

УДК 631.8

DOI: 10.15372/ChUR2020210

Агрохимические показатели компоста на основе древесных опилок

Л. А. БЕЛОВЕЖЕЦ¹, А. В. ТРЕТЬЯКОВ²¹Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского СО РАН, Иркутск (Россия)

E-mail: lyu-sya@yandex.ru

²ООО “Блаунт”, Москва (Россия)

(Поступила 10.10.19; после доработки 03.11.19)

Аннотация

Проблемы утилизации древесных опилок и резкого дефицита органических удобрений в сельскохозяйственных угодьях актуальны для многих регионов России. Рассмотрены основные агрохимические показатели удобрения, произведенного из древесных опилок. Проведено компостирование по разработанной в Иркутском институте химии им. А. Е. Фаворского СО РАН технологии с использованием ассоциации микроорганизмов на разных типах опилок (лиственные и хвойные) в разные годы в различных регионах России. Показано, что независимо от состава субстрата, времени и места компостирования удобрение стабильно по составу и основным агрохимическим показателям. Валовое количество азота, фосфора, калия сопоставимо с высококачественными органическими субстратами типа верхового торфа, однако содержание подвижных форм основных биогенных элементов превосходит таковой, что обеспечивает эффективный рост и развитие растений в течение вегетационного периода. Готовый компост обладает высокой емкостью катионного обмена и низкой гидролитической кислотностью, что снижает вынос катионов из пахотных горизонтов. Преимуществами компоста являются близкая к нейтральной среда и отсутствие семян сорняков, фитопатогенных микроорганизмов и паразитов. Количество токсичных и опасных веществ в удобрении значительно ниже предельно допустимых концентраций, установленных для почв. Предложенная технология компостирования опилок позволяет ликвидировать многотоннажные отходы лесоперерабатывающих предприятий и получить удобрение, увеличивающее урожайность сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: компост, древесные опилки, агрохимические показатели

ВВЕДЕНИЕ

В 2016 году общемировой объем учтенной заготовки древесины составил 3.73 млрд м³ [1]. За последние 5 лет он в среднем ежегодно увеличивался на 0.8 %. Россия входит в пятерку ведущих стран по объемам заготовки древесины (214 млн м³). При этом полезно используется только половина заготовленной древесины. Утилизация опилок и стружки регулируется Федеральными законами № 89-ФЗ [2] и № 7-ФЗ [3].

В соответствие с этими документами остатки от распила древесины причисляются к производственным отходам, поэтому к ним предъявляются строгие требования по обезвреживанию. Чтобы сохранить окружающую среду, все предприятия, деятельность которых сопряжена с выработкой опилок, должны утилизировать их надлежащим образом. Согласно законодательным актам, утилизацией опилок могут заниматься только специализированные организации, имеющие лицензию. Спецавтотранспорт должен

по графику приезжать на предприятия деревообрабатывающей промышленности и вывозить образовавшиеся отходы. Далее опилки и стружка транспортируются к месту обезвреживания. Повсеместно распространенное складирование опилок недопустимо, так как они создают высокую пожароопасность, прежде всего за счет способности к самовозгоранию. Следовательно, утилизация опилок представляет собой сложный и дорогостоящий процесс, снижение затрат на который приведет к значительной экономии средств владельцев лесопилок.

В то же время большинство сельскохозяйственных угодий в РФ испытывает дефицит органических удобрений. Например, в Иркутской области вносится в 21 раз меньше необходимого их количества [4]. Следствием этого становится снижение урожайности сельскохозяйственных культур и ухудшение качества продукции. В последние годы намечается тенденция к увеличению количества органических удобрений, вносимых на поля. Так, в 2018 г. в Иркутской области внесено 350 тыс. т органических удобрений, что на 25 % больше, чем в предыдущем [5].

Обычной практикой современного сельского хозяйства стало внесение только лишь минеральных удобрений. Это приводит к дополнительным потерям гумуса вследствие повышения активности почвенной микрофлоры, которая при недостатке свежего органического вещества и достаточном количестве азота удовлетворяет потребность в углероде преимущественно за счет разложения гумуса [6]. Потеря же 0.1 % гумуса ежегодно ведет к недобору до 1 ц/га зерна. Для стабильного функционирования агроценозов необходимо их периодическое “оздоровление”, заключающееся, в первую очередь, во внесении в почву органического вещества. Восстановление потерь гумуса может быть обеспечено внесением богатых лигнином субстратов – соломы, торфа, опилок, смесей коры с минеральными веществами и компостов на их основе. Органические удобрения, наряду с другими их положительными качествами, служат дополнительным источником биологически активных веществ для растений [7]. Кроме того, они стимулируют размножение ризосферной микрофлоры, которая также является активным поставщиком этих веществ.

Таким образом, использование опилок в качестве органического субстрата экологически и экономически выгодно. Их применение в качестве удобрения имеет положительные и отри-

цательные стороны. С одной стороны, опилки дают хороший мульчирующий эффект. С другой стороны, лигноцеллюлозное сырье обладает повышенной способностью к физическому и химическому поглощению минеральных веществ вследствие наличия функциональных групп и большой поверхностной активности частиц. Установлено, что 1 т опилок способна физически и химически связывать весь азот, содержащийся в 1.8 т куриного помета и 42 л гидроксида аммония (водного аммиака) [8]. Поэтому требуется дополнительное внесение высоких доз минерального азота, что провоцирует чрезмерное размножение почвенных микроорганизмов, в целом снижающее содержание гумуса в почве [9]. Отрицательное влияние лигноцеллюлозных отходов также может быть вызвано наличием или быстрым высвобождением в процессе почвенной микробной деградации биологически активных веществ. Прежде всего, к ним нужно отнести низкомолекулярные фенольные соединения. Так, малые количества коричной, кумаровой, салициловой и бензойной кислот, являющихся продуктами распада лигнина, ингибируют рост растений, а многие фенолкарбоновые кислоты отрицательно влияют на прорастание семян [10]. Следовательно, для использования опилок в виде удобрения необходима их переработка.

Наиболее удобный способ – микробное компостирование. Древесные опилки широко применяются в качестве субстрата для приготовления компостов как в России, так и за рубежом [11–16]. Однако чаще всего древесные опилки используются лишь как небольшая часть в смеси различных органических субстратов. Компостирование же смесей, в которых доля опилок составляет не менее 90 %, практически не проводится. В Иркутском институте химии им. А. Е. Фаворского СО РАН (ИрИХ СО РАН) разработан способ ускоренного компостирования древесных опилок с применением специально подобранной композиции дереворазрушающих грибов [17], который позволяет использовать органический моно субстрат с минеральными добавками и гашеной известью для нейтрализации опилок. Показана физиологическая активность микроорганизмов, входящих в состав ассоциации [18]. Введение микробной ассоциации позволяет стимулировать процесс и улучшить качество готового продукта.

Цель данной работы – сопоставление агрохимических показателей компостов, полученных в результате промышленных эксперимен-

тов на древесных опилках различного состава, проведенных в разных регионах России. Для сравнения использован верховой торф, как один из наиболее часто используемых органических субстратов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Методики исследования

Промышленное компостирование опилок проводили на следующих площадках в различное время (в скобках указан состав опилок и объем компоста):

Архангельская обл., пос. Советский; 2008 г. (осина, 60 м³) (1)

г. Иркутск; 2014 г. (смесь сосна/лиственница, 30 м³) (2)

г. Чита; 2010 г. (лиственница с небольшими включениями сосны, 30 м³) (3)

Архангельская обл., с. Березник; 2018 г. (смесь сосна/ель, 60 м³) (4)

Для компостирования опилок применяли свежие опилки лиственных и хвойных пород деревьев. Состав опилок (среднее по всем образцам, мас. %): С (53.9), N (3.4), Н (6.7), влажность – 10.9, рН водной вытяжки ($pH_{\text{вод}}$) 5.6, рН соляной вытяжки (pH_{KCl}) 5.9. Состав микробной ассоциации: *Acremonium* sp., *Phanerochaete chrysosporium* Burds. 1 MR-1 (Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск), *Trametes versicolor* (L.: Fr.) Pilat, предоставленный Д. И. Стомом (НИИ биологии при ИГУ, г. Иркутск), *Phanerochaete chrysosporium* Burds. ATCC-24725 (ВНПО Гидролизпром, г. Санкт-Петербург), *Sporotrichum pulverulentum* (конидиальная стадия *P. chrysosporium*) Novobr. 1767 (Всероссийская коллекция микроорганизмов, г. Пущино). Микроорганизмы выращивались индивидуально на жидкой питательной среде, затем нестерильно высушивались на цеолите с размером гранул 3–5 мм. В качестве минеральных добавок использовали удобрения: нитроаммофоску (соотношение N/P/K = 17 : 17 : 15) – 8 кг/т, мочевины – 8 кг/т, гашеную известь или доломитовую муку – 5 кг/т. Для компоста (4) доза мочевины уменьшалась вдвое. Субстрат увлажняли до влажности 60 %. Компостирование проводили на открытых площадках при естественном увлажнении и аэрации. На анализ отбирали среднюю пробу через 4 мес. компостирования.

Методы исследования

Агрохимический анализ образцов проводили в соответствии с гостированными методиками для органических удобрений: кислотность среды (рН) определяли по ГОСТ 26423–85, содержание валового азота – по ГОСТ 26715–85, P₂O₅ – по ГОСТ 26717–85, K₂O – по ГОСТ 26718–85, содержание подвижных форм P₂O₅ – по ГОСТ 27894.5–88, аммонийного азота – по ГОСТ 27894.3–88. Определение нитратного азота проводили по реакции с дифениламином в модификации Рима [19]. Гуминовые кислоты определяли по ГОСТ 9517–76, сумму поглощенных оснований – по ГОСТ 27821–88, емкость катионного обмена – по ГОСТ 17.4.4.01–84, гидролитическую кислотность – по ГОСТ 26212–91.

Вегетационные опыты

Вегетационные опыты проводили в сосудах объемом 0.25 л, количество почвы – 200 г. Компост вносили из расчета 5 г на сосуд. В каждый сосуд высевали по 5 семян томата, огурца или пшеницы, 10 семян редиса или 2 семени гороха. Эксперимент проводили в 5-кратной повторности. Подсчет результатов осуществляли через две недели для огурца, редиса, томата, пшеницы и через три недели – для гороха. По окончании опыта оценивали всхожесть, измеряли длину ростков и корней, массу надземной и подземной частей всех растений. Для обсуждения результатов длину и массу приводили к единому числу растений. Результаты опытов обрабатывали согласно [20].

Полевые опыты

Полевые опыты проводили на светло-серых лесных почвах учебно-производственного участка Иркутской государственной сельскохозяйственной академии (п. Молодежный, Иркутская обл.). По гранулометрическому составу почвы относятся к тяжелосуглинистым, характеризуются кислой реакцией пахотного горизонта (pH_{KCl} 4.6). Содержание гумуса (2.4 %) и валового азота (0.1 %) – низкое. Содержание обменного калия в пахотном горизонте составляет 18 мг/100 г почвы, подвижного фосфора – 40 мг/100 г почвы. В работе использовали семена картофеля сорта Невский. Компост вносили вручную под весеннюю перекопку (1 кг/м²) или при посадке картофеля в каждую лунку (0.2 кг).

Учетная площадь делянки – 10 м². Повторность опыта – четырехкратная.

Определение тяжелых металлов и мышьяка проводили на базе Института геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН (аттестат аккредитации аналитического центра № РОСС RU.0001.513593 выдан 16 февраля 2009 г.); санитарно-гигиеническое заключение получено после испытаний, проведенных Центром гигиены и эпидемиологии в Иркутской области (аттестат аккредитации RA.RU.710079 выдан 30 июля 2015 г.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Свежие опилки, независимо от состава, крайне бедны основными биогенными элементами (табл. 1). Так, в них полностью отсутствуют фосфор, калий, гуминовые кислоты, а количество азота варьируется от следовых до 0,2 мас. %. При высокой доле органического вещества, процент золы составляет всего 2–3 мас. %, что приводит к высокому массовому соотношению С/Ν. Свежие опилки обладают низкой емкостью катионного обмена и не способны эффективно поглощать основания, однако имеют высокую гидролитическую кислотность. Изначально высокая кислотность как водной, так и солевой вытяжки (рН 4,5 и 4,2 соответственно), в процессе хранения скачкообразно увеличивается (рН понижается до 3–3,5). Все это свидетельствует о невозможности использования опилок в качестве удобрения без их модификации.

Трансформация древесных опилок (в случае осиновых опилок продукт готов через 2 мес., а хвойных опилок – через 4 мес. переработки) приводит, прежде всего, к повышению рН до значений, соответствующих нейтральной среде, увеличению количества общего азота в среднем на порядок, появлению в субстрате фосфора, калия и гуминовых кислот. Похожие результаты получены в работе [21]. Положительным моментом можно считать появление подвижных форм основных агрохимически важных элементов. Емкость катионного обмена возрастает до уровня верхового торфа, а гидролитическая кислотность оказывается существенно ниже. Данные показатели крайне значимы для сохранения почвенного гомеостаза [22]. Поэтому внесение удобрения позволяет стабилизировать вымывание оснований из почв сельскохозяйственного назначения. Это особенно важно для бедных дерново-подзолистых и серых лес-

ных почв. Так, показано, что при увеличении емкости поглощения почвы за счет внесения сорбентов-ионообменников вымывание веществ в дерново-подзолистых почвах Северо-Западного региона снижается в среднем в 1,5–3 раза [23].

Интересно, что варьирование состава опилок, места и времени проведения компостирования практически не влияло на агрохимические показатели готового продукта (см. табл. 1). Так, содержание общего азота колебалось от 1,62 до 2,22 мас. %, а фосфора – от 0,22 до 0,44 мас. %. Резкое снижение количества подвижного азота в образце компоста (4) связано с меньшей дозой минеральных добавок, внесенных при начале компостирования. Совпадение по многим показателям с верховым торфом позволяет сделать вывод о высоком качестве готового продукта, а значительно большее количество подвижных форм биогенных элементов и оптимальное значение рН – использовать опилочный компост без внесения дополнительных питательных веществ. Еще одно положительное качество полученного удобрения – отсутствие в нем семян сорных растений и фитопатогенов. В то же время, микроорганизмы, участвующие в компостировании, активно подавляют рост патогенов, в частности фузариума [18].

Для компоста (1) были проведены вегетационные опыты (табл. 2). Редис и томат оказались наиболее отзывчивыми на внесение удобрения, все исследованные параметры увеличились более чем на 50 %. Развитие остальных сельскохозяйственных культур тоже ускорялось, особенно заметен рост корневой части растения. Проведение полевых опытов на компосте (1) ограничивалось определением урожайности картофеля. Повышение урожайности достигало 40–50 % при внесении компоста 0,2 кг в лунку перед посадкой или при перепашке из расчета 1 кг/м² (табл. 3).

Проведенные нами исследования готовых компостов на содержание тяжелых металлов, мышьяка и патогенных микроорганизмов (табл. 4) показали полное соответствие продуктов санитарно-эпидемиологическим нормам и предельно допустимым концентрациям (ПДК). Аналогичные результаты получены авторами [24].

По данным Центра гигиены и эпидемиологии в Иркутской области во всех образцах компостов отсутствуют лактозоположительные кишечные палочки, патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, фекальные стрептококки, клостридии, жизнеспособные яйца гельминтов, личинки и куколки мух.

ТАБЛИЦА 1
Качественный и количественный состав компостов

Наименование показателя, ед. измерения	Опилки ¹	Компост (1) (осина)	Компост (2) (сосна/лиственница)	Компост (3) (лиственница)	Компост (4) (сосна/ель)	Верховой торф ²
Внешний вид	Структурированная масса светло-желтого цвета	Порошок темно-коричневого цвета с примесью древесных опилок	Рассыпчатая масса коричневого цвета с вкраплениями структурированных опилок	Рассыпчатая масса коричневого цвета с вкраплениями структурированных опилок	Рассыпчатая масса коричневого цвета с вкраплениями структурированных опилок	Рассыпчатая масса с насыщенным черным либо черным с коричневым оттенком цветом
Массовая доля органического вещества, %	82	44.6	61.8	53.8	66.1	72–94
Емкость катионного обмена, мг-экв/100 г	1.2	8.98	10.25	9.11	10.75	10–12
Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г	7.3	1.14	1.14	1.17	1.12	5–10
Сумма поглощенных оснований, мг-экв/100 г	16.2	31.5	31.8	35.6	37.6	60–90
pH водной вытяжки (рН _{вод})	4.5	6.2	7.2	6.9	7.7	2.5–3.5
pH солевой вытяжки (рН _{KCl})	4.2	6.4	6.8	6.5	7.2	3.0–3.9
Массовая доля гуминовых кислот в пересчете на сухое вещество, %	0	5.3	11.3	9.2	9.4	9–14
Массовая доля золы, %	2.9	20.7	20.1	18.5	12.55	2–12
Массовая доля общего азота (N) в пересчете на сухое вещество, %	0.18	1.62	2.22	1.87	1.65	0.7–1.35
Содержание аммиачного азота (N/NH ₄), мг/100 г	0	500	1200	800	250	5–20
Содержание нитратного азота (N/NO ₃), мг/100 г	0	140	150	140	20	н/о
Массовая доля фосфора (P ₂ O ₅) в пересчете на сухое вещество, %	0	0.22	0.28	0.24	0.44	0.1–0.3
Содержание подвижных форм фосфора (P ₂ O ₅), мг/100 г	0	1200	1250	1300	1500	н/о
Массовая доля калия (K ₂ O) в пересчете на сухое вещество, %	0	0.5	0.4	0.45	0.4	0.01–0.24
Содержание подвижных форм калия (K ₂ O), мг/100 г	0	1000	1000	1000	1000	н/о
Массовое соотношение C/N	19.7	6.8	6.2	8.4	8.7	24.1

Примечание. Н/о – не определено.

¹Среднее по всем типам опилок.

²Литературные данные [25].

ТАБЛИЦА 2

Результаты вегетационных исследований сельскохозяйственных культур при внесении компоста (1)

Сельскохозяйственная культура	Росток		Корень	
	Длина, %*	Масса, %*	Длина, %*	Масса, %*
Горох	122	143	100	158
Пшеница	100	121	147	137
Редис	н/о	179	н/о	212
Огурец	112	114	144	186
Томат	153	145	171	185

Примечание. Н/о – не определено.

* По отношению к контролю при дозе внесения 1 кг/м².

ТАБЛИЦА 3

Действие компоста (1) на урожайность картофеля

Вариант	Урожайность	Увеличение урожайности	
	ц/га	ц/га	%
Контроль	164	–	–
Компост 0.2 кг/лунка	244	80	49
Компост 1 кг/м ²	228	64	39
НСР ₀₅	34	–	–

Примечание. 1. Прочерк обозначает, что нет данных. 2. НСР₀₅ – наименьшая существенная разность при 5 % уровне значимости.

ТАБЛИЦА 4

Содержание токсичных и опасных веществ (средние результаты по всем компостам)

Микроэлементы и тяжелые металлы	Содержание, мг/кг	ПДК, мг/кг
Zn	36	100.0
Ni	<2.0	85.0
Co	<1.0	5.0
Cu	4.2	55.0
Cd	0.21	0.5
Pb	0.40	30.0
Hg	0.007	2.1
As	<3.0	10.0

Примечание. ПДК – предельно допустимая концентрация.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Производимое по разработанной нами технологии удобрение, имеющее в своей основе древесные опилки, независимо от состава субстрата, времени и места компостирования стабильно по составу и основным агрохимическим показателям. Удобрение содержит азот, фосфор, калий в легко усваиваемой растениями форме и в хорошо сбалансированном виде. Эти вещества, а также гуминовые кислоты, входящие в состав

удобрения, обеспечивают эффективный рост и развитие растений в течение вегетационного периода. Полученное нами удобрение сопоставимо с верховым торфом по основным агрохимическим показателям, но превосходит таковой по содержанию подвижных форм основных биогенных элементов. Преимуществом полученного компоста является близкая к нейтральной среда (рН около 7), а также отсутствие семян сорняков, фитопатогенных микроорганизмов и паразитов. Количество токсичных и опасных веществ в удобрении значительно меньше предельно допустимых концентраций, установленных для почв. Использование данного компоста увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур, что позволяет рационально утилизировать многотоннажные отходы лесобрабатывающих предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 FAOSTAT [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO> (дата обращения 03.10.2019).
- 2 Федеральный закон № 89-ФЗ “Об отходах производства и потребления” от 24.06.1998 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (дата обращения 04.10.2019).

- 3 Федеральный закон № 7-ФЗ “Об охране окружающей среды” от 10.01.2002 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения 04.10.2019).
- 4 Бутырин М. В., Штанцова В. В. Динамика основных показателей плодородия пахотных почв Иркутской области // *Земледелие*. 2017. № 4. С. 9–14.
- 5 Отчет Министерства сельского хозяйства Иркутской области о результатах деятельности за 2018 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://irkobl.ru/sites/agroline/отчет_мхс_ио_за_2018г.pdf, С. 55. (дата обращения 04.10.2019).
- 6 Евдакова М. В. Экологические проблемы применения минеральных удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур // *Материалы Междунар. науч.-практ. конф. “Экология и сельское хозяйство: на пути к инновациям”*. Орел, 17–19 апреля 2019. С. 110–115.
- 7 Бутырин М. В. Рекомендации по поддержанию плодородия почв в условиях Иркутской области // *Агрофакт*. 2016. № 5. С. 5–13.
- 8 Применение органических удобрений в земледелии Хакассии (рекомендации) / отв. ред. А. М. Рыжков, Г. П. Горб. Абакан: УПП “Хакассия”, 1988. 50 с.
- 9 Ильин Н. И. Виды удобрений, их применение // *Урожайные сотки*. 1998. № 1. С. 35–37.
- 10 Орлов Д. С., Амосова Я. М., Якименко О. С. Агроэкологические аспекты использования нетрадиционных органических удобрений на основе гидролизного лигнина // *Почвоведение*. 1993. № 2. С. 36–44.
- 11 Пат. RU 2270825 C2, 2006.
- 12 Пат. RU 2546230 C1, 2015.
- 13 Пат. RU 2337085 C1, 2008.
- 14 Kebibeche H., Khelil O., Kasem M., Kaid Harche M. Addition of wood sawdust during the co-composting of sewage sludge and wheat straw influences seeds germination // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2019. Vol. 168. P. 423–430.
- 15 Rojas-Higuera N. S., Pava-Sánchez A. M., Pinzyn Rangel D. L., Pedroza-Rodríguez A. M., Díaz-Ariza L. A., Quevedo-Hidalgo B. Bio-transformed sawdust by white rot fungi used as a carrier for plant growth-promoting bacteria // *Holz als Roh- und Werkstoff*. 2017. Vol. 75, No. 2. P. 263–273.
- 16 Dai D., Fan M. Preparation of bio-composite from wood sawdust and gypsum // *Industrial Crops and Products*. 2015. Vol. 74. P. 417–424.
- 17 Пат. RU 2701942 C1, 2019.
- 18 Беловежец Л. А. Микробиологические и экологические аспекты переработки вторичного лигноцеллюлозного сырья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск, 2007. 24 с.
- 19 Агрохимические методы исследования почв: Руководство для полевых и лабораторных исследований. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1960. 555 с.
- 20 Александрова Л. Н., Найденова О. А. Лабораторно-практические занятия по почвоведению. Л.: Изд-во Колос, 1967. 352 с.
- 21 Пат. RU 2489414 C2, 2013.
- 22 Глухих М. А., Калганов А. А., Калганова Т. С. Динамика емкости катионного обмена почв Зауралья // *АПК России*. 2016. Т. 23, № 5. С. 909–917.
- 23 Яковлева Л. В., Николаева Е. А. Ионообменная способность и миграция веществ в дерново-подзолистых пахотных почвах // *Вестн. Брян. гос. с.-х. акад.* 2018. № 5 (69). С. 15–20.
- 24 Яшкина А. А., Федорова О. А., Кирдишова Е. А. Агрохимические показатели компостов на основе осадков сточных вод, полученных при добавлении различных наполнителей // *Проблемы регион. экологии*. 2018. № 1. С. 45–49.
- 25 Агрохимические свойства торфа [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://big-archive.ru/biology/the_peat_bogs_of_Russian_forest-steppe/31.php (дата обращения 09.10.2019).