

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НОВЫХ ВИДОВ ВЕРМИКОМПОСТА НА ПЛОДОРОДИЕ АГРОСЕРОЙ ПОЧВЫ

© 2019 г. О. В. Сенкевич<sup>1,\*</sup>, О. А. Ульянова<sup>1</sup>, С. В. Хижняк<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Красноярский государственный аграрный университет  
660049 Красноярск, просп. Мира, 90, Россия

\*E-mail: senk-olesya@mail.ru

Поступила в редакцию 03.09.2018 г.

После доработки 03.10.2018 г.

Принята к публикации 13.05.2019 г.

Исследовали влияние новых видов вермикомпостов на плодородие агросерой почвы. Показано, что эффективность исследованных вермикомпостов зависела от соотношения эколого-трофических групп микроорганизмов, структура микробоценозов разных видов вермикомпостов значительно отличалась, но общим для них являлось преобладание олиготрофов. Коэффициент минерализации тесно коррелировал с содержанием общего фосфора. Применение новых видов вермикомпоста, полученных переработкой отходов различных производств с помощью *Eisenia fetida*, на агросерой почве приводило к существенному увеличению содержания органического вещества, аммонийного азота, подвижного фосфора и обменного калия и зависело от дозы внесения. На показатели эффективного плодородия максимальное влияние оказал вермикомпост, приготовленный на основе отходов чая и кофе. Оптимальной дозой внесения вермикомпостов в агросерую почву было 6 т/га.

*Ключевые слова:* новые виды вермикомпоста, плодородие, агросерая почва.

DOI: 10.1134/S000218811908009X

### ВВЕДЕНИЕ

В связи с обострением экологических проблем, связанных с загрязнением окружающей среды отходами производства, возрастает интерес к альтернативным технологиям в сельском хозяйстве, производству экологически безопасных удобрений на основе биотехнологических процессов [1]. К ним относится технология вермикомпостирования, заключающаяся в повторном использовании органических отходов для получения эффективного биоудобрения – вермикомпоста (ВК). При этом соблюдаются принципы ресурсосбережения, экологической безопасности и надежного обеспечения растущего спроса на сельскохозяйственную продукцию. Дождевые черви, ускоряющие во много раз разложение органического вещества, позволяют в относительно короткие сроки экологически безопасным способом превратить разного рода органические отходы в ценное удобрение.

На территории Красноярского края функционируют 9 промышленных птицеводческих предприятий различных форм собственности, специализирующихся на выращивании кур-несушек, цыплят-бройлеров и индюков-бройлеров [2].

Ежегодные объемы накопления птичьего помета на этих птицефабриках составляют ≈346 тыс. т. Для повышения эффективности и оптимального его использования в региональном земледелии необходимо совершенствование технологий приготовления и применения птичьего помета в качестве удобрений [3]. Птичий помет обладает высокой питательной ценностью, но его недостатками являются сильнощелочная реакция среды, наличие патогенной микрофлоры и семян сорной растительности. Введение в птичий помет отходов деревообрабатывающей промышленности, имеющих кислую реакцию среды, оптимизирует рН смеси до нейтральной, и при последующем вермикомпостировании обеспечивает более быструю переработку субстрата (2–3 мес.) червями [4]. Крупнотоннажные древесные отходы (кора, опилки, гидролизный лигнин) образуются практически на всех стадиях лесозаготовительного, деревообрабатывающего процессов, в целлюлозно-бумажном производстве. Эти отходы рассматриваются как наиболее действенное средство улучшения структуры почвы, ее гумусного состояния и повышения плодородия [5–7].

В то же время существует проблема утилизации пищевых отходов, которые имеют высокую

влажность, быстро прокисают, загнивают и становятся источниками заражения патогенными микроорганизмами. Жидкие стоки пищевых продуктов содержат большое количество органических кислот. Они способствуют переводу тяжелых металлов из толщи отходов полигона в растворимые формы, увеличивая токсичность полигонного фильтрата [8]. К тому же некоторые продукты в принципе не могут быть использованы на 100%. К ним относятся чайные листья и кофейная гуща, остатки которых занимают существенную часть в структуре пищевых отходов населения страны. Однако в них обнаружено большое количество ценных веществ и их можно применять для культивирования различных микробных культур [9, 10]. Чайно-кофейные отходы являются подходящим субстратом для переработки дождевыми червями. В основе качества получаемого на их основе вермикомпоста лежит широкий микро- и макроэлементный состав смеси, тонизирующий и стимулирующий эффект, стерильность. Ежегодные объемы накопления их на свалках продолжают увеличиваться и требуют утилизации [11]. В Красноярском ГАУ на кафедре почвоведения и агрохимии разработаны технологии получения вермикомпоста на основе отходов различных производств, а для широкого внедрения полученных удобрений необходима их апробация. Поэтому цель работы – оценка влияния разных видов вермикомпоста на агрохимические показатели агросерой почвы и урожайность растений.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили с 2013 по 2015 гг. в микрополевым опыте на стационаре Красноярского ГАУ в сосудах без дна (диаметр сосуда 50 см, глубина 60 см). Объектами исследования являлись агросерая почва, разные виды вермикомпоста, полученные методом переработки птичьего помета и отходов деревообрабатывающей промышленности (коры, гидролизного лигнина, опилок), а также пищевых отходов (использованного чая и кофе в смеси с почвой) червем *Eisenia fetida*. Тестовые культуры – яровая пшеница сорта Новосибирская 15, рапс сорта Надежный 92, гречиха сорта Солянская.

Агросерая почва, использованная в опыте, характеризовалась низким плодородием. Для его повышения необходимо вносить удобрения. Рекомендуются для применения вермикомпостов при сплошном внесении в почву, по мнению ряда исследователей [12–14], являются дозы от 3 до 6 т/га. Подготовленные новые виды вермикомпоста вносили в агросерую почву в двух дозах – 3 и

6 т/га согласно схеме опыта, варианты: 1 – контроль (без удобрений), 2 – вермикомпост на основе коры и птичьего помета, 3 т/га (ВКк3), 3 – вермикомпост на основе коры и птичьего помета, 6 т/га (ВКк6), 4 – вермикомпост на основе гидролизного лигнина и птичьего помета, 3 т/га (ВКгл3), 5 – вермикомпост на основе гидролизного лигнина и птичьего помета 6 т/га, (ВКгл6), 6 – вермикомпост на основе опилок и птичьего помета, 3 т/га (ВКо3), 7 – вермикомпост на основе опилок и птичьего помета, 6 т/га (ВКоб). В 2014 г. были добавлены 2 варианта с новым видом вермикомпоста: 8 – вермикомпост из чайно-кофейных отходов, 3 т/га (ВКчк3), 9 – вермикомпост из чайно-кофейных отходов, 6 т/га (ВКчк6). Повторность опыта пятикратная. Размещение вариантов опыта последовательное.

Вермикомпосты вносили ежегодно перед посевом полевых культур. Почвенные образцы отбирали осенью, после уборки урожая растений, в образцах определяли содержание углерода органического вещества ( $C_{орг}$ ) по Тюрину [15], содержание нитратного азота – дисульфифеноловым методом в модификации Иодко–Шаркова [16], аммонийного азота – с реактивом Несслера, подвижные фосфор и калий – по ГОСТ 54650-11,  $pH_{KCl}$  – потенциометрическим методом, общие N, P, K – методом ближней инфракрасной диффузной отражательной спектроскопии (автоматизированная аналитическая система PSCO/ISI IBM – PS 4250) в Научно-исследовательском испытательном центре Красноярского ГАУ.

Микробиологический анализ всех видов вермикомпостов включал посева на средах Чапека, Сабуро и олиготрофной среде. Для вычисления доверительных границ использован пакет Quick-Calcs компании GraphPad Software. Доверительные границы вычислены на основе распределения Пуассона методом Гарвуда [17, 18]. Уборку урожая проводили путем скашивания растений на уровне почвы. Полученные результаты обрабатывали статистически методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного видов анализа с использованием программ “Excel” и “Statistika” [19].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Агрохимическая характеристика вермикомпостов.* Исходное сырье (отходы производств), использованное для вермикомпостирования, было различным (табл. 1). Подготовленные на его основе разные виды вермикомпостов характеризовались нейтральной и слабощелочной реакцией среды за счет выделения из субстратов кальция в процессе вермикомпостирования, что согласо-

лось с данными других авторов [20]. Высоким содержанием общего азота отличались вермикомпосты, приготовленные на основе коры, опилок и птичьего помета (*ВКо* и *ВКк*). Максимальное количество общего фосфора было характерно для вермикомпоста, подготовленного на основе гидролизного лигнина и птичьего помета (*ВКгл*). Более высокое количество углерода органического вещества было характерно для *ВКк* и *ВКо*, меньшее – для *ВКгл*. Очень высоким содержанием нитратного азота выделялся вермикомпост на основе птичьего помета и опилок, а количество аммонийного азота преобладало в вермикомпосте, произведенном из чайно-кофейного субстрата. Очень высоким количеством подвижного фосфора обладали *ВКк* и *ВКо*. Оптимальным соотношением С : N характеризовались все *ВК*.

*Микробиологическая характеристика вермикомпостов.* Микробиологическое исследование вермикомпостов проводили на стадии стабилизации, которая характеризовалась снижением активности микроорганизмов, потребности их в кислороде, рыхлым, землистым состоянием субстрата. В целом микробная сукцессия при вермикомпостировании идет от микробного сообщества неразложившихся органических остатков к сообществу, подобному почвенному. По мнению [21], в формировании вермикомпостов главенствующую роль имеет природа сырья для вермикомпостирования, а невозможность проследить общие для всех вермикомпостов тенденции к изменению обилия групп микроорганизмов вызвана несравнимостью данных, полученных разными методами исследования таксономического состава. Это согласуется с данными московских исследователей, изучавших спектр жирных кислот в копролитах червей *Eisenia fetida*, растущих на различном корме, и доказавших, что состав микробного сообщества кишечника дождевых червей *Eisenia fetida* напрямую зависит от субстрата, в котором они живут и размножаются [14, 22]. К наиболее важным функциональным особенностям микроорганизмов вермикомпостов относятся антагонистические свойства, проявляемые к микроорганизмам-фитопатогенам и зоопатогенам; способность разлагать те или иные биополимеры или обладание свойствами, полезными для роста сельскохозяйственных растений (азотфиксации, мобилизации фосфатов) [21].

В биологическом отношении вермикомпосты представляют собой равновесные саморегулирующиеся системы, управляемые сложным консорциумом микроорганизмов [23]. Считается, что своеобразная визитная карточка люмбрицид – микроорганизмы рода *Azotobacter*, осуществляю-

**Таблица 1.** Агрохимическая характеристика вермикомпостов

Показатель	<i>ВКк</i>	<i>ВКгл</i>	<i>ВКо</i>	<i>ВКчк</i>	
pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	6.9	7.2	6.8	7.2	
N	общие. %	1.31	1.12	1.40	1.21
		2.45	3.80	2.46	0.48
		1.09	0.95	1.16	1.13
		31.7	18.1	36.0	25.2
C <sub>орг</sub>	мг/кг	58.8	77.4	1010	35.0
		75.3	94.6	112	186
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	мг/100 г	1400	199	2030	20.4
K <sub>2</sub> O		450	368	460	151
C : N		24.2	16.2	25.7	20.8

Примечание. *ВКк* – вермикомпост на основе коры и птичьего помета, *ВКгл* – вермикомпост на основе гидролизного лигнина и птичьего помета, *ВКо* – вермикомпост на основе опилок и птичьего помета, *ВКчк* – вермикомпост из чайно-кофейных отходов. То же в табл. 2–4 и на рис. 1–5.

щие процессы азотфиксации, а также нитрификаторы – автотрофные бактерии, использующие энергию окисления аммония до нитрита и затем до нитрата [24, 25].

Результаты проведенного исследования показали, что численность микроорганизмов в вермикомпостах, подготовленных из разных субстратов, варьировала от 1.6 до 4.1 млн КОЕ/1 г образца. Следует отметить, что максимальной численностью микроорганизмов характеризовался *ВКо* (рис. 1). Численность микроорганизмов убывала в ряду: *ВКо* > *ВКгл* > *ВКчк* > *ВКк*. Структура микробоценозов вермикомпостов значительно отличалась, но общим для них являлось преобладание олиготрофов (рис. 2). Одним из показателей интенсификации минерализационных процессов в вермикомпостах может быть соотношение бактерий, усваивающих органический и минеральный азот (табл. 2). В субстратах с более энергичным процессом минерализации микроорганизмы, усваивающие минеральный азот, обычно превышают по численности микрофлору, развивающуюся за счет органического азота. Величина коэффициента минерализации <1 свидетельствует о завершенности процессов мобилизации азота, связанной с длительным хранением образцов в высушенном состоянии. Высокий коэффициент олиготрофности свидетельствовал о явно выраженной олиготрофности микрофлоры вермикомпостов. Олиготрофные микроорганизмы составляют группировку почвенной микрофлоры, завершающую минерализацию органических соединений. Олиготрофные микроорганизмы вообще и олигонитрофилы в частно-

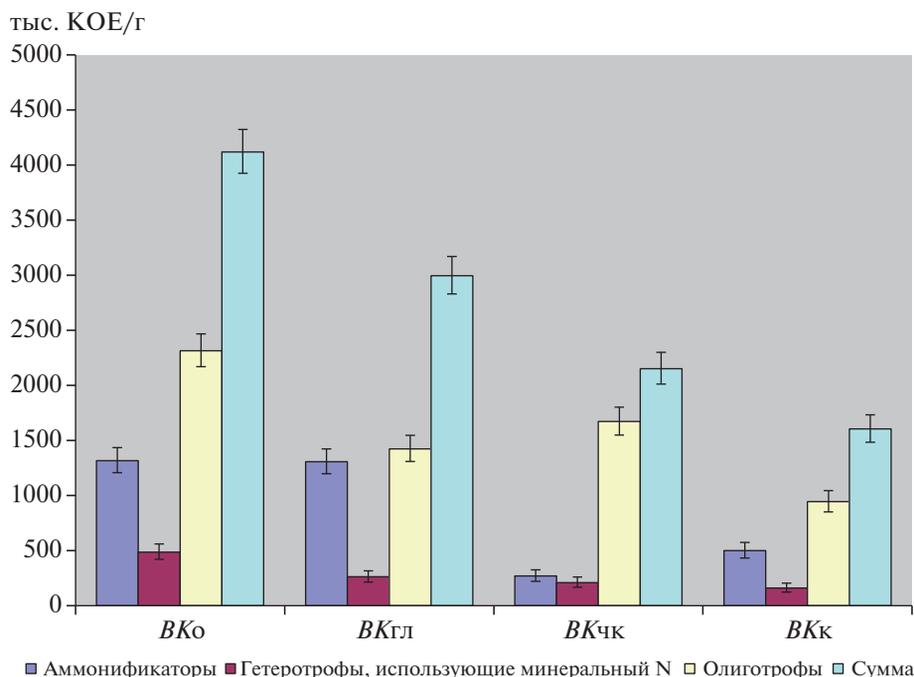


Рис. 1. Численность микроорганизмов в вермикомпостах, тыс. КОЕ/г вермикомпоста.

сти развиваются там, где происходит образование продуктов распада растительных остатков с низким соотношением С : N, они участвуют на разных этапах переработки органических соединений. В результате проведенного исследования выявлена тесная связь коэффициента минерализации с содержанием общего фосфора. Коэффициент корреляции ( $r$ ) составил 0.96.

Вполне очевидно, что не весь субстрат пропускается через пищеварительный тракт червей. Также известно, что уже имеющееся на субстрате микробное сообщество при прохождении через пищеварительный тракт червей модифицируется, а не полностью меняется [22]. Структура бактериального сообщества определяется в основном исходным сырьем для вермикомпостирования, т.к. его воздействие в 1.8 раза превосходит влияние червей [26]. Грибы, главным образом

*Aspergillus*, были обнаружены только в ВК на основе чайно-кофейного субстрата — 47 тыс. КОЕ/г ВК (на среде Сабура — 22.5, Чапека — 20.0, олиготрофной — 2.5 тыс. КОЕ/г). Микроскопические грибы являются активными деструкторами растительных остатков, их наличие свойственно для более свежего органического вещества.

Высокими коэффициентами минерализации и олиготрофности отличались ВКчк и ВКк, они же показали в опытах наибольшую эффективность, т.к. активная минерализация приводила к большему высвобождению элементов минерального питания. Максимальным коэффициентом минерализации отличался ВКчк (0.78), превышавшим в 2–4 раза другие виды ВК. Более высокий коэффициент олиготрофности свидетельствовал о видовом многообразии микрофлоры ВКчк. Таким образом, эффективность вермикомпоста зависела в большей степени не от общей численности микроорганизмов, а от их качественного соотношения.

*Влияние вермикомпостов на плодородие агросерой почвы и урожайность растений.* Известно [27], что в обедненной элементами питания почве ростстимулирующий эффект от продуктов переработки дождевыми червями выражен лучше, нежели в плодородной. Вермикомпост, будучи органическим материалом, пополнял в агросерой почве запасы органического углерода. Максимальному повышению (в 1.7–2.0 раза) содержа-

Таблица 2. Коэффициенты минерализации и олиготрофности разных вермикомпостов

Виды ВК	Коэффициенты	
	минерализации	олиготрофности
ВКк	0.32	1.89
ВКГл	0.20	1.09
ВКо	0.37	1.76
ВКчк	0.78	6.19

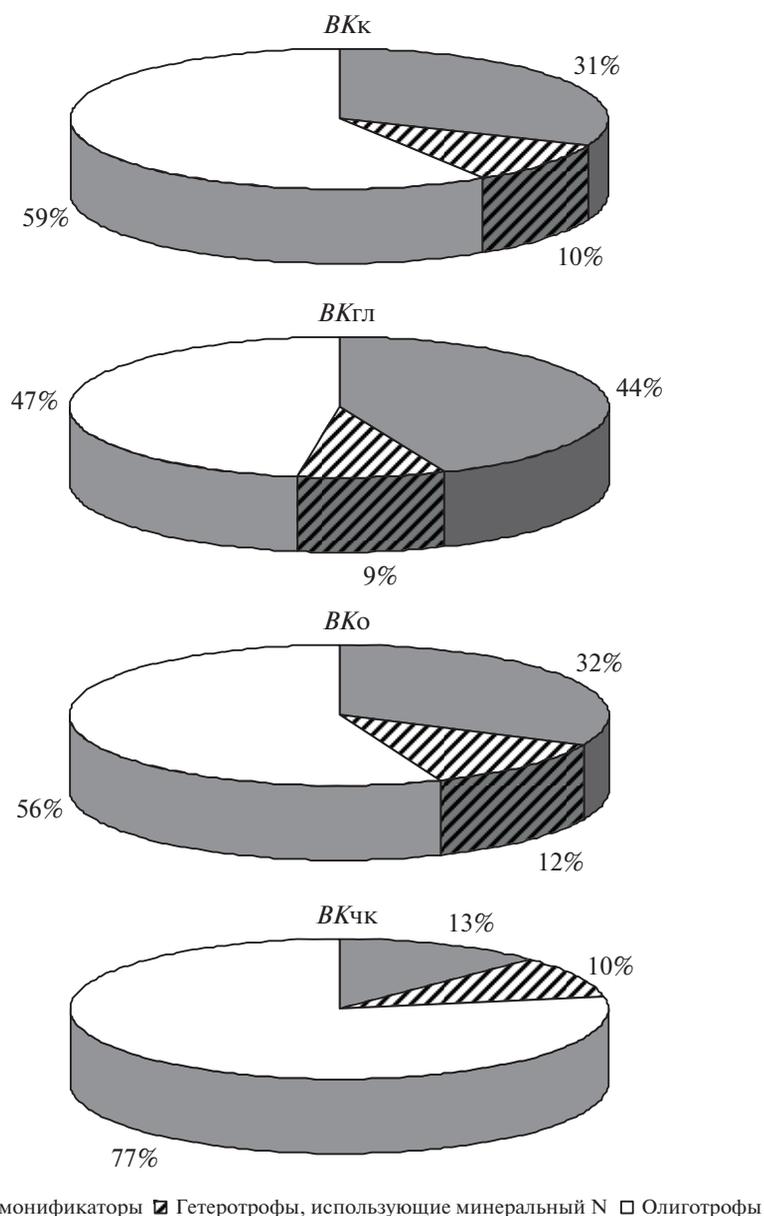


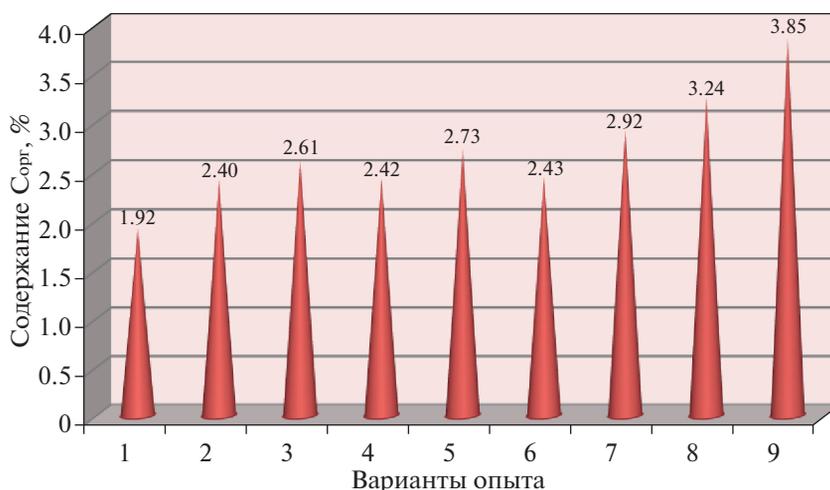
Рис. 2. Структура эколоого-трофических групп в микробоценозах вермикомпостов, %.

ния углерода органического вещества ( $C_{орг}$ ) в почве по отношению к контролю способствовало применению *ВК* на основе отходов чая и кофе в зависимости от дозы внесения (рис. 3). Одинарная доза других видов вермикомпостов, внесенных в агросерую почву, привела к увеличению количества  $C_{орг}$  в 1.3 раза, двойная доза – в 1.4–1.5 раза к контролю.

Реакция среды агросерой почвы слабокислая. Внесение вермикомпостов в дозе 3 т/га способствовало нейтрализации кислотности на 8–16%, а при удвоении доз *ВК* она изменялась со слабокислой в контроле до близкой к нейтральной (табл. 3).

Результаты проведенного исследования показали, что под действием *ВКчк*, внесенного в дозах 3 и 6 т/га, произошло максимальное достоверное повышение содержания общего азота на 33–44 и общего фосфора – на 23–46% по отношению к контролю соответственно. Внесение вермикомпостов в агросерую почву не оказало значимого влияния на количество общего калия.

Важным показателем эффективного плодородия почв является наличие в них достаточного запаса необходимых растениям биогенных элементов в доступной форме. Показано положительное влияние внесенных удобрений на показатели эф-



**Рис. 3.** Влияние различных видов и доз вермикомпостов на содержание органического вещества в почве, варианты: 1 – контроль без удобрения, 2 – ВКк3, 3 – ВКк6, 4 – ВКгл3, 5 – ВКгл6, 6 – ВКо3, 7 – ВКоб, 8 – ВКчк3, 9 – ВКчк6. То же на рис. 4.

фективного плодородия. Превращение азота в почвах, динамика содержания его минеральных соединений в значительной степени определяют условия минерального питания растений на протяжении вегетационного периода, эффективность удобрений, уровень урожайности сельскохозяйственных культур и его качество [28, 29]. Содержание минеральных форм азота подвергалось наиболее значительным изменениям. Количество аммонийного азота в контроле характеризовалось очень низкой обеспеченностью. При применении вермикомпостов отмечена тенденция к повышению этого показателя, но в преде-

лах того же класса обеспеченности. Результаты первого года исследования показали достоверное увеличение содержания аммонийного азота, зависящее от дозы внесения удобрения (рис. 4а). При одинарной дозе удобрений содержание аммонийного азота возросло на 32–59%. Наиболее эффективным в этой дозе оказался вермикомпост на основе коры и птичьего помета. При внесении двойных доз содержание элемента возросло на 71–88%. Наибольшее накопление аммонийного азота (3.1 мг/кг) также произошло в варианте с ВКк. На следующий год от контроля достоверно отличались только варианты с внесением ВКчк,

**Таблица 3.** Изменение показателей потенциального плодородия агросерой почвы под влиянием различных видов вермикомпостов

Вариант	рН <sub>KCl</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
		общие, %		
	<i>M ± m</i>			
Контроль (без удобрения)	5.08 ± 0.05	0.18 ± 0.01	0.13 ± 0.01	0.98 ± 0.04
ВКк3	5.51 ± 0.09	0.20 ± 0.01	0.13 ± 0.01	1.02 ± 0.03
ВКк6	5.63 ± 0.11	0.21 ± 0.01	0.14 ± 0.01	1.02 ± 0.04
ВКгл3	5.48 ± 0.05	0.22 ± 0.01	0.11 ± 0.01	1.07 ± 0.03
ВКгл6	5.80 ± 0.07	0.21 ± 0.01	0.14 ± 0.01	1.03 ± 0.03
ВКо3	5.55 ± 0.08	0.20 ± 0.01	0.14 ± 0.01	1.00 ± 0.05
ВКоб	5.69 ± 0.07	0.21 ± 0.01	0.12 ± 0.01	1.08 ± 0.03
ВКчк3	5.87 ± 0.10	0.24 ± 0.01	0.16 ± 0.004	0.97 ± 0.01
ВКчк6	5.76 ± 0.11	0.26 ± 0.003	0.19 ± 0.01	1.03 ± 0.05
НСР <sub>05</sub>	0.12	0.01	0.01	0.05

Примечание. *M* – среднее, *m* – стандартная ошибка.

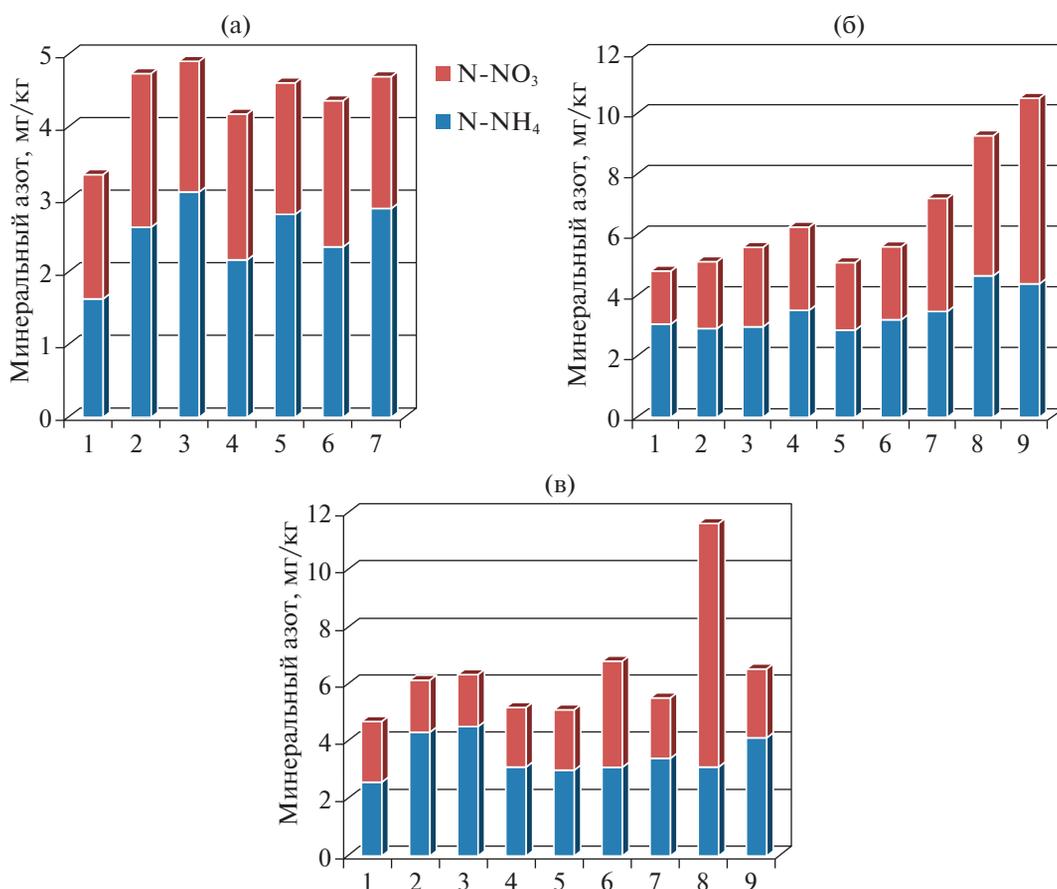


Рис. 4. Динамика содержания минеральных форм азота в агросерой почве (2013–2015 гг.), мг/кг: (а) – 2013 г., (б) – 2014 г., (в) – 2015 г.

где количество азота в аммонийной форме повысилось на 51 и 43% (рис. 4б). К концу вегетации гречихи (3-й год исследования) произошло накопление аммонийного азота во всех удобренных вариантах, причем наибольшую эффективность показал *ВКк*, независимо от дозы внесения, и *ВКчк* в дозе 6 т/га (рис. 4в).

Содержание азота в нитратной форме в год возделывания рапса не изменилось. При выращивании пшеницы произошло достоверное накопление этой формы азота в вариантах с *ВКо* (6 т/га) и *ВКчк* в обеих дозах на 117, 171 и 259% соответственно. После уборки урожая гречихи в 2015 г. в вариантах внесения *ВКо3* и *ВКчк3* наблюдали резкое увеличение содержания нитратного азота по сравнению с контролем и другими вариантами. Нитраты очень подвижны, их количество в почве подвержено большим изменениям. Результаты наблюдений за азотным режимом агросерой почвы показали, что внесение вермикомпостов способствовало усилению процесса аммонификации.

Содержание подвижного фосфора в агросерой почве при выращивании рапса оценивали как повышенное во всех вариантах опыта (табл. 4). В последствии под влиянием всех видов вермикомпостов наблюдали изменение его количества с повышенного уровня до очень высокого. Вермикомпосты на основе птичьего помета и отходов деревообработки в дозе 6 т/га повысили содержание подвижного фосфора на 111–126%.

В период вегетации рапса (2013 г.) содержание обменного калия характеризовалось средней обеспеченностью во всех вариантах опыта. При выращивании пшеницы количество обменного калия в вариантах с *ВКк3* и *ВКк6* и в контроле осталось в пределах среднего класса обеспеченности. В других удобренных вариантах (*ВКо3*, *ВКоб6*, *ВКгл3*, *ВКгл6*) этот показатель снизился до низкого уровня. Применение *ВКчк*, введенного в опыт с 2014 г., способствовало максимальному накоплению обменного калия (173 и 145% к контролю – при выращивании пшеницы, 56 и 73% – при возделывании гречихи), что соответствовало высокому уровню.

**Таблица 4.** Динамика содержания подвижного фосфора и обменного калия в агросерой почве под действием вермикомпостов, мг/100 г

Вариант	Рапс (2013 г.)		Пшеница (2014 г.)		Гречиха (2015 г.)	
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1. Контроль без удобрения	28.5	10.9	30.6	10.7	27.3	10.8
2. ВКк3	28.5	13.4	47.1	10.9	41.4	11.6
3. ВКк6	27.3	13.2	49.2	12.4	61.2	13.9
4. ВКгл3	27.9	11.9	40.2	9.1	43.2	12.1
5. ВКгл6	28.5	13.0	62.1	9.7	57.6	12.6
6. ВКо3	28.1	11.9	49.2	9.8	56.7	12.7
7. ВКо6	28.8	12.1	58.8	9.2	61.8	13.6
8. ВКчк3	Не определяли		43.8	29.2	32.1	16.8
9. ВКчк6	Не определяли		43.2	26.2	34.8	18.7
НСП <sub>05</sub>	0.6	0.5	0.7	0.6	0.6	0.5

Дискриминантный анализ доказал, что значимые отличия ( $p < 0.001$ ) наблюдали между вариантом ВКчк, с одной стороны, и остальными вариантами опыта – с другой стороны. Значимыми агрохимическими показателями для разделения вариантов было содержание  $C_{орг}$ , подвижного фосфора и обменного калия.

Выявлено повышение урожая фитомассы культур (рапса, пшеницы и гречихи) в удобренных вариантах (рис. 5). Наибольший урожай биомассы растений (50.8 ц/га) сформировался в варианте с вермикомпостом, приготовленным на основе коры и птичьего помета, и был больше контроля в 4.8 раза. Значительно повысился урожай также и в варианте с ВКгл. Высокая эффективность 2-х видов вермикомпоста предположительно была связана с хорошим их качеством, большой степенью их зрелости. Прибавка урожая зеленой массы рапса в вариантах опыта изменялась от 93 до 379% к контролю. Внесение в агросерую почву ВКк, ВКгл и ВКчк в дозе 3 т/га повысило урожай пшеницы на 76% к контролю, в варианте с ВКо – на 17–28% в зависимости от дозы. Вермикомпосты на основе коры и гидролизного лигнина (ВКк и ВКгл), внесенные в количестве 6 т/га, увеличили урожай на 117 и 124% к контролю соответственно. Применение ВКчк6 обеспечило максимальную прибавку урожая пшеницы (138% к контролю). Урожай зеленой массы гречихи в контроле составил 12 ц/га. При внесении вермикомпостов прибавки к контролю варьировали от 33 до 350%. Средняя за 3 года урожайность культур убывала в ряду: ВКгл6 > ВКк6 > ВКгл3 > ВКо6 > ВКо3 > ВКк3 > контроль. Поскольку ВКчк применяли с 2014 г., в данном ранжировании эти варианты не учитывали.

Урожайность полевых культур определяется в первую очередь плодородием почв, важными характеристиками которого является содержание органического вещества и подвижных элементов минерального питания. При анализе всего массива экспериментальных данных статистически значимая на уровне  $p < 0.05$  связь урожая рапса выявлена с количеством органического вещества в агросерой почве ( $R = 0.98$ ). Гречиха в отличие от рапса и пшеницы слабее реагировала на содержание органического вещества в агросерой почве. Сильная связь урожайности гречихи, имеющая экспоненциальный характер, выявлена с содержанием подвижного фосфора ( $R = 0.87$ ). Известно [30], что гречиха требовательна к фосфору и от степени обеспеченности этим элементом во второй половине вегетации зависит ее урожайность.

## ВЫВОДЫ

1. Показана возможность и целесообразность широкого применения в сельском хозяйстве удобрений, полученных с помощью технологии вермикомпостирования. Вермикомпосты, приготовленные из разных отходов, отличались по агрохимическим показателям. Высокой обеспеченностью нитратным азотом, подвижным фосфором и обменным калием характеризовались вермикомпосты на основе птичьего помета и отходов деревообработки, а количество аммонийного азота преобладало в вермикомпосте, произведенном из чайно-кофейного субстрата.

2. Установлено, что эффективность исследованных вермикомпостов зависела от соотношения эколого-трофических групп микроорганизмов. Грибы обнаружены в одном варианте – ВКчк.

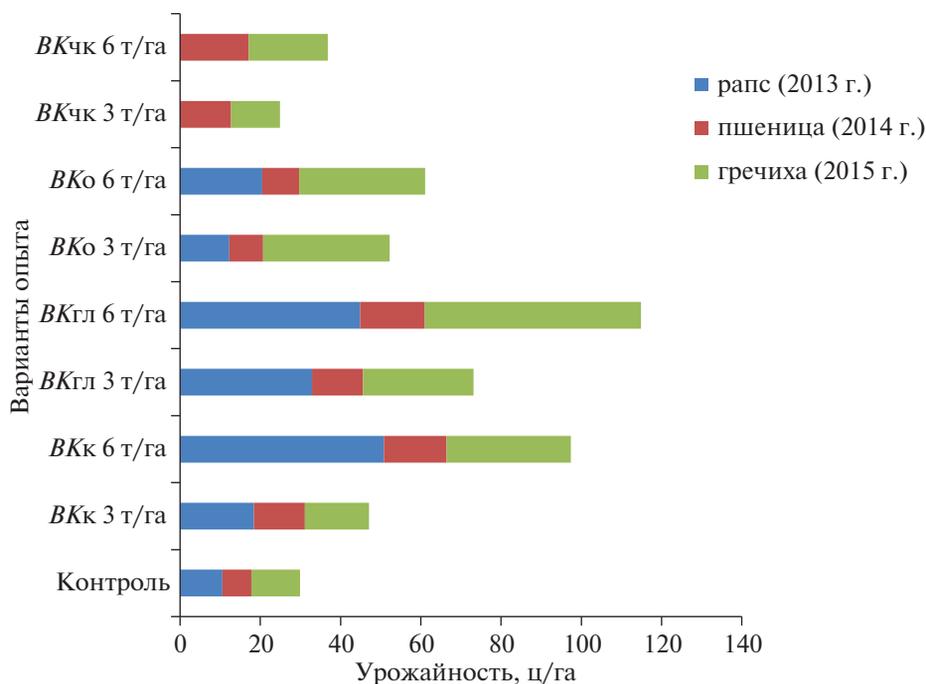


Рис. 5. Урожайность надземной фитомассы полевых культур, ц/га.

Наибольшими коэффициентами олиготрофности и минерализации характеризовались образцы ВКк, ВКчк, выявлена тесная связь коэффициента минерализации с содержанием общего фосфора. Коэффициент корреляции ( $R$ ) составил 0.96.

3. При внесении вермикомпостов в агросерую почву отмечено достоверное повышение содержания углерода органического вещества, аммонийного азота, подвижного фосфора и обменного калия, зависевшее от дозы внесения. На показатели эффективного плодородия наибольшее влияние оказал ВКчк.

4. Дискриминантный анализ показал, что значимые отличия ( $p < 0.001$ ) наблюдали между вариантом ВКчк, с одной стороны, и остальными вариантами опыта — с другой стороны. Значимыми агрохимическими показателями для разделения вариантов было содержание  $C_{орг}$ , подвижного фосфора и обменного калия. Лучшей дозой внесения вермикомпостов в агросерую почву было 6 т/га.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаренко В.И. Вермиккультура вытесняет // Достиж. науки и техники АПК. 1991. № 2. С. 55–56.
2. Турицына Е.Г., Донкова Н.В. Проблемы комплексного применения средств специфической и неспецифической профилактики в промышленном птицеводстве // Вестн. КрасГАУ. 2010. № 7. С. 101–107.
3. Волошин Е.И. Эффективность применения органических удобрений в агропромышленном комплексе Красноярского края // Вестн. КрасГАУ. 2016. № 4. С. 138–146.
4. Ульянова О.А., Ковалева Ю.П., Чупрова В.В. Пат. № 2480439 РФ. Состав для производства вермикомпоста на основе сосновой коры и куриного помета. Бюл. изобр. 2013. № 12. 4 с.
5. Кебич М.С., Зильберглейт М.А., Горбатенко И.В., Гурьян Б.А. Гумификация древесных отходов в процессе их биодеструкции // Агрохимия. 1997. № 3. С. 17–21.
6. Кураченко Н.Л., Ульянова О.А. Действие удобрительных смесей на основе опилок и птичьего помета на агрофизическое состояние чернозема Красноярской лесостепи // Агрофизика. 2017. № 4. С. 9–15.
7. Ульянова О.А., Чупрова В.В., Луганцева М.В., Кулебакин В.Г. Получение удобрительных композиций и влияние их на содержание и состав органического вещества в черноземе обыкновенном Красноярской лесостепи // Агрохимия. 2007. № 6. С. 42–49.
8. Жукова Е.С., Журилкина И.В. Утилизация пищевых отходов на объектах экономики: современная ситуация в России и за рубежом // Экономика и управление: новые вызовы и перспективы. Тольятти: Поволж. гос. ун-т сервиса, 2011. № 2. С. 379–381.
9. Косенко И.С., Шумелев Е.С., Соловьева Е.В. Возможность использования отходов производства кофе и чая в комбикормах // Изв. вузов. Пищевая технол. 2007. № 2. С. 101–102.
10. Башашкина Е.В., Суясов Н.А., Шакир И.В., Панфилов В.И. Биоконверсия отходов производства растворимого кофе в продукты кормового назначения // Экол. и пром-ть России (ЭКиП). 2011. № 1. С. 18–19.

11. Сенкевич О.В., Ульянова О.А. Пат. № 2613291 РФ. Состав для производства вермикомпоста на основе отходов чая и кофе. Бюл. изобр. 2017. № 8. 7 с.
12. Гайнуллин Р.М. Влияние возрастающих доз биогуруса на продуктивность озимой пшеницы и гречи на серых лесных почвах Предкамья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Казань: НИИСХ центральных районов Нечерноземной зоны, 2002. 26 с.
13. Максимова С.Л., Шаванова Т.М., Мухин Ю.Ф. Развитие технологий вермикомпостирования и вермикультивирования в Беларуси // Минск, Вестн. Полесского гос. ун-та. 2008. № 1. С. 44–47.
14. Кубарев Е.Н., Верховцева Н.В., Кузьмина Н.В. Микробоценоз кишечного тракта *Eisenia fetida* в зависимости от субстрата // Мат-лы II Международ. научн.-практ. конф. “Человек и животные”. Астрахань. 2005. С. 214–215.
15. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 478 с.
16. Иодко С.Л., Шарков И.Н. Новая модификация дисульфидного метода определения нитратов в почве // Агрохимия. 1994. № 4. С. 95–97.
17. Garwood F. Fiducial limits for the Poisson distribution // *Biometrika*. 1936. V. 28. Iss. 3–4. P. 437–442.
18. Patil V.V., Kulkarni H.V. Comparison of confidence intervals for the Poisson mean: some new aspects // *REVSTAT–Statistic. J.* 2012. V. 10. P. 211–227.
19. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
20. Лазарчик В.М., Головков А.М., Лазарчик В.Е., Черкашина Н.Ф. Вермикомпосты на основе разных субстратов // Агрохим. вестн. 2005. № 3. С. 14–17.
21. Якушев А.В. Микробиологическая характеристика вермикомпостов: Дис. ... канд. биол. наук. М.: Изд-во МГУ, 2009. 118 с.
22. Бызов Б.А. Зоомикробные взаимодействия в почве. М.: ГЕОС, 2005. 213 с.
23. Терещенко Н.Н., Юнусова Т.В., Писарчук А.Д. Микроорганизмы – уникальные индикаторы качества вермикомпоста // Достиж. науки и техн. АПК. 2012. № 5. С. 58–60.
24. Терещенко Н.Н., Наплекова Н.Н. Влияние различных экологических групп дождевых червей на интенсивность азотфиксации // Изв. АН. Сер. биол. 2002. № 6. С. 763–768.
25. Mengel K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops // *Plant and Soil*. 1996. V. 181. P. 83–96.
26. Якушев А.В., Бубнов И.А., Семенов В.М. Оценка степени влияния дождевых червей и природы исходного сырья на бактериальное сообщество вермикомпостов // Почвоведение. 2011. № 10. С. 1222–1230.
27. Jana U., Barot S., Blouin M., Lavelle P., Laffray D., Reppelin A. Earthworms influence the production of above- and belowground biomass and the expression of genes involved in cell proliferation and stress responses in *Arabidopsis thaliana* // *Soil Biol. Biochem.* 2010. V. 42. P. 244–252.
28. Носко Б.С., Котвотцкий Б.Б., Бредников А.М., Юнакова Т.А. Трансформация в почве и поглощение растениями азота // Агрохимия. 1997. № 12. С. 3–11.
29. Гамзиков Г.П. Прикладные аспекты почвенной диагностики азотного питания полевых культур в условиях Сибири // Научные основы и рекомендации по диагностике и оптимизации минерального питания зерновых и других культур. М.: Агроконсалт, 2000. С. 81–94.
30. Шеуджен А.Х., Куркаев В.Т., Котляров Н.С. Агрохимия: уч. пособ. Майкоп: Изд-во “Афиша”, 2006. 1075 с.

## Assessment of the Impact of New Vermicompost Species on the Fertility of Agro-Gray Soil

O. V. Senkevich<sup>a,\*</sup>, O. A. Ulyanova<sup>a</sup>, and S. V. Khizhnyak<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Krasnoyarsk State Agrarian University, prosp. Mira 90, Krasnoyarsk 660049, Russia

<sup>\*</sup>E-mail: senk-olesya@mail.ru

The impact of new types of vermicomposts on fertility of agro-gray soil was researched. It was shown that the efficiency of vermicompost was investigated depended on the balance of ecological-trophic groups of microorganisms, structure of microbial cenoses of different types of vermicomposts were significantly different, but common to them was the dominance of oligotrophs. The mineralization coefficient was closely correlated with the total phosphorus content. The use of new types of vermicompost obtained by processing waste from various industries using *Eisenia fetida* on agro-gray soil led to a significant increase in the content of organic matter, ammonium nitrogen, mobile phosphorus and exchangeable potassium and depended on the dose of application. Vermicompost prepared on the basis of tea and coffee wastes had the maximum impact on the indicators of effective fertility. The optimal dose of vermicompost application in agro-gray soil was 6 t/ha.

*Key words:* new types of vermicompost, fertility, agro-gray soil