

УДК 662.639:612.398.193:633.11:631.84

ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА И РОСТОСТИМУЛИРУЮЩАЯ АКТИВНОСТЬ ГРАНУЛИРОВАННЫХ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОПИЛОК ОСИНЫ

© *М.Ю. Белаиш^{1*}, Е.В. Веприкова¹, А.А. Соболев¹, В.Н. Романов², Н.С. Козулина², Т.А. Сныткова²,
А.В. Василенко², М.А. Михайлец², А.Г. Липшин², О.П. Таран^{1,3}*

¹ *Институт химии и химической технологии СО РАН, ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН», Академгородок, 50/24, Красноярск, 660036 (Россия), e-mail: belash_mikhail@mail.ru*

² *Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН», пр. Свободный, 66, Красноярск, 660041 (Россия)*

³ *Сибирский федеральный университет, пр. Свободный, 79, Красноярск, 660041 (Россия)*

Предложен способ получения азотсодержащих удобрений на основе опилок осины, включающий их пропитку водным раствором аммиачной селитры и последующее гранулирование. Полученные удобрения содержат 15.42–16.07 мас.% азота. Изучены физико-химические свойства опилок и удобрений на их основе. Показано, что предварительная обработка опилок осины 1.0 мас.% водным раствором NaOH приводит к развитию их пористой структуры, уменьшению содержания фенольных веществ и позволяет получать более плотные гранулы удобрений. В результате проведения полевого испытания по выращиванию пшеницы сорта «Красноярская 12» выявлена ростостимулирующая активность азотсодержащих гранулированных удобрений на основе опилок осины – урожайность культуры увеличилась на 0.4–0.9 т/га по сравнению с неудобренным фоном. Установлено более эффективное влияние на урожайность пшеницы гранулированного азотсодержащего удобрения на основе опилок после их обработки 1.0 мас.% водным раствором NaOH – по этому показателю достигаемый эффект на 0.5 т/га больше по сравнению с удобрением на основе исходных опилок осины.

Ключевые слова: опилки осины, аммиачная селитра, гранулирование, пшеница, полевой опыт, урожайность зерна.

Работа выполнена в рамках проекта № 0287-2019-0009 с использованием оборудования Красноярского регионального центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН.

Введение

Осина является одной из основных лиственных пород деревьев на территории России, древесина которой широко применяется в строительной отрасли. Из-за криволинейности ствола осины, низкой механической плотности ее древесины и склонности к гниению более 30% срубленной древесины бракуется на

Белаиш Михаил Юрьевич – научный сотрудник,
e-mail: belash_mikhail@mail.ru

Веприкова Евгения Владимировна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
e-mail: veprikova2@mail.ru

Соболев Анатолий Алексеевич – ведущий технолог,
e-mail: belash_mikhail@mail.ru

Романов Василий Николаевич – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник,
e-mail: romanov1948@yandex.ru

Козулина Наталья Станиславовна – кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе, e-mail: kozulina.n@bk.ru

стадии заготовки. Эти отходы, как и отходы последующей распиловки древесины, утилизируются в основном сжиганием или вывозятся в отвалы, что негативно влияет на окружающую среду.

Важный способ утилизации древесных отходов – получение на их основе компостов [1, 2]. Также известны способы получения удобрений на основе древесных опилок, в том числе и опилок осины, минуя стадию длительного биоразложения. В этих удобрениях древесные опилки выполняют

Окончание на С. 354.

* Автор, с которым следует вести переписку.

роль носителя азотсодержащего компонента, который вводится в структуру опилок пропиткой водным раствором нитрата аммония [3] или окислением аммиачным раствором пересульфата аммония [4]. За счет таких способов нанесения азота удобрения проявляют эффект пролонгированного действия. Однако из-за низкой насыпной плотности азотсодержащие опилки трудно вносить в почву. Поэтому гранулированные удобрения на основе древесных опилок более перспективны с точки зрения практического применения. Гранулирование относится к факторам повышения устойчивости удобрений к удалению азота водой, что обеспечивает эффективное потребление этого элемента растениями в течение их вегетации [5]. Известно, что применение азотсодержащих удобрений пролонгированного действия позволяет сократить объемы вносимых в почву минеральных водорастворимых удобрений при сохранении урожайности сельскохозяйственных культур. Одновременно снижается уровень загрязнения почв и грунтовых вод в аграрных районах [5, 6].

Авторами работы был разработан способ получения азотсодержащих удобрений на основе сосновых опилок, включающий их пропитку водным раствором аммиачной селитры и последующее гранулирование. Также было получено удобрение из сосновых опилок, предварительно обработанных 1.0 мас.% водным раствором NaOH. Такая обработка способствовала развитию пористой структуры опилок, уменьшению содержания в них полифенольных веществ и позволила получить более плотные и прочные гранулы. В результате полевых испытаний по выращиванию пшеницы сорта «Красноярская 12» выявлено более эффективное влияние на урожайность пшеницы гранулированного удобрения, полученного из сосновых опилок после такой обработки, в сравнении с аналогичным удобрением на основе исходных сосновых опилок [7]. Очевидно, что разработанный способ получения гранулированных азотсодержащих удобрений может быть реализован с применением опилок осины. Поскольку строение и свойства опилок сосны и осины отличаются, изучение физико-химических и ростостимулирующих свойств гранулированных удобрений на основе нового вида сырья является актуальной задачей.

Цель работы – получение на основе осиновых опилок гранулированных удобрений, содержащих аммиачную селитру, изучение их свойств и ростостимулирующей активности на продуктивность яровой пшеницы сорта «Красноярская 12».

Экспериментальная часть

Получение гранулированных удобрений. Сырьем для получения удобрений служили воздушно-сухие опилки осины, измельченные до размера частиц менее 3 мм. Опилки имели следующий элементный состав (мас.%): С 47.49; Н 6.21; N 0.99; S 3.77; О – остальное. Влажность опилок составляла 3.25%, содержание золы – 0.42%.

Для получения удобрений применяли исходные опилки и опилки, предварительно обработанные 1.0 мас.% водным раствором NaOH (модифицированные опилки). Обработку опилок раствором щелочи проводили при температуре 93 ± 3 °С в течение 1 ч с постоянным перемешиванием. Значение гидромодуля было равно 20. Промывку модифицированных опилок водой и нейтрализацию остатков щелочи раствором 0.1 н. HNO_3 (гидромодуль – 10) проводили аналогично методике [8]. Полученные модифицированные опилки сушили до воздушно-сухого состояния при 50 ± 5 °С. Воздушно-сухое состояние контролировали по общей принятой в химии древесины методике [9].

Удобрения получали двустадийным методом, включающим: 1) пропитку опилок осины водным раствором аммиачной селитры, объем которого равен их влагоемкости; 2) гранулирование азотсодержащих опилок.

Для приготовления пропиточного раствора (3.62 и 4.69 л на 1 кг исходных и модифицированных опилок, соответственно) использовали аммиачную селитру марки «ч». Количество аммиачной селитры рассчитано так, чтобы опилки содержали 16.2 ± 0.1 мас.% азота. Пропитанные опилки уплотняли и выдерживали в закрытой таре в течение 15–20 ч при комнатной температуре. Затем сушили при 100 ± 2 °С до остаточной влажности 12.5–13.5%.

Сныткова Татьяна Анатольевна – научный сотрудник,
e-mail: aleksandr_bobrovski@mail.ru

Василенко Альбина Владимировна – ученый секретарь,
e-mail: wasilenkoAV@yandex.ru

Михайлец Михаил Аркадьевич – аспирант, младший научный сотрудник, e-mail: belash_mikhail@mail.ru

Литшин Алексей Геннадьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, директор,
e-mail: alipshin@mail.ru

Таран Оксана Павловна – доктор химических наук, директор, e-mail: taran.op@icct.krasn.ru

Гранулирование опилок, содержащих аммиачную селитру, проводили аналогично работе [7]. На основе исходных и модифицированных

Гранулирование опилок, содержащих аммиачную селитру, проводили аналогично работе [7]. На основе исходных и модифицированных

опилок осины было приготовлено по 5 кг азотсодержащих гранулированных удобрений (АГУ-1 и АГУ-2 соответственно) для проведения полевых испытаний. Содержание азота в АГУ-1 и АГУ-2 составляло 15.42 и 16.07 мас.% соответственно.

Влажность опилок осины, содержание золы и лигнина (в модификации Комарова) определяли по методикам [9]. Элементный состав опилок определяли на анализаторе Vario El Cube ELEMENTAR (Германия), при контролируемом процессе сжигания образца в чистом кислороде при постоянной температуре печи до 1200 °С, адсорбционном разделении продуктов сгорания, и поступлении их на детектор по теплопроводности.

Регистрация ИК-спектров сосновых опилок, удобрений на их основе и аммиачной селитры выполнена на ИК-Фурье спектрометре IR Tracer-100 (Shimadzu, Япония) в области волновых чисел 4000–400 см⁻¹. Образцы готовили в виде таблеток в матрице бромистого калия при одинаковых условиях (3 мг на 1000 мг бромида калия).

Влагоемкость исходных и модифицированных опилок определяли по ГОСТ 24160-80. Общее количество фенольных веществ определяли методом пересчета на кислоту галловую по ГОСТ Р ИСО 14502-1-2010.

Пористую структуру образцов опилок осины исследовали методом низкотемпературной адсорбции азота в интервале (P/P₀) 0.06–0.99 на анализаторе ASAP 2029MP-C (Micromeritics, США). Удельную площадь поверхности (S_{ВЕТ}, м²/г) рассчитывали по методу БЭТ [10], общий объем пор шириной до 300 нм – по методу ВЈН (Barrett-Joyner-Halenda) [11].

Насыпную плотность гранулированных удобрений определяли по ГОСТу 28512.1-90. Оценку механической прочности гранул удобрений согласно методике работы [12]. Для отсева разрушенных частиц использовано сито с отверстиями диаметром 3 мм.

Рентгенофазовый анализ образцов удобрений проводили на дифрактометре ДРОН-3 с использованием CuK α -монохроматизированного излучения ($\lambda=0.154$ нм), напряжение 30 кВ, ток 25 мА. Шаг сканирования 0.02 град; интервалы по 1 с на точку данных. Измерение проводилось в интервале углов Брэгга 2 θ от 5.00 до 70.00 град. Предварительно гранулы удобрений были измельчены до размера менее 0.5 мм.

Проведение полевых испытаний. Влияние гранулированных удобрений на основе опилок осины на продуктивность яровой пшеницы сорта «Красноярская 12» изучалось на паровом предшественнике в сравнении с аммиачной селитрой и неудобренным фоном (контроль) в условиях стационарного полевого опыта. Участок для проведения испытаний расположен в зоне Красноярской лесостепи, его географические координаты: широта 56°03' СШ, и 92°42' ВД. Период проведения опыта – с 8 мая по 25 сентября 2022 г. Почва на опытном участке – чернозем обыкновенный, маломощный, среднесуглинистый. Выбор участка, схема закладки опыта и фенологические наблюдения проведены по методикам [13] в период с 12 мая по 28 сентября 2022 г. Площади контрольного участка и участков под внесение удобрений составила 25.2 м² (6.3×4.0 м). Размещение вариантов опыта на площади очередное, повторность 3-кратная. Вспашка опытного участка проведена 8 мая на глубину 20–22 см. Внесение удобрений проведено после вспашки вразброс поверхностно, с последующей заделкой фрезованием на глубину 5–7 см. Удобрения (АГУ-1, АГУ-2 и гранулированную аммиачную селитру, содержащую 34.0 мас.% азота) вносили из расчета поступления 20 кг действующего вещества (азота) на 1 га. Расчет дозы внесения удобрений произведен по методикам [14] с учетом исходного содержания азота в почве опытного участка (10.7 мг/кг почвы). Посев семян пшеницы проводили на глубину 5 см 26 мая 2022 г. Норма высева семян пшеницы – 5.5 млн шт. на 1 га.

Отбор проб почвы для анализа на содержание нитратного азота проводили по методикам ГОСТ Р 53219-2008 и [15]. Посевы пшеницы в полевом опыте характеризовали по общепринятым методикам [16]. Уборка урожая проведена 22–23 сентября. Достоверность влияния внесения удобрений на урожайность пшеницы (НСР₀₅) оценена методом дисперсионного анализа [17].

Результаты и обсуждение

Свойства гранулированных азотсодержащих удобрений на основе опилок осины

В разработанных удобрениях опилки осины являются органической составляющей, образующей при биоразложении в почве гумусообразные вещества, и матрицей для нанесения аммиачной селитры. Внедрение азотсодержащего компонента в структуру опилок проводили методом пропитки по влагоемкости, применяемым для получения нанесенных катализаторов. Такой способ позволяет наносить на пористую подложку расчетное количество необходимого компонента. Сочетание операций пропитки опилок осины и их последующего гранулирования использованы в целях повышения устойчивости удобрений к удалению азота

водой за счет диффузионных затруднений переноса аммиачной селитры из объема гранул в почвенный раствор и из капиллярно пористой структуры опилок.

Для получения удобрений применяли исходные опилки осины и опилки после обработки 1.0 мас.% водным раствором NaOH (модифицированные опилки). В процессе водно-щелочного гидролиза при выбранных условиях из опилок было удалено 14.4 мас.% различных органических веществ. После такой обработки опилок осины в ИК-спектре зафиксировано уменьшение интенсивности полосы поглощения (п.п.) с максимумом при 3429 см^{-1} , характерной для валентных колебаний гидроксильных групп в составе разных соединений – в частности, в составе фенольных соединений, первичных, вторичных, третичных спиртов и алифатических простых эфиров [18]. Также отмечено заметное снижение интенсивности п.п. в области $1030\text{--}1165\text{ см}^{-1}$, обусловленных валентными колебаниями спиртовых (C-O) и эфирных (C-O-C) групп (рис. 1).

В ИК-спектре модифицированных опилок отмечено уменьшение интенсивности поглощения в области при $2922\text{--}2820\text{ см}^{-1}$ (колебания алифатических -CH_3 и -CH_2 -групп) и п.п. при 1593 и 1506 см^{-1} (колебания ароматического кольца, связи C-O в карбоксилат-ионе, связи C=C в алкенах и др. [18]) по сравнению с исходными опилками. Для образца модифицированных опилок характерно максимальное уменьшение интенсивности п.п. при 1741 см^{-1} (валентные колебания C=O групп в кетонах, альдегидах, карбоновых кислотах, сложных эфирах) и 1232 см^{-1} (валентные колебания C-O в фенолах и C=S в тиокарбонатах, тиомочевинах и тиокарбонильных соединениях [18]) (рис. 1). Очевидно, такие соединения наиболее полно удаляются из опилок при их обработке 1.0 мас.% водным раствором NaOH.

Следует отметить, что водным раствором щелочи серосодержащие органические соединения удаляются полностью, что подтверждают результаты определения серы в опилках до и после обработки (табл. 1). Очевидно, слабое поглощение при 1232 см^{-1} в образце модифицированных опилок может быть обусловлено остаточным содержанием фенольных соединений (рис. 1 и табл. 1).

Содержание фенольных веществ в исходных опилках осины составляет 0.08%, а в результате щелочной обработки их количество уменьшается в 4 раза (табл. 1). По литературным данным, в составе фенольных веществ древесины осины присутствуют бензойная, п-кумаровая, кофейная кислоты [19]. Эти вещества способны проявлять ингибирующее влияние на ростовую активность растений [20]. Очевидно, частичное удаление фенольных веществ за счет щелочной обработки способствует получению более безопасных удобрений. В работе [7] установлено более эффективное влияние на урожайность пшеницы азотсодержащего гранулированного удобрения из сосновых опилок после их обработки 1.0 мас.% водным раствором NaOH в сравнении с удобрением на основе исходных опилок. Поэтому для сравнения результатов ростостимулирующего действия азотсодержащие гранулированные удобрения готовили на основе исходных и модифицированных опилок осины.

Результаты исследования структуры опилок осины методом низкотемпературной адсорбции азота показали, что их обработка 1.0 мас.% водным раствором NaOH мало влияет на изменение удельной площади поверхности и объема пор шириной до 300 нм. Однако влагоемкость модифицированных опилок в 1.3 раза превышает значение для исходных опилок (табл. 1). Это позволяет предположить, что органические вещества удаляются из клеточных элементов и макропор большего размера. Наблюдаемое повышение влагоемкости и, следовательно, проницаемости для молекул воды, способствует более равномерному распределению аммиачной селитры по поверхности модифицированных опилок.

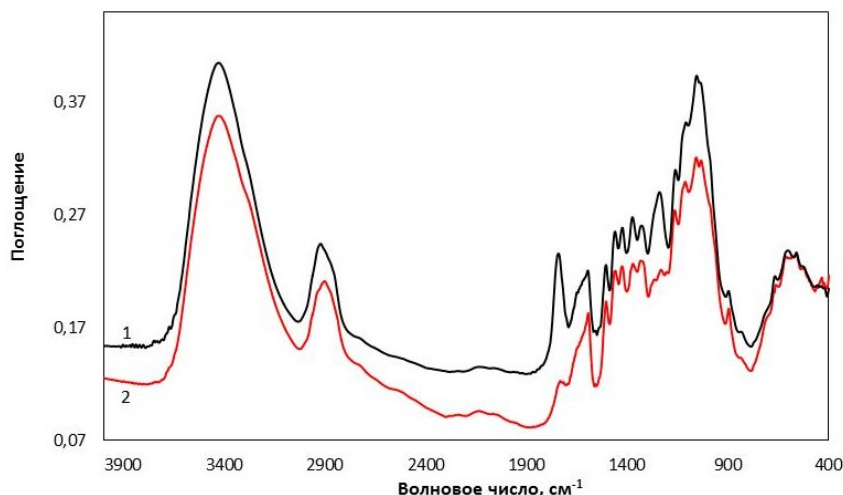


Рис. 1. ИК-спектры исходных опилок осины (1) и опилок после обработки 1.0 мас.% NaOH (2)

Таблица 1. Физико-химические свойства опилок осины

Показатели	Исходные опилки осины	Модифицированные опилки осины**
Содержание S, %	3.77	нет
Содержание фенольных веществ, %	0.08	0.02
Влагоемкость, г/г	3.62	4.69
Удельная площадь поверхности, S _{ВЕТ} , м ² /г	0.386	0.405
Общий объем пор, ×10 ⁻⁴ , см ³ /г *	7.89	8.03

Примечание: * – объем пор шириной до 300 нм, ** – опилки, обработанные 1.0 мас.% водным раствором NaOH.

Исходные и модифицированные опилки осины содержат 23.5 и 26.7% лигнина, который является источником образования гумусовых веществ и связующим веществом, выделяющимся из клеток древесины под действием давления и температуры в процессе гранулирования [21]. При незначительном различии в содержании лигнина (3.2%) применение модифицированных опилок приводит к увеличению насыпной плотности гранулированного удобрения на 15.8% по сравнению с удобрением на основе исходных опилок, но не влияет на прочность гранул (табл. 2).

Перед гранулированием был проведен анализ опилок осины, пропитанных раствором аммиачной селитры, на содержание общего азота. Исходные и модифицированные опилки содержали 16.05 и 16.34 мас.% N. Сравнение этих данных с содержанием азота в гранулированных удобрениях выявило его потери (0.63% и 0.24 мас.% при гранулировании азотсодержащих исходных и модифицированных опилок соответственно). К потерям азота приводит, очевидно, терморазложение части аммиачной селитры, выделившейся на внешнюю поверхность опилок за счет повышенного давления и температуры на стадии гранулирования. Существенно меньшие потери азота при гранулировании модифицированных опилок обусловлены более равномерным распределением аммиачной селитры в их структуре. В предварительных экспериментах было установлено, что содержание азота в опилках для гранулирования не должно превышать 16.5–17.0 мас.%. В противном случае происходило их самовозгорание в процессе гранулирования.

Полученные азотсодержащие удобрения на основе исходных и модифицированных опилок изучены методом рентгенофазового анализа (рис. 2).

На дифрактограммах удобрений идентифицированы пики, свойственные аммиачной селитре. Таким образом, в разработанных удобрениях сохранена биоактивность азота, присущая аммиачной селитре.

Результаты полевого опыта

В результате полевых испытаний по выращиванию пшеницы сорта «Красноярская 12» установлено, что по достигаемой урожайности культуры гранулированные азотсодержащие удобрения на основе опилок осины уступают аммиачной селитре при одинаковой норме внесения азота (20 кг/га для всех изученных удобрений). Однако отмечено увеличение урожайности пшеницы при внесении в почву гранулированных удобрений по сравнению с контрольным опытом. Из полученных результатов следует, что применение АГУ-2 на основе опилок осины, предварительно обработанных водным раствором щелочи, более эффективно – урожайность пшеницы в этом случае на 0.5 т/га больше урожайности, полученной с удобрением АГУ-1 на основе необработанных опилок осины (табл. 3). Следовательно, разработанные гранулированные азотсодержащие удобрения могут представлять интерес для выращивания сельскохозяйственных культур.

Использование опилок осины в составе разработанных удобрений является способом квалифицированной утилизации таких отходов и позволяет получить новый вид азотсодержащего материала для применения в аграрной области.

Таблица 2. Характеристики азотсодержащих гранулированных удобрений на основе исходных (АГУ-1) и модифицированных (АГУ-2) опилок осины

Показатели	АГУ-1	АГУ-2
Диаметр гранул, мм	5.2–5.5	4.7–5.2
Длина гранул, мм	9.6–11.7	12.4–14.8
Насыпная плотность, г/дм ³	365.0	422.5
Механическая прочность, %	98.5	98.6
Содержание азота, мас.%	15.42	16.07

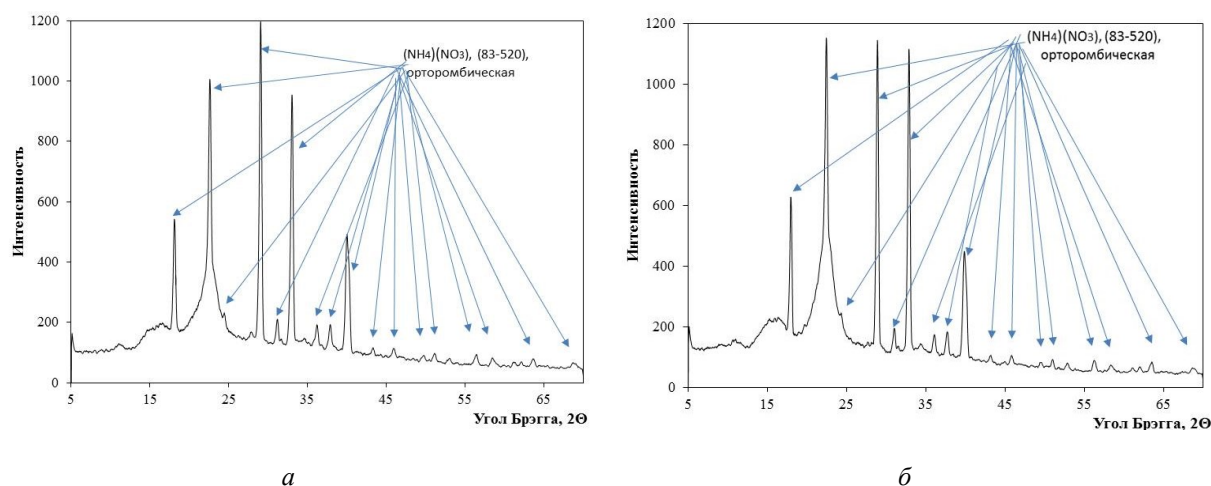


Рис. 2. Дифрактограммы азотсодержащих удобрений на основе исходных опилок осины (а) и опилок после обработки 1.0 мас.% NaOH (б)

Таблица 3. Характеристика посевов пшеницы сорта «Красноярская 12»

Вариант опыта	Стебель		Колос		Зерно		
	штук/м ²	см	штук/м ²	см	в колосе		т/га
					штук	г	
Без удобрений (контроль)	492	61	460	4.9	26	0.6	2.8
АГУ-1	492	69	460	5.9	26	0.7	3.2
АГУ-2	498	67	468	5.7	28	0.8	3.7
Аммиачная селитра	504	66	472	5.5	30	0.9	4.2
НСР ₀₅							0.48

Примечание. АГУ-1 – гранулированное удобрение на основе исходных опилок осины, АГУ-2 – удобрение на основе опилок после обработки 1.0 мас.% NaOH, НСР₀₅ – достоверность влияния внесения удобрений на урожайность пшеницы.

Заключение

Методом пропитки опилок осины водным раствором аммиачной селитры и их гранулирования получены удобрения, содержащие 15.42–16.07 мас.% азота. В результате сравнения свойств удобрений выявлена эффективность применения предварительной обработки опилок 1.0 мас.% водным раствором NaOH, приводящей к развитию их пористой структуры, уменьшению содержания фенольных веществ и позволяющей получать более плотные гранулы.

Результаты полевого опыта по выращиванию пшеницы сорта «Красноярская 12» с применением гранулированных азотсодержащих удобрений на основе опилок осины показали их ростостимулирующую активность – урожайность пшеницы увеличилась на 0.4–0.9 т/га по сравнению с неудобренным фоном. Выявлена большая эффективность удобрения на основе опилок после обработки раствором щелочи – достигнутая урожайность на 0.5 т/га превышает удобрение из исходных опилок осины. На основании полученных результатов можно сделать вывод о необходимости продолжения исследований в целях подтверждения ростостимулирующего влияния разработанных гранулированных удобрений из опилок осины и выявления эффекта пролонгированного действия.

Список литературы

1. Oluchukwu A.C., Nebechukwu A.G., Egbuna S.O. Enrichment of nutritional contents of sawdust by composting with other nitrogen rich agro-wastes for bio-fertilizer synthesis // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2018. Vol. 53. N3. Pp. 430–436.
2. Belovezhets L.A., Tretyakov A.V. Agrochemical characteristics of sawdust-derived compost // Chemistry for Sustainable Development. 2020. Vol. 28. Pp. 121–127. DOI: 10.15372/KhUR2020210.
3. Ahmed S.A., Kim J.I., Park K.M., Chun S.K. Ammonium nitrate-impregnated woodchips: a slow-release fertilizer for plants // J. Wood Science. 2011. Vol. 57. Pp. 295–301. DOI: 10.1007/s10086-011-1178-x.
4. Першина Л.А., Ефанов М.В., Забелина А.В., Клепиков А.Г. Получение азотсодержащих удобрений на основе древесины // Химия растительного сырья. 2000. №4. С. 65–71.

5. Reetz H.F. Jr. Fertilizers and their Efficient Use. Paris: IFA, 2016. 110 p.
6. Azeem B., Kushaari K.Z., Man Z.B. et al. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer // Journal Control. Release. 2014. Vol. 181. Pp. 11–21. DOI:10.1016/j.jconrel.2014.02.020.
7. Романов В.Н., Козулина Н.С., Сныткова Т.А., Василенко А.В., Михайлец М.А., Липшин А.Г., Белаш М.Ю., Веприкова Е.В., Соболев А.А., Таран О.П. Свойства гранулированных азотсодержащих удобрений на основе сосновых опилок и исследование их эффективности при выращивании пшеницы в сельскохозяйственной зоне Красноярского края // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. 2021. Т. 14. №4. С. 570–581. DOI: 10.17516/1998-2836-0264.
8. Белаш М.Ю., Веприкова Е.В., Иванов И.П., Кузнецов Б.Н., Чесноков Н.В. Получение пористых материалов различного назначения из луба коры березы // Химия в интересах устойчивого развития. 2019. Т. 27. №5. С. 453–459. DOI: 10.15372/ChUR2019159.
9. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М., 1991. 320 с.
10. ISO 9277:2010–09 (E). Determination of the specific surface area of solids by gas adsorption – BET method.
11. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М., 1984. 306 с.
12. Рынкевич М. Физические и механические свойства пеллет из сосновых опилок и коры // Вестник ВНИИМЖ. 2013. Т. 11. №3. С. 181–187.
13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М., 1985. 352 с.
14. Расчет доз удобрений на планируемый урожай культур при интенсивных технологиях (методические указания и рекомендации для ФПК). Красноярск, 1988. 14 с.
15. Александрова Л.Н., Найденова О.А. Лабораторно-практические занятия по почвоведению. Л., 1967. 350 с.
16. Методические рекомендации по оценке качества зерна. М., 1978. 171 с.
17. Снедекор Дж.У. Статистические методы в применении и исследованиям в сельском хозяйстве и биологии. М., 1961. 503 с.
18. Sokrates G. Infrared and Raman characteristic group frequencies: Tables and charts. West Sussex, 2001. 347 p.
19. Долгодворова С.Я., Бурлакова Р.Ф., Черняева Г.Н. Содержание фенольных соединений в древесине и коре осины (*Populus Tremula L.*) // Химия древесины. 1990. №5. С. 79–85.
20. Прусакова Л.Д., Кефели В.И., Белопухова С.Л., Вакуленко В.В., Кузнецова С.А. Роль фенольных соединений в растениях // Агрохимия. 2008. №7. С. 86–96.
21. Frodeson S., Henriksson G., Berghel J. Pelletizing Pure Biomass Substances to Investigate Mechanical Properties and Bonding Mechanisms // Bioresources. 2018. Vol. 13. Pp. 1202–1222. DOI: 10.15376/biores.13.1.1202-1222.

Поступила в редакцию 4 октября 2022 г.

После переработки 9 ноября 2022 г.

Принята к публикации 10 ноября 2022 г.

Для цитирования: Белаш М.Ю., Веприкова Е.В., Соболев А.А., Романов В.Н., Козулина Н.С., Сныткова Т.А., Василенко А.В., Михайлец М.А., Липшин А.Г., Таран О.П. Получение, свойства и ростостимулирующая активность гранулированных азотсодержащих органо-минеральных удобрений на основе опилок осины // Химия растительного сырья. 2022. №4. С. 353–360. DOI: 10.14258/jcrpm.20220411955.

Belash M.Yu.^{1*}, Veprikova Ye.V.¹, Sobolev A.A.¹, Romanov V.N.², Kozulina N.S.², Snytkova T.A.², Vasilenko A.V.², Mikhaylets M.A.², Lipshin A.G.², Taran O.P.^{1,3} OBTAINING, PROPERTIES AND GROWTH-STIMULATING ACTIVITY OF GRANULAR NITROGEN-CONTAINING ORGANO-MINERAL FERTILIZERS BASED ON ASPEN SAWDUST

¹ Institute of Chemistry and Chemical Technology SB RAS, Federal Research Center "Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS", Akademgorodok, 50/24, Krasnoyarsk, 660036 (Russia), e-mail: belash_mikhail@mail.ru

² Krasnoyarsk Scientific Research Institute of Agriculture, Federal Research Center "Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", pr. Svobodny, 66, Krasnoyarsk, 660041 (Russia)

³ Siberian Federal University, pr. Svobodny, 79, Krasnoyarsk, 660041 (Russia)

A method for preparation of nitrogen-containing fertilizers based on aspen sawdust, including their impregnation with a water solution of ammonium nitrate and subsequent granulation, is proposed. The resulting fertilizers contain 15.42–16.07 wt.% nitrogen. The physicochemical properties of sawdust and fertilizers based on them are studied. It was shown that the pre-treatment of aspen sawdust by 1.0 wt.% water solution of NaOH leads to the development of their porous structure, a decrease in the content of phenolic substances and makes it possible to obtain denser fertilizer granules. As a result of a field test on growing wheat of the Krasnoyarskaya 12 variety, a growth-stimulating effect of nitrogen-containing granular fertilizers based on aspen sawdust was revealed - the crop yield increased by 0.4–0.9 t/ha compared to the unfertilized background. A more effective effect on the yield of wheat of granulated nitrogen-containing fertilizer based on sawdust after their treatment with 1.0 wt.% water NaOH solution was established – according to this indicator, the achieved effect is 0.5 t/ha more compared to fertilizer based on the original aspen sawdust.

Keywords: aspen sawdust, ammonium nitrate, granulation, wheat, field experience, grain yield.

References

1. Oluchukwu A.C., Nebechukwu A.G., Egbuna S.O. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 2018, vol. 53, no. 3, pp. 430–436.
2. Belovezhets L.A., Tretyakov A.V. *Chemistry for Sustainable Development*, 2020, vol. 28, pp. 121–127. DOI: 10.15372/KhUR2020210.
3. Ahmed S.A., Kim J.I., Park K.M., Chun S.K. *J. Wood Science*, 2011, vol. 57, pp. 295–301. DOI: 10.1007/s10086-011-1178-x.
4. Pershina L.A., Yefanov M.V., Zabelina A.V., Klepikov A.G. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2000, no. 4, pp. 65–71. (in Russ.).
5. Reetz H.F. Jr. *Fertilizers and their Efficient Use*. Paris, 2016, 110 p.
6. Azeem B., Kusahaari K.Z., Man Z.B. et al. *Journal Control. Release*, 2014, vol. 181, pp. 11–21. DOI: 10.1016/j.jconrel.2014.02.020.
7. Romanov V.N., Kozulina N.S., Snytkova T.A., Vasilenko A.V., Mikhaylets M.A., Lipshin A.G., Belash M.Yu., Veprikova Ye.V., Sobolev A.A., Taran O.P. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Khimiya*, 2021, vol. 14, no. 4, pp. 570–581. DOI: 10.17516/1998-2836-0264. (in Russ.).
8. Belash M.Yu., Veprikova Ye.V., Ivanov I.P., Kuznetsov B.N., Chesnokov N.V. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*, 2019, vol. 27, no. 5, pp. 453–459. DOI: 10.15372/KhUR2019159. (in Russ.).
9. Obolenskaya A.V., Yel'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornyye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy*. [Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose]. Moscow, 1991, 320 p. (in Russ.).
10. ISO 9277:2010–09 (E). *Determination of the specific surface area of solids by gas adsorption – BET method*.
11. Greg S., Sing K. *Adsorbtsiya, udel'naya poverkhnost', poristost'*. [Adsorption, surface area, porosity]. Moscow, 1984, 306 p. (in Russ.).
12. Rynkevich M. *Vestnik VNIMZH*, 2013, vol. 11, no. 3, pp. 181–187. (in Russ.).
13. Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta*. [Field experiment methodology]. Moscow, 1985, 352 p. (in Russ.).
14. *Raschet doz udobreniy na planiruyemyy urozhay kul'tur pri intensivnykh tekhnologiyakh (metodicheskiye ukazaniya i rekomendatsii dlya FPK)*. [Calculation of fertilizer doses for the planned crop yield with intensive technologies (guidelines and recommendations for FPK)]. Krasnoyarsk, 1988, 14 p. (in Russ.).
15. Aleksandrova L.N., Naydenova O.A. *Laboratorno-prakticheskiye zanyatiya po pochvovedeniyu*. [Laboratory and practical classes in soil science]. Leningrad, 1967, 350 p. (in Russ.).
16. *Metodicheskiye rekomendatsii po otsenke kachestva zerna*. [Guidelines for assessing the quality of grain]. Moscow, 1978, 171 p. (in Russ.).
17. Snedecor J.U. *Statisticheskiye metody v primeneni i issledovaniyam v sel'skom khozyaystve i biologii*. [Statistical methods in application and research in agriculture and biology]. Moscow, 1961, 503 p. (in Russ.).
18. Sokrates G. *Infrared and Raman characteristic group frequencies: Tables and charts*. West Sussex, 2001, 347 p.
19. Dolgodvorova S.YA., Burlakova R.F., Chernyayeva G.N. *Khimiya drevesiny*, 1990, no. 5, pp. 79–85. (in Russ.).
20. Prusakova L.D., Kefeli V.I., Belopukhova S.L., Vakulenko V.V., Kuznetsova S.A. *Agrokhiimiya*, 2008, no. 7, pp. 86–96. (in Russ.).
21. Frodeson S., Henriksson G., Berghel J. *Bioresources*, 2018, vol. 13, pp. 1202–1222. DOI: 10.15376/biores.13.1.1202-1222.

Received October 4, 2022

Revised November 9, 2022

Accepted November 10, 2022

For citing: Belash M.Yu., Veprikova Ye.V., Sobolev A.A., Romanov V.N., Kozulina N.S., Snytkova T.A., Vasilenko A.V., Mikhaylets M.A., Lipshin A.G., Taran O.P. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 4, pp. 353–360. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcpm.20220411955.

* Corresponding author.