

УДК 661.526.067.9:665.76

Ю. А. Новосад¹, М. В. Логис¹, Л. С. Ещенко², А. В. Алексеева²¹ОАО «Гродно Азот»²Белорусский государственный технологический университет**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ
КАРБАМИД-АММОНИЙНОЙ СМЕСИ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

Рассмотрены методы очистки азотных удобрений карбамид-аммонийной смеси (КАС) в жидкой фазе от нефтяных масел. Отмечено, что в растворах карбамида, аммонийной селитры, безводного жидкого аммиака на стадиях технологического процесса их получения происходит накопление нефтяных масел, которые снижают качество продукции, создают пожаро-взрывоопасную ситуацию, уменьшают активность органического ингибитора коррозии. Охарактеризованы известные методы очистки азотных удобрений в жидкой фазе от нефтяных масел, которые до настоящего времени не нашли промышленного применения. На современном этапе для очистки растворов азотных удобрений от масла ввиду его невысокой концентрации и условий производства, свойств среды (возможность кристаллизации) наиболее оптимальным способом может быть сорбция или экстракция масла непосредственно из раствора. Представлены результаты исследования процесса очистки раствора карбамид-аммонийной смеси, получаемой на ОАО «Гродно Азот», с использованием сорбентов, предназначенных для поглощения и фиксации нефтепродуктов (OL-EX 82, СОНЕТ-СОРБ, ЭКОЛАН), материала «Мелтблун» марки А и кремнийорганической жидкости ПМС-20 для экстракции масла. Определена степень очистки растворов КАС, а также степень поглощения ингибитора в присутствии указанных материалов. Отмечено, что максимально возможная степень очистки от масла всех исследованных растворов не превышает 88% и характерна для сорбента OL-EX 82 и кремнийорганической жидкости. Показано, что поглощение ингибитора наблюдается при высоком содержании масла (выше 100 мг/дм³) в растворе КАС.

Ключевые слова: степень очистки от нефтепродуктов, карбамид-аммонийная смесь (КАС), сорбенты, ингибитор коррозии, экстракция, кремнийорганическая жидкость.

Для цитирования: Новосад Ю. А., Логис М. В., Ещенко Л. С., Алексеева А. В. Исследование методов очистки водных растворов карбамид-аммонийной смеси от нефтепродуктов // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 1 (277). С. 96–102.

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-277-13.

Yu. A. Novosad¹, M. V. Logis¹, L. S. Eshchenko², A. V. Alekseeva²¹JSC “Grodno Azot”²Belarusian state technological university**STUDY OF PURIFICATION METHODS OF AQUEOUS SOLUTIONS
OF UREA-AMMONIUM MIXTURE FROM OIL PRODUCTS**

Methods of purification of nitrogen fertilizers in liquid phase from oil products are discussed. It is noted that during the production stages of urea, ammonium nitrate, and anhydrous liquid ammonia solutions, petroleum oils are accumulating. These oils can reduce product quality, create a fire and explosion hazard, and decrease the effectiveness of organic corrosion inhibitors. The known methods of purification of nitrogen fertilizers in the liquid phase from petroleum oils, which are currently not used in industry, are characterized. At the present stage for purification of nitrogen fertilizer solutions from oil, due to its low concentration and production conditions, properties of the medium (possibility of crystallization), and the most optimal method may be sorption or extraction of oil directly from the solution. The results of the research of the process of purification of urea-ammonium aqueous mixture produced in the JSC “Grodno Azot” with the use of a of sorbents, using designed to absorb and fix petroleum products (OL-EX 82, SONENT-SORB, ECOLAN) “Meltblown” material grade A and organosilicon liquid PMS-20 for oil extraction are presented. The degree of purification of UAN solutions as well as the degree of inhibitor absorption in the presence of these materials was determined. It is noted that the maximum achievable degree of purification from oil in all investigated solutions does not exceed 88% and is characteristic of the sorbent and organosilicon liquid. It is noted that the sorption of inhibitor is observed at high content (above 100 mg/dm³) in UAN solution.

Keywords: degree of purification from oil products, urea ammonium nitrate mixture (UAN), sorbents, corrosion inhibitor, extraction, organosilicon liquid.

For citation: Novosad Yu. A., Logis M. V., Eshenko L. S., Alekseeva A.V. Study of purification methods of aqueous solution of urea-ammonium mixture from oil products. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geology*, 2024, no. 1 (277), pp. 96–102 (In Russian). DOI: 10.52065/2520-2669-2024-277-13.

Введение. При производстве минеральных удобрений, в частности азотных, происходит загрязнение нефтепродуктами (маслами), которые используются для смазки насосов и компрессоров, обслуживающих всю технологическую цепочку получения продукта. Производство азотных удобрений различной формы осуществляется через образование водного раствора, плава (карбамид, аммонийная селитра), конденсата (безводный жидкий аммиак). При этом происходит накапливание примеси нефтяных масел на различных стадиях технологического процесса, что отрицательно влияет на качество выпускаемой продукции. Так, при концентрациях масла в растворе карбамида на уровне 20 мг/м^3 твердый гранулированный карбамид становится слегка окрашенным (допускается ГОСТ 2081–2010). При более высоких концентрациях масла в растворе карбамида твердый продукт имеет ярко выраженный желтый цвет, что не соответствует ГОСТу. Повышенное содержание масла в твердых либо жидких удобрениях, кроме потери товарных качеств, приводит и к загрязнению окружающей среды. Кроме того, присутствующие примеси нефтяных масел на поверхности раствора, плава удобрений или в кристаллическом продукте создают пожаровзрывоопасную ситуацию (особенно, если в состав удобрений входит аммонийная селитра). Известно, что жидкие азотные удобрения в виде водных растворов карбамида и аммонийной селитры содержат небольшие добавки ингибитора коррозии, который может взаимодействовать с нефтяным маслом и снижать активность.

В литературе [1–7] широко описаны методы и материалы, рекомендуемые для очистки сточных вод и металлических поверхностей от нефтяных продуктов. Так, компания Biomicrogel [7] описывает метод очистки сточных вод от нефтепродуктов, согласно которому при высоком содержании масла в сточных водах на первом этапе предлагается проводить отстаивание. Очищаемую жидкость подают в резервуар – отстойник или нефтеловушку, в котором она расслаивается: нефтепродукты всплывают на поверхность, а под ними остается относительно чистая вода. Для более мелких частиц нефтепродуктов предлагается проводить коагуляцию и флокуляцию. Метод сорбции используют, если нужно соблюдать жесткие требования к стокам для их сброса в водный объект. В других работах предлагаются различные сорбенты, с помощью которых достигается необходимый результат.

Проблема очистки азотных удобрений в жидкой фазе от нефтяных масел до настоящего времени практически не решена. Известные способы очистки [8–9] основаны на отстаивании растворов либо на отстаивании с последующей фильтрацией, однако эти способы имеют ряд недостатков для промышленного применения. Описан способ очистки удобрений в жидкой фазе от нефтяных масел способом пропускания их через колонну, заполненную активированным углем, но при этом степень очистки не превышает 30–70% [10]. По одному из вариантов аналитического контроля примесей нефтяных масел их извлекают из водного раствора аммонийной селитры экстракцией четыреххлористым углеродом или, согласно [11], бензином из растворов азотной кислоты. Однако эти способы для промышленного производства азотных удобрений не применяются. Авторы [12] разработали способ очистки азотных удобрений в жидкой фазе от нефтяных масел путем их экстракции кремнийорганической жидкостью, не смешивающейся с раствором и представляющей собой органосилоксановые олигомеры линейной или разветвленной структуры. Отмечено, что плотность данной жидкости на 100 кг/м^3 отличается от плотности жидкой фазы удобрений. Согласно изобретению [12], экстракция выполняется при хранении жидкого удобрения в присутствии кремнийорганической жидкости, при этом осуществляют периодическую рециркуляцию части удобрений или кремнийорганической жидкости с отбором рециркулянта из нижней части хранилища и его подачей в его верхнюю часть.

Поскольку нефтепродукты плохо растворимы в водных растворах, то смесь жидких азотных удобрений и масла представляет собой эмульсию. При отстаивании такой смеси в емкостях масло всплывает на поверхность с образованием пленки. По регламентным нормам содержание масла не должно превышать 45 мг/дм^3 . Так, на ОАО «Гродно Азот» содержание масла в растворе карбамида находится на уровне 20 мг/дм^3 . Однако при производстве 1000 т/сут раствора карбамида в пересчете на азот (100%) 20 кг масла будет попадать в почву с твердым карбамидом или жидким удобрением КАС, что приводит к загрязнению почвы и окружающей среды.

Цель данной работы – исследование методов и условий очистки растворов карбамид-аммонийной смеси (КАС) от нефтепродуктов.

Основная часть. В качестве объекта исследования использовали раствор КАС, получаемый

в цехе азотной кислоты и карбамид-аммонийной смеси (АКиКАС) ОАО «Гродно Азот». КАС выпускается согласно ТУ РБ 500036524.054-2004 и предназначена для использования в качестве азотного удобрения, а также сырья для изготовления плит МДФ и ДСП. Массовое соотношение между карбамидом и аммонийной селитрой соответствует $0,78 \pm 0,05 : 1$, суммарная массовая доля азота 31,5–32,5%, щелочность раствора в пересчете на свободный аммиак 0,01–0,50%.

Очистку проводили следующим образом: отстаиваем маслом в растворе, сорбцией на сорбентах OL-EX 82 (полиуретановый гидрофобный), СОНЕТ-СОРБ (на основе торфа), ЭКОЛАН (продукт пиролиза древесины), нетканый материал «Мелтблун» марки А, производимых в Российской Федерации и Республике Беларусь, а также экстракцией масла кремнийорганической жидкостью ПМС-20 (полиметилсилаксановая жидкость). Содержание масла в растворе до и после очистки определяли его экстракцией из раствора КАС циклогексаном с последующим определением оптической плотности относительно чистого циклогексана. Определение градуировочного коэффициента проводили следующим образом: навеску (≈ 100 мг) масла (КС-19), которое используют для смазки насосов и компрессоров, взвешивали в стаканчике с точностью до 4-го знака, которое смывали циклогексаном в колбу на 1000 см^3 , доводили циклогексаном до метки и перемешивали. Полученный раствор помещали в кювету спектрофотометра с толщиной поглощающего свет слоя 10 мм и измеряли оптическую плотность по отношению к растворителю при $\lambda = 259$ нм. Градуировочный коэффициент вычисляли по формуле

$$K = \frac{D}{x}, \quad (1)$$

где D – оптическая плотность; x – концентрация масла в растворе, $\text{мг}/\text{см}^3$.

Массовую концентрацию масла C , $\text{мг}/\text{дм}^3$, в исследуемых растворах КАС вычисляли по формуле

$$C = \frac{D \cdot V_p}{K \cdot V}, \quad (2)$$

где D – оптическая плотность; V_p – объем циклогексана, взятого для экстракции, см^3 ; K – градуировочный коэффициент; V – объем раствора, взятого на анализ, см^3 .

При исследовании степени очистки раствора КАС-32 в присутствии кремнийорганической жидкости марки ПМС-20 в исследуемый раствор добавляли масло в таком количестве, чтобы его концентрация была в диапазоне от 4 до $70 \text{ мг}/\text{дм}^3$, раствор перемешивали в течение 5 мин и отстаивали. Анализ на содержание масла проводили

через 20 и 200 мин. Затем к этому раствору добавляли кремнийорганическую жидкость, массовая доля которой составляла 0,001; 0,01; 0,75 и 0,5. Растворы в течение 5 мин перемешивали и через 20 и 200 мин отбирали пробы на анализ масла, также определяли содержание ингибитора коррозии до и после очистки раствора по известной методике [13].

В табл. 1 приведены экспериментальные данные по очистке жидкого азотного удобрения от масла с применением кремнийорганической жидкости.

Из представленных результатов эксперимента видно, что добавление в раствор КАС-32, содержащий $31,4 \text{ мг}/\text{дм}^3$ масла, кремнийорганической жидкости позволяет через 20 мин отстаивания получить степень очистки, равную 61%, а через 200 мин отстаивания достичь 82%. Характерно, что данные показатели получены только при массовой доле кремнийорганической жидкости в растворе, равной 75%. При уменьшении или увеличении содержания жидкости степень очистки значительно ниже, и может не превышать 5%. Следует отметить, что степень очистки раствора КАС после отстаивания в течение 20 мин выше, чем в присутствии жидкости с массовой долей 0,001%. Положительным результатом экстракции масла жидкостью ПМС-20 является сохранение в растворе КАС ингибитора коррозии (табл. 1).

Поскольку, согласно литературным данным, для очистки сточных вод от нефтепродуктов широко используют метод сорбции, то следующим этапом работы явилось применение различных видов сорбентов для очистки КАС от масла. В этом случае в емкости с раствором КАС было добавлено масло ($4\text{--}70 \text{ мг}/\text{дм}^3$), образующее явную видимую пленку на поверхности. В приготовленные растворы помещали сорбенты OL-EX 82, СОНЕТ-СОРБ, ЭКОЛАН, нетканый материал «Мелтблун» в количестве, необходимом для полного покрытия поверхности раствора. В табл. 2 представлены результаты визуальной оценки процесса сорбции масла указанными сорбентами.

Как показали результаты визуального контроля, сорбент OL-EX 82 оказался более эффективным по сравнению с другими, поскольку наблюдалось извлечение масла из раствора и отсутствие его окрашивания. С учетом этого были проведены опыты по очистке растворов КАС с различным содержанием масла в присутствии данного сорбента. Опыты проводили в двух режимах: динамическом – при непрерывном перемешивании раствора КАС с маслом и сорбентом и последующим фильтрованием раствора на фильтре из стекла (ПОР 100); в статическом – путем пропускания раствора через сорбент. Экспериментальные данные представлены в табл. 3.

Таблица 1

**Результаты исследования процесса очистки раствора КАС-32 от масла
экстракцией кремнийорганической жидкостью**

Наименование компонента	Массовая доля кремнийорганической жидкости, %	Продолжительность отстаивания, мин	Массовая доля ингибитора коррозии, %		Концентрация масла, мг/дм ³		Степень очистки, %
			до очистки	после очистки	до очистки	после очистки	
Раствор КАС-32	–	20	–	–	31,8	25,2	21,0
		200	–	–	–	18,2	43,0
ПМС-20	0,001	20	–	–	22,4	21,2	5,0
		200	–	–		12,1	46,0
	0,01	20	0,021	0,021	29,4	18,8	36,0
		200	–	–		11,5	61,0
	0,75	20	0,021	0,020	31,4	12,1	61,0
		200	–	–		5,6	82,0
	0,5	20	0,021	0,019	32,2	18,5	43,0
		200	–	–		9,8	70,0

Таблица 2

**Результаты исследования процесса очистки раствора КАС от масла
с использованием сорбентов**

Тип сорбента		
OL-EX 82	СОНЕТ-СОРБ	ЭКОЛАН
Внешний вид сорбента		
Тонкодисперсные волокна светло-желтого цвета. Продукт склонен к комкованию	Порошок темно-коричневого цвета с наличием высокодисперсной фракции	Тонко измельченная древесина коричневого цвета
Внешний вид проб КАС с сорбентами		
На поверхности просматриваются агломераты. После перемешивания тонкодисперсные волокна распределились по всему объему раствора, при отстаивании волокна всплыли на поверхность. Раствор КАС прозрачный, дополнительного окрашивания не произошло. Визуально видно, что происходит окрашивание сорбента за счет поглощения масла. ВЫВОД: сорбент извлекает масло и не влияет на внешний вид жидкого азотного удобрения	Сорбент распределился равномерно как по поверхности раствора, так и по всему объему. На частицах произошла сорбция масла. После длительного отстаивания раствор КАС окрасился в желтый цвет, часть сорбента выпала в осадок. После фильтрования окраска раствора не изменилась. ВЫВОД: сорбент извлекает масло из раствора, но происходит окрашивание раствора КАС и загрязнение высокодисперсной фазой сорбента	Сорбент распределился по поверхности равномерным слоем, происходит сорбция масла из раствора, который постепенно приобретает коричневый цвет. После длительного отстаивания часть сорбента превратилась в осадок, раствор приобрел ярко-коричневый цвет, который остался и после фильтрования. ВЫВОД: сорбент извлекает масло из раствора, но в результате физико-химических превращений в исследуемой системе происходит окрашивание раствора

Из представленных данных следует, что при перемешивании исследуемых растворов КАС с сорбентом достигается более высокая степень очистки, чем в результате пропускания раствора через сорбент. Сорбент не влияет на состав КАС, т. е. соотношение между карбамидом и аммонийной селитрой не изменяется (табл. 3), при концентрации масла в исходном растворе, равной 19,6 мг/дм³, степень очистки значительно ниже, чем при содержании масла 124,6 мг/дм³. При этой концентрации, согласно табл. 3, степень очистки достигает 88% после отстаивания в течение 48 ч. Отмечено, что массовая доля ингибитора в растворе КАС в этом случае снижается (табл. 3).

Для количественной оценки процесса очистки растворов КАС от масла использовали и нетканый материал «Мелтблун» марки А, который производится на ОАО «Светлогорскхимволокно», с различной поверхностной плотностью. Данный материал получают методом экструзии полипропилена и последующего раздува расплавленного полимера горячим воздухом. Волокна материала обладают высокими показателями сорбции. Материал отличается плавучестью (после адсорбции нефтепродуктов не тонет, а остается на поверхности), гидрофобностью (не впитывает воду). Определение сорбционных свойств материала по отношению к маслу проводили

следующим образом: в раствор КАС объемом 100 см³ добавляли масло в количестве 1 см³ для образования видимой пленки на поверхности раствора. Далее в колбу помещали образцы «Мелтблоун» по размеру, равные площади поверхности раствора. Материал (белый матовый) распределялся по поверхности раствора и начал впитывать масло, что было заметно по изменению его внешнего вида. После полного смачивания материала впитывание масла прекращалось. Однако следует отметить, что при извлечении образцов материала из растворов КАС наблюдалось стекание масла. Проведена серия опытов с использованием проб раствора КАС с содержанием масла 22,4 и 34,0 мг/дм³. При указанном содержании масла на поверхности растворов КАС видимой пленки не наблюдалось. Объем растворов КАС на испытании составлял 300 см³. Их очистку осуществляли в присутствии образцов нетканого материала белого цвета с различной поверхностной плотностью, которая состав-

ляла 25, 45, 50, 80 г/м² и размера – (5×5 см). Процесс очистки проводили в динамическом режиме при непрерывном перемешивании в течение 60 мин. В табл. 4 приведена степень очистки растворов КАС в зависимости от плотности образцов нетканого материала «Мелтблоун» и содержания масла в жидком азотном удобрении.

Как следует из представленных в табл. 4 данных, степень очистки всех образцов материала не зависит от концентрации масла и не превышает 43,3%. Заметное влияние на степень очистки наблюдается только при повышении концентрации масла в растворе КАС.

Экспериментальные данные показали, что с увеличением размера образцов нетканого материала «Мелтблоун» в 6 раз (30×30) степень очистки растворов КАС с содержанием масла 25,8 мг/дм³ увеличивается и находится на уровне 80%. Степень поглощения ингибитора, независимо от плотности и размера материала «Мелтблоун», составляет не более 3%.

Таблица 3

Результаты исследования процесса очистки растворов КАС от масла с использованием сорбента OL-EX 82

Наименование показателя	Содержание масла в карбамид-аммонийной смеси (КАС), мг/дм ³				
	19,6		124,6		
	после перемешивания с сорбентом	после фильтрования через сорбент	после перемешивания с сорбентом	после фильтрования через сорбент	после отстаивания с сорбентом в течение 48 ч
Степень очистки, %	32,1	0	69,4	37,4	88,2
Массовая доля аммонийной селитры, %	45,54	45,39	45,54	45,37	45,54
Массовая доля карбамида, %	35,3	35,52	35,3	35,2	35,3
Массовое соотношение между карбамидом и селитрой, %	0,775	0,778	0,775	0,776	0,775
Массовая доля ингибитора коррозии Novo Cor, %	–	–	0,0096	0,01	0,0073
Степень поглощения ингибитора, %	–	–	19,3	16,0	38,6

Таблица 4

Результаты исследования процесса очистки растворов КАС с использованием нетканого материала «Мелтблоун» марки А

Наименование показателя	Содержание масла в карбамид-аммонийной смеси (КАС), мг/дм ³							
	22,4				34,0			
	Плотность нетканого материала г/м ²							
	25	45	50	80	25	45	50	80
Степень очистки, %	41,5	43,3	14,3	31,7	20,0	23,2	27,6	33,8
Массовая доля ингибитора коррозии Novo Cor, %	147,8	150,1	150,1	156,8	150,1	147,8	149,0	147,8
Степень поглощения ингибитора, %	2,8	1,3	1,3	3,1	0	1,5	0,7	1,5

Заключение. Обобщение и анализ экспериментальных данных, полученных при очистке растворов КАС от нефтепродуктов с использованием сорбентов различного типа, кремнийсодержащей полиметилсилаксановой жидкости, показывает, что во всех исследованных случаях максимальная степень очистки достигает не более 82,0–88,0%. Для создания безопасного и экологически чистого, экономически целесообразного промышленного способа очистки жидких удобрений от органических масел более перспективным, исходя из полученных результатов,

является использование сорбента OL-EX 82. Однако в этом случае существует проблема утилизации отработанных сорбентов с поглощенным маслом. Предложенный способ экстракции кремнийорганической жидкостью может быть реализован в промышленном масштабе, но при этом возрастает себестоимость азотных удобрений в связи с дефицитностью и высокой ценой жидкости. Поэтому на сегодняшний день проблема очистки азотных удобрений является актуальной и требует продолжения исследований в данной области.

Список литературы

1. Доломитовая мука – новый сорбент для очистки нефтезагрязненных сточных вод / А. М. Николаева [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 1 (7). С. 1880–1882.
2. Аль-Камали М. Ф. С. Х., Бойко А. А., Эльшербинини С. М. Э. Композиционные материалы на основе оксида магния для сорбции нефтепродуктов, полученные золь-гель методом // Вестник ГГТУ имени П. О. Сухого. 2023. № 3. С. 15–17.
3. Набаткин А. Н., Хлебников В. Н. Применение сорбентов для ликвидации нефтяных загрязнений // Нефтяное хозяйство. 2000. № 11. С. 61–62.
4. Способы очистки поверхностей от нефтезагрязнений: пат. RU 2500490 / А. Е. Харлов, И. А. Гришчкова, С. М. Левачев, И. С. Левачева. Оpubл. 10.12.2013.
5. Техническое средство для удаления остатков нефти и нефтепродуктов с поверхностей: пат. RU 2101337 / С. В. Половцев, Т. О. Никитина, Т. И. Загорцева, С. А. Керножицкая, Л. Н. Ильина, А. А. Мусакин, Ю. Г. Осипов. Оpubл. 10.01.1996.
6. Способ очистки сточных вод от масел: а. с. SU 567678 / Е. А. Чистякова, М. Д. Белостоцкий. Оpubл. 05.08.1977.
7. Очистка нефтесодержащих сточных вод. URL: <https://biomicrogel.com/ru/blog/ochistka-vody-ot-nefteproduktov> (дата обращения: 20.11.2023).
8. Мельников Б. П., Кудрявцева И. А. Производство мочевины. М.: Химия, 1965. С. 23–24.
9. Кучерявый В. И., Лебедев В. В. Синтез и применение карбамида. М.: Химия, 1970. С. 332–333.
10. Веприкова Е. В., Терещенко Е. А. Особенности очистки воды и нефтепродуктов с использованием нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активных углей // Журнал Сибирского федерального университета. 2010. № 3. С. 285–303.
11. Атрощенко В. И., Каргин С. И. Технология азотной кислоты. Изд. 3, перераб. и доп. М.: Химия, 1970. 439 с.
12. Способ очистки азотных удобрений в жидкой фазе от нефтяных масел: пат. RU 2111936 / А. В. Шафрановский, М. С. Старшинов. Оpubл. 27.05.1998.
13. Методика измерения массовой доли ингибитора коррозии в удобрении жидком азотном КАС: МВИ. МН 2827–2008. Гродно: ОАО «Гродно Азот», 2008. 13 с.

References

1. Nikolaeva M. A., Pimenov A. A., Bykov D. E., Vasiliev A. V. Dolomite flour is a new sorbent for the purification of oil-contaminated wastewater. *Izvestiya Samarskogo naychnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2014, vol. 16, no. 1 (7), pp. 1880–1882 (In Russian).
2. Al-Kamali M. F. S. H., Boyko A. A., Elsherbini S. M. E. Composite materials based on magnesium oxide for sorption of petroleum products obtained by sol-gel method. *Vestnik GGTU imeni P. O. Sukhogo* [Vestnik of P. O. Sukhoi State Technical University], 2023, no. 3, pp. 15–17 (In Russian).
3. Nabatkin A. N., Khlebnikov V. N. Application of sorbents for oil spill response. *Neftyanoye khozyaystvo* [Oil Industry Journal], 2000, no. 11, pp. 61–62 (In Russian).
4. Kharlov A. E., Grishchikova I. A., Levachev S. M., Levacheva I. S. Methods of cleaning surfaces from oil contamination. Patent RU 2500490, 2013 (In Russian).
5. Polovtsev C. V., Nikitina T. O., Zagortseva T. I., Kernozhitskaya S. A., Ilyina L. N., Musakin A. A., Osipov Y. G. Technical means for removal of oil and oil product residues from surfaces. Patent RU 2101337, 1996 (In Russian).

6. Chistyakova E. A., Belostotsky M. D. Method of purifying wastewater from oily substances. С. с. USSR 567678, 1977 (In Russian).

7. Treatment of oily wastewater. Available at: <https://biomicrogel.com/ru/blog/ochistka-vody-ot-nefteproduktov> (accessed 20.11.2023) (In Russian).

8. Mel'nikov B. P., Kudryavtseva I. A. *Proizvodstvo mocheviny* [Urea production]. Moscow, Khimiya Publ., 1965. P. 23–24 (In Russian).

9. Kucheryavy V. I., Lebedev V. V. *Sintez i primeneniye karbamida* [Synthesis and application of urea]. Moscow, Khimiya Publ., 1970. P. 332–333 (In Russian).

10. Veprikova E. V., Tereshchenko E. A. Peculiarity of Water Purifying from Oil Products with Make Use of Oil Sorbents, Filtering Materials and Active Coals. *Zurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta* [Journal of Siberian Federal University], 2010, no. 3, pp. 285–303 (In Russian).

11. Atroshchenko V. I., Kargin S. I. *Tekhnologiya azotnoy kisloty* [Technology of Nitric Acid]. Moscow, Khimiya Publ., 1970. 439 p. (In Russian).

12. Shafranovsky A. V., Starshinov M. S. Method of purification of nitrogen fertilizers in the liquid phase against petroleum oils. Patent RU 2111936, 1998 (In Russian).

13. Method of measurement of the mass fraction of corrosion inhibitor in liquid nitrogen fertilizer UAN: MEE. MS-2827-2008. Grodno, JSC “Grodno Azot” Publ., 2008. 13 p. (In Russian).

Информация об авторах

Новосад Юрий Александрович – начальник цеха Карбамид-2. ОАО «Гродно Азот» (230013, г. Гродно, пр. Космонавтов, 100, Республика Беларусь). E-mail: novosad@azot.com.by

Логис Марина Валерьевна – начальник СНПЦЗЛ. ОАО «Гродно Азот» (230013, г. Гродно, пр. Космонавтов, 100, Республика Беларусь). E-mail: mlogis@azot.com.by

Ещенко Людмила Семеновна – доктор технических наук, профессор. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: yeshchanko@belstu.by

Алексеева Анастасия Викторовна – студентка Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: anastasia.alekseeva2023@mail.ru

Information about the authors

Novosad Yuri Aleksandrovich – Head of the Urea-2. JSC “Grodno Azot” (100, Cosmonavtov Ave., 230013, Grodno, Republic of Belarus). E-mail: novosad@azot.com.by

Logis Marina Valer'yevna – Head of the SNPCPL. JSC “Grodno Azot” (100, Cosmonavtov Ave., 230013, Grodno, Republic of Belarus). E-mail: mlogis@azot.com.by

Eshchenko Lyudmila Semenovna – DSc (Engineering), Professor. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yeshchanko@belstu.by

Alekseeva Anastasia Viktorovna – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anastasia.alekseeva2023@mail.ru

Поступила 08.01.2024