АГРОХИМИЯ, 2019, № 1, с. 11–18

УДК 631.895:631.416.1:631.559:633.1

ВЛИЯНИЕ ВЕРМИКОМПОСТА НА АЗОТНЫЙ РЕЖИМ АГРОСЕРОЙ ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

© 2019 г. М. С. Бутенко[1,*], О. А. Ульянова[1]

[1]*Красноярский государственный аграрный университет*
660130 Красноярск, просп. Мира, 90, Россия
**E-mail: mbs.93@mail.ru*

Поступила в редакцию 27.03.2018 г.
После доработки 01.05.2018 г.
Принята к публикации 12.10.2018 г.

Показана возможность переработки крупнотоннажных отходов деревообработки (опилок) и сельского хозяйства (птичьего помета) методом вермикультуры в эффективное экологически безопасное удобрение – вермикомпост, который достоверно пополнял запасы азотсодержащих соединений в почве. За трехлетний период исследований разные фракции почвенного азота в составе общего преобладали в вариантах с вермикомпостом и варьировали от 5 до 16% для трудногидролизуемого, от 4 до 13% – для легкогидролизуемого, от 1 до 2% – для минерального, величина соотношения содержания легкогидролизуемой и трудногидролизуемой фракций азота не превышала 1. Максимальная урожайность кукурузы и пшеницы формировалась под действием вермикомпоста, внесенного в дозе 6 т/га. Применение вермикомпоста в дозе 3 т/га, внесенного на фоне азофоски, обеспечило максимальную урожайность ячменя.

Ключевые слова: вермикомпост, азотный режим, агросерая почва, урожайность, зерновые культуры.

DOI: 10.1134/S0002188119010034

ВВЕДЕНИЕ

Влияние различных способов воспроизводства плодородия почвы на процессы превращения азотистых соединений в почвенной среде остаются актуальными и в настоящее время [1, 2]. Азот и его соединения играют одну из главных ролей в развитии органической жизни на Земле, формировании почвенного покрова и плодородия экосистем, продуктивности земледелия. Почвенный покров богаче азотом, чем биомасса суши. Он является резервом плодородия экосистем [3]. В свое время Д.Н. Прянишников указывал, что главным условием, определяющим величину урожая в разные эпохи, было обеспечение почв азотом [4].

Основным фактором улучшения азотного питания растений является применение удобрений. Однако обеспеченность хозяйств удобрительными ресурсами в Красноярском крае низкая. Поэтому на кафедре почвоведения и агрохимии Красноярского ГАУ разработали технологию переработки крупнотоннажных отходов птичьего помета и опилок методом вермикультуры в новое экологически безопасное удобрение – вермикомпост. Для внедрения и широкого использования этого удобрения в сельском хозяйстве региона необходима его апробация. Многие почвенные факторы, которые влияют на азотный режим почвы, требуют проведения специальных исследований по выявлению формирования особенностей азотного питания. Проведение этих исследований в естественных условиях позволяет рассмотреть изменения содержания различных форм азота в почве и выявить их связь с усвоением этого элемента растениями в период вегетации.

К настоящему времени недостаточно материалов по изучению влияния использования минеральных удобрений и вермикомпоста, как в отдельности, так и совместно, на азотный фонд агросерых почв Красноярской лесостепи. Поэтому цель работы – изучение действия вермикомпоста и минеральных удобрений (азофоски), а также их смесей на азотный режим агросерой почвы и урожайность полевых культур.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изменение азотного режима агросерой почвы под влиянием внесения различных доз вермикомпоста исследовали на кафедре почвоведения и агрохимии Красноярского ГАУ в 2013–2015 гг.

Таблица 1. Климатические показатели (2013–2015 гг.)

Показатель	Годы		
	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Среднегодовая температура воздуха, °С	1.3		
Сумма положительных температур за период с $t > 10$°С	1471	1497	1599
Сумма осадков за год, мм	465		
Сумма осадков за период с $t > 10$°С, мм	265	277	191
Продолжительность безморозного периода, сут	103–120		
Продолжительность периода (сут) с температурой			
>10°С (активная вегетация)	86	82	87
>5°С (период вегетации)	91	91	87
Гидротермический коэффициент (ГТК)	1.8	1.9	1.2

в севообороте: кукуруза – пшеница – ячмень в микрополевом опыте в сосудах без дна (диаметр сосуда 50 см, глубина – 60 см) по следующей схеме, варианты: 1 – контроль без удобрений, 2 – вермикомпост (**ВК**) 3 т/га, 3 – *ВК* 6 т/га, 4 – *ВК* 1.5 т/га + + АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 1.5 т/га, 5 – *ВК* 3 т/га + АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 3 т/га, 6 – АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 3 т/га, 7 – АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 6 т/га. Повторность четырехкратная. Почва, использованная в опыте, – агросерая типичная среднепахотная средне гумусированная тяжелосуглинистая на коричнево-бурой карбонатной глине по Классификации 2004 г. (светло-серая лесная почва высоковскипающая среднемощная тяжелосуглинистая на коричнево-бурой карбонатной глине по Классификации 1977 г.). Она характеризовалась невысоким содержанием обменных катионов, низким количеством гумуса (3.6%), слабокислой реакцией среды (pH 5.4), средней обеспеченностью подвижным фосфором (199 мг/кг), аммонийным азотом (11.2 мг/кг) и высокой – обменного калия (224 мг/кг). Примененные в опыте органические (вермикомпост) и минеральные (АЗФК) удобрения вносили весной перед посевом каждой культуры в севообороте.

Вермикомпост – органическое удобрение, полученное методом переработки птичьего помета и опилок калифорнийским червем *Eisenia fetida*. Вермикомпост получали на кафедре почвоведения и агрохимии. Для этого использовали крупнотоннажные отходы опилок и птичьего помета местной птицефабрики “Заря”, территориально расположенной в Емельяновском р-не Красноярского края. Опилки и птичий помет смешивали в соотношении 1 : 1, перед этим компостируя в течение 3-х нед, затем в эту смесь добавляли до 25% почвы, перемешивали и заселяли червями, предварительно проверив эту смесь на токсичность. Вермикомпостирование проводили в течение 3-х мес. Полученный вермикомпост имел pH 6.8 (ГОСТ 27979-88), содержал в составе 17% органического вещества (ГОСТ 27980-88), по 1% общего азота (ГОСТ 26715-85) и калия (ГОСТ 26718-85), 3% общего фосфора (ГОСТ 26717-85), 0.29% аммонийного азота (ГОСТ 26716-85), 1010 мг нитратного азота/кг, 20300 мг подвижного фосфора/кг, 4600 мг обменного калия/кг. В почву вносили АЗФК (16:16:16) в чистом виде и совместно с вермикомпостом, согласно схеме опыта. Выращивали культуры: кукурузу сорт Сибирячка, пшеницу сорта Новосибирская 15 и ячмень сорта Биом.

Климат Красноярской лесостепи характеризуется как резко континентальный (табл. 1). Погодные условия вегетационных периодов 2013 и 2014 гг. резко отличались от многолетних показателей более высокими температурами в июне и августе и большим количеством осадков в мае, июне и августе, которые превышали среднемноголетние нормы в 1.6–2 раза в 2013 г., в 2014 г. – в 1.7–2.2 раза, гидротермический коэффициент (**ГТК**) в эти годы соответствовал избыточному увлажнению и составлял 1.8–1.9. В 2015 г. температура была выше среднемноголетнего показателя, но следует отметить меньшее количество осадков, выпавших в мае и августе, при этом ГТК соответствовал умеренному увлажнению (1.2).

Весной до закладки опыта и осенью после уборки урожая культур отбирали почвенные образцы, в которых определяли содержание нитратного азота – дисульфофеноловым методом в модификации Иодко–Шаркова [5], аммонийный азот – с реактивом Несслера [6], легкогидролизуемый и трудногидролизуемый азот – методом Корнфилда [7], общий азот – по ГОСТ 26715-85. Полученные результаты обработали методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализов [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В почве азот находится в виде органических и неорганических соединений. В естественных условиях почва как саморегулирующаяся система сохраняет сбалансированный биоцикл азота. При распашке происходит нарушение круговорота азота в результате создания в почве благоприятных условий для разложения азотсодержащих ор-

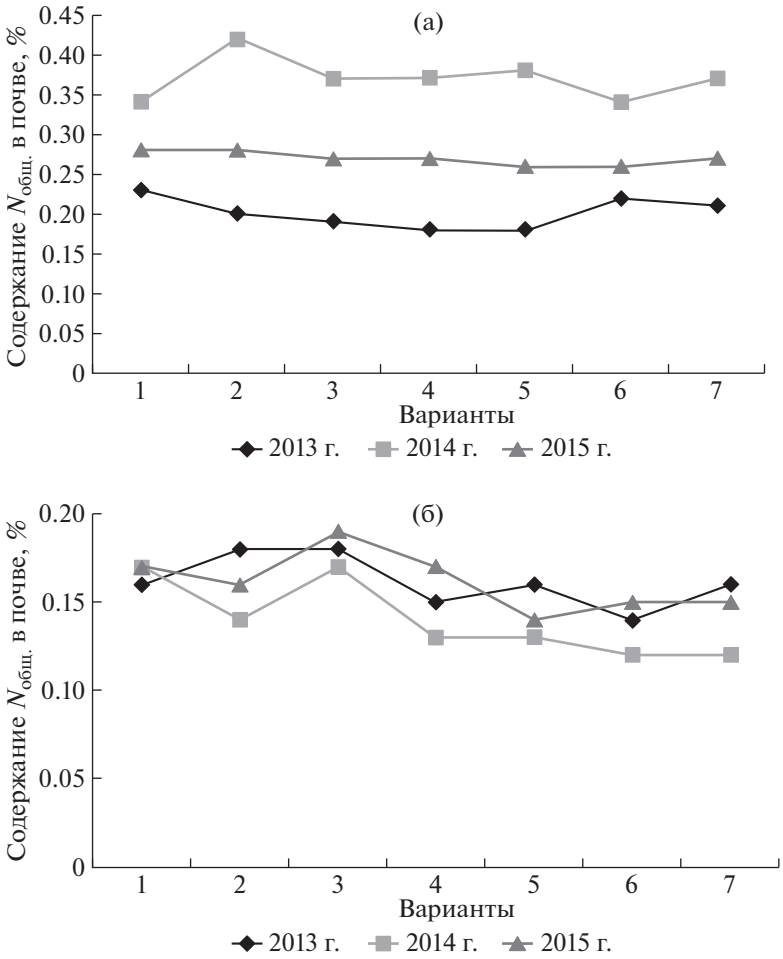

Рис. 1. Динамика содержания общего азота в почве, %: (а) – весной, (б) – осенью; варианты опыта: 1 – контроль без удобрений, 2 – вермикомпост (*ВК*) 3 т/га, 3 – *ВК* 6 т/га, 4 – *ВК* 1.5 т/га + АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 1.5 т/га, 5 – *ВК* 3 т/га + АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 3 т/га, 6 – АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 3 т/га, 7 – АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 6 т/га.

ганических веществ, отчуждения азота с товарной продукцией и применения органических и минеральных удобрений. Влияние этих факторов на азотный фонд почв неравнозначно. Для повышения запасов азота в почвах необходимо вносить удобрения в расчете не только на бездефицитный, но и на избыточный баланс. В первую очередь это относится к дерново-подзолистым и серым лесным почвам, поскольку естественные запасы азота в них невелики [9]. Анализ полученных результатов свидетельствовал о том, что агросерая почва содержит 0.23% общего азота. После уборки кукурузы при применении вермикомпоста в агросерой почве отметили тенденцию увеличения содержания общего азота на 13% (рис. 1). В других удобренных вариантах этот показатель остался на уровне контроля. Во 2-й год исследования (2014 г.) внесение в почву удобрений способствовало повышению содержания общего азота весной на 12–44% по отношению к контролю в зависимости от варианта опыта. После уборки пшеницы количество общего азота в агросерой почве уменьшилось в 2–4 раза в зависимости от варианта опыта. Эти изменения были обусловлены количеством и видом внесенных удобрений и их микробной трансформацией. Динамика содержания общего азота в агросерой почве в 2015 г. имела закономерность, отмеченную ранее. В весенний период обнаружили наибольшее количество общего азота, которое уменьшилось осенью в 1.6–1.9 раза по сравнению с контролем в зависимости от варианта опыта.

Среднее содержание трудногидролизуемой формы азота ($\mathbf{N_{тг}}$) в агросерой почве контрольного варианта за 3-летний период исследования варьировало от 161 до 165 мг/кг. Достоверных отличий по содержанию $N_{тг}$ по отношению к контролю в весенний период 2013 г. не выявили. Следует

Таблица 2. Влияние удобрений на содержание легко- и трудногидролизуемого азота в агросерой почве, мг/кг

Вариант	Весна					Осень				
	$N_{лг}$		$N_{тг}$		$N_{лг} : N_{тг}$	$N_{лг}$		$N_{тг}$		$N_{лг} : N_{тг}$
	$X \pm S_x$	V, %	$X \pm S_x$	V, %		$X \pm S_x$	V, %	$X \pm S_x$	V, %	
2013 г.										
1.Контроль (без удобрений)	123 ± 10	17	170 ±14	17	0.7	110 ± 8	14	154 ± 10	13	0.7
2. *ВК* 3 т/га	114 ± 2	3	161 ± 5	6	0.7	168 ± 38	45	158 ± 16	20	1.1
3. *ВК* 6 т/га	124 ± 10	16	173 ± 9	10	0.7	138 ± 13	18	193 ± 6	6	0.7
4. *ВК* 1.5 т/га + АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 1.5 т/га	123 ± 7	11	170 ± 6	7	0.7	128 ± 14	21	168 ± 10	11	0.8
5. *ВК* 3 т/га + АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 3 т/га	121 ± 7	11	159 ± 13	17	0.8	126 ± 5	8	186 ± 18	19	0.7
6. АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 3 т/га	123 ± 5	7	166 ± 5	6	0.7	119 ± 8	13	152 ± 6	8	0.8
7. АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 6 т/га	130 ± 8	13	175 ± 3	3	0.7	131 ± 12	20	158 ± 9	12	0.8
$НСР_{05}$	11	–	13	–	–	26	–	17	–	–
2014 г.										
1. Контроль (без удобрений)	130 ± 13	21	152 ± 8	10	0.9	117 ± 9	15	170 ± 8	9	0.7
2. *ВК* 3 т/га	133 ± 8	11	166 ± 4	5	0.8	147 ± 5	7	217 ± 5	5	0.7
3. *ВК* 6 т/га	140 ± 5	7	189 ± 8	8	0.7	193 ± 18	18	282 ± 35	24	0.7
4. *ВК* 1.5 т/га + АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 1.5 т/га	138 ± 6	9	163 ± 2	2	0.8	144 ± 11	15	205 ± 7	7	0.7
5. *ВК* 3 т/га + АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 3 т/га	135 ± 9	14	172 ± 14	17	0.8	130 ± 6	9	221 ± 13	12	0.6
6. АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 3 т/га	117 ± 5	9	159 ± 9	12	0.7	126 ± 15	23	170 ± 9	10	0.7
7. АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 6 т/га	124 ± 9	14	70 ± 9	10	0.7	114 ± 4	8	184 ± 12	13	0.6
$НСР_{05}$	12	–	12	–	–	16	–	23	–	–
2015 г.										
1. Контроль (без удобрений)	105 ± 3	5	142 ± 3	5	0.7	142 ± 11	15	189 ± 21	22	0.8
2. *ВК* 3 т/га	119 ± 3	5	173 ± 6	7	0.7	189 ± 17	18	219 ± 12	11	0.9
3. *ВК* 6 т/га	133 ± 6	10	189 ± 3	3	0.7	186 ± 11	12	229 ± 13	12	0.8
4. *ВК* 1.5 т/га + АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 1.5 т/га	117 ± 4	8	158 ± 7	9	0.7	168 ± 16	19	210 ± 13	13	0.8
5. *ВК* 3 т/га + АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 3 т/га	117 ± 6	10	161 ± 3	4	0.7	180 ± 16	17	228 ± 11	9	0.8
6. АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 3 т/га	105 ± 3	5	161 ± 14	18	0.7	179 ± 25	28	177 ± 8	9	1
7. АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 6 т/га	110 ± 7	12	145 ± 9	13	0.8	196 ± 10	10	177 ± 14	16	1.1
$НСР_{05}$	7	–	11	–	–	23	–	20	–	–

Примечание. Нумерация вариантов та же в табл. 3.

отметить лишь тенденцию к увеличению этого показателя в почве в варианте *ВК* 6 т/га + АЗФК, в дозе эквивалентной *ВК* 6 т/га (табл. 2). В осенний период наблюдений 2013 г. отметили достоверное увеличение содержания $N_{тг}$ в вариантах применения *ВК* 6 т/га и *ВК* 3 т/га + АЗФК. В последующие 2 года опыта внесение в почву вермикомпоста в чистом виде и совместно с АЗФК способ-

Таблица 3. Доля легко- и трудногидролизуемого азота в содержании общего азота в агросерой почве, %

Вариант	Доля $N_{тг}$ от $N_{общ}$						Доля $N_{лг}$ от $N_{общ}$					
	кукуруза		пшеница		ячмень		кукуруза		пшеница		ячмень	
	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень
1	7.7	9.6	4.5	10.0	5.1	11.1	5.6	6.9	3.8	6.9	3.8	8.3
2	8.1	8.8	4.0	16.7	6.2	13.7	5.7	9.3	3.2	11.3	4.3	11.8
3	9.1	10.7	5.1	16.6	7.0	12.1	6.5	7.7	3.8	11.3	4.9	9.8
4	9.4	11.2	4.4	15.8	5.8	12.4	6.8	8.5	3.7	11.0	4.3	9.9
5	8.9	11.6	4.5	17.0	6.0	16.3	6.7	7.9	3.6	10.0	4.3	12.9
6	7.6	10.9	4.7	14.2	6.2	11.8	5.6	8.5	3.5	10.5	4.0	11.9
7	8.3	9.8	3.5	15.3	5.4	11.8	6.2	8.2	2.5	9.5	4.1	13.1

Примечание. Кукуруза –2013 г., Пшеница – 2014 г., ячмень – 2015 г. То же в табл. 4, 5.

ствовало достоверному увеличению содержания этой фракции азота по отношению к контролю ($p < 0.05$). Статистически значимые различия в содержании этой фракции органического азота за весь период исследования выявили в почве в вариантах контроля и с вермикомпостом в дозе 6 т/га. Следует отметить, что доля трудногидролизуемого азота в составе общего преобладала в вариантах с вермикомпостом и составила 9–12% в 2013 г., 5–17% – в 2014 г. и 6–16% – в 2015 г. (табл. 3).

Легкогидролизуемый азот (**$N_{лг}$**) является ближайшим резервом подвижных форм, т.к. его минерализация происходит до образования аммонийного и нитратного азота. Среднее за 3 года содержание $N_{лг}$ в агросерой почве в контроле варьировало от 116 до 123 мг/кг. В зависимости от дозы внесенного в почву вермикомпоста происходило достоверное накопление данной фракции азота относительно контроля в осенние периоды: в 2013 г. – на 28–57.7, в 2014 г. – на 29.7–75.2 мг/кг. В весенний период 2015 г. обнаружили статистически значимое увеличение $N_{лг}$ к контролю в вариантах применения чистого *ВК* и *ВК*, внесенного вместе с АЗФК. Максимальное содержание этой фракции азота установлено при внесении вермикомпоста в дозе 6 т/га. Это свидетельствовало о том, что применение вермикомпоста пополняло запасы азотсодержащих соединений в почве. В осенний период 2015 г. достоверное увеличение содержания $N_{лг}$ выявлено во всех удобренных вариантах. Установлено, что доля легкогидролизуемого азота в составе общего преобладала в вариантах, удобренных вермикомпостом, и изменялась в пределах 6–9% – в 2013 г., 4–11% – в 2014 г. и 4–13% – в 2015 г. (табл. 3). Следует отметить, что соотношение легкогидролизуемого азота относительно трудногидролизуемой фракции не превышало 1 (табл. 2).

Количество аммонийной формы азота в вариантах опыта в 2013 г. варьировало от средней до повышенной обеспеченности весной, уменьшаясь осенью до очень низкого уровня после уборки кукурузы. Это было обусловлено высоким выносом азота этой культурой (табл. 4). Низкая и средняя обеспеченность аммонийной формой азота в весенний период и высокая – в осенний срок наблюдений в 2014 г. в зависимости от варианта опыта объясняется благоприятным гидротермическим режимом, способствовавшим интенсификации процессов аммонификации, приводящих к накоплению аммонийной формы азота. Количество $N_{лг}$ весной 2015 г. свидетельствовало о низкой обеспеченности почвы этой формой азота, которое увеличилось к осени до среднего уровня.

Содержание нитратного азота весной 2013 г. характеризовало почву как низко обеспеченную $N\text{-}NO_3$ (табл. 4) во всех вариантах опыта, и оно еще уменьшилось до очень низкого уровня осенью. Обильные осадки в августе, по-видимому, привели к вымыванию этой подвижной формы азота (табл. 1). Нитратный азот использовали и микроорганизмы, также некоторое его количество пошло на формирование урожая кукурузы. Полученные результаты не противоречат литературным данным. Известно, что количественное накопление $N\text{-}NH_4$ и $N\text{-}NO_3$ определяется соотношением процессов аммонификации и нитрификации при разложении азотсодержащих органических соединений [10]. В серых лесных почвах аммонификационный процесс преобладает над нитрификационным [11]. Количество нитратного азота в 2014 г. во все сроки определения (весна – осень) находилось на уровне очень низкой обес-

Таблица 4. Влияние удобрений на содержание минеральных форм азота в агросерой почве перед посевом (весной) и после уборки (осенью), мг/кг

Вариант	Кукуруза			Пшеница			Ячмень		
	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_3$	Сумма ($N\text{-}NH_4$ + + $N\text{-}NO_3$)	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_3$	Сумма ($N\text{-}NH_4$ + + $N\text{-}NO_3$)	$N\text{-}NH_4$	$N\text{-}NO_3$	Сумма ($N\text{-}NH_4$ + + $N\text{-}NO_3$)
1. Контроль (без удобрений)	11.9 / 1.3	6.5 / 2.9	18.4 / 4.2	9.5 / 17.0	2.9 / 2.7	12.3 / 19.8	6.9 / 8.5	1.7 / 0.3	8.6 / 8.8
2. *ВК* 3 т/га	13.2 / 1.6	6.4 / 2.8	19.6 / 4.5	10.0 / 17.8	3.0 / 3.9	12.9 / 21.6	7.5 / 7.9	2.2 / 0.5	9.7 / 8.4
3. *ВК* 6 т/га	11.2 / 0.9	5.2 / 3.0	16.3 / 3.9	9.7 / 17.5	3.7 / 4.9	13.4 / 22.4	7.6 / 8.6	2.7 / 0.7	10.3 / 9.3
4. *ВК* 1.5 т/га + АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 1.5 т/га	11.4 / 0.9	5.6 / 3.1	17.0 / 4.0	9.0 / 17.6	3.0 / 3.2	12.0 / 20.7	6.8 / 8.0	2.0 / 0.5	8.8 / 8.4
5. *ВК* 3 т/га + АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 3 т/га	11.2 / 1.3	5.6 / 2.6	16.8 / 3.9	7.9 / 17.8	3.0 / 3.1	10.9 / 20.9	6.9 / 8.4	2.4 / 0.6	9.4 / 9.0
6. АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 3 т/га	11.3 / 1.7	5.4 / 2.8	16.7 / 4.5	7.7 / 18.3	2.1 / 2.7	9.8 / 21.0	6.3 / 9.6	2.0 / 0.4	8.3 / 10.0
7. АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 6 т/га	10.5 / 1.6	5.4 / 4.0	15.9 / 5.6	11.5 / 19.5	2.7 / 2.7	14.3 / 22.1	7.7 / 10.0	2.1 / 0.6	9.9 / 10.5

Примечание. Над чертой – содержание $N\text{-}NH_4$ и $N\text{-}NO_3$ весной, под чертой – осенью.

печенности, что было связано с гидротермическими условиями этого года. В 2015 г., когда выращиваемой культурой был ячмень, сохранилась очень низкая обеспеченность нитратным азотом, обусловленная его использованием микроорганизмами и растениями.

Согласно градациям, разработанныv Г.П. Гамзиковым [12], агросерая почва весной 2013 г. характеризовалась низкой обеспеченностью почвенным азотом. При внесении вермикомпоста 3 т/га отметили тенденцию к увеличению этого показателя. В других вариантах, удобренных вермикомпостом и АЗФК, выявили тенденцию к уменьшению содержания минерального азота, при сохранении величины этого показателя в том же классе обеспеченности в начале вегетационного периода кукурузы. Это зависело от усиления процессов минерализации как органического вещества удобрений, так и почвы. Уменьшение количества минеральных соединений азота до очень низкого уровня обеспеченности осенью было обусловлено его использованием микроорганизмами и выносом кукурузой его доступных форм. Благоприятные гидротермические условия 2014 г. способствовали оптимизации трансформационных процессов удобрений и органического вещества в агросерой почве, которые привели к изменению обеспеченности минеральным азотом с низкого уровня весной до среднего к осени. Изменение гидротермических условий в 2015 г. (табл. 1) способствовало уменьшению количества минеральных соединений азота до очень низкого уровня обеспеченности в течение всего периода вегетации ячменя, связанного с уменьшением темпов минерализации органического вещества почвы, удобрений и выносом минерального азота выращиваемой культурой. Доля минеральных соединений азота в годы опыта в вариантах не превышала 1% от общего азота, исключение составил 2014 г., когда их доля возросла до 2% в вариантах применения вермикомпоста.

В опыте отмечены минимальные урожаи фитомассы пшеницы и ячменя в контроле, обусловленные низким плодородием агросерой почвы (табл. 5). Внесение в почву *ВК* 6 т/га и *ВК* 1.5 т/га + + АЗФК способствовало достоверному повышению урожая фитомассы кукурузы в 1.4–1.6 раза по сравнению с контролем. При этом максимальная биомасса кукурузы формировалась при действии вермикомпоста в дозе 6 т/га. Полученные данные согласуются с результатами исследований, апробировавших применение коробиогуму-

Таблица 5. Влияние удобрений на величину надземной фитомассы культур, г/сосуд

Вариант	Кукуруза		Пшеница		Ячмень		Среднее, г/сосуд
	г/сосуд	прибавка к контролю, %	г/сосуд	прибавка к контролю, %	г/сосуд	прибавка к контролю, %	
1. Контроль (без удобрений)	223 ± 26	–	6.6 ± 0.8	–	21 ± 5	–	84
2. *ВК* 3 т/га	260 ± 14	17	7.8 ± 1.1	18	38 ± 10	79	102
3. *ВК* 6 т/га	357 ± 24	60	10.3 ± 1.9	56	40 ± 7	89	136
4. *ВК* 1.5 т/га + АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 1.5 т/га	303 ± 50	36	7.8 ± 0.4	18	35 ± 8	65	115
5. *ВК* 3 т/га + АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 3 т/га	260 ± 72	17	9.4 ± 1.7	42	52 ± 15	146	107
6. АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 3 т/га	213 ± 35	–	9.3 ± 1.2	41	37 ± 9	75	88
7. АЗФК эквивалентно дозе *ВК* 6 т/га	238 ± 43	7	9.2 ± 0.3	39	30 ± 6	42	93
$НСР_{05}$	61	–	1.8	–	13	–	

са, полученного на основе коры и птичьего помета, они также указывали на увеличение урожая полевых культур при внесении коробиогумуса в дозе 6 т/га [13]. В других удобренных вариантах наблюдали лишь тенденцию к увеличению фитомассы кукурузы. Азофоска, внесенная в почву на фоне дозы вермикомпоста 3 т/га, а также в чистом виде, не оказала статистически значимого влияния на формирование фитомассы кукурузы, но достоверно увеличила урожай пшеницы. Однако максимальную прибавку урожая пшеницы (56%) к контролю отметили при внесении в почву вермикомпоста в дозе 6 т/га.

Анализ результатов также показал, что минимальный урожай фитомассы ячменя был в контроле (21.3 г/сосуд). Следует отметить, что применение всех доз вермикомпоста способствовало достоверному увеличению урожая фитомассы ячменя в 1.8–1.9 раза к контролю. Максимальная прибавка урожая ячменя по сравнению с контрольным вариантом была получена при совместном внесении в почву азофоски и вермикомпоста в дозе 3 т/га. Применение вермикомпоста в дозе 1.5 т/га совместно с АЗФК увеличило урожай ячменя в 1.7 раза, внесение азофоски в дозе, эквивалентной 3 т *ВК*/га – в 1.8 раза. Оценивая средний урожай фитомассы культур за 3-летний период исследования, отметим ее достоверное увеличение при внесении 6 т *ВК*/га и 1.5 т *ВК*/га совместно с АЗФК, внесенной в эквивалентных дозах по отношению к вермикомпосту.

ВЫВОДЫ

1. Азотный режим агросерой почвы формировался под влиянием внесенных удобрений. Применение вермикомпоста достоверно пополнило запасы азотсодержащих соединений в почве. Доля трудногидролизуемого азота в составе общего в вариантах с внесением вермикомпоста варьировала от 5 до 16% за 3-летний период наблюдений, а доля легкогидролизуемого – от 4 до 13%. Соотношение содержаний легкогидролизуемого и трудногидролизуемого азота не превышало 1.

2. Низкая и очень низкая обеспеченность агросерой почвы нитратной формой азота в вариантах опыта за весь период наблюдений была связана с вымыванием этой фракции азота осадками в нижележащие горизонты почвы и ее выносом урожаем выращиваемых культур. Выявлено преобладание аммонийной формы азота над нитратной. Доля минеральных соединений азота в годы исследования варьировала от 1 до 2% от общего азота в вариантах, удобренных вермикомпостом.

3. Применение вермикомпоста способствовало достоверному увеличению урожая фитомассы культур. Максимальное количество фитомассы кукурузы и пшеницы (в первые 2 года) формировалось при внесении вермикомпоста 6 т/га и превышало контроль на 56–60%. Внесение в почву вермикомпоста в дозе 3 т/га совместно с азофоской (третий год) обеспечило максимальный урожай фитомассы ячменя (прибавка к контролю составила 146%). Применение азофоски в разных дозах способствовало статистически значимому увеличению урожая пшеницы на 39–42, ячменя – на 75%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лобков В.Т., Бобкова Ю.А.* Влияние органических удобрений и возделываемых культур на азотный режим темно-серой лесной почвы // Агрохимия. 2015. № 10. С. 3–9.
2. *Агафонов Е.В., Каменев Р.А., Бельгин А.А.* Влияние подстилочного куриного помета на азотный режим чернозема обыкновенного и урожайность кукурузы // Агрохимия. 2016. № 9. С. 16–23.
3. *Бодикова Н.В.* Азотный фонд литостратов под разновозрастными культурами сосны на отвалах Назаровского угольного разреза // Экологические альтернативы в сельском и лесном хозяйстве. Вып. 3. Красноярск, 2013. С. 30–35.
4. *Бугаков П.С., Горбачева С.М., Чупрова В.В.* Почвы Красноярского края. 1981. 88 с.
5. *Иодко С.Л., Шарков И.Н.* Новая модификация дисульфофенолового метода определения нитратов в почве // Агрохимия. 1994. № 4. С. 95–97.
6. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 478 с.
7. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
8. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
9. *Гамзиков Г.П.* Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: РАСХН, СО, Новосибирский ГАУ, 2013. 790 с.
10. *Чупрова В.В., Ерохина Н.Л., Александрова С.В.* Запасы и потоки азота в агроценозах Средней Сибири. Красноярск: Красноярский ГАУ, 2006. 171 с.
11. *Сорокина О.А.* Агрогенная трансформация серых лесных почв. Красноярск: Красноярский ГАУ, 2008. 176 с.
12. *Гамзиков Г.П.* Принципы почвенной диагностики азотного питания полевых культур и применения азотных удобрения // Совершенствование методов почвенно-растительной диагностики азотного питания растений и технологий применения удобрений на их основе. М.: ВНИПТИХИМ, 2000. С. 33–55.
13. *Чупрова В.В., Жукова И.В., Ульянова О.А.* Агроэкологическая оценка коробиогумуса // Вестн. КрасГАУ. 2014. № 11. С. 93–100.

Effect of Vermicompost on Nitrogen Regime of Agro-Grey Forest Soil and Cereal Yofield

M. S. Butenko[a,#] and O. A. Ulyanova[a]

[a] *Krasnoyarsk State Agrarian University*
prosp. Mira 90, Krasnoyarsk 660130, Russia
[#] *E-mail: mbs.93@mail.ru*

The possibility of recycling large-tonnage wastes in wood processing (sawdust) and agriculture (poultry manure) into an effective environmentally safe fertilizer – vermicompost by the method of vermiculture, with significant replenishment of nitrogen soil compounds stocks, was shown. For a three-year period of research different fractions of nitrogen of sois prevailed in treatments with vermicompost and varied for hardly hydrolyzable from 5 to 16%, for easily hydrolyzed – from 4 to 13%, for mineral – from 1 to 2% of the total nitrogen. The ratio of the readily hydrolyzable and hardly hydrolyzable nitrogen fractions did not exceed 1. The maximum yield of maize and wheat was formed after application of 6 t ha^{-1} of vermicompost. Application of 3 t ha^{-1} of vermicompost with azofosca ensured the maximum yield of barley.

Key words: vermicompost, nitrogen regime, agro-greyforest soil, yield, cereals.