vyatka State Agricultural Academy

E-mail: skugoreva@mail.ru

Tel.: 8 (833) 237-02-77

**Береснева Елена Владимировна**

кандидат педагогических наук, доцент, профессор кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»
E-mail: evberesneva@mail.ru
Tel.: 8 (912) 702-88-22

Beresneva Elena Vladimirovna

Ph.D. of Pedagogic Sciences , associate professor, professor at Chair of Fundamental Chemistry and Chemistry Teaching Methodology FSBEI of Higher Education «Vyatka State University»
E-mail: evberesneva@mail.ru
Tel.: 8 (912) 702-88-22

Даровских Лариса Вячеславовна

кандидат педагогических наук, доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»
E-mail: larisa.darovskich@mail.ru
Tel.: 8 (961) 748-60-64

Darovskikh Larisa Viacheslavovna

Ph.D. of Pedagogic Sciences , assistant professor at Chair of Fundamental Chemistry and Chemistry Teaching Methodology, FSBEI of Higher Education «Vyatka State University»
E-mail: larisa.darovskich@mail.ru
Tel.: 8 (961) 748-60-64

Зыкова Юлия Николаевна

кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Вятская государственная сельскохозяйственная академия» (ФГБОУ ВО Вятская ГСХА)
E-mail: orewek7@rambler.ru
Tel.: 8 (922) 666-01-15

Zykova Yuliya Nikolaevna

Ph.D. of Biological Sciences , assistant professor at the department of plant biology, selection and seed-breeding, microbiology Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Vyatka State Agricultural Academy» (FSBEI Vyatka SAA)
E-mail: orewek7@rambler.ru
Tel.: 8 (922) 666-01-15

Введение

Одной из глобальных современных проблем является загрязнение природных вод целым спектром поллютантов за счет хозяйственно-бытовой и производственной деятельности. В мировой природоохранной практике предложено несколько путей решения этой проблемы, но большинство из них либо экономически нецелесообразны, либо приводят к существенному изменению физико-химических характеристик очищаемого объекта. К наиболее оптимальным технологиям очистки загрязненных сточных и природных вод относят применение естественных сорбентов [12; 8; 17; 2]. К их числу относится торф и реагенты на его основе [3, 4; 5, 10; 29; 31; 33]. Так, например, высокая сорбционная способность торфа позволяет использовать его в торфяных фильтрах, сорбирующих ионы тяжелых металлов (ТМ), фенолы, нефтепродукты, органические масла и т. д. [14].

Предмет, задачи и методы

В научной литературе крайне мало данных об изменении токсичности очищаемых растворов после их контакта с торфом. Поэтому целью нашего исследования стала оценка возможности использования торфа (месторождений Кировской области) для очистки водных растворов от ионов меди(II) и свинца(II) с учетом токсикологических эффектов.

Объектами исследования были образцы торфа, отобранные из двух месторождений Кировской области. 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. На втором месторождении, находящемся вблизи п. Зенгино Оричевского района, в настоящее время ведется добыча торфа для сельскохозяйственных нужд. Ботанический состав месторождения вблизи п. Зенгино достаточно подробно описан К. А. Зубковой с соавторами [11]. На поверхности Зенгинской залежи сейчас в основном развивается древесно-мохово-кустарничковый фитоценоз. Толщина залежи достигает 6 м. Торф Зенгинского месторождения относится к низинному. Отбор проб производили согласно ГОСТ [7].

Для достижения поставленной цели проводили модельный эксперимент. Навески торфа массой 5 г заливали растворами ацетатов меди(II) и свинца(II) в соотношении торф:водный раствор, равном 1:10. Концентрации исходных растворов солей меди и свинца составляли 20; 50; 80; 100; 300; 500 и 1000 мкмоль/дм³. Выбор данного интервала концентраций ТМ обусловлен уровнем загрязнения торфа исследуемыми металлами и возможными сходными значениями концентраций ионов ТМ в сточных водах. Исследовали свойство торфа сорбировать ионы металлов из растворов с «естественной» кислотностью и растворов с рН = 3 (доводили до нужного уровня раствором уксусной кислоты, контролируя рН раствора потенциометрически). Моделирование таких условий необходимо, поскольку сорбент на основе торфа при очистке сточных вод может оказаться в условиях кислотности, отличающейся от той, которая обусловлена только гидролизом солей (рН = 5,0±0,3). Значение рН существенно влияет на эффективность сорбции ионов ТМ [16; 29; 33].

Суспензии взбалтывали в течение минуты и оставляли на сутки, после чего фильтровали [20]. Содержание ТМ в фильтрате определяли методом инверсионной вольтамперометрии [23]. Токсичность растворов солей металлов определяли до контакта с торфом и после тремя методами биотестирования:



тетразольно-топографическим методом, с помощью *Paramecium caudatum* и с использованием тест-системы «Эколюм». При использовании тетразольно-топографического метода заключение о наличии токсичности делали, если доля клеток цианобактерий (ЦБ) *Nostoc paludosum* 18, содержащих кристаллы формазана, была менее 50% [25]. В биотесте с использованием *Paramecium caudatum* выделяют три группы токсичности в зависимости от степени угнетения хемотаксической реакции инфузорий [26]. Биотест с использованием бактериальной тест-системы «Эколюм» относится к биолюминесцентным методам: результаты анализа также классифицируются на три группы по величине угнетения биолюминесценции препарата «Эколюм» [21].

Результаты исследования и обсуждение

Эффективность процесса сорбции ионов ТМ торфом

При исследовании фильтратов после контакта модельных растворов с торфом установили, что концентрация ионов меди(II) в растворе снизилась при разных исходных концентрациях в 45–100 раз (п. Зенгино) и 33–500 раз (с. Чистополье). Концентрация ионов свинца(II) снизилась после контакта с торфом из месторождения вблизи п. Зенгино в 170–1000 раз, а с торфом из месторождения вблизи с. Чистополье – в 230–1300 раз. Следовательно, торф поглощает ионы свинца полнее, чем ионы меди. Данный факт в литературе объясняется тем, что ионы свинца сильнее удерживаются гумусовым веществом торфа, чем ионы меди [30]. Несмотря на существенную разницу в результатах для разных металлов, степень извлечения их ионов из растворов приближается во всех вариантах к 100%.

Для оценки водоохранной значимости сорбентов на основе изучаемых торфов, остаточные количества ТМ в фильтрах сравнивали с нормативом содержания ТМ в питьевых водах – ПДК_п [6]. Оба исследуемых образца торфа очистили модельные растворы до нормативного уровня. Только в вариантах с растворами солей меди во всех вариантах, кроме варианта с исходной концентрацией 1000 мкмоль/дм³ торфом Зенгинского месторождения. При исследовании степени очистки вод от ионов свинца значение ПДК металла для питьевой воды достигалось не всегда. Торф, отобранный вблизи п. Зенгино, очищает до нормативного уровня только растворы солей свинца с концентрацией менее 300 мкмоль/дм³, торф из месторождения вблизи с. Чистополье – с концентрацией менее 50 мкмоль/дм³ (табл. 1).

Таблица 1. Равновесная (остаточная) концентрация ионов металлов в растворе после контакта с торфом, мкмоль/дм³

Вариант, C _{исх.} Me ²⁺ , мкмоль/дм ³	п. Зенгино				с. Чистопожье			
	Cu ²⁺		Pb ²⁺		Cu ²⁺		Pb ²⁺	
	pH ≈ 5	pH = 3	pH ≈ 5	pH = 3	pH ≈ 5	pH = 3	pH ≈ 5	pH = 3
1000	20±6 99,7±3,9	0.10±0.03 100	5.8±2.0 99,4±3,9	3.05±1.02 99,7±3,9	5.6±2.0 99,43±4,0	0.08±0.03 100	4.3±1.4 99,5±4,0	2.3±0.7 99,7±3,9
500	5.8±2.2 98,9±4,0	-	5.8±2.0 98,8±4,0	-	1.1±0.3 99,8±4,0	-	1.9±0.6 99,6±4,0	-
300	6.09±2.03 98,0±3,9	-	5.3±1.7 98,2±3,9*	-	0.9±0.2 99,8±4,0	-	1.1±0.4 99,6±4,0	-
200	2.3±0.7 98,7±3,9	н.о. 100	0.20±0.07 99,9±3,8	0.11±0.03 99,9±3,8	0.8±0.2 99,8±4,0	н.о. 100	0.6±0.2 99,7±4,0	0.9±0.3 99,6±3,8
80	1.9±0.6 97,6±3,8	-	0.20±0.07 99,7±3,9	-	0.6±0.2 99,5±3,9	-	0.24±0.07 99,3±3,9	-
50	1.0±0.7 95,4±3,8	-	0.13±0.07 99,6±3,8	-	0.6±0.2 98,7±4,0	-	0.24±0.07 99,5±4,0	-
20	0.3±0.01 98,5±3,9*	н.о. 100	0.10±0.02 99,0±3,8	0.063±0.02 99,7±3,9	0.6±0.2 97,0±3,9	н.о. 100	0.14±0.05 99,3±3,9	0.038±0.013 99,9±3,8
0	0,03±0,01	н.о.	0,02±0,01	0,03±0,01	н.о.	н.о.	0,014±0,005	0,03±0,01
ПДК _н	16	16	0,24	0,24	16	16	0,24	0,24

Примечание: в знаменателе степень извлечения ионов металла из раствора, %; «н. о.» – не обнаружено; «-» – не определяли.
*** (ГН ..., 2003)



Способность торфа связывать ионы ТМ обусловлена как его биологическими [22], так и химическими свойствами. В сорбции ТМ могут принимать участие гидроксильные, карбоксильные, аминные, пептидные функциональные группы, ковалентно-связанные с матрицей торфа, а также гуминовые кислоты, лигнин, полимолекулярные ассоциаты, характеризующиеся разной степенью организации на макроуровне [18, 29, 32]. Особый вклад карбоксильных и гидроксогрупп в связывании ионов меди и свинца отмечен в работах Qin Fei с соавторами [35] и Е. Д. Дмитриевой с соавторами [9].

Изотермы ($t = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{pH} = 5$) адсорбции катионов из водных растворов имеют различную форму (рис. 1 и 2).

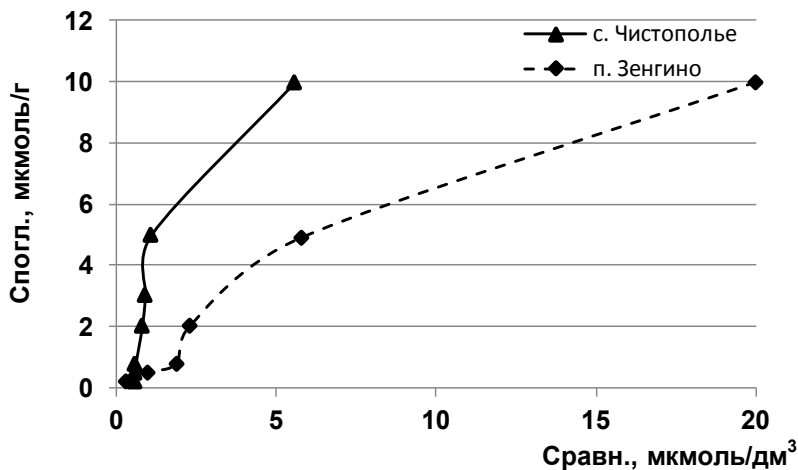


Рис. 1. Изотермы адсорбции торфом ионов меди(II)

Форма изотерм определяется характером взаимодействия адсорбата с адсорбентом. Анализ показал, что для описания процессов, происходящих в растворе с торфом, недостаточно одного определенного уравнения, что объясняется неоднородностью поверхности адсорбента. В работах некоторых авторов показано, что процесс сорбции может быть описан уравнением Ленгмюра [28, 34, 27].

В нашем случае для торфа изотермы адсорбции изучаемых процессов лучше всего описываются уравнением Фрейндлиха. Согласно литературным данным, это тоже может быть весьма характерным для торфа [15, 16] и объяснимо опять же неоднородностью поверхности [9]. Качество аппроксимации экспериментальных изотерм данными уравнениями адсорбции характеризуется коэффициентами детерминации (R^2) от 0,61 (для процесса сорбции ионов меди торфом месторождения вблизи с. Чистополье) до 0,97 (для процесса сорбции ионов меди торфом месторождения п. Зенгино и свинца торфом с. Чистополье).

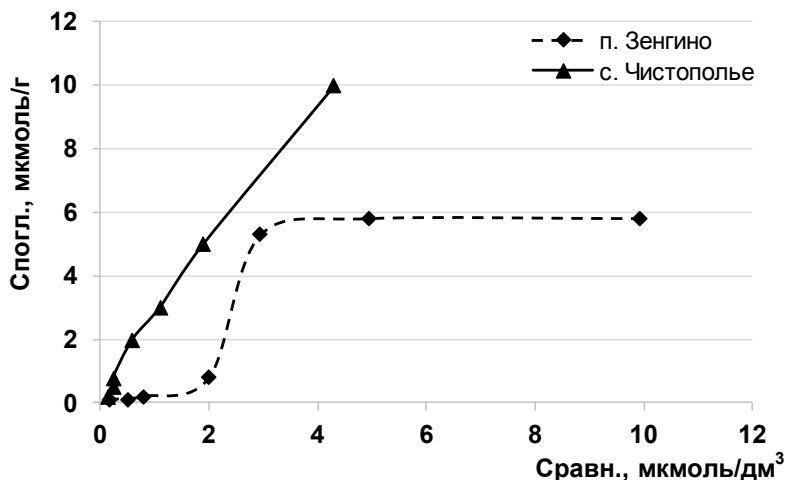


Рис. 2. Изотермы адсорбции торфом ионов свинца(II)

Токсичность растворов солей ТМ до и после контакта с торфом

Качество воды зависит не только от содержания в ней химических компонентов, но и от токсичности, которую они формируют. Для установления уровня безопасности вод, загрязненных ТМ, после их очистки торфом, провели биотестирование исходных растворов меди и свинца (табл. 2), а затем растворов после контакта с торфом (табл. 3).

Таблица 2. Токсичность модельных растворов солей ТМ до контакта с торфом

Вариант, С _{исх.} Me ²⁺ , мкмоль/ дм ³	Результат биотестирования					
	Индекс токсичности в биотесте по <i>Paramecium caudatum</i> , T (y.e.) ¹		Индекс токсичности в биотесте «Эколюм», T (y.e.) ¹		ЦБ-тест: доля клеток с кристаллами, %	
	Cu ²⁺	Pb ²⁺	Cu ²⁺	Pb ²⁺	Cu ²⁺	Pb ²⁺
1000	0,95±0,01	0,99±0,01	99,8±29,9	89,6±26,8	0	0
500	0,92±0,02	0,99±0,01	99,6±29,8	82,5±24,7	0	0
300	0,90±0,04	0,99±0,01	99,6±29,8	73,2±21,9	2±1	2±1
200	0,89±0,02	0,99±0,01	99,8±29,9	80,7±24,2	2±1	8±2
80	0,88±0,01	0,99±0,01	99,5±29,8	70,9±21,3	10±2	11±2
50	0,87±0,03	0,99±0,01	99,8±29,9	61,1±18,3	11±2	8±3
20	0,87±0,04	0,97±0,02	70,7±21,2	70,8±21,2	48±5	38±3
Контроль (вода)	0	0	0	0	93±2	

Примечание: ¹ – все значения индексов T относятся к III группе токсичности, «высокая степень токсичности» в биотесте *P. caudatum* [26], «образец сильно токсичен» в биотесте по «Эколюм» [21].



Все тестируемые растворы солей ТМ до контакта с торфом оказывали острое токсическое действие в биотестах на простейших *P. caudatum*, бактериях тест-системы «Эколюм» и цианобактериях. Угнетение тест-функций в большинстве вариантов достигало максимально возможного. Сравнивая реакцию трех организмов на выбранные ТМ, можно отметить, что инфузории оказались чувствительнее к загрязнению свинцом, тест-система «Эколюм» – медью, а цианобактерии – в равной мере обоими металлами.

После контакта с торфом токсичность загрязненных вод значительно снизилась, во многих вариантах до контрольных значений (табл. 3).

Таблица 3. Токсичность модельных растворов солей ТМ после контакта с торфом

Вариант, С _{исх.} Me ²⁺ , мкмоль/ дм ³	п. Зенгино			с. Чистополье		
	Индекс Т в биотесте по <i>Paramecium caudatum</i> , Т (у. е.)	Индекс Т в биотесте «Эколюм», (у. е.)	ЦБ-тест: доля клеток с кристаллами, %	Индекс Т в биотесте по <i>Paramecium caudatum</i> , Т (у. е.)	Индекс Т в биотесте «Эколюм», (у. е.)	ЦБ-тест: доля клеток с кристаллами, %
Cu²⁺						
1000	0,22±0,05	0	65±12	0,67±0,08	1,4±0,4	29±3
500	0,28±0,05	0	61±8	0,49±0,05	0	84±11
300	0,40±0,06	13,1±3,9	90±13	0,43±0,06	0	87±5
200	0,31±0,05	0	90±11	0,13±0,04	0	74±15
80	0,35±0,03	0	84±3	0,08±0,04	0	67±5
50	0	0	84±4	0,25±0,08	0	80±1
20	0	30,9±9,3	76±8	0	12,7±3,8	77±18
Pb²⁺						
1000	0,28±0,02	16,3±4,8	61±2	0	0	6,5±1,0
500	0,28±0,08	18,5±5,5	90±18	0	0	90±1
300	0,18±0,06	11,0±3,3	91±16	0,06±0,04	0	92±3
200	0,24±0,05	5,1±1,5	90±1	0	0	90±1
80	0,33±0,04	0	90±1	0	0	89±2
50	0,45±0,03	0	90±1	0	0	90±1
20	0,35±0,09	10,6±3,2	91±1	0	0	92±1
Водная вытяжка						
0	0	13,21±3,9	93±2	0	1,4±0,4	95±3

Примечание: жирным шрифтом выделены индексы Т, которые относятся ко II группе токсичности, «умеренная степень токсичности» в биотесте по P. Caudatum [26], «образец токсичен в биотесте по «Эколюм» [21], а также результаты, полученные с помощью ЦБ и указывающие на токсичность.

Соли меди

Растворы соли меди всех вариантов после очистки торфом, включая контрольные, не оказали острого токсического действия на тест-организмы. Такой эффект можно объяснить результатами химического анализа (табл. 1), согласно которым, в фильтрах концентрации ионов меди достигают нормативного уровня (по ПДК_п). Исключение составляет раствор соли меди (с. Чистополье) с исходной концентрацией ионов металла 1000 мкмоль/дм³, который оказал токсическое действие на цианобактерии. После очистки в отдельных вариантах (20, 50 – Зенгино и 300, 500, 1000 – Чистополье) уровень токсичности значительно снизился, но все равно был выше безопасного для тест-объекта *Paramecium caudatum* и 20 мкмоль/дм³ (п. Зенгино) – «Эколюм».

Соли свинца

Токсичность растворов соли свинца также значительно снизилась по сравнению с неочищенными растворами. Только в двух вариантах из семи отмечали токсичное воздействие на один из тест-организмов: 1000 мкмоль/дм³ (с. Чистополье) – на цианобактерии и 50 мкмоль/дм³ (п. Зенгино) – на *Paramecium caudatum*.

В целом следует отметить несколько особенностей изменения токсических эффектов растворов:

- произошло существенное снижение токсичности благодаря очистке торфом растворов от ионов меди и свинца; в большинстве случаев токсичность снизилась до контрольных показателей. В вариантах, для которых после очистки установлена II группа токсичности (табл. 3), произошло значительное снижение индексов токсичности по сравнению с растворами до очистки (табл. 2). Это отмечено в биотесте по *Paramecium caudatum* для 4-х вариантов с добавкой высоких доз соли меди и для одного варианта с добавкой соли свинца, а также в биотесте по тест-системе «Эколюм» в варианте с добавкой 20 мкмоль/дм³ в расчете на ион меди.

- есть варианты опыта с ионами ТМ, где химический анализ фильтратов указывает на недостаточную очистку, а методами биотестирования токсичности не установлено. Вероятно, это связано с биопротекторными свойствами органических веществ, переходящих в водный раствор и снижающих биодоступность ионов ТМ [15]. Есть случаи, когда раствор оказывается токсичным при благополучных результатах химического анализа. Данный эффект может наблюдаться за счет наличия в водной вытяжке веществ, усиливающих биодоступность ионов металлов и, как следствие, токсичности [24];

- не установлено значимых взаимосвязей между равновесной концентрацией токсиканта и откликом организмов. Отсутствие достоверной связи между тест-функциями и концентрациями ТМ объясняется данными химиче-



ского анализа растворов после очистки: степень извлечения ТМ из раствора достигает 99%, остаточные количества ионов металлов в разных вариантах оказываются близкими. Вероятно, что отсутствие тесных достоверных взаимосвязей между остаточными дозами ТМ и уровнем токсичности растворов после очистки вызвано влиянием на тест-организмы не только загрязняющих веществ, но и всего комплекса соединений, переходящих в тестируемые растворы при экстракции. Такие эффекты подробно описаны для почв [1], а также природных вод [19].

Выводы

1. Установлена высокая сорбционная и детоксикационная эффективность образцов торфа, отобранных из месторождений вблизи с. Чистополье и п. Зенгино (Кировская область). В диапазоне концентраций ионов ТМ 20–1000 мкмоль/дм³ в соотношении торф:раствор равном 1:10 степень извлечения металлов составила 97% и выше. Растворы соли меди удается очистить до концентраций менее величин ПДК для питьевой воды во всех вариантах и от ионов свинца в вариантах с концентрацией металла 20 мкмоль/дм³. С увеличением кислотности до рН = 3 сорбция ионов меди(II) и свинца(II) увеличивается.

2. Анализ показал, что для описания физико-химических процессов, происходящих при контакте растворов солей меди и свинца с торфом, нет однозначной математической модели, однако, полученные изотермы адсорбции точнее всего описываются уравнением Фрейндлиха.

3. Результаты биотестирования с использованием трех тест-объектов (*Paramecium caudatum*, тест-системы «Эколюм» и цианобактерий *N. paludosum* 18) позволили выявить уменьшение токсичности растворов ацетатов меди и свинца за счет очистки растворов от ионов металлов. До очистки растворы оказывали острое токсическое воздействие на все тест-объекты. После контакта с торфом токсичность всех растворов значительно снизилась, в большинстве случаев до контрольных значений. Строгой корреляционной зависимости между величинами остаточных концентраций ТМ в растворах после очистки и откликом тест-функций не установлено, что связано с высоким уровнем извлечения исходных добавок, а также органо-минеральными взаимодействиями веществ в растворе, влияющих на биодоступность токси-кантов.

4. Проведенные эксперименты доказали перспективность создания сорбентов на основе торфа для очистки промышленных сточных вод. Предложенная схема эксперимента, объединяющая химико-аналитический и токсикологический подходы, может быть использована для оценки эффективности методов очистки вод.

Выполнено при поддержке государственного задания Вятского государственного университета по теме «Механизмы адаптации и устойчивости почвенной микробиоты к техногенному загрязнению» №5.4962.2017/БЧ

Литература

1. Анисимов, В. С. (2011). Влияние органического вещества на параметры селективной сорбции кобальта и цинка почвами и выделенными из них илистыми фракциями. *Почвоведение*, № 6, с. 675–684.
2. Беляк, А. А., Смирнов, А. Д., Ходырев, В. М. (2015). Оценка возможности использования цеолитсодержащего трепела в системе очистки ливневых стоков. *Вода и экология: проблемы и решения*, № 4, с. 44–55.
3. Боголицын, К. Г., Бойцова, Т. А. (2011). Особенности комплексообразующих и сорбционных свойств гуминовых кислот верхового торфа Архангельской области. *Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки*, № 3, с. 132–139.
4. Буко, З. В., Лихачева, А. В. (2015). Исследование сорбционных свойств негидролизующего остатка торфа. *Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология*, № 4 (177), с. 267–271.
5. Гаврилов, С. В., Канарская, З. А. (2015). Адсорбционные свойства торфа и продуктов его переработки. *Вестник Казанского технологического университета*, Т. 18. № 2, с. 422–427.
6. Главный государственный санитарный врач РФ. (2003). ГН 2.1.5.1315-03. *Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования*, 213 с.
7. (1983). ГОСТ 17644-83. *Торф. Методы отбора проб из залежи и обработки их для лабораторных испытаний*.
8. Данилин, И. А. (2009). Опыт применения эйхорнии (*Eichhornia crassipes*) для снижения концентрации тяжелых металлов в дождевых сточных водах. *Вода и экология: проблемы и решения*, № 2, с. 60–68.
9. Дмитриева, Е. Д., Горячева, А. А., Переломов, Л. В., Сюндюкова, К. В., Леонтьева, М. М. (2015). Сорбционная способность гуминовых веществ торфов различного происхождения Тульской области по отношению к ионам свинца(II). *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки*, Вып. 4, с. 215–219.
10. Дремичева, Е. С. (2017). Изучение кинетики сорбции ионов меди(II) и железа(II) из сточных вод торфом. *Вода: химия и экология*, № 1, с. 61–66.
11. Зубкова, К. А., Гонина, Е. С., Шихова, Л. Н., Лисицын, Е. М. (2016). Анализ климатических стадий формирования болот по ботаническому оставу торфа. *Вестник Оренбургского государственного университета*, № 5 (193), с. 57–64.
12. Ким, А. Н., Колодкин, И. В., Шаравин, Ч. О. (2006). Исследование физико-химических и технологических свойств фильтровально-сорбционного материала цеолита Холинского месторождения Бурятии. *Вода и экология: проблемы и решения*, № 1 (26), с. 9–15.
13. Ким, А. Н., Михайлов, А. В., Продоус, О. А., Бондарчук, А. С., Розова, Е. Е. (20.05.2015). *Фильтр с торфяной загрузкой*. Патент на полезную модель RUS 154656.
14. Коваленко, Н. П., Ивко, В. Р. (1999). О противοфильтрационных экранах из торфа. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*, № 2–3, с. 94–99.
15. Ларионов, Н. С., Боголицын, К. Г., Богданов М. В., Кузнецова И. А. (2008) Характеристика сорбционных свойств верхового торфа по отношению к d и p-металлам. *Химия*



растительного сырья, № 4, с. 147–152.

16. Лозинская, Е. Ф., Митракова, Т. Н., Жилыева, Н. А. (2013). Изучение сорбционных свойств природных сорбентов по отношению к ионам меди (II). *Ученые записки. Электронный журнал Курского государственного университета*, № 3. Доступно по ссылке: <http://www.scientific-notep.ru/index.php?page=6&new=32> (дата обращения 05.05.2017)

17. Мосин, О. В. (2011). Природный фильтрующий материал шунгит. *Вода и экология: проблемы и решения*, № 2, с. 60–68.

18. Наумова, Л. Б., Горленко, Н.П., Казарин, А. И. (2003). Обменные катионы и их влияние на гидрофильность торфа. *Химия растительного сырья*, № 3, с. 51–56.

19. Никаноров, А. М., Жулидов, А. В. (1991). Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. Л.: Гидрометеоиздат, 312 с.

20. Пинский, Д. Л., Минкина, Т. М., Манджиева, С. С., Федоров, Ю. А., Бауэр, Т. В., Невидомская, Д. Г. (2014). Особенности поглощения Cu(II), Pb(II) и Zn(II) черноземом обыкновенным из растворов нитратов, хлоридов, ацетатов и сульфатов. *Почвоведение*, № 1, с. 22–24.

21. ПНДФ Т 14.1:2:3:4.11-04. Т.16.1:2:3:3.8-04. (2010). *Методика определения интегральной токсичности поверхностных, в том числе морских, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных экстрактов почв, отходов, осадков сточных вод по изменению бактериальной биолюминесценции тест-системой «Эколюм»*. Москва: ООО «Нера-С», 30 с.

22. Радомская, В. И., Павлова, Л. М., Носкова, Л. П., Котельников, В. Ю., Иванов, В. В., Поселюжная, А. В. (2014). Сорбционные свойства торфа и гуминовых кислот по отношению к благородным металлам. *Химия растительного сырья*, с. 279–288.

23. (2004). *Сборник методик измерений массовой концентрации ионов меди, свинца, кадмия, цинка, висмута, марганца, никеля и кобальта методом вольтамперометрии на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест-ВА»*. М.: ООО «Эконикс-Эксперт», 61 с.

24. Фокина, А. И., Лялина, Е. И., Олькова, А. С., Ашихмина, Т. Я. (2016). Исследование протекторных свойств восстановленного глутатиона для тест-организмов в растворах, содержащих медь. *Вода: химия и экология*, № 2, с. 64–70.

25. Фокина, А. И., Домрачева, Л. И., Зыкова, Ю. Н., Скугорева, С. Г., Лялина, Е. И., Трефилова, Л. В. (2017). Совершенствование тетразольно-топографического метода биотестирования с использованием цианобактерий. *Теоретическая и прикладная экология*, № 1, с. 31–41.

26. ФР.1.39.2015.19242. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.2-98 (2015). *Методика определения токсичности проб природных, питьевых, хозяйственно-питьевых, хозяйственно-бытовых сточных, очищенных сточных, сточных, талых, технологических вод экспресс-методом с применением прибора серии «Биотестер»*. СПб.: ООО «СПЕКТР-М», 21 с.

27. Petroni, P. L. G., Pires, M. A. F., Munita, C. P. (2004). Use of radiotracer in adsorption studies of copper on peat. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, V. 259, Issue 2, P. 239–243.

28. Söukand, Ü., Söukand, R., Maširin, A., Tenno, T. (2002). The Langmuir two-surface equation as a model for cadmium adsorption on peat. *Science and Pollution Research*, V. 9, P. 43–48.

29. Sun, Q. Y., Lu, P., Yang, L. Z. (2004). The Adsorption of Lead and Copper from Aqueous Solution on Modified Peat–Resin Particle. *Environmental Geochemistry and Health*. V. 26. Issue 2, P. 311–317.

30. Kezhong, G., Pearce, J., Jones, J., Taylor, C. (March 1999). Interaction between peat, humic acid and aqueous metal ion. *Environmental Geochemistry and Health*, V. 21, P. 13–26.

31. Lishtvan, I. I., Dudarchik, V. M., Kovrik, P. I., Smychnik, T. P. (2007). Wastewater treatment of metals-ecotoxicants by peat preparation. *Journal of Water Chemistry and Technology*, V. 29, Issue 1, P. 38–42.

32. Bulgariu, L., Bulgariu, D., Macoveanu, M. (April 2012). Characteristics of sorption of uncomplexed and complexed Pb(II) from aqueous solutions onto peat. *Chemical Papers*, V. 66, Issue 4, P. 239–247.
33. Cho, Y., Kim, P., Park, H., Komarneni, P., Hong, Y. (August 2014). Removal of inorganic pollutants in rainwater by a peat-derived porous material. *Journal of Porous Materials*, V. 21, Issue 4, P. 387–394.
34. Ho, Y. P., McKay, G. (October 2004). Sorption of Copper(II) from Aqueous Solution by Peat. *Water, Air, and Soil Pollution*, V. 158, P. 77–97.
35. Qin Fei, Wen Bei, Shan Xiao-Quan, Xie Y.-Ning, Liu Tao, Zhang Shu-Zhen, Khan Shahamat U. (2006). Mechanisms of competitive adsorption of Pb, Cu, and Cd on peat. *Environmental Pollution*, V. 144, P. 669–680.

References

1. Anisimov, V. P. (2011). Vliyaniye organicheskogo veshchestva na parametry selektivnoy sorbtssii kobalta i tsinka pochvami i vydelennymi iz nikh ilistymi fraktsiyami [Influence of organic substance on parameters of selective sorption of cobalt and zinc by soils and the oozy fractions allocated from them]. *Pochvovedeniye*, № 6, pp. 675–684 (in Russian).
2. Belyak, A. A., Smirnov, A. D., Khodyrev, V. M. (2015). Otsenka vozmozhnosti ispolzovaniya tseolitsoderzhashchego trepela v sisteme ochistki livnevnykh stokov [The assessment of possibility of use of zeolite containing bergmeal in system of cleaning of rainsd drains]. *Water and Ecology*, № 4, pp. 44–55 (in Russian).
3. Bogolitsyn, K. G., Boytsova, T. A. (2011). Osobennosti kompleksoobrazuyushchikh i sorbtssionnykh svoystv guminovykh kislot verkhovogo torfa Arkhangel'skoy oblasti [Features of a complexformings and sorption properties of humic acids of riding peat of the Arkhangelsk region]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki*, № 3, pp. 132–139 (in Russian).
4. Buko, Z. V., Likhacheva, A. V. (2015). Issledovaniye sorbtssionnykh svoystv negidrolizuyemogo ostatka torfa [Research of sorption properties of rest not hydrolyzed peat]. *Trudy BGTU. Khimiya, tekhnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya*, № 4 (177), pp. 267–271 (in Russian).
5. Gavrilov, P. V., Kanarskaya, Z. A. (2015). Adsorbtsionnyye svoystva torfa i produktov ego pererabotki [The adsorptive properties of peat and products of its processing]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, T. 18. № 2, pp. 422–427.
6. Glavnyy gosudarstvennyy sanitarnyy vrach RF. (2003). GN 2.1.5.1315-03. *Predelno dopustimyye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh obyektov khozyaystvenno-pityevogo i kulturno-bytovogo vodopolzovaniya* [HYGIENIC STANDARD 2.1.5.1315-03. (2003). The Maximum Permissible Concentrations (MPC) of chemicals in water, water objects of economic and drinking and cultural and community water use], 213 p. (in Russian).
7. (1983). GOST 17644-83. *Torf. Metody otbora prob iz zalezhi i obrabotki ikh dlya laboratornykh ispytaniy* [STATE STANDARD 17644-83. The Peat. Sampling methods from a Tests and their processing for laboratory researchep] (in Russian).
8. Danilin, I. A. (2009). Opyt primeneniya eykhornii (*Eichhornia crassipes*) dlya snizheniya kontsentratsii tyazhelykh metallov v dozhdevykh stochnykh vodakh [Experience of application of an eihhornia (*Eichhornia crassipes*) for decrease in concentration of metals in rain sewage]. *Water and Ecology*, № 2, p. 60–68 (in Russian).
9. Dmitriyeva, E. D., Goryacheva, A. A., Perelomov, L. V., Syundyukova, K. V., Leontyeva, M. M. (2015). Sorbtssionnaya sposobnost guminovykh veshchestv torfov razlichnogo proiskhozhdeniya Tul'skoy oblasti po otnosheniyu k ionam svintsya(II) [Sorption ability of humic substances of various



origin the peat of Tula region in relation ions lead(II)]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennyye nauki*, Vyp. 4, p. 215–219. (in Russian).

10. Dremicheva, E. P. (2017). Izucheniye kinetiki sorbtzii ionov medi(II) i zheleza(II) iz stochnykh vod torfom [Studying of kinetics of ions sorption of copper(II) and iron(II) of sewage peat]. *Voda: khimiya i ekologiya*, № 1, p. 61–66 (in Russian).

11. Zubkova, K. A., Gonina, E. P., Shikhova, L. N., Lisitsyn, E. M. (2016). Analiz klimaticheskikh stadiy formirovaniya bolot po botanicheskomu ostavu torfa [The analysis of climatic stages of formation a bogs on a botanical composition of peat]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, № 5 (193), p. 57–64 (in Russian).

12. Kim, A. N., Kolodkin, I. V., Sharavii, Ch. O. (2006). Issledovaniye fiziko-khimicheskikh i tekhnologicheskikh svoystv filtrovalno-sorbtsionnogo materiala tseolita Kholinskogo me-storozhdeniya Buryatii [Research of physical, chemical and technological properties of filtering and sorption material of zeolite of the Holinsky field of Buryatia]. *Water and Ecology*, № 1 (26), p. 9–15 (in Russian).

13. Kim, A. N., Mikhaylov, A. V., Prodous, O. A., Bondarchuk, A. P., Rozova, E. E. (2015). *Filtr s torfyanoy zagruzkoy*. Patent na poleznuyu model [The filter with peat loading. The patent for the modal]. RUS 154656 (in Russian).

14. Kovalenko, N. P., Ivko, V. R. (1999). O protivofiltratsionnykh ekranakh iz torfa [About antifiltrational screens from peat]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*, № 2–3, pp. 94–99. (in Russian).

15. Larionov, N. P., Bogolitsyn, K. G., Bogdanov M. V., Kuznetsova I. A. (2008). Kharakteristika sorbtzionnykh svoystv verkhovogo torfa po otnosheniyu k d i p-metallam [The characteristic of sorption properties of riding peat in relation to d and p-metals]. *Khimiya rastitel'nogo syrya*, № 4, p. 147–152. (in Russian).

16. Lozinskaya, E. F., Mitrakova, T. N., Zhilyayeva, N. A. (2013). Izucheniye sorbtzionnykh svoystv prirodnykh sorbentov po otnosheniyu k ionam medi (II) [Studying of sorption properties of natural sorbents in relation to copper(II) ions]. *Uchenyye zapiski. Elektronnyy zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta*, № 3. Dostupno po ssylke: <http://www.scientific-notep.ru/index.php?page=6&new=32> (data obrashcheniya 05.05.2017) (in Russian).

17. Mosin, O. V. (2011). Prirodnyy filtruyushchiy material shungit. [Shungi, the natural filtering material]. *Water and Ecology*, № 2, p. 60–68. (in Russian).

18. Naumova, L. B., Gorlenko, N. P., Kazarin, A. I. (2003). Obmennyye kationy i ikh vliyaniye na gidrofilnost torfa [The exchange cations and their influence on hydrophilicity of peat]. *Khimiya rastitel'nogo syrya*, № 3, p. 51–56 (in Russian).

19. Nikanorov, A. M., Zhulidov, A. V. (1991). *Biomonitoring metallov v presnovodnykh eko-sistemakh* [Biomonitoring of metals in fresh-water ecosystem]. L.: Gidrometeoizdat, 312 p. (in Russian).

20. Pinskiy, D.L., Minkina, T.M., Mandzhiyeva, P.P., Fedorov, Yu.A., Bauer, T.V., Nevidomskaya, D.G. (2014). Osobennosti pogloshcheniya Cu(II), Pb(II) i Zn(II) chernozemom obyknovennym iz rastvorov nitratov, khloridov, atsetatov i sulfatov. [Features of absorption of Cu(II), Pb(II) and Zn(II) the chernozem ordinary from solutions of nitrates, chlorides, acetates and sulfates]. *Pochvovedeniye*, № 1, p. 22–24 (in Russian).

21. PNDF T 14.1:2:3:4.11-04. T.16.1:2:3:3.8-04. (2010). *Metodika opredeleniya integralnoy toksichnosti poverkhnostnykh, v tom chisle morskikh, gruntovykh, pityevykh, stochnykh vod, vodnykh ekstraktov pochv, otkhodov, osadkov stochnykh vod po izmeneniyu bakterialnoy bio-lyuminestsentsii test-sistemoy "Ekolyum"* [Environmental normative document of the federal level T 14.1:2:3:4.11-04. T.16.1:2:3:3.8-04. A technique of determination of integrated toxicity of ficial waters, including sea, soil, drinking, sewage, water extracts of soils, waste, rainfall of sewage on change of a bacterial bioluminescence Ekolyum test system] Moskva: OOO «Nera-S», 30 p. (in Russian).

22. Radomskaya, V. I., Pavlova, L. M., Noskova, L. P., Kotelnikov, V. Yu., Ivanov, V. V., Pose-

lyuzhnaya, A. V. (2014). Sorbtionnyye svoystva torfa i guminovykh kislot po otnosheniyu k blagorodnym metallam [Sorption properties of peat and humic acids in relation to precious metalp. Chemistry of vegetable raw materials]. *Khimiya rastitel'nogo syrya*, p. 279–288. (in Russian).

23. *Sbornik metodik izmereniy massovoy kontsentratsii ionov medi, svintsa, kadmiya, tsin-ka, vismuta, margantsa, nikelya i kobalta metodom voltamperometrii na voltampero-metricheskom analizatore «Ekotest-VA»* [The collection of measurement techniques of mass concentration of ions of copper, lead, cadmium, zinc, bismuth, manganese, nickel and cobalt by a voltamperometriya method on the voltamperometrically Ecotest WA analyzer] (2004). M.: OOO «Ekoniks-Ekspert», 61 p. (in Russian).

24. Fokina, A. I., Lyalina, E. I., Olkova, A. P., Ashikhmina, T. Ya. (2016). Issledovaniye protektonnykh svoystv vosstanovlennogo glutationa dlya test-organizmov v rastvorakh, sodержashchikh med. [Research of protective properties of the restored glutathione for test organisms in the solutions containing copper], *Voda: khimiya i ekologiya*, № 2, p. 64–70. (in Russian).

25. Fokina, A. I., Domracheva, L. I., Zykova, Yu. N., Skugoreva, P. G., Lyalina, E. I., Trefilova, L. V. (2017). Sovershenstvovaniye tetrazolno-topograficheskogo metoda biotestirovaniya s ispolzovaniyem tsianobakteriy [Improvement of a tetrazolno-topographical method of biotesting with use of cyanobacteria] *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, № 1, p. 31–41 (in Russian).

26. FR.1.39.2015.19242. PND F T 14.1:2:3:4.2-98 (izd. 2015 g.) *Metodika opredeleniya tok-sichnosti prob prirodnykh, pityevykh, khozyaystvenno-pityevykh, khozyaystvenno-bytovykh stochnykh, ochishchennykh stochnykh, stochnykh, talykh, tekhnologicheskikh vod ekspress-metodom s primeneniym pribora serii «Biotester»* [FEDERAL REGISTER 1.39.2015.19242. (2015). A technique of determination of toxicity in natural tests, drinking, industrial and drinking, the economic and household waste, cleared waste, waste, thawed, technological waters by express method with use of the device series the Biotester]. SPb.: OOO «SPEKTR-M», 21 p. (in Russian).

27. Petroni, P. L. G., Pires, M. A. F., Munita, C. P. (2004). Use of radiotracer in adsorption studies of copper on peat. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, V. 259, Issue 2, P. 239–243.

28. Sòukand, Ü., Sòukand, R., Maširin, A., Tenno, T. (2002). The Langmuir two-surface equation as a model for cadmium adsorption on peat. *Science and Pollution Research*, V. 9, P. 43–48.

29. Sun, Q. Y., Lu, P., Yang, L. Z. (2004). The Adsorption of Lead and Copper from Aqueous Solution on Modified Peat–Resin Particlep. *Environmental Geochemistry and Health*. V. 26. Issue 2, P. 311–317.

30. Kezhong, G., Pearce, J., Jones, J., Taylor, C. (March 1999). Interaction between peat, humic acid and aqueous metal ionp. *Environmental Geochemistry and Health*, V. 21, P. 13–26.

31. Lishtvan, I. I., Dudarchik, V. M., Kovrik, P. I., Smychnik, T. P. (2007). Wastewater treatment of metals-ecotoxicants by peat preparationp. *Journal of Water Chemistry and Technology*, V. 29, Issue 1, P. 38–42.

32. Bulgariu, L., Bulgariu, D., Macoveanu, M. (April 2012). Characteristics of sorption of uncomplexed and complexed Pb(II) from aqueous solutions onto peat. *Chemical Papers*, V. 66, Issue 4, P. 239–247.

33. Cho, Y., Kim, P., Park, H., Komarneni, P., Hong, Y. (August 2014). Removal of inorganic pollutants in rainwater by a peat-derived porous material. *Journal of Porous Materials*, V. 21, Issue 4, P. 387–394.

34. Ho, Y. P., McKay, G. (October 2004). Sorption of Copper(II) from Aqueous Solution by Peat. *Water, Air, and Soil Pollution*, V. 158, P. 77–97.

35. Qin Fei, Wen Bei, Shan Xiao-Quan, Xie Y.-Ning, Liu Tao, Zhang Shu-Zhen, Khan Shahamat U. (2006). Mechanisms of competitive adsorption of Pb, Cu, and Cd on peat. *Environmental Pollution*, V. 144, P. 669–680.