

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ, НЕФТЕХИМИИ И БИОТЕХНОЛОГИИ

PROCESSES AND APPARATUS OF CHEMICAL ENGINEERING, PETROLEUM CHEMISTRY AND BIOTECHNOLOGY

Научная статья

УДК 631.544.725

<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2025-2-35-42>

EDN PLJWVO

Изучение свойств биоразлагаемого мульчирующего покрытия, полученного из отходов очистки сточных вод

Любовь Михайловна Титова[✉], Альберт Хамед-Харисович Нугманов

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, titovalybov@mail.ru[✉]*

Аннотация. Проблема накопительного загрязнения сельскохозяйственных угодий отработанными полимерными покрытиями на основе полиэтилена остается нерешенной. Для устойчивого применения в качестве сырья необходимо сырье нормативного содержания основных компонентов, без резких колебаний по составу и характеристикам. При этом желательно в целях продовольственной безопасности не использовать полисахариды, используемые в пищевой промышленности. Чтобы избежать этапа выделения и очистки биополимера, можно использовать биоценоз избыточного активного ила водоочистных сооружений, клеточное и внеклеточное вещества которого являются биополимерами. Главным, но не единственным, требованием для биоразлагаемых пленок является скорость деструкции материала. Основные требования к мульчирующему покрытию почвы – высокие механические показатели (прочность на изгиб, на разрыв в поперечном и продольном направлении), влаго- и газопроницаемость, стабильные в определенном периоде эксплуатации. Мульча выполняет ряд важных функций (отражение света, удерживание тепла в почве, замедление роста сорняков и др.), которые можно оценить косвенно влиянием на характеристики почвы (аэрируемость, воздухоемкость, смачиваемость и др.) и на конечный продукт (урожайность, индекс роста зеленой массы, цвет плодов, содержание сахаров, антицианов, кислот). Широкий перечень показателей и методик для их определения усложняет сопоставление данных различных исследований. Описаны результаты экспериментальных исследований состава и свойств мульчирующего покрытия, основным компонентом которого является избыточный активный ил водоочистных сооружений. Целью работы является доказательство возможности получения на его основе качественного и не наносящего вреда окружающей среде мульчирующего покрытия для применения в сельском хозяйстве. Детально исследованы экспериментальным методом свойства мульчирующей пленки, микробиологическая безопасность, достигаемые эффекты.

Ключевые слова: мульча, мульчирующее покрытие, биоразлагаемость, свойства, избыточный активный ил

Для цитирования: Титова Л. М., Нугманов А. Х.-Х. Изучение свойств биоразлагаемого мульчирующего покрытия, полученного из отходов очистки сточных вод // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2025. № 2. С. 35–42. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2025-2-35-42>. EDN PLJWVO.

Original article

Study of the properties of biodegradable mulching coating obtained from waste water treatment waste

Lyubov M. Titova[✉], Albert Kh.-Kh. Nugmanov

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, titovalybov@mail.ru[✉]*

Abstract. The problem of cumulative contamination of agricultural land with spent polymer coatings based on polyethylene remains unresolved. For sustainable use as a raw material, raw materials with a standard content of the main components are needed, without sudden fluctuations in composition and characteristics. At the same time, it is advisable not to use polysaccharides used in the food industry for food safety purposes. To avoid the stage of biopolymer isolation and purification, a biogenesis of excess activated sludge from water treatment plants can be used, the cellular and extracellular substances of which are biopolymers. The main, but not the only, requirement for biodegradable films is the rate of degradation of the material. The main requirement for a mulching soil coating is high mechanical properties (bending strength, tensile strength in the transverse and longitudinal directions), moisture and gas permeability, stable over a certain period of operation. Mulch performs a number of important functions (reflection of light, heat retention in the soil, slowing down weed growth, etc.), which can be assessed indirectly by influencing soil characteristics (aerability, air capacity, wettability, etc.) and the final product (yield, green mass growth index, fruit color, content sugars, anthocyanins, and acids). A wide range of indicators and methods for their determination complicates the comparison of data from various studies. The results of experimental studies of the composition and properties of a mulching coating, the main component of which is excess activated sludge from water treatment plants, are described. The purpose of the work is to prove the possibility of obtaining a high-quality mulching coating based on it, which does not harm the environment for use in agriculture. The properties of the mulching film, microbiological safety, and the effects achieved have been studied in detail experimentally.

Keywords: mulch, mulching coating, biodegradability, properties, excess activated sludge

For citation: Titova L. M., Nugmanov A. Kh.-Kh. Study of the properties of biodegradable mulching coating obtained from waste water treatment waste. *Oil and gas technologies and environmental safety*. 2025;2:35-42 (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2025-2-35-42>. EDN PLJWVO.

Введение

С середины XX века мировые сельскохозяйственные угодья подверглись широкомасштабному загрязнению полимерами этилена ввиду их использования для покрытия теплиц, мульчирования и упаковки. Учитывая крайне низкую скорость деструкции полиолефинов в естественных условиях, эта экологическая проблема с течением времени только усугубляется. Поиск альтернативных материалов, способных по своим эксплуатационным характеристикам (гибкости, прочности) заменить полизэфирные материалы и минимизировать воздействие на окружающую среду, ведется научным сообществом достаточно активно. Известны мульчирующие покрытия на основе полигликолида (PGA), полилактида (PLA), поликапролактона (PCL), бутилентерефталата (PBAT), полибутиленсукцината (PBS) и других биоразлагаемых компонентов. Большинство из этих биополимеров не производится в России, имеют стоимость, в десятки раз превышающую стоимость полиэтилена, и более низкие эксплуатационные показатели. По этим причинам наблюдается сдерживание вовлечения разработок в промышленное производство и, как следствие, его низкая технологичность из-за отсутствия практики промышленного внедрения. Тем не менее накоплен значительный

практический мировой опыт использования биополимеров в различных отраслях земледелия. Наиболее подробно он изложен и проанализирован в работе [1], где показано, что известные на данный момент дружественные окружающей среде мульчирующие пленки не обеспечивают оптимального соотношения между ценой, эксплуатационными характеристиками и биоразлагаемостью. Проблема накопительного загрязнения сельскохозяйственных угодий отработанными полимерными покрытиями на основе полиэтилена остается нерешенной.

Для устойчивого применения в качестве сырья необходимо сырье нормативного содержания основных компонентов без резких колебаний по составу и характеристикам. При этом желательно в целях продовольственной безопасности не использовать полисахариды, используемые в пищевой промышленности (например, крахмал, а также более дорогие, такие как альгинат натрия, желатин, хитозан и пр.). Снизить стоимость биоразлагаемых материалов возможно за счет использования более дешевых, чем известные, сырьевых компонентов. Биополимеры в естественной среде встречаются довольно часто, и, чтобы избежать этапа выделения и очистки, можно, например, использовать биоценоз избыточного активного ила водоочистных сооружений. Его

органическая часть состоит из клеточного и внеклеточного вещества. Клеточные вещества в основном являются биополимерами и включают в себя белки, ДНК, РНК, липиды, липополисахариды, пептидогликан клеточной стенки и запасные вещества (гликоген, полиоксикислоты) [2]. Внеклеточные вещества активного ила также являются полимерами и включают в себя полисахариды, белки, гуминовые вещества, глюкуроновые и нуклеиновые кислоты (ДНК, РНК) [3]. Состав активного ила зависит от структуры водных стоков и может быть достаточно стабильным при условии незначительных колебаний их характеристики. При этом избыточный активный ил является проблемным для утилизации отходом, хотя и относящимся к 4 классу опасности. Учитывая богатый основными биогенными элементами (азотом, фосфором) для растений состав, рациональным представляется использование активного ила в качестве удобрения. Экспериментально подтверждено улучшение почвы при его использовании в исследованиях различного масштаба [4]. Отмечено, что избыточный активный ил не только обогащает почву питательными веществами (азотом, фосфором), но и оказывает положительное влияние на аэрируемость при правильном подборе дозировки.

Для использования активного ила в качестве удобрения необходимо устраниć сопутствующие риски. Попадание тяжелых металлов и других химических элементов, имеющих неорганическую природу, возможно при смешанном сборе промышленных и коммунальных стоков на очистных сооружениях, коммунальные стоки обычно не характеризуются наличием таких элементов. При этом последние являются источником возможного заражения ила, а затем и почвы, патогенными микроорганизмами и вирусами. Инактивацию можно провести за счет термического воздействия.

С технологической точки зрения использование ила как улучшителя почвы тоже имеет трудности. В необработанном виде использовать его неудобно из-за быстрого распада и высокой влажности, компостированию он подвергается плохо, обезвоживание и термическая сушка – энергозатратны.

В данной статье описаны результаты экспериментальных исследований состава и свойств мульчирующего покрытия, основным компонентом которого является избыточный активный ил водоочистных сооружений. Целью работы является доказательство возможности получения на его основе качественного и не наносящего вреда окружающей среде мульчирующего покрытия для применения в сельском хозяйстве, детально исследовать экспериментальным методом свойства мульчирующей пленки, микробиологическую безопасность, достигаемые эффекты.

Материалы и методы

Для выбора показателей, по которым будет оцениваться качество мульчирующего покрытия, проведен анализ научных исследований в этой области. Главным, но не единственным, требованием для биораглагаемых пленок становится скорость деструкции материала. Основное требование к мульчирующему покрытию почвы – высокие механические показатели (прочность на изгиб, на разрыв в поперечном и продольном направлении), влаго- и газопроницаемость, стабильные в определенном периоде эксплуатации. Также мульча выполняет ряд важных функций (отражение света, удерживание тепла в почве, замедление роста сорняков и др.), которые можно оценить косвенно влиянием на характеристики почвы (аэрируемость, воздухоемкость, смачиваемость и др.) и на конечный продукт (урожайность, индекс роста зеленой массы, цвет плодов, содержание сахаров, антицианов, кислот). Широкий перечень показателей и методик для их определения усложняет сопоставление данных различных исследований.

В данной работе экспериментальными методами оцениваются биораглагаемость и барьерные свойства (механические, оптические, влагоудерживающие и др.).

Толщина пленки определялась, согласно ГОСТ 17035–86, микрометром МК-25 0,001, Россия. Прозрачность пленки в спектре длин волн 200–800 нм – по методике [5] спектрофотометрически с использованием спектрофотометра КФК-3КМ, Россия. Влажность образцов мульчирующей пленки – с использованием высокоточного анализатора влажности ЭВЛАС 2М, Россия, по стандартной методике данного прибора.

Наиболее существенным для мульчирующего покрытия является способность материала пропускать или задерживать водяной пар и другие газы – паропроницаемость. Для биораглагаемых материалов методика определения этого показателя на данный момент не разработана, поэтому для проведения экспериментальных исследований использовался гравиметрический метод по ГОСТ 21472–81. Образцы мульчирующей пленки выдерживали двукратно в климатической камере при температуре $38 \pm 0,5$ °C и относительной влажности 90 ± 2 % в течение 24 часов. Паропроницаемость, $\text{г}/\text{м}^2$, характеризуется приростом массы образцов площадью поверхности $0,01 \text{ м}^2$ за данное время. За результат испытания принимали среднеарифметическое значение трех определений, округленное до десятых долей числа.

Изменение массы образца после двухчасового кондиционирования характеризует водоотталкивающие свойства.

Согласно исследованиям [6–10], наблюдается по-

ложительное влияние на качество почвы и сельхозпродукции при использовании различных биоразлагаемых мульчирующих материалов, но практически во всех источниках авторы делают оговорку на эдафизические факторы (механический состав, влажность, теплоемкость, условия аэрации почвы) и климат в исследуемом регионе. Поэтому эффекты от использования разработанного покрытия были оценены посредством проведения исследований в закрытом грунте. Экспериментальные наблюдения были проведены над томатом сорта «Черри Дюймовочка» в период с февраля по май 2023 года. Оценивалось влияние на рост растения, влажность и температуру грунта, микробиологическая безопасность. Для оценки влияния мульчирования на температурный режим в прикорневой зоне роста растений определено экспериментально изменение температуры под мульчирующим покрытием в поверхностном слое (0,01 м), облучаемом в определенное время искусственным источником света известной мощности. Для сравнения параллельно проводился эксперимент с мульчированием полиэтиленом низкой плотности и без использования мульчи.

Выполнен микробиологический анализ пленки методом испытания МУК 4.2.3695-21. Определены общая численность почвенных микроорганизмов, общие (обобщенные) колiformные бактерии, в т. ч. *Escherichia coli*, энтерококки (фекальные), патогенные бактерии, в т. ч. сальмонеллы, цисты почвен-

ных кишечных простейших, яйца гельминтов.

Результаты и обсуждение

Исследуемая биоразлагаемая мульчирующая пленка получена посредством обезвоживания кондуктивным методом композиции, точное массовое соотношение компонентов которой показано в [11]. Из композиции после удаления избыточной влаги получают биоразлагаемую мульчирующую пленку толщиной 200–500 мкм конечной влажностью 8–12 %. Структурно поверхность можно охарактеризовать как гладкую, без наличия дефектов и неровностей, несмотря на гетерогенность исходной композиции (рис.). Объяснить это можно протеканием реакции щелочного гидролиза, наблюдавшейся при контакте активного ила и едкого натра. Визуально эффект от данного взаимодействия можно наблюдать по изменению физических и структурно-механических свойств смеси: увеличивается вязкость и однородность, поверхность становится блестящей и ровной. Концентрация гидроксида натрия в смеси минимизирована с целью достижения данного эффекта и сохранения нейтральности конечного продукта. Тетраборат натрия вводится в композицию в качестве микробицида, но также оказывает влияние на структуру, увеличивая вязкость. Пластификатором в композиции является глицерин, в применяемых дозах являющийся биологически безопасным.



a



б

Мульчирующая пленка: *а* – микрофотография при четырехкратном ($\times 4$) увеличении;
б – полноразмерное фото поверхности образца

Mulching film: *a* – micrography at fourfold ($\times 4$) magnification;
б – full-size photo of the sample surface

Основным компонентом, обеспечивающим высокую прочность и другие механические характеристики мульчирующей пленки, являются отходы целлюлозно-бумажной промышленности – вторичное

целлюлозное волокно из различных сортов макулатуры. При испытании на разрывной машине ИР 56074-3 (ГОСТ 7855–84) разрушающее усилие для образца готовой пленки шириной 15 мм в среднем

по двум направлениям составило не менее 2,5 Н. Объемная плотность готовой биоразлагаемой пленки для мульчирования составляет 150–400 кг/м³.

Паропроницаемость образцов площадью поверхности 0,01 м² при двукратном испытании в климатической камере при температуре 38 ± 0,5 °C и относительной влажности 90 ± 2 % в течение 24 часов составила 18 г/м². Хотя известно, что показатели газо- и паропроницаемости для одного и того же материала неидентичны, тем не менее по данным эксперимента можно утверждать, что исследуемая поверхность обладает высокой проницаемостью для газов и не нарушает в значительной мере их обмен между почвой и окружающей средой. Использова-

ние мульчирующей пленки будет способствовать созданию благоприятного микроклимата в грунте за счет хорошей аэрации. Мульчирование биоразлагаемой пленкой можно рассматривать как метод улучшения почвы.

Водоотталкивающие свойства пленки определены также гравиметрическим методом определения паропроницаемости, но при условиях двукратной выдержки при температуре 25 ± 1 °C и относительной влажности 75 ± 2 % в течение двух часов. В табл. 1 представлено изменение водоотталкивающих свойств пленки при введении в композицию парафиновой эмульсии.

Таблица 1

Table 1

Изменение водоотталкивающих свойств пленки

Changing the water-repellent properties of the film

Наименование	Относительное увеличение массы образца, %
Образец № 1 (пленка без парафина)	10
Образец № 2 (2 % масс. парафина)	0

Из табл. 1 видно, что парафин увеличивает гидрофобность пленки. При этом важно понимать, что пленка содержит в своем составе парафин, равномерно распределенный по объему посредством его введения в композицию в виде парафиновой эмульсии типа масло в воде с содержанием парафина 60 ± 2 %. В процессе контактной сушки микроглобулы парафина в объеме пленки плавятся и создают гидрофобный эффект, тем самым обеспечивая стойкость мульчирующего покрытия к влаге в период эксплуатации.

Так как атмосферная засуха не причиняет растениям большого вреда, если температура не превышает переносимый растениями предел, то наряду с барьерными свойствами мульчи очень важно обеспечить и требуемые для нормальной жизнедеятельности корневой системы температуры. Степень прогрева поверхностных слоев почвы оценена экспериментально. В табл. 2 приведены результаты измерений после облучения мульчированных и без покрытия грунтов световым потоком мощностью.

Таблица 2

Table 2

Изменение температуры в поверхностном слое почвы, °C

Temperature change in the surface layer of the soil, °C

Мульчирующее покрытие	Время воздействия, ч		
	2	3	6
Почва без покрытия	38	39	40
Полиэтилен прозрачный низкой плотности	35	37	38
Биоразлагаемая пленка на основе ила	34	35	37

Из табл. 2 видно, что состав мульчирующего покрытия положительно влияет на температуру почвы под ним, защищая от перегрева.

Оптические свойства пленки характеризуются светопрозрачностью 5–10 % из-за значительного содержания в составе композиции биомассы активного ила, имеющего цвет от темно-коричневого до черного. Благодаря этому использование пленки подавляет прорастание всходов и рост однолетних сорняков, частично замедляет рост многолетних корневищных сорняков (пырей, осот, выюнок и др.).

Темный цвет пленки способствует задержанию тепла в почве, что желательно при значительных среднесуточных колебаниях температур.

Для исключения микробной порчи в состав композиции введен микробицид – тетраборат натрия. Кроме того, в процессе изготовления пленка проходит стадию кондуктивной сушки при температуре не менее 70 °C, что также способствует гибели патогенов. Микробиологические показатели демонстрируют хорошую устойчивость пленки к микробиологической порче (табл. 3).

Таблица 3

Table 3

Микробиологические показатели биоразлагаемой пленки для мульчирования

Microbiological parameters of biodegradable mulching film

Наименование определяемого показателя	Фактическое значение
Общая численность почвенных микроорганизмов, КОЕ/г	$6,0 \cdot 10^3$
Общие (обобщенные) колиформные бактерии, в т. ч. <i>Escherichia coli</i> , КОЕ/г	0
Энтерококки (фекальные), КОЕ/г	1
Патогенные бактерии, в т. ч. сальмонеллы (в 1 г)	Не обнаружено
Цисты почвенных кишечных простейших, экз./100 г	0
Яйца гельминтов, экз./кг	0

Биоразлагаемость пленки подтверждена экспериментально ее способностью к естественному разложению в почве в течение 2–4 месяцев, поэтому не требуется специальных мероприятий по удалению ее остатков после окончания срока использования или сезона. Кроме того, запахивание такой мульчи не только не наносит экологического вреда, но способствует окультуриванию почвы. В ходе лабораторных испытаний образцов пленки при выращивании томата сорта «Черри Дьюмовочка» под разработанным мульчирующим покрытием наблюдался более интенсивный прирост зеленой массы, чем без мульчирования.

Чтобы продлить срок службы возможно добавление к композиции антиоксидантов, агентов против фотостарения (светостабилизаторы) и антибактериальные соединения. Учитывая быструю скорость деструкции в окружающей среде, в мульчирующую пленку на этапе смешивания компонентов можно добавить пестициды растительного происхождения и/илиfungициды растительного происхождения и водорастворимые питательные вещества. В качестве улучшителей структурно-механических показателей готовой пленки возможно использование антиследывающих агентов в составе, таких как диоксид кремния, оксиды алюминия, титана, циркония и неорганические соли: карбонаты кальция, магния, бария, различные сульфаты, различные сложные оксиды, такие как каолин и тальк, фосфаты Li, Ca, Mg. В качестве органических частиц используются мелкие частицы из оксалата кальция, солей терефталевой кислоты, таких как фталат кальция, бария, цинка, марганца и магния. Средний размер как неорганических, так и органических частиц предпочтительно составляет от 0,01 до 10 мкм, особенно предпочтительно от 1 до 4 мкм.

Количество неорганических и органических добавок предпочтительно составляет от 0,1 % масс. и не более 5 % масс.

Заключение

Изученные свойства мульчирующей пленки доказали ее эффективность в качестве мульчирующего покрытия для сельскохозяйственного применения и экологическую безопасность. В составе пленки используется недорогое сырье и отходы водоочистных сооружений, что также способствует повышению конкурентоспособности и экологизации отрасли биоразлагаемых полимеров непищевого назначения.

Использование дешевых компонентов позволяет не стремиться к экономии сырья за счет снижения веса готовой пленки, что обеспечивает структурно-механические показатели, прочностные свойства на требуемом уровне. Оптические свойства и паропроницаемость, наличие в составе биогенных компонентов – эти свойства пленки обеспечивают благоприятные условия для жизни почвенных микроорганизмов и роста растений.

Экспериментально была подтверждена микробиологическая безопасность пленки. Но при этом необходимо сделать оговорку, что активный ил должен полностью соответствовать требованиям и нормам для использования его в качестве сырья: Сан-ПиН 2.1.7.573-96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения»; ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 «Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений» (редакция от 08.06.2020) и Типовому технологическому регламенту использования осадков сточных вод в качестве органического удобрения [12].

Список источников

1. Нугманов А. Х. Х., Титова Л. М., Бакин И. А., Журавлев А. В. Биоразлагаемые мульчирующие материалы для сельского хозяйства: технологии и экологическая безопасность // Вестн. НГАУ (Новосибир. гос. аграр. ун-т). 2024. № 1 (70). С. 95–111. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-70-1-95-111>.
2. Tchobanoglous G., Burton F. L., Stensel H. D. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4th edition.

- New York: McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2003. 1819 p.
3. Liu H., Fang H. H. Extraction of extracellular polymeric substances (EPS) of sludges // Journal of Biotechnology. 2002. N. 95. P. 249–256.
 4. Кириллов М. В., Асонов А. М. Перспективы использования активных илов станций аэрации в качестве органических удобрений // Аграр. вестн. Урала. 2010. № 2 (68). С. 43–45. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnye-ispolzovaniya-aktivnyh-ilov-stantsiy-aeratsii-v-kachestve-organicheskikh-udobreniy> (дата обращения: 27.03.2020).
 5. Хатко З. Н., Ашинова А. А. Пектиносодержащие пленочные структуры. М.: МГТУ, 2019. 110 с.
 6. Ревенко В. Ю., Макола Н. А., Агафонов О. М. Применение укрывных мульчирующих материалов в селекционном процессе // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2018. Вып. 12-1. С. 118–124.
 7. Merino D., Gutiérrez T. J., Alvarez V. A. Potential Agricultural Mulch Films Based on Native and Phosphorylated Corn Starch With and Without Surface Functionalization with Chitosan // Journal of Polymers and the Environment. 2019. Vol. 27. P. 97–105.
 8. Iriany A., Hasanah F., Hartawati. Study of various organic mulch sheet compositions usage towards the growth and yield of cauliflower (*Brassica oleracea* Var *Botrytis*, L.) // International Journal of Engineering and Technology. 2019. Vol. 8. Iss. 1.9. P. 147–151.
 9. Sekara A., Pokluda R., Cozzolino E., Piano L., Cuciniello A., Caruso G. Plant growth, yield, and fruit quality of tomato affected by biodegradable and non-degradable mulches // Horticultural Science (HORTSCI). 2019. Vol. 46. P. 138–145.
 10. Siwek P., Domagała-Świątkiewicz I., Kalisz A. The influence of degradable polymer mulches on soil properties and cucumber yield // Agrochimica. 2015. N. 59 (2). P. 108–123.
 11. Пат. РФ № 2814106. Композиция для получения биоразлагаемой мульчирующей пленки / Нутманов А. Х.-Х., Титова Л. М., Бакин И. А., Журавлев А. В. № 2023115841A; заявл. 16.06.2023; опубл. 22.02.2024.
 12. Типовой технологический регламент использования осадков сточных вод в качестве органического удобрения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071214> (дата обращения: 10.01.2025).

References

1. Nugmanov A. H. H., Titova L. M., Bakin I. A., Zhuravlev A. V. Biorazlagаемые mul'chirujushchie materialy dlja sel'skogo hozjajstva: tehnologii i jekologicheskaja bezopasnost' [Biodegradable mulching materials for agriculture: technologies and environmental safety]. *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*. 2024, no. 1 (70), pp. 95–111. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-70-1-95-111>.
2. Tchobanoglous G., Burton F. L., Stensel H. D. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. 4th edition. New York, McGraw-Hill Science/Engineering/Math Publ., 2003. 1819 p.
3. Liu H., Fang H. H. Extraction of extracellular polymeric substances (EPS) of sludges. *Journal of Biotechnology*, 2002, no. 95, pp. 249–256.
4. Kirillov M. V., Asonov A. M. Perspektivnye ispol'zovaniya aktivnyh ilov stancij ajeracii v kachestve organicheskikh udobrenij [Prospects of using active sludge from aeration plants as organic fertilizers]. *Agrarnyj vestnik Urala*, 2010, no. 2 (68), pp. 43–45. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnye-ispolzovaniya-aktivnyh-ilov-stantsiy-aeratsii-v-kachestve-organicheskikh-udobrenij> (accessed: 27.03.2020).
5. Hatko Z. N., Ashinova A. A. *Pektinosoderzhashchie plenochnye struktury* [Pectin-containing film structures]. Moscow, MGTU, 2019. 110 p.
6. Revenko V. Ju., Macola N. A., Agafonov O. M. Primenie ukryvnyh mul'chirujushhih materialov v selekcionnom processe [The use of covering mulching materials in the breeding process]. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 2018, vol. 12-1, pp. 118–124.
7. Merino D., Gutiérrez T. J., Alvarez V. A. Potential Agricultural Mulch Films Based on Native and Phosphorylated Corn Starch With and Without Surface Functionalization with Chitosan. *Journal of Polymers and the Environment*, 2019, vol. 27, pp. 97–105.
8. Iriany A., Hasanah F., Hartawati. Study of various organic mulch sheet compositions usage towards the growth and yield of cauliflower (*Brassica oleracea* Var *Botrytis*, L.). *International Journal of Engineering and Technology*, 2019, vol. 8, iss. 1.9, pp. 147–151.
9. Sekara A., Pokluda R., Cozzolino E., Piano L., Cuciniello A., Caruso G. Plant growth, yield, and fruit quality of tomato affected by biodegradable and non-degradable mulches. *Horticultural Science (HORTSCI)*, 2019, vol. 46, pp. 138–145.
10. Siwek P., Domagała-Świątkiewicz I., Kalisz A. The influence of degradable polymer mulches on soil properties and cucumber yield. *Agrochimica*, 2015, no. 59 (2), pp. 108–123.
11. Nugmanov A. H.-H., Titova L. M., Bakin I. A., Zhuravlev A. V. *Kompozicija dlja poluchenija biorazlagаемoj mul'chirujushhej plenki* [Composition for the production of biodegradable mulching film]. Patent RF 2814106, no. 2023115841A; 22.02.2024.
12. Tipovoj tehnologicheskij reglament ispol'zovaniya osadkov stochnyh vod v kachestve organicheskogo udobrenija [Standard technological regulations for the use of sewage sludge as an organic fertilizer]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200071214> (accessed: 10.01.2025).

Информация об авторах / Information about the authors

Любовь Михайловна Титова – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; titovalybov@mail.ru

Альберт Хамед-Харисович Нугманов – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; albert909@yandex.ru

Lyubov M. Titova – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; titovalybov@mail.ru

Albert Kh.-Kh. Nugmanov – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; albert909@yandex.ru

