

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2024-2-137-145>
УДК 661.183.+628.512:66.074.34

Поступила в редакцию 21.10.2024
Received 21.10.2024

СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ТОРФОМИНЕРАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. Э. Томсон, Т. Я. Царюк, Т. В. Соколова, В. С. Пехтерева, А. С. Марзан

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Изучены водно-физические и сорбционные свойства карбонатсодержащих минералов (мел, доломитовая мука, трепел) как компонентов композиционных сорбционных материалов на основе торфа.

Получены образцы гранулированных композиционных сорбционных материалов на основе торфа и указанных выше карбонатсодержащих минералов с содержанием последних 25 и 50 %. Показано, что поглощение аммиака в сформованных композициях снижается, причем добавка в композицию карбоната кальция (мела) в количестве 25 % в меньшей степени влияет на количество поглощенного аммиака по сравнению с такой же добавкой доломитовой муки и трепела. Водопоглощение композитов по сравнению с гранулированным торфом снижается незначительно.

Установлено, что введение доломитовой муки и трепела в количестве 25 % увеличивает прочность композитов на истирание, что связано с процессами структурообразования через взаимодействие функциональных групп торфа с ионами металлов.

Изучена кинетика поглощения аммиака и воды в газовой фазе торфом и торфоминеральными сорбентами. Установлено, что наиболее интенсивно аммиак поглощается в течение первых двух-трех суток, затем интенсивность поглощения падает. Проведена оптимизация состава и разработана рецептура торфоминерального сорбента.

Ключевые слова: торф; минеральная добавка; композиционный торфоминеральный сорбент; сорбция аммиака.

Для цитирования. Томсон А. Э., Царюк Т. Я., Соколова Т. В., Пехтерева В. С., Марзан А. С. Сорбционные свойства композиционных торфоминеральных материалов // Природопользование. – 2024. – № 2. – С. 137–145.

SORPTION PROPERTIES OF COMPOSITE PEAT MINERAL MATERIALS

A. E. Tomson, T. Ya. Tsaryuk, T. V. Sokolova, V. S. Pekhtereva, A. S. Marzan

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. The water-physical and sorption properties of carbonate-containing minerals (chalk, dolomite flour, tripoli) as components of composite sorption materials based on peat were studied.

Samples of granular composite sorption materials based on peat and the above carbonate-containing minerals containing the latter of 25 and 50 % were obtained. It has been shown that the absorption of ammonia in the molded compositions is reduced, and the addition of calcium carbonate (chalk) to the composition in an amount of 25 % has a lesser effect on the amount of absorbed ammonia compared to the same addition of dolomite flour and tripoli. The water absorption of composites is slightly reduced compared to granulated peat.

It has been established that the introduction of dolomite flour and tripoli in an amount of 25 % increases the abrasion strength of composites, which is associated with structure formation processes through the interaction of peat functional groups with metal ions.

The kinetics of ammonia and water adsorption in gas phase by peat and peat-mineral sorbents has been studied. It has been established that ammonia is absorbed most intensively during the first two to three days, then the intensity of absorption decreases. The composition was optimized and the formulation of peat-mineral sorbent was developed.

Keywords: peat; mineral additive; composite peat-mineral sorbent; ammonia sorption.

For citation. Tomson A. E., Tsaryuk T. Ya., Sokolova T. V., Pekhtereva V. S., Marzan A. S. Sorption properties of composite peat mineral materials. *Nature Management*, 2024, no. 2, pp. 137–145.

Введение. Одним из новых и эффективных направлений, развиваемых в последнее время в области сорбционных материалов и технологий их использования, является получение сложных композиционных структур, направленное регулирование свойств которых позволяет не только сохранить положительные свойства исходных составляющих композиции, но и придать им новое качество.

Природные минералы широко используются при создании гигиенических сорбционных материалов для животных, причем как сами по себе, так и в композициях с органическими наполнителями.

Такие минералы, как цеолит, диатомит, опока, трепел, бентонит, глауконит, вермикулит и другие, считаются природными сорбентами и обладают достаточно высокой пористостью, водопоглощением и сорбционной емкостью.

Однако наиболее широкое применение природные минеральные компоненты нашли в композициях с органическими, в основном растительного происхождения. Например, предложены композиционный мелкогранулированный подстилочный материал, содержащий известняковый песок; морские раковины, смешанные с 10–20 % опилок или торфа [1]; гранулированная адсорбирующая композиционная подстилка, включающая смесь адсорбирующих частиц (целлюлозный материал или глина) и инертных адсорбирующих гранул (например, вулканической породы), обработанных нейтрализующим агентом (карбонатом, бикарбонатом или гидрофосфатом) [2]; подстилка на основе отработанных активированных углей и диатомовой земли [3].

В патентной литературе описан ряд композиционных сорбционных материалов на основе торфа. Например, в качестве поглотителя газов, в частности сероводорода, предлагается использовать композицию, содержащую, %: верховой торф – 60–80; опилки древесные – 10–20, угольную пыль кокса – 5–10; поташ (K_2CO_3) – 5–10 [4]. Также патентуется подстилка для животных на основе гранулированного верхового торфа (45–95 %) с добавлением каолиновой глины (50–10 %) [5].

Предложена подстилка для птицы, представляющая собой насыпной ковер, в состав которого входят термомодифицированные опилки (60–80 %), верховой торф (10–20) и мука цеолитовая (10–30 %) [6]. Применяемая в подстилке цеолитовая мука имеет пористую структуру, хорошо адсорбирует влагу и запахи и используется как адсорбент органоминерального комплекса, содержащегося в помете. При этом при утилизации использованной подстилки в качестве удобрения цеолит «держит» в себе компоненты удобрения, благодаря чему они усваиваются растениями постепенно в течение всего вегетационного периода.

Патентуется подстилочный материал для цыплят-бройлеров или кур-несушек, содержащий верховой торф средней степени разложения – 30 %, соломенную резку – 45, глауконит – 15, доломитовую муку – 10 % [7]. Минерал глауконит снижает концентрацию аммиака, микотоксинов и других токсичных компонентов, образующихся в организме животных при пищеварении, а также обогащает кальцием, железом и микроэлементами подстилку, которая затем используется в качестве удобрения. Доломитовая мука, богатая магнием, дополняет и частично заменяет в составе подстилки глауконит.

Анализ патентной литературы показал, что наибольшее применение в качестве компонентов гигиенических сорбционных материалов нашли кремнийсодержащие и карбонатные природные минералы, такие как бентонит, вермикулит, доломит, мел.

Использование глинистых минералов белорусских месторождений различного состава для создания композиций на основе торфа с целью получения полифункциональных сорбционных материалов предопределяется сорбционными свойствами самой минеральной составляющей, возможностью направленного влияния на структурные характеристики композиций (повышение прочности, снижение пылеобразования), а также биосферной совместимостью.

Цель работы – получить композиционные материалы на основе торфа и минеральных составляющих и исследовать их сорбционные свойства.

Материалы и методы исследования. Объектами исследования стали композиционные материалы, полученные на основе пушицевого торфа ($R = 35\text{--}40\%$) торфяного месторождения «Туршовка – Чертово» и минеральных добавок. В качестве добавок использованы достаточно распространенные минералы: карбонатсодержащий минерал трепел, в состав которого входят оксиды кремния, алюминия и кальция (месторождение «Стальное», Могилёвская область); доломитовая мука ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$ – сложный карбонат кальция и магния, ГОСТ 14050-93); мел (ТУ ВУ 590118065.033-2017) «Красносельское месторождение» Гродненской области.

Определение влажности и зольности образцов проводили по СТБ 2042-2010, насыпную плотность в рабочем состоянии (т. е. с имеющейся влагой) определяли по ГОСТ Р55955-2024. Прочность на истирание оценивали методом, изложенным в ГОСТ 16188-70. Суммарный объем пор по воде (размер пор – $(0,5\text{--}10,0) \cdot 10^4$ нм) – по ГОСТ 17219-71. Водопоглощение определяли весовым методом, для чего исследуемый образец, помещенный в специальный стаканчик с сетчатым дном, погружали в сосуд с водой на 48 ч. После его насыщения определяли количество поглощенной воды. Значение водопоглощения определяли по формуле

$$B = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100, \%,$$

где m – масса образца до намокания, г; m_1 – масса образца после намокания, г.

Оценку величины сорбции аммиака и воды проводили эксикаторным методом. Чашки Петри с навеской исследуемого образца 10,0 г помещали в эксикаторы, содержащие 100 мл водного раствора

аммиака (25 %) или такое же количество дистиллированной воды. Через определенное время чашки Петри извлекали и взвешивали с точностью до четвертого знака. По результатам взвешиваний рассчитывали количество водного раствора аммиака или воды, поглощенных из парогазовой фазы 1 г сорбента. Количество поглощенного аммиака оценивали по разности между привесом водного раствора аммиака и воды. Длительность эксперимента составила 7–8 сут.

Результаты и их обсуждение. В табл. 1 представлены данные по оценке водопоглощения и сорбционных свойств по отношению к аммиаку минеральных компонентов (мел, доломит, трепел). Анализ полученных данных показал, что водопоглощение и поглощение аммиака резко отличаются. Наибольшим водопоглощением (216,8 %) и наименьшей сорбционной активностью по отношению к аммиаку (0,4 мг/г) характеризуется мел. У трепела сорбция аммиака в 85 раз выше, чем у мела и в 12,6 раза выше, чем у доломита. Наименьшее водопоглощение отмечено у доломита (60,1 %). Можно предположить, что такое различие водно-физических и сорбционных свойств минеральных добавок будет оказывать неоднозначное влияние на свойства получаемых композитов.

Таблица 1. Сорбционные свойства минеральных компонентов

Table 1. Sorption properties of mineral components

Компонент	Водопоглощение, %	Поглощение аммиака, мг/г	Компонент	Водопоглощение, %	Поглощение аммиака, мг/г
Мел	216,8	0,4	Трепел	133,3	34,1
Доломит	60,1	2,7	–	–	–

Исследование кинетики сорбции аммиака минеральными компонентами показало (рис. 1), что скорость его поглощения существенно уменьшается после 96 ч экспозиции.

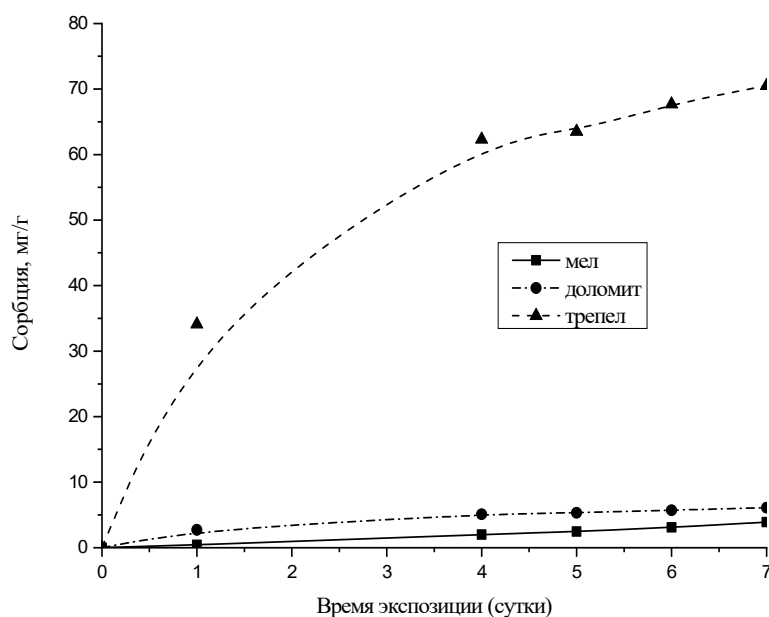


Рис. 1. Кинетика сорбции аммиака минеральными компонентами

Fig. 1. Kinetics of ammonia sorption by mineral components

Методом экструзии получены композиционные сорбционные материалы на основе пушицевого торфа и представленных выше карбонатсодержащих минералов с содержанием последних 25 и 50 %.

Увеличение количества минеральных добавок повышает насыпную плотность сорбентов на 11,4–42,0 % в зависимости от вида введенного минерала, причем количество не оказывает существенного влияния на данный показатель (табл. 2).

Водопоглощение композитов по сравнению с гранулированным торфом снижается на 12,0–38,0 % в зависимости от типа и количества введенной добавки.

Объем пор по воде у композитов снижается от 4,9 до 28,7 % в зависимости от количества и вида добавки по сравнению с объемом пор по воде гранулированного торфа. Необходимо также отметить, что количество введенного трепела не влияет на объем пор по воде.

Таблица 2. Физико-химические и сорбционные свойства лабораторных образцов торфоминеральных сорбционных материалов**Table 2. Physicochemical and sorption properties of laboratory samples of peat-mineral sorption materials**

Показатель	Добавка						
	Без добавки	Мел		Доломитовая мука		Трепел	
Концентрация, %	0	25	50	25	50	25	50
Влажность, %	16,4	15,3	17,0	20,2	13,4	14,8	16,2
Зольность, %	2,2	20,9	35,9	16,1	26,5	11,8	25,8
Насыпная плотность, г/см ³	376	419	427	534	534	468	458
Прочность на истирание, %	80,5	87,6	83,0	96,1	83,2	93,7	89,0
Водопоглощение, %	164,0	143,6	102,5	143,9	118,1	127,2	141,9
Объем пор по воде, см ³ /г	1,01	0,88	0,80	0,96	0,72	0,89	0,89
Поглощение аммиака, мг/г	130,3	92,9	36,1	54,6	45,8	75,8	54,5

Как следует из данных табл. 2, поглощение аммиака композиционными материалами уменьшается. Снижение количества поглощенного аммиака композитами, содержащими мел по сравнению с гранулированным торфом составляет 28,7–72,3 %; доломитовую муку – 58,2–64,8; трепел – 41,8–75,8 %. Необходимо также отметить, что добавка в композицию карбоната кальция (мела) в количестве 25 % в меньшей степени влияет на количество поглощенного аммиака по сравнению с такой же добавкой доломитовой муки и трепела – в 2,0–1,5 раза. Увеличение количества вводимой добавки до 50 % примерно одинаково влияет на сорбцию аммиака композитами.

Введение доломитовой муки и трепела в количестве 25 % увеличивает прочность на истирание композитов на 19,4 и 16,4 % соответственно по сравнению с гранулами на основе торфа, 50%-ная добавка увеличивает прочность незначительно. Введение мела в количестве 25 и 50 % увеличивает прочность композитов на 8,8 и 3,1 % соответственно.

Карбонатсодержащие добавки образованы слабыми основаниями и кислотами, а следовательно, реакция среды этих соединений близка к нейтральной. В процессе введения данных карбонатсодержащих добавок они не приводят в целом к существенному изменению кислотно-щелочного баланса бинарной системы, а следовательно, к перестройке системы водородных связей матрицы. Учитывая, что константы диссоциации карбоксильных групп гуминовых кислот торфа ($10^{-3} \dots 10^{-5}$) несколько выше констант диссоциации угольной кислоты ($10^{-4} \dots 10^{-7}$), в контактных зонах «органическое вещество торфа – минеральный наполнитель» возможно протекание ионообменных реакций по схеме



Увеличение содержания ионов кальция в торфе стабилизирует развитие межагрегатных связей. В этом случае проявляется взаимодействие между компактными агрегатами и продуктами разрушения структур первого рода через функциональные группы посредством ионов Ca^{2+} . Развитию межагрегатных связей способствует также понижение плотности агрегатов, вызванное увеличением электростатического отталкивания звеньев макромолекул гуминовых веществ вследствие превышения числа основных ионогенных групп над кислотными. Вследствие того, что в верховых малозольных торфах степень ионизации ионообменных центров по сравнению с низинными невысока, в присутствии карбонатсодержащих минералов процессы структурообразования будут протекать в них более интенсивно. Это заключение экспериментально подтверждается повышением прочности для композиционных материалов, полученных на основе верхового торфа с добавками карбонатсодержащих минералов.

Кинетика поглощения аммиака и паров воды композитов и гранул исходного торфа, которые изучали эксикаторным способом в течение 7 сут. (168 ч), представлена на рис. 2–4.

Установлено, что карбонатсодержащие минеральные добавки в концентрации 25 % в большинстве случаев снижают сорбционные характеристики композиционных материалов на основе торфа. Однако увеличение концентрации минеральных добавок по-разному влияет на способность композиционных материалов поглощать аммиак и воду. Во всех случаях наиболее интенсивно аммиак сорбируется в течение первых трех суток, затем интенсивность поглощения существенно падает.

Увеличение содержания мела с 25 до 50 % практически не влияет на способность торфоминеральной композиции поглощать воду, но снижает сорбционную активность по отношению к аммиаку практически в 3 раза (см. рис. 2).

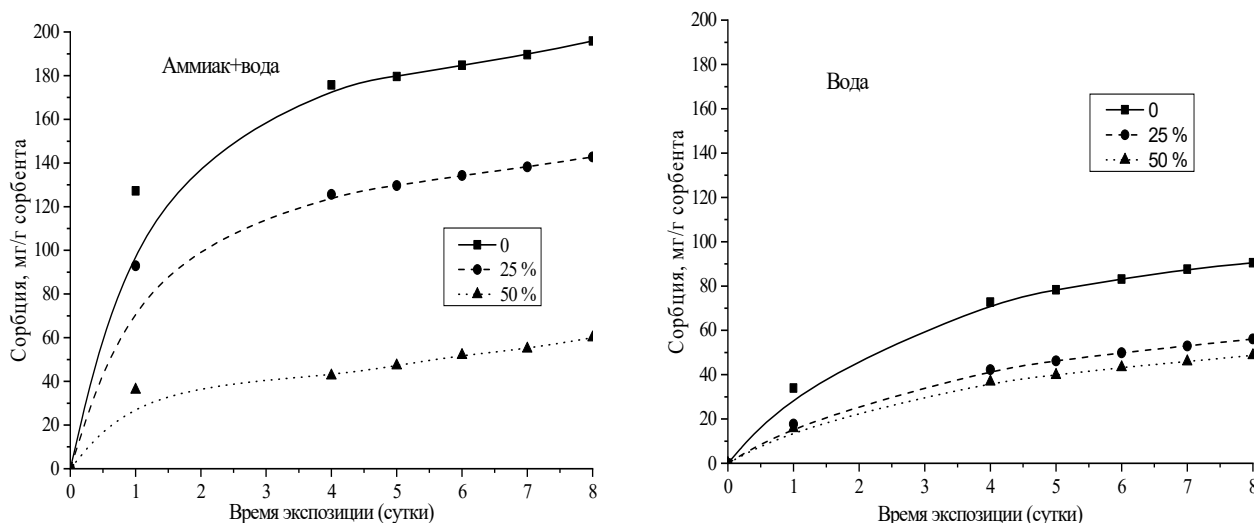


Рис. 2. Кинетика сорбции аммиака и воды в газовой фазе в зависимости от содержания мела в торфоминеральном сорбенте

Fig. 2. Kinetics of ammonia and water sorption in the gas phase depending on the content of chalk in the peat-mineral sorbent

Введение доломитовой муки в концентрации 25 % уменьшает сорбцию аммиака более чем в 3 раза, но на способность поглощать воду существенно не влияет (см. рис. 3). Увеличение концентрации доломита до 50 % не оказывает влияния на способность композитов поглощать аммиак, в то же время способность поглощать воду заметно снижается.

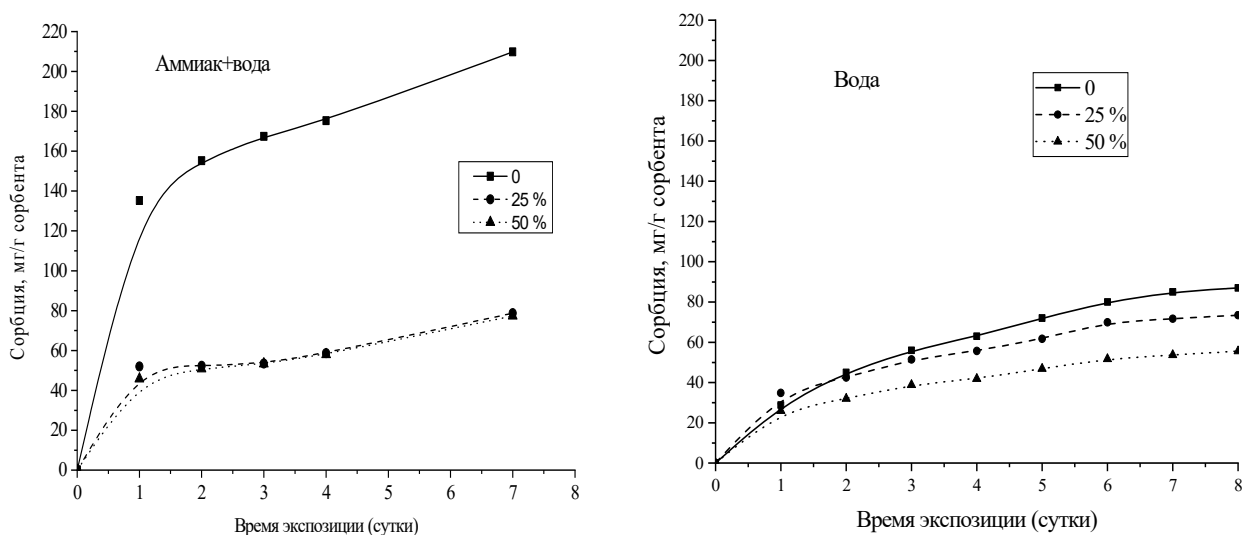


Рис. 3. Кинетика сорбции аммиака и воды в газовой фазе в зависимости от содержания доломитовой муки в торфоминеральном сорбенте

Fig. 3. Kinetics of ammonia and water sorption in the gas phase depending on the content of dolomite flour in a peat-mineral sorbent

Использование трепела как компонента композиционного сорбционного материала в концентрации 25 % приводит к снижению сорбционной активности по аммиаку практически в 2 раза, а увеличение его содержания в композите до 50 % вызывает дальнейшее падение этой характеристики (см. рис. 4). В то же время трепел в концентрации до 50 % не оказывает негативного влияния на способность торфа поглощать воду (см. рис. 4).

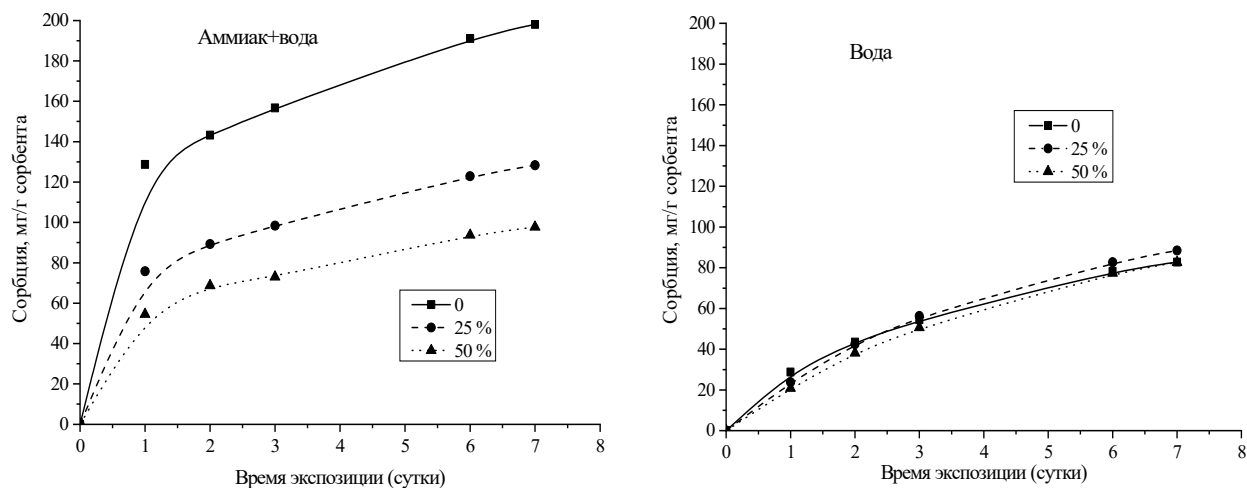


Рис. 4. Кинетика сорбции аммиака и воды в газовой фазе в зависимости от содержания трепела в торфоминеральном сорбенте

Fig. 4. Kinetics of ammonia and water sorption in the gas phase depending on the content of tripoli in the peat mineral sorbent

Представленные на рис. 5 и 6 данные о скорости сорбции аммиака и воды в парогазовой фазе свидетельствуют о замедлении этих процессов с течением времени, однако, если при сорбции воды снижение скорости происходит линейно, за исключением композитов, содержащих 50 % доломита, то изменение скорости сорбции аммиака описывается в основном экспоненциальным уравнением, и ее заметное снижение происходит уже через 1 сут. экспозиции.

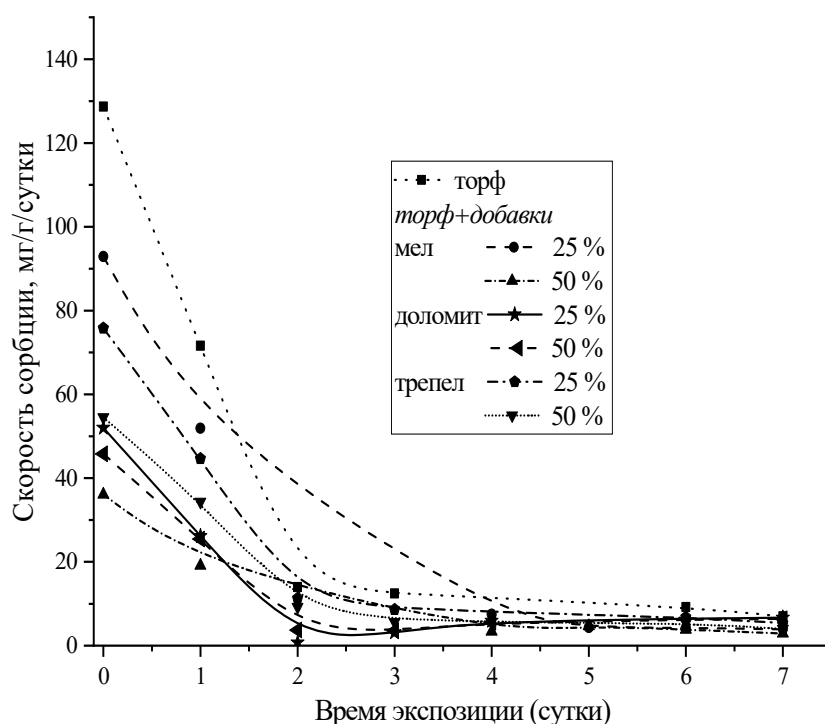


Рис. 5. Скорость сорбции аммиака в газовой фазе композициями торфа с карбонатсодержащими добавками

Fig. 5. The rate of ammonia sorption in the gas phase by peat compositions with carbonate-containing additives

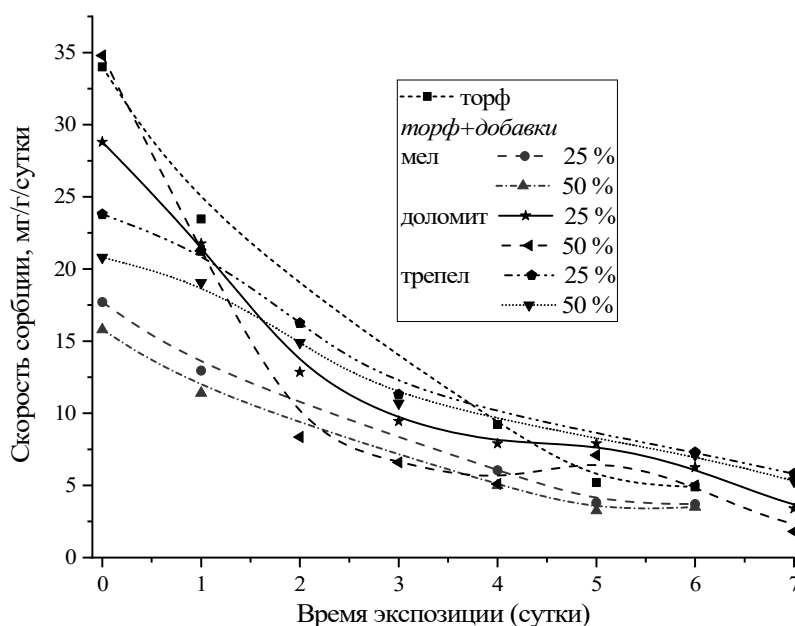


Рис. 6. Скорость сорбции паров воды композициями торфа с карбонатсодержащими добавками

Fig. 6. The rate of water vapor sorption by peat compositions with carbonate-containing additives

Для оптимизации состава композиционного торфоминерального сорбента использованы методы математического планирования эксперимента [8, 9]. Оптимизация выполнена на примере композиции торфа с доломитовой мукой.

В качестве оптимизируемых параметров выбраны следующие эксплуатационные показатели сорбента:

- y_1 – водопоглощение;
- y_2 – прочность на истирание;
- y_3 – поглощение аммиака в течение 24 ч;
- y_4 – суммарный объем пор по воде.

Влияющими факторами, определяющими значения оптимизируемых параметров, являлись концентрация модифицирующей добавки (x_1) и содержание в композиционном материале воды (x_2), характеризующее влажность композита. Концентрация модифицирующей добавки (x_1) находилась в пределах 10–20 %, влажность – в пределах 15–35 %.

С учетом значений критериев Стьюдента и Фишера, определяющих статистически значимые коэффициенты уравнения регрессии для каждого показателя и адекватность выбранной модели, получены следующие уравнения регрессии:

$$y_1 = 120,1 - 23,2x_2,$$

$$y_2 = 87,0 - 2,7x_1 - 6,8x_2,$$

$$y_3 = 94,9 - 2,9x_1 - 17,4x_2,$$

$$y_4 = 1,0 - 0,10x_1 - 0,10x_2.$$

Анализ полученных уравнений позволил установить, что прочность гранул сорбционного материала на истирание и их способность поглощать аммиак обусловлены как содержанием минеральной добавки, так и влажностью гранул, и, судя по коэффициентам регрессии, влажность оказывает более существенное влияние на свойства сорбента, чем содержание минеральной добавки. Влияющим фактором водопоглощения сорбента является только его влажность. Следует подчеркнуть, что отрицательные значения коэффициентов регрессии свидетельствуют о необходимости уменьшения в композиционном сорбенте содержания минеральной добавки (не более 15 %) и влаги (не более 25 %). Известно, что сушка торфа, особенно до воздушно-сухого состояния, является весьма энергозатратным процессом, поэтому в ходе разработки технологии изготовления сорбционного материала необходимо найти компромисс между экономической целесообразностью и качественными характеристиками материала.

Выполненный комплекс исследований по оптимизации состава композиционного сорбционного материала на основе торфа позволил разработать состав торфоминерального сорбента.

Закключение. Изучены водно-физические и сорбционные свойства глинистых карбонатсодержащих минералов Республики Беларусь (мел, доломитовая мука, трепел). Установлено, что мел характеризуется наибольшим водопоглощением и наименьшей сорбционной активностью по отношению к аммиаку. У трепела сорбция аммиака выше, чем у мела и доломита. Наименьшее водопоглощение наблюдается у доломита.

Получены композиционные торфоминеральные сорбенты на основе верхового (пушицевого) торфа и карбонатсодержащих минералов с содержанием минеральной составляющей 25 и 50 %. Изучены физико-технические, водно-физические и сорбционные свойства торфоминеральных сорбентов. Показано, что поглощение аммиака композициями пушицевого торфа с карбонатсодержащими минералами снижается, причем добавка в композицию карбоната кальция (мела) в количестве 25 % в меньшей степени влияет на количество поглощенного аммиака по сравнению с такой же добавкой доломитовой муки и трепела. Увеличение вводимой добавки до 50 % примерно одинаково влияет на сорбцию аммиака композитами. Водопоглощение композитов по сравнению с гранулированным торфом снижается незначительно.

Введение доломитовой муки и трепела в количестве 25 % увеличивает прочность на истирание композитов на 19,4 и 16,4 % соответственно по сравнению с гранулами на основе торфа, 50%-ная добавка увеличивает прочность незначительно. Введение мела в количестве 25 и 50 % увеличивает прочность композитов на 8,8 и 3,1 % соответственно.

Изучена кинетика поглощения аммиака и паров воды торфом и торфоминеральными сорбентами. Установлено, что наиболее интенсивно аммиак поглощается в течение первых двух-трех суток, затем интенсивность поглощения падает. Скорость поглощения паров воды всеми изученными композитами практически не изменяется в течение исследованного промежутка времени и не зависит от вида и количества добавки. Проведена оптимизация состава и разработана рецептура торфоминерального сорбента.

Список использованных источников

1. Подстилка, содержащая неорганический материал : пат. FR 2518897A1 / Поль Менард. – Оpubл. 29.03.1985.
2. Запахопоглощающие материалы и способы их получения и применения : пат. US 9339005B2 / Лин Ван, Томас Визнер, Дэвид Фримен. – Оpubл. 17.05.2016.
3. Подстилка для животных : пат. US 4607594A / Крэйг Э. Такер. – Оpubл. 26.08.1986.
4. Поглотитель газов : пат. RU 2123879 C1 / А. А. Скорохватов, Т. К. Хван, В. Б. Некрасова, Л. А. Гришкова. – Оpubл. 27.12.1998.
5. Подстилка для животных : пат. RU 2000128921 / А. Е. Афанасьев, О. С. Мисников, Д. В. Иванов. – Оpubл. 20.11.2002.
6. Адсорбционная подстилка для птицы (варианты) : пат. RU 2445770 / В. С. Канталинский, Л. В. Канталинский, Ю. И. Лебедева, И. Л. Пшеничко, С. В. Пospelov. – Оpubл. 27.03.2012.
7. Подстилочный материал для цыплят-бройлеров или кур-несушек : пат. BY 20835 / А. Р. Колин. – Оpubл. 28.02.2017.
8. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М., 1976. – 280 с.
9. Шеффе, Г. Дисперсионный анализ ; пер. с англ. под ред. Б. А. Севастьянова, В. П. Чистякова. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1980. – 512 с.

References

1. Paul Ménard. *Podstilka, sodержashchaya neorganicheskij material* [Litter containing inorganic material]. Patent FR, no. 2518897, 1985. (in Russian)
2. Lin Van, Tomas Vizner, Devid Frimen. *Zapakhopogloshhayushhie materialy i sposoby ikh polucheniya i primeneniya* [Odor-absorbing materials and methods of their production and application]. Patent USA, no. 9339005B2, 2016. (in Russian)
3. Krejg E. Taker. *Podstilka dlya zhivotnykh* [Animal bedding]. Patent USA, no. 4607594A, 1986. (in Russian)
4. Skorohvatov A. A., Khvan T. K., Nekrasova V. B., Grishkova L. A.. *Poglotitel' gazov* [Gas absorber]. Patent RF, no. 2123879, 1998. (in Russian)
5. Afanas'ev A. E., Misnikov O. S., Ivanov D. V. *Podstilka dlya zhivotnykh* [Animal bedding]. Patent RF, no. 2000128921, 2002. (in Russian)
6. Kantalinsky V. S., Kantalinsky L. V., Lebedeva Yu. I., Pshenichko I. L., Pospelov S. V. *Adsorbzionnaya podstilka dlya pticy (varianty)* [Adsorption litter for poultry (options)]. Patent RF, no. 2445770, 2012. (in Russian)

7. Kolin A. R. *Podstilochnyj material dlya czyplyat-brojlerov ili kur-nesushek* [Litter material for broiler chickens or laying hens]. Patent BY, no. 20835, 2017. (in Russian)
8. Adler Yu. P., Markova E. V., Granovskiy Yu. V. *Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimalnykh usloviy* [Planning an experiment when searching for optimal conditions]. Moscow, 1976, 280 p. (in Russian)
9. Sheffe. G. *Dispersionnyy analiz* [Analysis of variance]. Engl. transl. ed. by B. A. Sevastianova, V. P. Chistyakova. Moscow, 1980, 512 p. (in Russian)

Информация об авторах

Томсон Алексей Эммануилович – кандидат химических наук, доцент, заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией экотехнологий, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: altom@nature-nas.by

Царюк Татьяна Яковлевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: tsariuk9@mail.ru

Соколова Тамара Владимировна – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: tomsok49@tut.by

Пехтерева Виктория Станиславовна – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: pehvik@yandex.ru

Марзан Анастасия Сергеевна – младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: marr_29@mail.ru

Information about the authors

Alexey E. Tomson – Ph. D. (Chemistry), Assistant Professor, Deputy Director, Head of Lab. of Ecotechnology, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: altom@nature-nas.by

Tatiana Ya. Tsaryuk – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: tsariuk9@mail.ru

Tamara V. Sokolova – Ph. D. (Technical), Assistant Professor Senior Researcher Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: tomsok49@tut.by

Victoriya S. Pehtereva – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: pehvik@yandex.ru

Anastasiya S. Marzan – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: marr_29@mail.ru