

## ПРИМЕНЕНИЕ ИЗМЕЛЬЧЕННОГО БРИКЕТИРОВАННОГО ТОРФА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

*Б.Н. Житенёв<sup>1</sup>, А.Д. Гуринович<sup>2</sup>, Д.Д. Сенчук<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Профессор, БрГТУ, Брест, Беларусь, gitenev@tut.by

<sup>2</sup> Профессор, Минск, Беларусь; a.giurinowicz@pd.edu.pl

<sup>3</sup> Ассистент, БрГТУ, Брест, Беларусь, senchuk.d.d@mail.ru

### **Аннотация**

В настоящее время остро стоит проблема очистки производственных сточных вод от таких токсичных металлов как кадмий, свинец, медь и др. В статье приведены результаты исследования кинетики сорбции брикетированным торфом ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$ ; Установлена возможность использования брикетированного торфа в качестве эффективного сорбента для очистки сточных вод от ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$ .

**Ключевые слова:** брикетированный торф, ионы кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$ , сточные воды, диффузионная и химическая кинетика.

## APPLICATION OF GRINDED BRIQUETTED PEAT FOR WASTEWATER PURIFICATION FROM HEAVY METAL IONS

*B.N.Zhitenov<sup>1</sup>, A.D.Gurinovich<sup>2</sup>, D.D.Senchuk<sup>3</sup>*

### **Abstract**

At present, the problem of industrial wastewater treatment from such toxic metals as cadmium, lead, copper, etc. is acute. The possibility of using briquetted peat as an effective sorbent for wastewater treatment from cadmium ions  $Cd^{+2}$ , lead  $Pb^{+2}$ , copper  $Cu^{+2}$  has been established.

**Keywords:** briquetted peat, cadmium ions  $Cd^{+2}$ , lead  $Pb^{+2}$ , copper  $Cu^{+2}$ , waste water, diffusion and chemical kinetics.

**Введение.** Одними из опаснейших стойких загрязнений водных объектов являются ионы тяжелых металлов: кадмий, свинец, медь, железо, марганец, никель и цинк. Наиболее токсичными являются кадмий и свинец. Большая часть промышленного использования кадмия приходится на защитные покрытия, которые предохраняют металлы от коррозии. Такое покрытие имеет большое преимущество перед цинковыми, никелевыми или оловянными, потому что при деформации оно не отслаивается. Сплавы кадмия с незначительными добавками меди, никеля и серебра применяют для изготовления подшипников автомо-

бильных, авиационных и судовых двигателей. Никель-кадмиевые аккумуляторы применяются в мобильных телефонах и прочих электронных устройствах. Используется этот металл также в производстве пластика, красок, металлических покрытий. Многие почвы, которые регулярно удобряют, также могут содержать такой токсичный металл в большом количестве. Кадмий, а также его соединения характеризуются как канцерогенные вещества [1]. Ряд исследований подтверждает загрязнение водных объектов кадмием. В работе [2] отмечается, что в Чили в значительных количествах производится добыча медной руды, при этом дренажные шахтные воды различным образом поступают в прибрежную акваторию, присутствующие в них металлы скапливаются в донных отложениях (ДО), загрязняют пляжи и др. Пробы ДО отбирались в двух точках, в них определялись кадмий, медь, железо, марганец, никель, свинец и цинк, содержание металлов составило для этих точек 7,2-985 и 23-746 мкг/г сухой массы. Установлено, что содержание металлов отрицательно сказывается на состоянии обитателей бентоса, поскольку происходит их аккумуляция биомассой. В [3] проведено измерение комплексообразования цинка и кадмия с природными органическими лигандами в субантарктических водах к востоку от Новой Зеландии. Показано, что общая концентрация растворенных Zn и Cd находится в пикомолярном диапазоне и концентрация лигандов для обоих металлов составляет 1-2,5 нмоль/кг. Выявлено, что накопление цинка в фитопланктоне намного ниже, чем кадмия, что, вероятно, связано с возможностью его утилизации или предпочтением поглощения других металлов. В [4] приведена характеристика экосистемы, обследовался залив, расположенный в урбанизированной зоне с большим количеством промышленных производств, эти работы были связаны с массовой гибелью рыбы и моллюсков. Установлено, что эти явления происходили одновременно с формированием в заливе крупных скоплений водорослей, среди которых были выделены 4 вида, способных синтезировать токсиканты, которые затем поступали в воду. В ходе исследований было установлено, что в месте скоплений в донные отложения (ДО) содержали кадмий, медь, цинк, свинец и ртуть в повышенных концентрациях, в частности, содержание кадмия и свинца более, чем в 6 раз превышало показатели для окружающих участков, а ткани моллюсков содержали кадмий в концентрациях в 8 раз больших, чем экзemplяры, отобранные на удалении. Авторы [5] при обследовании участка речной системы протяженностью 180 км (до эстуария в месте впадения в Атлантический океан отмечают, что уровень загрязненности испытывает сезонные колебания в связи с колебаниями расхода речной воды. В воде определялись металлы 7 видов, биогенные элементы и др. пробы воды отбирались в 43 точках. Начало контролируемого участка находилось в урбанизированной зоне, содержание свинца здесь достигало 520 пмоль, серебра 330 пмоль, нитратов 21 мкмоль, ортофосфатов 4,3 мкмоль. Медь, никель, цинк, кадмий и железо распределены в воде на протяженности участка достаточно равномерно, медь содержится до 40 нмоль, никель, цинк до 59-63 нмоль, кадмий до 350 пмоль, растворенный органический углерод на протяженности участка до эстуария содержится от 210 до 360 мкмоль. В [6] для характеристики

загрязнения поверхностных водотоков тяжелыми металлами были выбраны кадмий, медь, никель, ртуть, хром, цинк, свинец, а также мышьяк. Анализ хронологии хода годовых концентраций металлов в воде не выявил каких-либо закономерностей: они колеблются беспорядочно, не прослеживается параллелизма в годовых изменениях концентраций различных металлов. Внутри года не установлены закономерности в изменении концентраций тяжелых металлов в отдельных пробах. Предложен комплексный коэффициент загрязнения воды тяжелыми металлами. Обследовалась река с небольшим дебитом, в ее донных отложениях (ДО) определялось содержание различных металлов, в определении применялся метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индукционной плазмой. При обработке проб ДО использовались 2 метода экстракции: Э1 и Э2. Э1 проводилась в кислой среде при температуре 180°C в условиях воздействия микроволнового излучения, при Э2 использовался 0,5 молярный раствор HCl. Пробы ДО отбирались в 15 точках; кадмий содержался в них в концентрациях от 0,17 до 1,34 мкг/г; хром от 28,9 до 90 мкг/г; медь от 23,2 до 76,7 мкг/г; никель от 41,8 до 61,6 мкг/г и свинец от 18 до 53 мкг/г. При Э1 обеспечивалась несколько большая степень экстракции, река, имевшая длину 12 км, протекала по участкам с различной нагруженностью промышленными предприятиями, с чем связаны существенные колебания концентраций металлов в донных отложениях [7].

В работе [8] сообщается, что входящий в состав мха вид *Fontinalis dalecarlica* (1) отличается повышенной способностью к биоаккумуляции тяжелых металлов, в связи с чем применяется при мониторинге природных водных сред, обитает на заболоченных местностях, на линиях раздела река/берег, озеро/берег и т. д. В лабораторных условиях исследовался процесс аккумуляции кадмия биомассой, эксперимент проводился с использованием аквариума 35 л, подача воды 0,6 л/мин, скорость потока 0,2 м/с. Дозы кадмия в опытах составляли 0,5; 1,0 и 5,0 мкг/л. Установлено, что кадмий сорбировался с большой скоростью в течение 5 сут, затем скорость уменьшалась и через 30 сут. сорбция прекращалась. Сорбционная емкость биомассы для названных доз кадмия 336, 496 и 2390 нмоль/г сухой биомассы, после перенесения в воду, не содержащую кадмия, десорбция практически не наблюдалась. В [9] отмечается, что в настоящее время вода природных источников наряду с другими загрязнителями содержит также ионы тяжелых металлов. В лабораторных условиях исследовалась возможность оценки их содержания путем измерения количеств, аккумуляированных биомассой зеленых водорослей. В опытах использовался природный (так называемый "дикий") вид (В1) и специально селективный (В2); модельным загрязнителем являлся кадмий в концентрациях от  $5 \cdot 10^{-10}$  до  $5 \cdot 10^{-4}$  моль. Установлено, что в естественных условиях кадмий образует комплексы с лигандами, что влияет на процессы сорбции/десорбции, сорбционная емкость по кадмию для В1 в 2-3 раза выше, чем для В2, присутствие в растворе молибдена, марганца, меди, кобальта, цинка, никеля и свинца ингибирует процессы сорбции кадмия В1 и В2; магний и железо на эти процессы не влияют. Данные работ [1 - 9]

свидетельствуют о том, что загрязнение водных объектов тяжелыми металлами, в частности кадмием, свинцом, медью и железом носят глобальный характер.

**Методы очистки.** Для извлечения из водных растворов кадмия, меди, никеля, цинка [10] использовался композиционный сорбент. Приготовление которого проводилось по методике, сутью которой являлось образование в порах катионита DowexMarathonC в Na-форме (аналог универсального катионита КУ-2х8) сорбционно активной фазы гидроксида железа. Тем самым достигалось создание высокоразвитой поверхности сорбента. В качестве исходных для сорбции служили 0,01 н. растворы  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{NiSO}_4$ ,  $\text{CdSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$ . По возрастанию сорбируемости в растворах с рН 5,4-5,7 металлы расположены в ряд: Cd, Zn, Ni, Cu.

В [11] отмечается, что методы сорбции тяжелых металлов на ионообменных смолах широко используются в технологиях водоподготовки. В [12] констатируется, что кадмий находит применение в различных изделиях, например, он используется в производстве аккумуляторов и в различных технологиях, при этом образуются хлорсодержащие системы, в состав которых входит также кадмий, в приводимом примере это  $\text{CdCl}^{2-}_4$ , данные комплексы отличаются высокой стойкостью. Предлагается экстрагировать из этих систем кадмий с использованием гидрофобных никотинамидов, в данном случае это N,N-дигексилпиридин-3-карбоксамид (I). В приводимом примере содержание (I) составляло 1-50 ммоль и HCl 0,1-2,5 моль, в оптимальном варианте содержание  $\text{Cd}^{2+}$  в органической фазе достигало 640 мг/моль. В работе [13] предлагается метод осаждения кадмия, железа, урана, меди, хрома, никеля, цинка, кобальта, который состоит в том, что в воду дозируют органическое соединение никотинамидадениндинуклеотид в качестве донора электронов, при его участии сульфатредуцирующие бактерии восстанавливают сульфаты до сульфидов, далее в последовательности реакций происходит образование нерастворимых сульфидов металлов, например, это CdS. Сообщается об успешном применении метода. В лабораторных условиях [14] исследовалась возможность удаления из донных отложений (ДО) тяжелых металлов методом электролиза. Реальные ДО содержали медь, цинк, свинец и кадмий в концентрациях 634, 1192, 478 и 16,6 мг/кг сухой массы. В оптимальном варианте эффективность удаления по этим компонентам составила 88, 98, 94 и 99% соответственно. В ходе экспериментов [15] исследовалась возможность сорбционного удаления ТМ (свинец 3,8-4,9 мг/л, кадмий 5,0-5,3 мг/л, цинк 47,5-49,1 мг/л, железо до 600 мг/л и кальций до 448 мг/л) из дренажных шахтных вод с использованием природных цеолитов (ЦЛ), обладавших ионообменными свойствами, этот выбор обусловлен, в том числе, устойчивостью ЦЛ в кислых средах, их разрушение наблюдается только при рН ниже 2. В лабораторных экспериментах при рН 2,24 и дозе ЦЛ 20 г/л (гранулят 1-2,5 мм) свинец удалялся полностью, с наименьшей эффективностью удалялось железо, присутствие ионов кальция ингибировало процессы сорбции ТМ. В [16] приведены результаты лабораторных экспериментов по удалению из СВ ионов кадмия путем перевода их в фор-

му оксалата кадмия в ходе воздействия на модельные СВ щавелевой кислотой. Сообщается, что оксалат кадмия обладает чрезвычайно низкой растворимостью, в экспериментах содержание  $\text{Cd}^{2+}$  в СВ составляло 5-6 г/л, при дозе щавелевой кислоты, в 2 раза превышающей концентрацию насыщения, кадмий удалялся с эффективностью более 99% при pH не ниже 4,5. В работе [17] сообщается, что при производстве сахара с использованием в качестве сырья сахарной свеклы на стадии варки пульпы выделялись СВ, содержавшие галактуроновую кислоту 20%, соединения, включавшие карбоновые группы 0,466 мг/л, также тяжелые металлы. Для первичной обработки этих СВ применялся дешевый сорбент, изготовленный из отходов от производства сахара, основной целью являлось удаление тяжелых металлов. Установлено, что при сорбции тяжелых металлов их сродство к сорбенту уменьшалось в следующем порядке:  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , для приведенного порядка металлов сорбционная емкость сорбента изменялась от 0,202 до 0,356 ммоль/г. СВ с сорбентами находились в реакторе 1 л, включенном в контур циркуляции с мембраной для микрофльтрации, тяжелые металлы удалялись с эффективностью не ниже 90%, кадмий и свинец на 100% в течение 10 ч.

Для удаления тяжелых металлов чаще всего применяются сорбенты, коммерческие марки которых имеют весьма высокую стоимость. В лабораторных экспериментах в качестве альтернативных сорбентов применялась зола от сжигания древесины (ЗД) и известь. Модельными ТМ являлись Cd, Cu, Pb и Zn в концентрациях от 25 до 1500 мг/л. Установлено, что ЗД как сорбент более эффективна, чем известь, с ее применением наиболее эффективно удаляется свинец (сорбционная емкость 101 мг Pb/г ЗД), затем следуют медь (6,92 мг/г), кадмий (5,03 мг/г) и цинк (4,12 мг/г). При дозе ЗД 20 г/л и содержании ТМ 100 мг/л эффективность их удаления составляла от 92 до 100% [18].

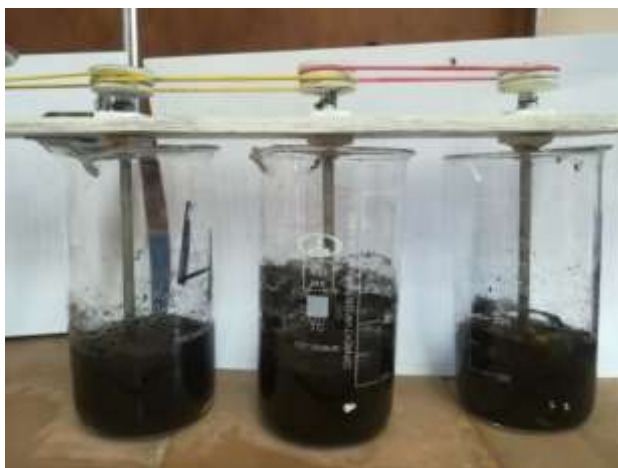
В исследованиях [19] указывается, что при обработке осадков и СВ, содержащих тяжелые металлы, достаточно широко используются методы биосорбции, при которых удаление тяжелых металлов осуществляется аккумуляцией биомассой растений, при этом известны виды растений, способных к так называемой гипераккумуляции. Проблемой при этом является накопление биомассы, загрязненной тяжелыми металлами, в лабораторных экспериментах исследовалась возможность сжигания массы растений с переводом металлов в золу. Использовались растения 4 видов, определен вид, обладающий наибольшей эффективностью, при этом зола от его сжигания содержала цинк 9326 мг/кг сухой массы, свинец 18 мг/кг, кадмий 224 мг/кг и т. д.

Таким образом, исследования по удалению из сточных вод таких токсичных металлов как кадмий, свинец, медь и др. ведутся по разработке новых композиционных сорбентов, совершенствованию ионообменной очистке, осаждению, например, в виде сульфидов или оксалатов, сорбцией золой от сжигания древесины, биосорбцией растениями [10 -19].

Обзор литературных данных позволяет сделать вывод о том, что разработка усовершенствованных технологий сорбционной очистки сточных вод с использованием торфа является весьма перспективным направлением. В литературе

отсутствуют достаточно полные данные об использовании брикетированного торфа в качестве сорбента таких токсичных металлов как кадмий, свинец, медь. В Республике Беларусь имеются значительные запасы торфа, масштабные производства торфобрикетов это создает реальные предпосылки для выпуска дешевых, экологически безопасных сорбентов на основе модифицированного брикетированного торфа. Настоящая работа посвящена исследованию сорбционных свойств брикетированного торфа для очистки сточных вод от ионов кадмия, свинца и меди.

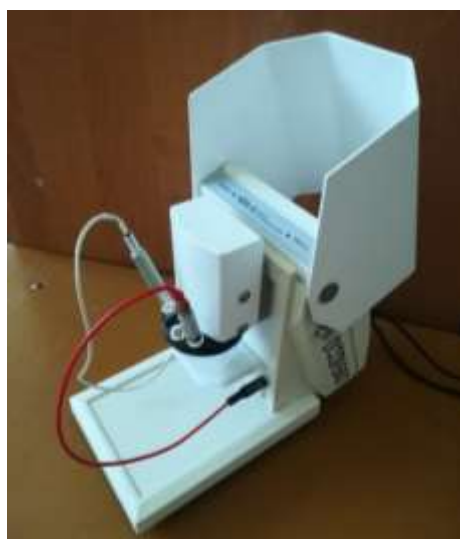
**Материалы и методы исследований.** В процессе исследований использовались физико-химические, технологические, математические методы. Эксперименты производились с использованием торфобрикетов производства торфобрикетного завода "Гатча-Осовское", расположенного в Жабинковском районе Брестской области. Брикет механическим способом гранулировали, затем отсеивали через набор сит калибром 1,00 – 2,00 – 3,25 – 3,75 – 4,50 – 5,50 мм. В результате были получены образцы крупностью < 1 мм, 1,00 – 2,00 мм, 2,00 – 3,25 мм, 3,25 – 3,75 мм, 3,75 – 4,50 мм, 4,50 – 5,50 мм. Исследовалась сорбция ионов кадмия  $\text{Cd}^{+2}$ , свинца  $\text{Pb}^{+2}$ , меди  $\text{Cu}^{+2}$ . В стакан помещали 100 мл раствора и добавляли 10 г гранул торфа. Затем суспензию перемешивали с помощью механических мешалок (рисунок1) в течении 3, 5, 10, 20, 40, 60 минут. Растворы фильтровали через бумажный фильтр (Рисунок2) и определяли остаточное содержание ионов кадмия  $\text{Cd}^{+2}$ , свинца  $\text{Pb}^{+2}$ , меди  $\text{Cu}^{+2}$ . Анализ пробы модельного раствора на содержание Cd, Pb, Cu выполняли с помощью анализатора вольтамперометрического АВА-3 (Рисунок 3). Нарисунке 4 приведен пример анодных вольтамперных кривых, зарегистрированных на индикаторном электроде при анализе пробы модельного раствора на содержание Cd, Pb, Cu.



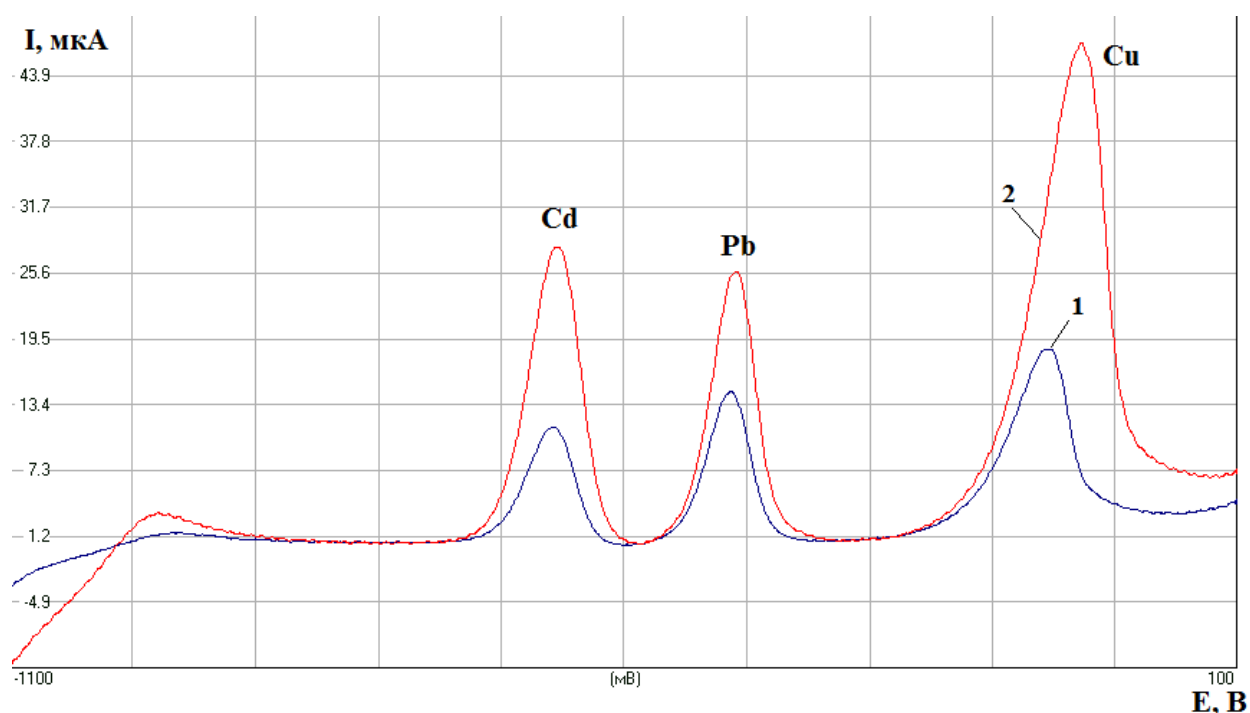
**Рисунок 1** – Механическое перемешивание.



**Рисунок 2** – Фильтрационное отделение сорбента.



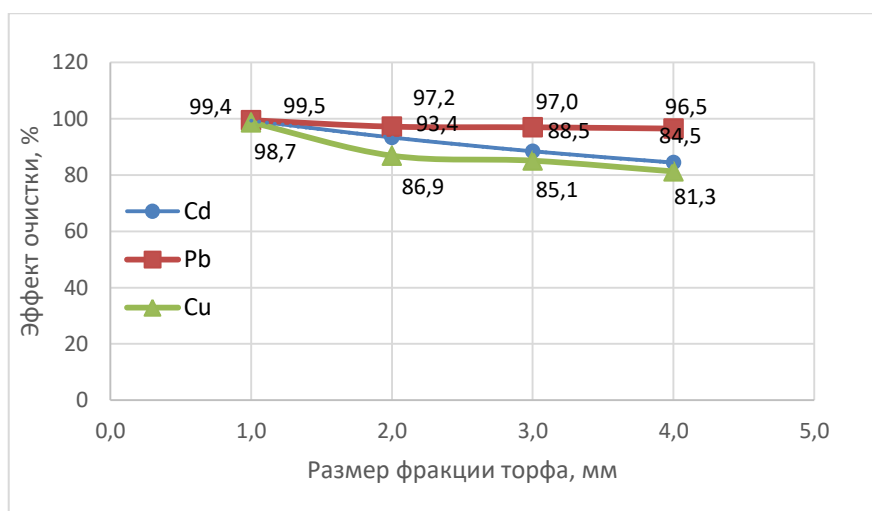
**Рисунок 3** – Анализатор  
вольтамперометрический АВА-3



**Рисунок4** – Анодные вольтамперные кривые разности:

1- пробы модельного раствора и фоновго электролита (фон хлоридный), 2- пробы модельного раствора с добавкой стандартного раствора, содержащего  $2\text{мг/дм}^3$  Cd, Pb, Cu и фоновго электролита

**Результаты и их обсуждение.** Предварительно изучалась зависимость эффекта очистки от крупности зерен брикетированного торфа. Исследовали эффективность сорбции для гранул средних размеров 1 мм, 2 мм, 3 мм и 4 мм, при продолжительности контакта 60 минут, результаты приведены на рисунке 5.



**Рисунок 5** – Влияние размеров зерен брикетированного торфа на эффективность сорбции при продолжительности контакта 60 минут

Из рисунка 5 видно, что с увеличением крупности гранул сорбента эффективность сорбции снижается, это является следствием того, уменьшается площадь межфазовой границы между сорбентом и раствором. Дальнейшие исследования выполнялись с гранулами размером около 1 мм.

Эффект очистки воды от ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$  рассчитывался по формуле:

$$\mathcal{E} = ((C_1 - C_2)/C_1) \cdot 100, \% \quad (1)$$

где  $C_1, C_2$  – соответственно массовая концентрация ионов до и после опыта.



**Рисунок 6** – Зависимость эффекта сорбции ионов  $Cd^{+2}$  от продолжительности контакта, мин



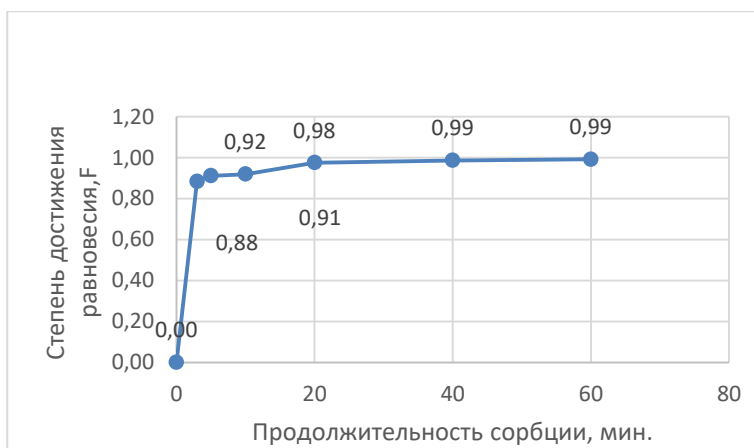


**Рисунок 7 –**  
Зависимость эффекта сорбции ионов  $Pb^{+2}$  от продолжительности контакта

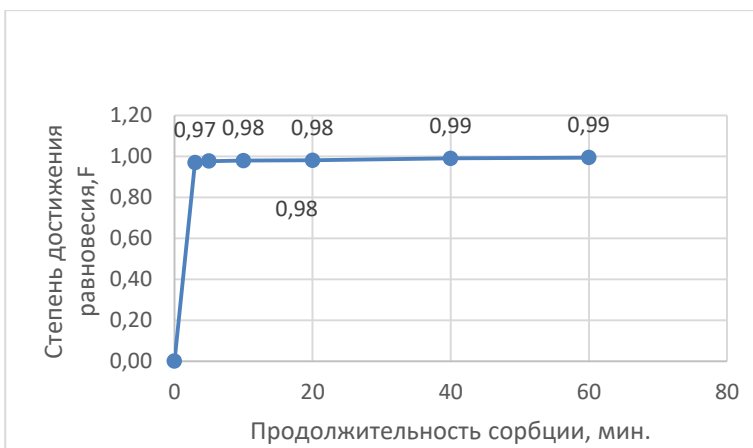


**Рисунок 8 –**  
Зависимость эффекта сорбции ионов  $Cu^{+2}$  от продолжительности контакта

Наиболее эффективно процесс сорбции ионов брикетированным торфом протекает в течении 20 минут контакта, затем он замедляется. В течении 20 минут удаляется до 97 – 98 % ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$  (Рисунок 6, 7, 8) и практически наступает сорбционное равновесие. Степень достижения равновесия  $F$ , показывает какая часть общего количества вещества сорбируется к данному моменту времени и для брикетированного торфа она составила для кадмия (II) около  $F=0.88$  при продолжительности контакта 3 минуты и  $F=0.99$  при контакте 40 минут (рисунок 9, 10, 11), соответственно для свинца (II) 0,97 и 0,99, а для меди (II) 0,84 и 0,99. Таким образом, наиболее быстро происходит сорбция свинца (II), затем кадмия (II) и наконец меди (II), но при продолжительности контакта 40 минут, для всех исследованных ионов степень достижения равновесия составила  $F=0.99$ .



**Рисунок 9–** Зависимость степени достижения равновесия от продолжительности контакта брикетированного торфа с раствором, содержащим ионы кадмия



**Рисунок 10** – Зависимость степени достижения равновесия от продолжительности контакта брикетированного торфа с раствором, содержащим ионы свинца



**Рисунок 11** – Зависимость степени достижения равновесия от продолжительности контакта брикетированного торфа с раствором, содержащим ионы меди

Кратность извлечения – отношение исходной концентрации к равновесной составила для ионов кадмия  $Cd^{+2}$  - 114, свинца  $Pb^{+2}$  - 162, меди  $Cu^{+2}$  - 93.

Кинетические кривые сорбции представлены на рисунках 12, 13, 14. Адсорбционная емкость брикетированного торфа рассчитывалась по уравнению:

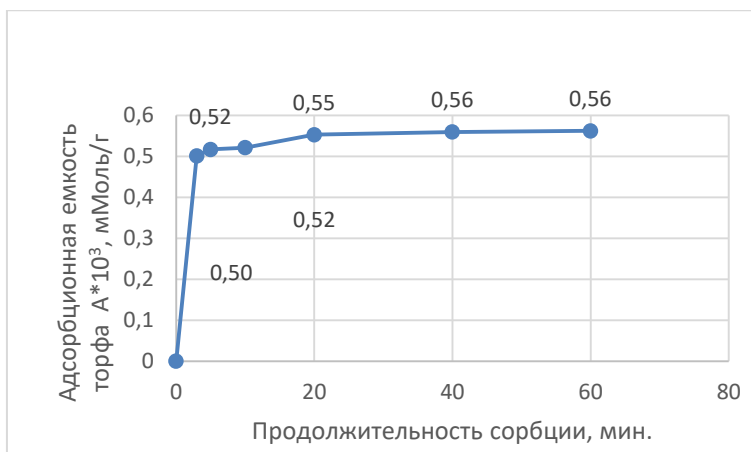
$$A = (C_1 - C_{равн}) * \left(\frac{V}{m}\right) \quad (2)$$

где  $V$  – Объем раствора,  $дм^3$ ;

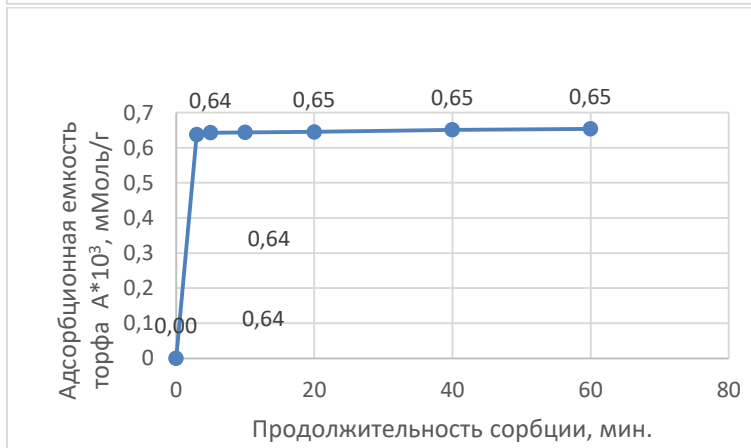
$m$  – масса навески брикетированного торфа, г;

$C_1$  – исходная концентрация ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$  в растворе,  $мМоль/дм^3$ ;

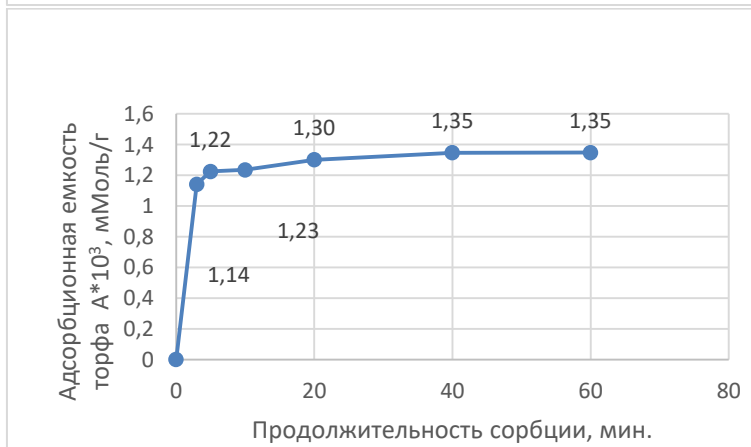
$C_{равн}$  – равновесная концентрация ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$  в растворе после сорбции,  $мМоль/дм^3$ .



**Рисунок 12 –**  
Кинетическая кривая сорбции ионов кадмия брикетированным торфом



**Рисунок 13 –**  
Кинетическая кривая сорбции ионов свинца брикетированным торфом



**Рисунок 14 –**  
Кинетическая кривая сорбции ионов меди брикетированным торфом

Для выяснения механизма сорбции ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$  брикетированным торфом, результаты экспериментов были обработаны с помощью уравнений диффузионной кинетики. Кинетическая кривая для внешне диффузионных процессов должна быть линейной в координатах  $-\ln(A_e - A_t) - t$  (рисунок 15),

где  $A_e$  и  $A_t$  - количество сорбированного иона металла на единицу массы сорбента в состоянии равновесия и в момент времени  $t$ .

Кривые сорбции для ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$  на начальном этапе описываются прямыми, следовательно, диффузия в пленке раствора вносит вклад в общую скорость процесса. При дальнейшем контакте графики сорбции ионов искривляются. Согласно литературным данным [36], это свидетельствует о том, что диффузия в зерне сорбента контролирует общую ско-

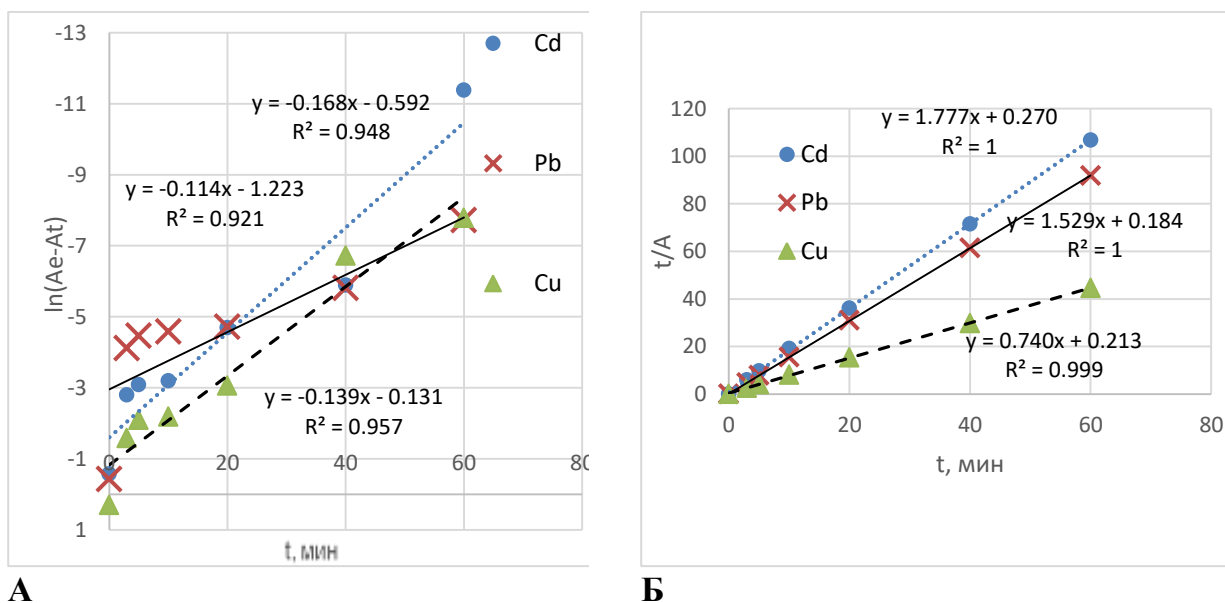
рость процесса. В случае химического взаимодействия торфа с ионами тяжелых металлов (реакция ионного обмена) вклад в кинетику может вносить стадия собственно химической реакции между сорбируемым ионом и функциональными группами поглотителя. Поэтому для выявления вклада химической стадии при описании сорбционного процесса брикетированным торфом использовали модели псевдопервого и псевдвторого порядка [36]. Линейные формы этих моделей представлены в виде уравнений (3) и (4):

$$\ln(A_e - A_t) = \ln A_e - k_1 \cdot t \quad (3)$$

$$\frac{t}{A_t} = \frac{1}{k_2 \cdot A_e^2} + \frac{1}{A_t} \cdot t, \quad (4)$$

где  $k_1$  – константа скорости сорбции в модели псевдопервого порядка;  
 $k_2$  – константа скорости сорбции в модели псевдвторого порядка.

Для установления модели, оптимально описывающей сорбцию железа на брикетированном торфе (рисунок15) сравнивались коэффициенты корреляции псевдопервого и псевдвторого порядка. Установлено, что сорбция ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$  наиболее точно описывается моделью псевдвторого порядка (рисунок15 Б)



**Рисунок15** – Кинетические кривые сорбции ионов кадмия, свинца и меди брикетированным торфом в моделях псевдопервого (А) и псевдвторого (Б) порядков:  
 1- ионы  $Cd^{+2}$ , 2- ионы  $Pb^{+2}$ , 3- ионы  $Cu^{+2}$

### Заклучение.

1. Выполнены исследования кинетики сорбции брикетированным торфом ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$ ;
2. Исследовано влияние крупности зерен брикетированного торфа на эффективность сорбции, с увеличением размеров эффективность процесса несколько снижается;

3. Процесс сорбции протекает интенсивно. В течении первых 5 минут из раствора извлекается ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$  соответственно 91,11; 96,96; 88,39 %;

4. За 20 минут, степень достижения равновесия составила для кадмия  $Cd^{+2}$  и свинца  $Pb^{+2}$   $F= 0,98$ , а для меди  $Cu^{+2}$   $F= 0,96$ , а при продолжительности процесса 40 минут для всех ионов  $F= 0,99$ ;

5. Кратность извлечения – отношение исходной концентрации к равновесной – составила для ионов кадмия  $Cd^{+2}$  - 114, свинца  $Pb^{+2}$  - 162, меди  $Cu^{+2}$  - 93;

6. С помощью уравнений диффузионной и химической кинетики установлено, что процесс сорбции идет в диффузионном режиме, при этом вклад в общую скорость процесса вносит стадия химического взаимодействия ионов металла с функциональными группами торфа;

7. Установлена возможность использования брикетированного торфа в качестве эффективного сорбента для очистки сточных вод от ионов кадмия  $Cd^{+2}$ , свинца  $Pb^{+2}$ , меди  $Cu^{+2}$ .

### Список цитированных источников

1. <https://fb.ru/article/272329/kadmiy-vliyanie-na-organizm-cheloveka-otravlenie-tyajelyimi-metallami>, дата доступа 16.04.2020.
2. RamirezMarco, MassoloSerena, FracheRoberto, CorreaJuanA. Содержание металлов в прибрежных акваториях в местах добычи медной руды. Metal speciation and environmental impact on sandy beaches due to El Salvador copper mine, Chile. Mar. Pollut. Bull. 2005. 50, N 1, с. 62-72. Англ.
3. EllwoodMichaelJ. Цинк и кадмий в субантарктических водах к востоку от Новой Зеландии. Zinc and cadmium speciation in subantarctic waters east of New Zealand. Mar. Chem. 2004. 87, N 1-2, с. 37-58. Англ.
4. Garcia-Hernandez Jaqueline, Garcia-Rico Leticia, Jara-Marini Martin E., Barraza-Guardado Ramon, Weaver Amy Hudson. Содержание тяжелых металлов в донных отложениях и организмах в период эвтрофикации. Concentrations of heavy metals in sediment and organisms during a harmful algal bloom (HAB) at KunKaak Bay, Sonora, Mexico. Mar. Pollut. Bull. 2005. 50, N 7, с. 733-739. Англ.
5. BuckNathanielJ., GobleChristopherJ., Sanudo-WilhelmySergioA. Загрязненность речной системы. Dissolved trace element concentrations in the East River-Long Island Sound system: relative importance of autochthonous versus allochthonous sources. Environ. Sci. and Technol. 2005. 39, N 10, с. 3528-3537. Библ. 39. Англ.
6. Видинеева Е. М., Толкачева Г. А., Верещагина Н. Г. О тенденциях загрязнения тяжелыми металлами речных вод Чирчик-Ахангаранского бассейна. Тр. Н.-и. гидрометеорол. ин-та Узгидромета. 2006, N 1, с. 102-109, 168, 175, 182. Рус.; рез. узб., англ.
7. AdamiGianpiero, Capriglia Lorenzo, Barbieri Pierluigi, Cozzi Federico, Lo Cocco Filippo, Acquavita Alessandro, ReisenhoferEdoardo. Загрязненность металлами речных донных отложений. Sediment metal contamination in a Creek flowing from a pristine to an industrial area of Trieste Province (Italy). Ann. chim. 2006. 96, N 9-10, с. 601-612. Библ. 16. Англ.
8. Croisetiere Louis, Hare Landis, Tessier Andre, Duchesne Sophie. Аккумуляция кадмия моховой растительностью. Modeling cadmium exchange by an aquatic moss (Fontinalis dalecarlica). Environ. Sci. and Technol. 2005. 39, N 9, с. 3056-3060. Библ. 29. Англ.

9. KolaHeliana, WilkinsonKevinJ. Оценка поглощения кадмия зелеными водорослями. Cadmium uptake by a green alga can be predicted by equilibrium modelling. *Environ. Sci. and Technol.* 2005. 39, N 9, с. 3040-3047. Библ. 45. Англ.
10. Марков В. Ф., Формазюк Н. И., Маскаева Л. Н., Макурин Ю. Н., Васин А. Н. (Россия, ГОУ ВПО "УГТУ-УПИ", г. Екатеринбург). Использование композиционного сорбента для извлечения из водных растворов меди, никеля, цинка, кадмия. Экологические проблемы промышленных регионов: Материалы 7 Всероссийской научно-практической конференции, Екатеринбург, 2006. Екатеринбург: АМБ. 2006, с. 224. Рус.
11. SilvaD. L., BrunnerG. Десорбция тяжелых металлов из ионообменной смолы с использованием воды и диоксида углерода. Desorption of heavy metals from ion exchange resin with water and carbon dioxide. *Braz. J. Chem. Eng.* 2006. 23, N 2, с. 213-218. Библ. 9. Англ.
12. Tomaszewska Marta, Jeschke Anna, Borowiak-Resterna Aleksandra, Cierpiszewski Ryszard, Prochaska Krystyna. Экстракция Cd(II) из хлорсодержащих систем с использованием гидрофобных никотинамидов. Studies on the rate of extraction of Cd(II) from chloride systems with hydrophobic nicotinamide derivatives. *Przem. chem.* 2006. 85, N 8-9, с. 668-670. Библ. 10. Пол.; рез.англ.
13. Удаление из воды тяжелых металлов. In situ immobilization of metals within density variant bodies of water. Пат. 7011756 США, МПК<sup>8</sup> С 02 F 1/62, С 02 F 3/28. Harrington Joseph G. N 10/398703; Заявл. 03.10.2001; Оpubл. 14.03.2006; НПК 210/603. Англ.
14. Удаление тяжелых металлов из донных отложений. Electrodialytic removal of Cu, Zn, Pb, and Cd from harbor sediment: influence of changing experimental conditions. *Environ. Sci. and Technol.* 2005. 39, N 8, с. 2906-2911. Библ. 27. Англ.
15. GavrisGeorgeta, BurticaGeorgeta, IoviAurel. Процесс очистки сточных вод с удалением ионов кадмия. Study of the cleaning process with cadmium ions from residual waters. *Bul. sti. Univ. "Politehn." Timisoara. Ser. Chim. siing. med.* 2005. 50, N 1-2, с. 163-165. Библ. 8. Англ.
16. GavrisGeorgeta, BurticaGeorgeta, IoviAurel. Процесс очистки сточных вод с удалением ионов кадмия. Study of the cleaning process with cadmium ions from residual waters. *Bul. sti. Univ. "Politehn." Timisoara. Ser. Chim. siing. med.* 2005. 50, N 1-2, с. 163-165. Библ. 8. Англ.
17. ReddadZ., GerenteC., AndresY., LeCloirecP. Очистка сточных вод от производства сахара. Valorisation d'un sous-produit de l'industrie sucriere: mise en uvredans un procede de traitement d'eaux usees industrielles. *Dechets: sci. et techn.* 2005, N 39, с. 9-14. Библ. 10. Фр.; рез.англ.
18. Chirenje Tait, Ma Lena Q., Lu Liping. Удаление из сточных вод кадмия, меди, свинца и цинка. Retention of Cd, Cu, Pb and Zn by wool ash, lime and fume dust. *Water, Air, and Soil Pollut.* 2006. 171, N 1-4, с. 301-314. Библ. 35. Англ.
19. Лиштван И. И., Дударчик В. М., Коврик С. И., Смычник Т. П. Очистка сточных вод от металлов-экоотоксикантов торфяными препаратами. *Химия и технол. воды.* 2007. 29, N 1, с. 67-74. Библ. 12. Рус.; рез.укр., англ. В списке Сенчук №1
20. Богуш А. А., Мороз Т. Н., Галкова О. Г., Маскенская О. М. Применение природных материалов для очистки техногенных вод. *Экол. пром. пр-ва.* 2007, N 2, с. 63-69, 6 ил., 6 табл. Библ. 12. Рус.
21. Богуш А. А., Трофимов А. Н. Применение торфо-гуминовых веществ для снижения техногенного влияния отходов на окружающую среду. *Хим. пром-сть.* 2005. 82, N 3, с. 153-158, 4 ил., 4 табл. Библ. 6. Рус.

22. Арканова И. А., Китаев Д. М., Луценко Ю. Д. Новые фильтрующие материалы для очистки природных вод. Материалы 46 Международной научно-технической конференции "Достижения науки - агропромышленному производству", Челябинск, 2007. Ч. 3. Челябинск: Челяб. гос. агроинж. ун-т. 2007, с. 164-169. Рус.
23. UlmanuMihaela, Anger Ildiko, Fernandez Yolanda, Castrillon Leonor, Maranon Elena. Удаление хрома(VI), кадмия и свинца из водных растворов сорбцией торфом. Batch chromium(VI), cadmium(II) and lead(II) removal from aqueous solutions by horticultural peat. *Water, Air, and Soil Pollut.* 2008. 194, N 1-4, с. 209-216. Библ. 20. Англ.
24. Косов В. И., Баженова Э. В. Сорбционно-фильтровальная загрузка для очистки воды и способ ее производства. Пат. 2174439 Россия, МПК<sup>7</sup> В 01J 20/28, 20/24, 20/30. Твер. гос. техн. ун-т. N 2000116957/12; Заявл. 26.06.2000; Оpubл. 10.10.2001. Рус. RU
25. Косов В. И., Баженова Э. В. Исследования сорбентов на природной основе для очистки промстоков от цинка. Международная научно-практическая конференция "Проблемы инженерного обеспечения и экологии городов, Пенза, дек., 1999: Сборные материалов. Пенза: Изд-во Приволж. дома знаний. 1999, с. 130-133. Библ. 5. Рус. RU. ISBN 5-8356-0020-8
26. Косов В. И., Баженова Э. В. \*, Чаусов Ф. Ф. (Тверской ГТУ). Очистка промстоков от ионов цинка с применением гранулированного торфа. *Хим. и нефтегаз. машиностр.* 2001, N 7, с. 38-40, Табл. 2. Библ. 13. Рус. RU. ISSN 0023-1126
27. Янг-Тсе Ханг, Ло Говард Г. Очистка сточных вод производства по переработке картофеля с использованием адсорбции торфом и глиной и биопрепаратов. Исследование проблем водоснабжения, водоотведения и подготовки специалистов: Межвузовский сборник научных трудов. Казан. гос. архит.-строит. акад. Казань: Изд-во КГАСА. 1999, с. 129-132. Рус. RU. ISBN 5-7829-0054-7
28. Способ приготовления сорбента для очистки сточных вод. Method of processing peat for use in contaminated water treatment. Пат. 6429171 США, МПК<sup>7</sup> В 01 J 20/22. Environmental Filtration, Inc., Clemenson Lyle J. N 09/514197; Заявл. 25.02.2000; Оpubл. 06.08.2002; НПК 502/404. Англ. US
29. Sun Qing-ye, Yang Lin-zhang. Удаление хрома из водных растворов модифицированным торфом. *Chengshihuanjingyuchengshishengtai=Urban Environ. and Urban Ecol.* 2002. 15, N 3, с. 5-8. Библ. 16. Кит.; рез.англ. CN. ISSN 1002-1264
30. Баженова Э. В. Экспериментальное обоснование способов очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов торфяными модификациями: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Твер. гос. техн. ун-т, Тверь, 2002, 22 с., ил. Библ. 12. Рус. RU
31. Томсон А., Самсонова А. С., Алещенкова З. М., Николаенков А. И., Мелещенко Б. А., Соколова Т. В., Навоша Ю. Ю., Пехтерева В. С., Чистякова Е. И., Кухарчик В. В. Перспективы использования торфа для решения комплексной проблемы охраны окружающей среды. Физика и химия торфа в решении проблем экологии: Тезисы докладов Международного симпозиума, Минск, 3-7 нояб., 2002. Минск: Тонпик. 2002, с. 158-160. Рус. BY
32. Вялкова Е. И., Большаков А. А. Очистка сточных вод с использованием природных материалов и отходов производства. Актуальные проблемы современного строительства: Сборник научных трудов 32 Всероссийской научно-технической конференции, Пенза, 25-27 марта, 2003. Ч. 1. Строительные материалы и изделия. Пенза: Изд-во ПГАСА. 2003, с. 194-198. Рус. RU. ISBN 5-9282-0125-7

33. MaW.,TobinJ. M.Удаление из сточных вод тяжелых металлов методом биосорбции. Development of multimetal binding model and application to binary metal biosorption onto peat biomass. WaterRes. 2003. 37, N 16, с. 3967-3977. Англ. GB. ISSN 0043-1354
34. HoY. S., McKayG.Сорбция Cu(2+) из водных растворов торфом. Sorption of copper (II) from aqueous solution by peat. Water, Air, and Soil Pollut. 2004. 158, N 1-4, с. 77-97. Библ. 62. Англ. NL. ISSN 0049-6979
35. SunQ. Y., LuP.,YangL. Z.Адсорбция свинца и меди из водных растворов модифицированным торфом. The adsorption of lead and copper from aqueous solution on modified peat-resin particles. Environ. Geochem. and Health. 2004. 26, N 2, с. 311-317. Англ. GB. ISSN 0269-4042
36. Дремичева Е.С. Изучение кинетики сорбции на торфе ионов железа(III) и меди(II) из сточных вод/Вестн. Моск. ун-та.сер. 2. Химия. 2017. т. 58. № 4.

УДК 628.3

## ЛЕКАРСТВЕННЫЕ ПРЕПАРАТЫ В ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ, ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

*Б.Н. Житенёв<sup>1</sup>, Е.С.Рыбак<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Профессор, БрГТУ, Брест, Беларусь, gitenev@tut.by

<sup>2</sup>Старший преподаватель, БрГТУ, Брест, Беларусь

### **Аннотация**

Реальностью нашего времени стало наличие в природной среде широкого спектра натуральных и искусственных веществ, оказывающих воздействие на нормальную гормональную активность в организме как животных, так и человека. К таким примесям относятся лекарственные препараты. В статье рассмотрены вопросы присутствия лекарственных препаратов в поверхностных и подземных водах, связанные с этим проблемы и возможные пути их решения.

**Ключевые слова:** поверхностные, подземные воды, лекарственные препараты, очистка воды.

## MEDICINES IN SURFACE AND GROUNDWATER, PROBLEMS AND SOLUTIONS.

*B.N.Zhitenev<sup>1</sup>, E.S. Rybak<sup>2</sup>*

### **Abstract**

The reality of our time has become the presence in the natural environment of a wide range of natural and artificial substances that affect the normal hormonal activi-