

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ В РФ

DOI: 10.34828/UdSU.2023.62.58.007

УДК 658.567.1

*М.А. Пашкевич, Д.А. Патокин*

### МИНЕРАЛЬНЫЕ МЕЛИОРАНТЫ НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ, СОДЕРЖАЩИХ АЗОТНОКИСЛЫЕ ЭФИРЫ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

**Аннотация.** Управление отходами в последние годы стало одной из приоритетных задач в рамках экономического развития страны. Утилизация отходов, предполагающая получение из вторичных ресурсов готовых продуктов, занимает важнейшее место в системе обращения с отходами производства и потребления. Подотрасли химической промышленности, аккумулирующие значительные количества нитроцеллюлозосодержащих отходов, становятся возможным источником вторичного сырья для получения мелиорантов на их основе в силу их химического состава. Целью исследования стало получение эффективных и экологически безопасных минеральных мелиорантов на основе нитроцеллюлозосодержащих отходов. Проведён химический анализ отхода методами рентгенофлуоресцентного анализа и ИК-спектроскопии с установлением класса опасности для окружающей природной среды. Выбраны растворы щелочей и кислот для деструкции нитратов целлюлозы в отходе, а также проведена его утилизация. По результатам деструкции получены образцы минеральных мелиорантов с определением их химического состава аналогичными методами и расчётом класса опасности для окружающей природной среды. Опытным путём, на основе расчёта доз внесения мелиорантов и проращивании травосмеси, установлена эффективность их внесения на примере подзолистых почв.

**Ключевые слова:** обращение с отходами, нитраты целлюлозы, нитроцеллюлоза, утилизация, мелиорант, осадок сточных вод, рекультивация.

*Для цитирования:* Пашкевич М.А., Патокин Д.А. Минеральные мелиоранты на основе промышленных отходов, содержащих азотнокислые эфиры целлюлозы // Управление техносферой: электрон. журнал, 2023. Т.6. Вып.3. URL: <https://technosphere-ing.ru> С. 386–402. DOI: 10.34828/UdSU.2023.62.58.007

## **Введение**

Ежегодно в Российской Федерации образуется порядка 7 млрд тонн отходов производства и потребления, при этом утилизации и обезвреживанию подвергается около половины [1]. Система управления отходами при этом становится одной из важнейших отраслей, решающей важные стратегические задачи экономического развития страны.

В этой связи с решением задач по управлению отходами и увеличением значимости экологической повестки возрастает роль использования вторичных ресурсов, как вида отходов, которые могут быть повторно использованы для производства товаров или получения услуг. Такой принцип должен активно реализовываться в рамках перехода к экономике замкнутого цикла, который стартовал в России в 2022 году [2].

Отдельной группой можно обозначить отходы, содержащие азотнокислые эфиры целлюлозы, образующиеся на ряде предприятий химической отрасли промышленности. Рассматриваемые промышленные отходы представляют собой осадки сточных вод, образующиеся и аккумулирующиеся в прудках-отстойниках предприятий по производству нитроцеллюлозосодержащей продукции (лаки и краски, пороха и смесевые твёрдые ракетные топлива) в количествах, составляющих тысячи и сотни тысяч тонн [3, 4].

Ряд авторов, изучающих в последние годы способы переработки и области применения нитроцеллюлозосодержащих шламов, ориентируются на использование рассматриваемых отходов в качестве потенциального сырья для производства минеральных [4] и органо-минеральных удобрений, а также мелиорантов [5]. Это связано с химической природой нитратов целлюлозы (НЦ), которые содержат в себе от 10 до 12 % азота [4]. Однако мнения по

поводу реализации переработки отходов в готовый товарный продукт разнятся и, в целом, разделены на два направления:

1) Компостирование и введение бактериальных и грибковых культур, способных разрушать химические связи в нитратах целлюлозы, используя азот внутри органического соединения [4, 6, 7].

2) Компостирование с предшествующим разрушением связи групп  $O-NO_2$  с молекулами целлюлозы путём омыления (гидролиза) нитроцеллюлозы щелочными растворами [4, 8].

Кроме того, данное направление исследований оправдывается современной тенденцией к получению нетрадиционных мелиорантов на основе отходов различных отраслей экономики [9]. Наиболее успешные шаги при этом проделаны в отраслях коммунального хозяйства [10-12], животноводства [13, 14] и горнодобывающей промышленности [15-17], в которых рассматриваемые отходы могут быть использованы для нужд рекультивации [18], необходимость которой ежегодно возрастает в связи с постоянным увеличением площади нарушенных земель промышленного назначения в последние годы, достигших 450,4 тыс га в 2022 году (по Государственному докладу «О состоянии и использовании земель в РФ в 2021»).

Целью исследования стало получение минеральных мелиорантов из нитроцеллюлозосодержащих шламов химической промышленности.

### **Материалы и методы**

На основании сложного и специфичного состава промышленного отхода в качестве нормативно-технической базы, во-первых, использовались стандарты и методики, применяемые в отрасли спецхимии (для определения параметров, связанных с НЦ), во-вторых, нормативные документы из области анализа промышленных отходов и почв.

1. Отбор проб отхода производился согласно ПНД Ф 12.1:2:2:2:2.3.2-03 в летний сезон 2021 года непосредственно из геотуб. На основе двадцати единичных проб квартованием была составлена объединённая проба шлама-осадка, доставленная в лабораторию научного центра «Экосистема» Санкт-Петербургского горного университета в прозрачной стеклянной таре, где по прибытии согласно ГОСТ В 9196-75 была определена влажность образцов с использованием прибора ускоренной сушки. Влажность отхода в геотубах составила  $(49,0 \pm 0,05)\%$ .

2. Пробоподготовка для проведения последующих исследований проводилась на основании ГОСТ В 9195-75. В начале объединённая проба в количестве, в 1,5-2 раза превышающем необходимое для анализа, была измельчена в фарфоровой ступке, а затем протёрта через сито с диаметром отверстий 2 мм. Непосредственно сушку проводили ускоренным методом на приборе с инфракрасной лампой в течение 10-12 минут. Для исключения воспламенения образца поверх навесок отхода помещалась синяя лакмусовая бумага, индикация которой свидетельствовала о начале термического разложения образца с выходом оксидов азота и необходимости немедленного извлечения образца для исключения его самовозгорания. По завершении сушки по ГОСТ В 9195-75 влажность высушенного отхода, содержащего НЦ, принималась равной 1 %.

3. Определение химического состава осуществлялось с целью выявления содержаний питательных элементов растений (по ГОСТ 20432-83), а также выявления концентраций металлов, в том числе тяжёлых (ТМ), являющихся технологическими добавками при производстве ряда НЦ-содержащей продукции (табл. 1). К ним относятся органические и неорганические соединения Pb, Cu, Sn, Ni, Fe, Ti, Mn, Cs, Co [19].

Определение содержаний азота, углерода и серы проводилось с помощью элементного анализатора, реализующего методы ИК-спектроскопии

для переведённых в оксидные формы углерода и серы, а также метод сравнения теплопроводности газов для азота.

Таблица 1

## Содержание основных компонентов отхода

Компонент шлама-отхода	Содержание	Единицы измерения
Ca	151150,00±1900,00	мг/кг
Fe	6714,00±247,00	
Pb	1761,50±60,00	
Ti	1575,50±258,00	
Cu	570,25±61,00	
Cr	307,90±57,80	
Zn	217,40±11,50	
As	199,00±41,80	
Mn	187,90±34,20	
Sr	110,05±7,80	
Ni	63,25±32,10	
Zr	45,90±8,60	
Mo	24,10±4,90	
C	21,22±1,70	
N	7,29±0,58	
S	0,50±0,04	
Нитроцеллюлоза	18,0±0,09	

Определения содержания элементов-металлов по ГОСТ 33850-2016 было реализовано методом рентгенофлуоресцентного анализа. Содержание нитратов целлюлозы было определено методом ИК-спектроскопии для прессованных таблеток отхода (толщиной 1,0 мм) в области поглощения (1700-

1600)  $\text{см}^{-1}$ . Результаты определения химического состава с учетом параллельных измерений представлены в табл. 1. По результатам данных о химическом составе на основе СП 2.1.7.1386-03 и ПМППР России № 536 от 04.12.2014 г. отход был отнесён к III классу опасности.

4. Для получения минеральных мелиорантов из рассматриваемых осадков сточных вод (шламов) предполагалось разрушение нитратов целлюлозы, а именно, цепочек полимера и химической связи для O-NO<sub>2</sub> групп, растворами кислот или щелочей. При этом для расчета объёмов растворов в уравнениях реакций гидролиза требовалось определение степени полимеризации (СП), иными словами, количества мономерных звеньев в молекуле нитроцеллюлозы. СП была определена через определение динамической вязкости растворов нитроцеллюлозы в ацетоне (по ГОСТ В 5769-75) и далее, через введение характеристической вязкости, по уравнению Марка-Куна-Хаувинка. Для удаления минеральной составляющей (прежде всего песка и кальцита) из раствора полимера проводилось центрифугирование. По результатам определения динамической вязкости растворов рассчитанная СП составила 70.

5. Непосредственная деструкция нитратов целлюлозы проводилась растворами гидроксидов аммония, натрия и калия различных концентраций, а также растворами серной кислоты. Ускорение процессов гидролиза НЦ осуществлялось подогреванием реакционной смеси до 70<sup>0</sup>С (для щелочного гидролиза) и 30<sup>0</sup>С (для кислотного гидролиза) с учетом исключения неконтролируемого разложения нитратов целлюлоз, которое сопровождается её детонацией и взрывом. Полученные образцы отделялись от растворов фильтрованием, для достижения нейтрального водородного показателя среды дополнительно обрабатывались дистиллированной водой. Для удаления летучих соединений мышьяка, присутствующего в отходе, полученные образцы прокаливались при температуре свыше 250<sup>0</sup>С.

6. Химический состав обработанных осадков сточных вод, определяемый аналогично пункту 3, представлен в таблице 2. Для сравнения с нормативными показателями полученные результаты сравнивались с установленными ПДК (ОДК) для почв.

Таблица 2

### Химический состав обработанных осадков сточных вод

Элемент	Валовое содержание элементов, мг/кг									ПДК (ОДК), мг/кг
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6	Образец 7	Образец 8	Образец 9	
<b>Mo</b>	21,7	15,9	-	-	8,1	-	22,1	24,6	26,1	-
<b>Zr</b>	31,7	30,7	40,6	42,4	21,2	24,5	51,8	57,8	38,3	-
<b>Sr</b>	50,6	59,6	204,7	217,4	162,1	125,8	123,8	103,8	113,5	-
<b>Pb</b>	<b>1132,0*</b>	<b>1355,5</b>	<b>3122,0</b>	<b>1992,0</b>	<b>1804,0</b>	<b>1918,5</b>	<b>2049,5</b>	<b>2140,0</b>	<b>2017,0</b>	65,0
<b>Zn</b>	51,8	39,7	<b>197,6</b>	<b>131,5</b>	46,4	42,9	<b>203,2</b>	-	-	110,0
<b>Cu</b>	<b>114,2</b>	<b>102,5</b>	<b>546,1</b>	<b>281,9</b>	<b>227,3</b>	<b>230,2</b>	<b>564,2</b>	37,5	30,5	66,0
<b>Ni</b>	-	-	<b>80,6</b>	<b>42,9</b>	-	<b>54,5</b>	<b>56,1</b>	-	-	40
<b>Fe</b>	2482,0	3586,0	7172,5	5528,0	3312,5	3232,5	6554,0	1048,0	1180,0	-
<b>Mn</b>	-	78,3	264,8	196,5	173,2	209,4	186,6		70,5	-
<b>Ti</b>	854,7	996,0	1834,0	1203,0	969,1	876,3	1620,5	1326,0	1438,0	-
<b>Ca</b>	65900,0	78750,0	191100,0	254300,0	100300,0	96450,0	168900,0	122200,0	121400,0	-
<b>K</b>	-	-	1525,0	-	115550,0	223850,0	-	1420,0	26,1	-
<b>C</b>	128700,0	122200,0	102500,0	130600,0	88400,0	61000,0	225000,0	178500,0	192600,0	-
<b>N</b>	92400,0	111200,0	4800,0	25400,0	14800,0	11500,0	74800,0	36800,0	71700,0	-
<b>S</b>	<b>104400,0</b>	<b>89600,0</b>	50,0	50,0	50,0	50,0	<b>600,0</b>	<b>47300,0</b>	<b>45500,0</b>	160,0

\*Примечание: жирным шрифтом показаны концентрации, превышающие ПДК (ОДК) почв

Анализ таблицы позволяет выявить значительные превышения ПДК (ОДК) ряда тяжёлых металлов (ТМ). Однако в обработанных осадках можно обнаружить и значительные содержания кальция, азота, углерода и серы, в части образцов и калия, что положительно влияет на агрохимические

показатели полученных субстратов с точки зрения насыщенности питательными элементами, необходимыми растениям.

Произведённые расчеты классов опасности полученных составов позволяют отнести их к V классу опасности для окружающей природной среды, что, однако, требует подтверждения биотестированием, планируемым к проведению в дальнейшем.

### Результаты и обсуждение

По полученным данным установлено, что использование обработанных осадков сточных вод ограничивают высокие содержания тяжелых металлов, прежде всего свинца. На основании чего возникает необходимость расчета доз внесения осадков с учетом содержания ТМ. В качестве нормативного документа, регламентирующего добавки осадков сточных вод в качестве удобрений, выбран ГОСТ Р 54651-2011. Нормативный акт классифицирует такие удобрения на две группы (I и II), исходя из их потенциального применения, предъявляя более жесткие требования для удобрений группы I (используются в сельском и личном подсобном хозяйстве) по сравнению со II группой (лесохозяйство, цветоводство, рекультивация) (табл. 3).

Таблица 3

Сравнение обработанных осадков с нормами по ГОСТ Р 54651-2011

Элемент	Валовое содержание элементов, мг/кг, не более		Диапазон валового содержания в образцах, мг/кг	Кратность превышения содержания ТМ в образцах к нормам, ед.	
	группа удобрений I	группа удобрений II		группа удобрений I	группа удобрений II
Pb	130	250	1132,0÷3122,0	8,7-24,0	4,5-12,5
Zn	220	1750	39,7÷203,15	0,2-0,9	0,02-0,1
Cu	132	750	30,5÷564,15	0,2-4,3	0,04-0,8
Ni	80	200	42,9÷80,55	0,5-1,0	0,2-0,4
Cr	90	500	78,3-337,55	0,9-3,8	0,2-0,7



По результатам сравнения диапазонов содержания в образцах ТМ выявлено значительное превышение свинца (по сравнению с другими элементами). Таким образом, расчет дозы внесения проводился по методике, описанной вышеуказанным нормативным документом относительно содержания свинца с учетом применения осадков сточных вод при рекультивации в различных отраслях хозяйства, лесоводстве и цветоводстве (как удобрение II группы). Выполненные расчеты учитывали такую дозировку, которая не способствует аккумуляции поллютанта в биомассе высших зелёных растений.

Возможность практического применения обработанного осадка сточных вод в качестве минерального мелиоранта проводилась для доказательства эффективности полученных субстратов. Для этого обработанные осадки (образцы 1-9) вносились в дозировках, рассчитанных ранее в подготовленную почву подзолистого типа вместе с травосмесью, состоящей из овсяницы луговой (40 %), райграса однолетнего (35 %), райграса пастбищного (20 %) и мятлика лугового (5 %). Стоит учесть, что дозировки мелиоранта пересчитывались на модельную площадь выращивания травосмеси. Подбор травосмеси обусловлен выбором приоритетного использования обработанных осадков, как удобрений группы II. Выбранные культуры растений формируют устойчивый растительный покров. В контрольную (фоновую) модель почвенно-растительного комплекса обработанные осадки (составы) не вносились.

Прорастание моделей почвенно-растительного комплекса проводилось при постоянной температуре (20<sup>0</sup>С) и относительной влажности воздуха (60%) с равномерным поливом. По истечении 14 суток (период экспоненциального роста растений [20]) производился срез биомассы и её взвешивание, далее осуществлялось сравнение с фоновой моделью (табл. 4). Масса наземной части

растений в фоновой модели почвенно-растительного комплекса составила  $(4,6129 \pm 0,0001)$  г.

Таблица 4

## Сравнение биомассы наземной части растений с фоновой моделью

Модель с внесённым составом	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6	Образец 7	Образец 8	Образец 9
Биомасса, г*	4,6247	4,6432	5,8346	5,4968	5,9700	4,6213	5,5536	6,2137	4,6487
Соотношение к фоновой модели, %	100,3	100,7	126,5	119,2	129,4	100,2	120,4	134,7	100,8

\*Примечание: погрешность (неопределённость) измерений  $\pm 0,0001$  г

Оценка эффективности показала, что образцы осадков сточных вод № 1, № 2, № 6 и № 9 практически не изменяют прирост биомассы растений относительно контрольной модели. Тогда как составы № 3, № 4, № 5, № 7 и № 8 увеличивают скорость прироста биомассы, что подтверждает их эффективность.

### Заключение

В результате проведённого исследования обоснована возможность получения минеральных удобрений мелиорантов на основе осадков сточных вод производств нитроцеллюлозосодержащей продукции, которые могут быть использованы при рекультивации выведенных из эксплуатации различных промышленных предприятий. Этому способствуют высокие содержания питательных элементов, прежде всего азота и кальция. Все полученные образцы минерального мелиоранта относятся к V классу опасности для окружающей природной среды, что свидетельствует о его понижении относительно исходного образца отхода. Кроме того, описанная обработка

осадков способствует удалению из отхода мышьяка, как одного из наиболее опасных для окружающей среды элемента.

Дальнейшие направления исследования будут направлены на проведение биотестирования полученных минеральных мелиорантов, чтобы подтвердить их безопасность для окружающей природной среды, а также на доказательство отсутствия биоаккумуляции тяжелых металлов из полученных субстратов в наземные части растений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охрана окружающей среды в России. 2022: Стат. сб./Росстат. М., 2022. 115 с.
2. Хозин В.Г., Цыганова Е.А. Роль строительной индустрии в реализации федерального проекта «Экономика замкнутого цикла» // Эксперт: теория и практика, 2023. № 1 (20). С. 147–159.
3. Забелин Л.В., Гафиятуллин Р.В., Кузьмицкий Г.Э. Защита окружающей среды в производстве порохов и твердых ракетных топлив. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. 174 с.
4. Валишина З.Т., Романова М.А., Гафарова Г.Х. и др. Обезвреживание осадков технологических сточных вод производства нитратов целлюлозы. Сообщение 2. // Вестник технологического университета, 2017. т.20. № 9. С. 140–143.
5. Черенков П.Г., Гладченко М.А., Лифшиц А.Б. и др. Технология аэробной переработки нитроцеллюлозосодержащих осадков сточных вод пороховых производств с получением органо-минеральных почвогрунтов. Вестник технологического университета, 2015. т.18. № 12. С. 51–53.
6. Демаков В.А., Максимов А.Ю., Максимова Ю.Г. и др. Изучение процессов микробного метаболизма органических нитросоединений и разработка эффективного биокатализатора для их биотрансформации и биodeградации // Вестник Пермского федерального исследовательского центра, 2020. № 2. С. 23–35.
7. Саратовских Е.А., Щербакова В.А., Яруллин Р.Н. Деструкция нитрованной целлюлозы грибами *Fusarium solani* // Прикладная биохимия и микробиология, 2018. Т.54, № 1. С. 55–62.

8. Колмаков К.М., Козлов Г.В., Розен А.Е. и др. Химическая утилизация отходов нитратов целлюлозы // Химическая физика, 2017. Т.36, № 8. С. 75–81.
9. Петрова Т.А., Рудзиш Э. Виды мелиорантов для рекультивации техногенно-нарушенных территорий горной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2021. № 4. С. 100–112.
10. The use of soil based on sewage sludge from urban wastewater treatment plants in the greening of urban areas. A.V.Ilinitskiy, V.N.Selmen, E.V.Selmen [et al.]. Theoretical and Applied Ecology, 2022, no. 2, pp. 191–197.
11. Матюхин М.С., Карякина С.Д., Мажайский Ю.А. и др. Опыт утилизации осадка сточных вод // Плодородие, 2018. № 4(103). С. 56–58.
12. Валиев В.С., Иванов Д.В., Шагидуллин Р.Р. Анализ мирового опыта утилизации осадка городских сточных вод // Российский журнал прикладной экологии, 2020. № 4(24). С. 43–51.
13. Комарова Е.В., Слабунова А.В. Современные проблемы применения отходов животноводства в качестве удобрения: анализ правового поля // Экология и водное хозяйство, 2021. Т.3, № 4. С. 27–45.
14. Бондаренко А.М., Качанова Л.С. Экономико-технологическая эффективность процессов рециклинга органических отходов в обеспечении устойчивости аграрного сектора // Московский экономический журнал, 2020. № 8. С. 126–133.
15. Сабитов К.Б., Мухаметов А.А., Хусаинова К.Г. Разработка и применение в полеводстве комплексных минеральных удобрений из отходов содового производства // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2020. № 3(83). С. 18–23.
16. Литвинова Т. Е., Сучков Д. В. Комплексный подход к утилизации техногенных отходов минерально-сырьевого комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2022. № 6-1. С. 331–348.
17. Сафронов В.П., Матыченков В.В., Бочарникова Е.А. и др. Производство почвенных мелиорантов на основе органических отходов промышленности в процессе их утилизации в отвалах угольных карьеров // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле, 2018. № 4. С. 22–32.
18. Петрова Т.А., Рудзиш Э. Рекультивация техногенно-нарушенных земель с применением осадков сточных вод в качестве мелиорантов // Записки Горного института, 2021. Т.251. С. 767–776.

19. Жегров Е.Ф., Милёхин Ю.М., Берковская Е.В. Химия и технология баллистических порохов, твёрдых ракетных и специальных топлив. Т. 2. Технология: Монография. М.: РИЦ МГУП им. Федорова, 2011. 551 с.
20. Петрова Т.А., Рудзиш Э. Метод оценки эффективности мелиорантов при рекультивации нарушенных земель // Вестник евразийской науки, 2021. Т.13. № 6. URL: <https://esj.today/PDF/53NZVN621.pdf>.

Поступила в редакцию 02.04.2023

### ***Сведения об авторах***

*Пашкевич Мария Анатольевна*

Доктор технических наук, профессор кафедры геоэкологии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», 199106, Васильевский остров, 21 линия, д. 2, г. Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: mpash@spmi.ru

*Патокин Дмитрий Александрович*

Аспирант кафедры геоэкологии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», 199106, Васильевский остров, 21 линия, д. 2, г. Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: s225014@stud.spmi.ru

*M.A. Pashkevich, D.A. Patokin*

## MINERAL IMPROVEMENTS BASED ON INDUSTRIAL WASTE CONTAINING NITRIC ETHERS OF CELLULOSE

**Annotation.** Waste management has become one of the priority tasks in the framework of the country's economic development in recent years. Waste recycling, which involves the production of finished products from secondary resources, occupies an important place in the system of production and consumption waste management. Subsectors of the chemical industry, accumulating significant amounts of nitrocellulose-containing waste, become a possible source of secondary raw materials for obtaining ameliorants based on them due to their chemical composition. The aim of the study was to obtain effective and environmentally friendly mineral ameliorants based on nitrocellulose-containing waste. A chemical analysis of the waste was carried out using the methods of X-ray fluorescence analysis and IR spectroscopy with the establishment of a hazard class for the environment. Solutions of alkalis and acids for the destruction of cellulose nitrates in the waste were selected, and its disposal was carried out. Based on the results of destruction, samples of mineral ameliorants were obtained with the determination of their chemical composition by similar methods and the calculation of the hazard class for the environment. Empirically, based on the calculation of the doses of ameliorants and the germination of grass mixtures, the effectiveness of their introduction was established on the example of podzolic soils.

**Keywords:** waste management, cellulose nitrates, nitrocellulose, recycling, ameliorant, sewage sludge, reclamation.

*For citation:* Pashkevich M.A., Patokin D.A. [Mineral ameliorants based on industrial wastes containing cellulose nitrate esters] *Upravlenie tekhnosferoi*, 2023, vol. 6, issue 3. (In Russ.) Available at: <https://technosphere-ing.ru/> pp. 386–402. DOI: 10.34828/UdSU.2023.62.58.007

## REFERENCES

1. *Ohrana okruzhajushhej sredy v Rossii*. [Environmental protection in Russia]. Moscow, Rosstat, 2022. 115 p. (In Russ.).
2. Hozin V.G., Cyganova E.A. *Rol' stroitel'noj industrii v realizacii federal'nogo proekta «Jekonomika zamknutogo cikla»* [Role of the construction industry in the implementation of a federal project «The closed-cycle economy». *Jekspert: teorija i praktika* [Expert: theory and practice], 2023, no.1(20), pp. 147–159. (In Russ.).
3. Zabelin L.V., Gafijatullin R.V., Kuz'mickij G.Je. *Zashhita okruzhajushhej sredy v proizvodstve porohov i tverdyh raketnyh topliv* [Environmental protection in the production of gunpowder and solid rocket fuels]. Moscow, Nedra, 2002, 174 p. (In Russ.).
4. Valishina Z.T. *Obezvrezhivanie osadkov tehnologicheskikh stochnyh vod proizvodstva nitratov celljulozy. Soobshhenie 2*. [Neutralization of precipitation of technological wastewater from

- the production of cellulose nitrates. Message 2.]. *Vestnik tehnologicheskogo universiteta* [Herald of technological university]. 2017, vol. 20, no. 9, pp. 140–143. (In Russ.).
5. Cherenkov P.G. *Tehnologija ajerobnoj pererabotki nitrocelljulozosoderzhashhih osadkov stochnyh vod porohovyh proizvodstv s polucheniem organo-mineral'nyh pochvogruntov* [Technology of aerobic processing of nitro cellulose-containing sewage sludge from powder industries with the production of organo-mineral soils]. *Vestnik tehnologicheskogo universiteta* [Herald of technological university]. 2015, vol. 18, no. 12, pp. 51–53. (In Russ.).
  6. Demakov V.A. *Izuchenie processov mikrobnogo metabolizma organicheskikh nitrosoedinenij i razrabotka jeffektivnogo biokatalizatora dlja ih biotransformacii i biodegradacii* [Study of the processes of microbial metabolism of organic nitro compounds and development of an effective biocatalyst for their biotransformation and biodegradation]. *Vestnik Permskogo federal'nogo issledovatel'skogo centra* [Perm Federal Research Centre UB RAS], 2020, no. 2. pp. 23–35. (In Russ.).
  7. Saratovskih E.A. *Destrukcija nitrovannoju celljulozy gribami Fusarium solani* [Destruction of nitrated cellulose by *Fusarium solani* fungi]. *Prikladnaja biohimija i mikrobiologija* [Applied Biochemistry and Microbiology], 2018, vol.54, no.1, pp. 55–62. (In Russ.).
  8. Kolmakov K.M. *Himicheskaja utilizacija othodov nitratov celljulozy* [Chemical disposal of cellulose nitrate waste]. *Himicheskaja fizika* [Chemical physics], 2017, vol. 36, no. 8, pp. 75–81 (In Russ.).
  9. Petrova T.A., Rudzish Je. *Vidy meliorantov dlja rekul'tivacii tehnogenno narushennyh territorij gornoj promyshlennosti* [Types of soil improvers for reclamation of mining-disturbed lands]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'* [Mining information and analytical bulletin], 2021, no 4, pp. 100–112. (In Russ.).
  10. The use of soil based on sewage sludge from urban wastewater treatment plants in the greening of urban areas. A.V.Ilinskiy, V.N.Selmen, E.V.Selmen [et al.]. *Theoretical and Applied Ecology*, 2022, no. 2, pp. 191–197.
  11. Matjuhin M.S. *Opyt utilizacii osadka stochnyh vod* [Experience in disposal of sewage sludge]. *Plodorodie* [Fertility], 2018, no.4 (103), pp. 56–58. (In Russ.).
  12. Valiev V.S., Ivanov D.V., Shagidullin R.R. *Analiz mirovogo opyta utilizacii osadka gorodskih stochnyh vod* [Analysis of the world experience in the disposal of urban sewage sludge]. *Rossijskij zhurnal prikladnoj jekologii* [Russian Journal of Applied Ecology], 2020, no. 4(24), pp. 43–51. (In Russ.).

13. Komarova E.V., Komarova A.V., Slabunova A.V. *Sovremennye problemy primeneniya othodov zhivotnovodstva v kachestve udobrenija: analiz pravovogo polja* [Modern problems of using animal husbandry waste as fertilizer: analysis of the legal field]. *Jekologija i vodnoe hozjajstvo* [Ecology and water management], 2021, vol.3, no.4, pp. 27–45. (In Russ.).
14. Bondarenko A.M., Kachanova L.S. *Jekonomiko-tehnologicheskaja jeffektivnost' processov reciklinga organicheskikh othodov v obespechenii ustojchivosti agrarnogo sektora* [Economic and technological efficiency of organic waste recycling processes in ensuring the sustainability of the agricultural sector]. *Moskovskij jekonomicheskij zhurnal* [Moscow Economic Journal], 2020, no. 8, pp. 126–133. (In Russ.).
15. Sabitov K.B., Muhametov A.A., Husainova K.G. *Razrabotka i primeneniye v polevodstve kompleksnyh mineral'nyh udobrenij iz othodov sodovogo proizvodstva* [Development and application of complex mineral fertilizers from soda production waste in field production]. *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University], 2020, no. 3(83), pp. 18–23. (In Russ.).
16. Litvinova T.E., Suchkov D.V. *Kompleksnyj podhod k utilizacii tehnogennyh othodov mineral'no-syr'evogo kompleksa* [Comprehensive approach to the utilisation of technogenic waste from the mineral resource complex]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'* [Mining information and analytical bulletin], 2022, no.6-1, pp. 331–348. (In Russ.).
17. Safronov V.P., Matychenkov V.V., Bocharnikova E.A. et al. *Proizvodstvo pochvennyh meliorantov na osnove organicheskikh othodov promyshlennosti v processe ih utilizacii v otvalah ugol'nyh kar'erov* [Production of soil ameliorants based on organic industrial waste in the process of their disposal in the dumps of coal pits]. *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. [Izvestiya Tula State University], 2018, no. 4, pp. 22–32. (In Russ.).
18. Petrova T.A. *Rekul'tivacija tehnogenno-narushennyh zemel' s primeneniem osadkov stochnyh vod v kachestve meliorantov* [Utilization of sewage sludge as an ameliorant for reclamation of technogenically disturbed lands]. *Zapiski Gornogo instituta* [Journal of Mining Institute]. 2021, vol. 251, pp. 767–776. (In Russ.).
19. Zhegrov E.F., Miljohin Ju.M., Berkovskaja E.V. *Himija i tehnologija ballistitnyh porohov, tvjordyh raketnyh i special'nyh topliv*. [Chemistry and technology of ballistic powders, solid rocket and special fuels.] Technology: Monograph, Moscow, RIC MGUP im. Fedorova, 2011, pp. 551. (In Russ.).



20. Petrova T.A., Rudzish Je. *Metod ocenki jeffektivnosti meliorantov pri rekul'tivacii narushennyh zemel'* [Method for assessing the effectiveness of ameliorants in the reclamation of disturbed lands]. *Vestnik evrazijskoj nauki* [The Eurasian Scientific Journal], 2021, vol. 13, no. 6. Available at: <https://esj.today/PDF/53NZVN621.pdf> (In Russ.).

Received 02.04.2023

### ***About the Authors***

*Pashkevich Mariya Anatolievna*

Doctor of Engineering Sciences, Professor of the department of geocology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg Mining University», 199106, Vasilievsky Island, 21 line, 2, St. Petersburg, Russia.

E-mail: [mpash@spmi.ru](mailto:mpash@spmi.ru)

*Patokin Dmitry Aleksandrovich*

Postgraduate student of the department of geocology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg Mining University», 199106, Vasilievsky Island, 21 line, 2, St. Petersburg, Russia.

E-mail: [s225014@stud.spmi.ru](mailto:s225014@stud.spmi.ru)