

## ДЕЙСТВИЕ ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ ВЕРМИКОМПОСТА НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ, УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ

© 2020 г. М. С. Бутенко<sup>1,\*</sup>, О. А. Ульянова<sup>1</sup>, А. Н. Халипский<sup>1</sup>, С. В. Хижняк<sup>1</sup>

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

\*E-mail: mbs.93@mail.ru

Поступила в редакцию 23.10.2019 г.

После доработки 30.12.2019 г.

Принята к публикации 10.04.2020 г.

В полевом мелкоделяночном опыте (2016–2018 гг.) исследовали действие вермикомпоста на агрохимические свойства агрочернозема глинисто-иллювиального Красноярской лесостепи, урожайность и качество клубней картофеля. Установлено, что внесение в почву вермикомпоста 5 т/га способствовало максимальному формированию урожайности картофеля. Высокие связи величины урожайности картофеля выявили с количеством обменного калия, трудногидролизуемого азота и содержанием гумуса в почве. Полученные результаты позволили разработать модель урожайности картофеля сорта Арамис. Применение вермикомпоста в агрочернозем не ухудшило качественных показателей клубней картофеля.

*Ключевые слова:* вермикомпост, агрочернозем, агрохимические свойства почвы, урожайность, качество клубней картофеля, модель урожайности.

DOI: 10.31857/S0002188120070042

### ВВЕДЕНИЕ

Утилизация органических отходов, которых ежегодно образуется в России  $\approx 3.5$  млрд т, является одной из важных проблем современной науки и практики. Общая площадь свалок в стране неуклонно растет и уже превысила 2.5 тыс. км<sup>2</sup>. Красноярский край в этой связи – не исключение: ежегодные объемы накопления опилок в регионе достигают 500 000 т, птичьего помета –  $\approx 346 000$  т. Загрязнение ими приводит к ухудшению экологического состояния почв. В то же время опилки характеризуются высоким содержанием органического вещества (95%), но низким – элементов минерального питания (N – 0.18, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0.01, K<sub>2</sub>O – 0.02%), слабокислой реакцией среды (pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> 5.5). Птичий помет, наоборот, обогащен элементами минерального питания (N – 2.90, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 2.94, K<sub>2</sub>O – 1.08%), pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> 8.3. Высокие объемы накопления этих отходов и взаимодополняемость их химического состава определяют возможность их использования в качестве субстрата для переработки методом вермикюльтуры, позволяющей утилизировать органические отходы с получением вермикомпоста, увеличивающе-

го плодородие почв, урожайность культур и качество выращиваемой продукции. Почвы Красноярской лесостепи имеют отрицательный баланс гумуса, макро- и микроэлементов, поэтому внесение вермикомпоста представляется важным направлением увеличения их плодородия. Однако многие аспекты рационального применения вермикомпоста под картофель в регионе недостаточно изучены. Поэтому цель работы – оценка действия возрастающих доз вермикомпоста на плодородие агрочернозема, урожайность и качество клубней картофеля.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Учебно-научный комплекс "Борский" Красноярского ГАУ, где в 2016–2018 гг. проводили полевые исследования, расположен в Сухобузимском р-не Красноярского края (56°N, 92°E). На этой территории выпадает в среднем 350–450 мм осадков в год. Среднегодовая температура воздуха изменяется от 0.5 до 1.3°C, иногда понижаясь до –2°C. Сумма активных температур составляет 1550–1800°C, почва промерзает на глубину 1.5–3.0 м. Период биологической активности варьирует от 90 до 115 сут, климат – резко

континентальный. Гидротермические условия лет исследования складывались по-разному. Сумма осадков за вегетационный период (май–август) по годам варьировала от 94 до 208 мм (среднепогодная норма – 207 мм). По условиям влагообеспеченности и температурному режиму вегетационные периоды 2016 и 2018 гг. соответствовали недостаточному увлажнению ( $GTK = 0.5–0.8$ ) и резко отличались от многолетних показателей более высокими показателями температуры в июне и июле и низкими показателями количества осадков в июне и августе. Вегетационный период 2017 г. характеризовался оптимальным увлажнением ( $GTK = 1.1$ ).

В полевых опытах апробировали вермикомпост (**ВК**), для получения которого использовали крупнотоннажные отходы деревообрабатывающей промышленности (опилки) и сельского хозяйства (птичий помет). Оба компонента смешивали в соотношении 1 : 1 и предварительно компостировали в течение 3-х нед. В качестве наполнителя-структурообразователя использовали до 25% почвы, перемешивали все компоненты и заселяли червями, предварительно проверив эту смесь на токсичность. Вермикомпостирование происходило в течение 3-х мес. Полученный вермикомпост содержал 20.3% органического вещества (ГОСТ 27980-88), 1.3% общего азота (ГОСТ 26715-85), 2.9% общего фосфора (ГОСТ 26717-85), 0.98% калия (ГОСТ 26718-85), 330 мг N-NH<sub>4</sub>/кг (ГОСТ 26716-85), 902 мг N-NO<sub>3</sub>/кг, подвижного фосфора – 23000 мг/кг, обменного калия – 2950 мг/кг, имел рН<sub>Н<sub>2</sub>О</sub> 7.1 (ГОСТ 27979-88).

Действие вермикомпоста на агрохимические свойства почвы и урожайность картофеля исследовали в полевом мелкоделяночном опыте по следующей схеме, варианты: 1 – контроль (без удобрений), 2 – ВК 3 т/га, 3 – ВК 5 т/га, 4 – ВК 7 т/га. Повторность опыта четырехкратная, расположение делянок последовательное. Площадь опытной делянки – 10 м<sup>2</sup>. Вермикомпост вносили в почву весной вручную перед посадкой картофеля. В опытах использовали среднеспелый сорт картофеля Арамис категории супер-суперэлиты, созданный методом ступенчатой гибридизации с привлечением в скрещивания дикого вида картофеля *Solanum stoloniferum*.

Почва опытного участка – агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный. Перед закладкой опыта содержание гумуса в почве составляло 7.6%, обеспеченность подвижным фосфором (281 мг/кг) и обменным калием (230 мг/кг) – высокая (V класс). Последнее характерно для почв Красноярского края и является следствием обо-

гашенности калием материнских пород тяжелого гранулометрического состава.

Уборку картофеля проводили вручную с поделяночным взвешиванием клубней в первой декаде сентября. Почвенные образцы отбирали из пахотного слоя в динамике (май–июнь–июль–август), в которых определяли содержание гумуса по методу Тюрина [1], рН<sub>Н<sub>2</sub>О</sub> – потенциометрическим методом, аммонийный азот – с реактивом Несслера [1], количество нитратного азота – дисульфидофеноловым методом в модификации Иодко–Шаркова [2], легко- и трудногидролизуемый азот – методом Корнфилда [3], количество подвижных форм фосфора и калия – методом Чирикова в лаборатории НИИЦ Красноярского ГАУ. Оценку потребительских качеств картофеля (внешний вид клубня, цвет и равномерность окраски мякоти, развариваемость, вкус, потемнение мякоти сырых и сваренных клубней) проводили по методике Ермольева–Задиной [4]. Полученные результаты обработали статистически методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализов, с использованием программных пакетов “Excel” и “Statistica” [5].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание гумуса служит объективным диагностическим показателем потенциального плодородия почв [6]. В 2016 г. в почве контрольного варианта содержалось минимальное количество гумуса (6.88%), максимальное было равно 8.43, среднее – 7.58%. Агрочернозем, согласно грациям [7], оценивали как сильно гумусированный (табл. 1). Следует отметить, что коэффициент вариации был очень низким. При внесении в почву ВК 3 т/га в 2016 г. и в 2018 г., а в 2017 г. при применении всех исследованных доз удобрения отмечена тенденция к увеличению количества гумуса.

Содержание трудногидролизуемой (N<sub>тп</sub>) формы азота в агрочерноземе в контрольном варианте за 3-летний период исследования варьировало в пределах 246–332 мг/кг (табл. 2). В мае 2016 г. количество N<sub>тп</sub> достоверно возрастало к контролю при внесении ВК 3 т/га, в августе – при применении ВК 5 т/га. В другие сроки в удобренных ВК вариантах отмечали лишь тенденцию к увеличению этого показателя. В 2017 г. в июне достоверное увеличение содержания трудногидролизуемого азота к контролю наблюдали при внесении ВК 3 и 5 т/га. Следует отметить, что в 2018 г. статистически значимых отличий содержания трудногидролизуемого азота в вариантах не выявили.

**Таблица 1.** Статистические показатели содержания гумуса в агрочерноземе под действием возрастающих доз вермикомпоста (ВК)

Вариант	2016 г.			2017 г.			2018 г.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1. Контроль без удобрения	6.88–8.43 7.58	0.39	10	6.00–6.41 6.21	0.09	3	5.68–6.91 6.08	0.28	9
2. ВК 3 т/га	7.18–8.68 8.03	0.34	8	5.98–6.72 6.25	0.16	5	5.63–6.93 6.12	0.29	9
3. ВК 5 т/га	5.43–8.55 7.32	0.68	18	6.26–6.59 6.38	0.07	2	5.51–6.65 6.01	0.25	8
4. ВК 7 т/га	6.58–8.28 7.42	0.40	11	6.39–6.61 6.51	0.05	2	5.58–6.44 5.94	0.19	6
НСР <sub>05</sub>	0.87	–	–	0.63	–	–	0.52	–	–

Примечание. В графе 1 над чертой – диапазон величин показателя, под чертой – средняя величина показателя, 2 –  $S_x$  (ошибка среднего), 3 –  $C_v$  (коэффициент вариации).

**Таблица 2.** Влияние возрастающих доз вермикомпоста (ВК) на содержание органических форм азота в агрочерноземе, мг/кг

Вариант	$N_{лг}$				$N_{тг}$			
	май	июнь	июль	август	май	июнь	июль	август
	$X \pm S_x$				$X \pm S_x$			
2016 г.								
1. Контроль без удобрения	194 ± 9	203 ± 12	207 ± 4	203 ± 5	333 ± 21	334 ± 18	324 ± 16	315 ± 16
2. ВК 3 т/га	221 ± 9	217 ± 3	221 ± 9	214 ± 6	355 ± 8	340 ± 10	338 ± 6	325 ± 10
3. ВК 5 т/га	207 ± 7	216 ± 8	217 ± 8	215 ± 12	340 ± 9	334 ± 15	343 ± 12	348 ± 16
4. ВК 7 т/га	205 ± 7	214 ± 12	214 ± 11	201 ± 6	321 ± 13	327 ± 16	346 ± 26	312 ± 13
НСР <sub>05</sub>	12	14	13	12	21	23	26	21.5
2017 г.								
1. Контроль без удобрения	182 ± 8	142 ± 14	152 ± 17	142 ± 12	247 ± 22	213 ± 9	214 ± 11	247 ± 20
2. ВК 3 т/га	163 ± 8	154 ± 10	154 ± 13	142 ± 8	233 ± 30	235 ± 11	229 ± 18	240 ± 18
3. ВК 5 т/га	177 ± 11	145 ± 12	154 ± 11	140 ± 10	256 ± 26	252 ± 8	226 ± 16	261 ± 22
4. ВК 7 т/га	166 ± 16	149 ± 15	151 ± 11	144 ± 12	245 ± 23	226 ± 19	229 ± 20	261 ± 20
НСР <sub>05</sub>	17	20	20	16	39	19	26	31
2018 г.								
1. Контроль без удобрения	259 ± 14	149 ± 20	175 ± 8	179 ± 15	312 ± 4	305 ± 6	277 ± 17	306 ± 18
2. ВК 3 т/га	210 ± 22	166 ± 8	179 ± 8	189 ± 15	298 ± 12	298 ± 11	277 ± 6	331 ± 30
3. ВК 5 т/га	189 ± 5	158 ± 18	175 ± 8	170 ± 17	308 ± 8	294 ± 14	273 ± 18	291 ± 22
4. ВК 7 т/га	215 ± 26	158 ± 9	170 ± 11	180 ± 11	291 ± 12	299 ± 24	247 ± 29	301 ± 30
НСР <sub>05</sub>	28	23	13	22	15	23	30	39

Содержание легкогидролизуемого ( $N_{лг}$ ) азота в почве в контроле за 3 года варьировало от 182 до 259 мг/кг (табл. 2). В мае 2016 г. при внесении ВК 3 т/га этот показатель увеличился на 13% к кон-

тролю, в 2017 г. – уменьшился на статистически значимую величину. Достоверных отличий количества  $N_{лг}$  в эти сроки исследования под действием различных доз вермикомпоста не выявили.

**Таблица 3.** Влияние возрастающих доз вермикомпоста (*ВК*) на содержание минеральных форм азота в агрочерноземе, мг/кг

Вариант	N-NH <sub>4</sub>				N-NO <sub>3</sub>			
	май	июнь	июль	август	май	июнь	июль	август
	$\bar{X} \pm S_x$				$\bar{X} \pm S_x$			
2016 г.								
1. Контроль без удобрения	14.5 ± 4.7	17.4 ± 5.9	6.2 ± 0.6	5.8 ± 0.6	8.3 ± 0.8	12.2 ± 1.6	9.2 ± 0.7	10.2 ± 0.2
2. <i>ВК</i> 3 т/га	11.4 ± 0.6	15.3 ± 1.9	14.1 ± 5.0	8.3 ± 1.4	10.5 ± 1.1	10.1 ± 1.2	10.3 ± 1.0	9.1 ± 1.7
3. <i>ВК</i> 5 т/га	17.4 ± 4.3	16.4 ± 1.9	11.8 ± 2.5	8.9 ± 1.6	10.3 ± 0.2	10.6 ± 1.2	10.4 ± 0.4	9.8 ± 0.9
4. <i>ВК</i> 7 т/га	27.7 ± 5.6	18.0 ± 0.7	14.8 ± 5.1	8.3 ± 1.0	10.1 ± 1.5	10.5 ± 0.5	9.1 ± 1.0	7.7 ± 1.1
<i>НСП</i> <sub>05</sub>	13	10	12	3.7	3.2	3.7	2.5	3.4
2017 г.								
1. Контроль без удобрения	13.0 ± 8.7	7.3 ± 2.3	5.9 ± 1.5	5.9 ± 1.5	8.3 ± 1.6	9.5 ± 1.8	5.3 ± 1.6	5.2 ± 3.1
2. <i>ВК</i> 3 т/га	8.7 ± 3.9	10.6 ± 4.1	5.2 ± 1.6	5.2 ± 1.6	8.9 ± 1.2	8.7 ± 1.4	4.9 ± 1.8	3.8 ± 1.1
3. <i>ВК</i> 5 т/га	8.8 ± 2.5	9.9 ± 2.6	8.0 ± 2.8	8.0 ± 2.8	9.2 ± 3.6	6.5 ± 1.7	6.0 ± 1.3	5.4 ± 1.9
4. <i>ВК</i> 7 т/га	10.2 ± 1.3	12.1 ± 2.3	5.3 ± 0.6	5.3 ± 0.6	7.9 ± 1.8	13.9 ± 2.8	4.0 ± 0.7	1.6 ± 0.4
<i>НСП</i> <sub>05</sub>	15	9.0	5.5	4.9	7.0	6.1	4.4	5.8
2018 г.								
1. Контроль без удобрения	13.9 ± 4.2	28.3 ± 4.1	15.7 ± 6.8	22.7 ± 1.1	9.3 ± 0.8	12.0 ± 0.9	13.1 ± 0.6	11.6 ± 2.8
2. <i>ВК</i> 3 т/га	11.1 ± 5.1	15.4 ± 5.9	23.7 ± 1.4	29.9 ± 3.5	8.9 ± 0.7	12.1 ± 1.3	13.8 ± 2.3	11.8 ± 1.2
3. <i>ВК</i> 5 т/га	12.6 ± 7.0	21.1 ± 5.8	15.7 ± 4.9	24.7 ± 1.5	8.8 ± 1.3	11.8 ± 1.4	12.7 ± 1.2	11.1 ± 1.6
4. <i>ВК</i> 7 т/га	13.1 ± 4.3	25.5 ± 7.3	14.4 ± 5.5	28.6 ± 0.8	9.8 ± 0.9	13.4 ± 1.3	13.9 ± 1.6	10.0 ± 1.2
<i>НСП</i> <sub>05</sub>	16	18	16	6.2	2.9	3.8	4.8	5.6

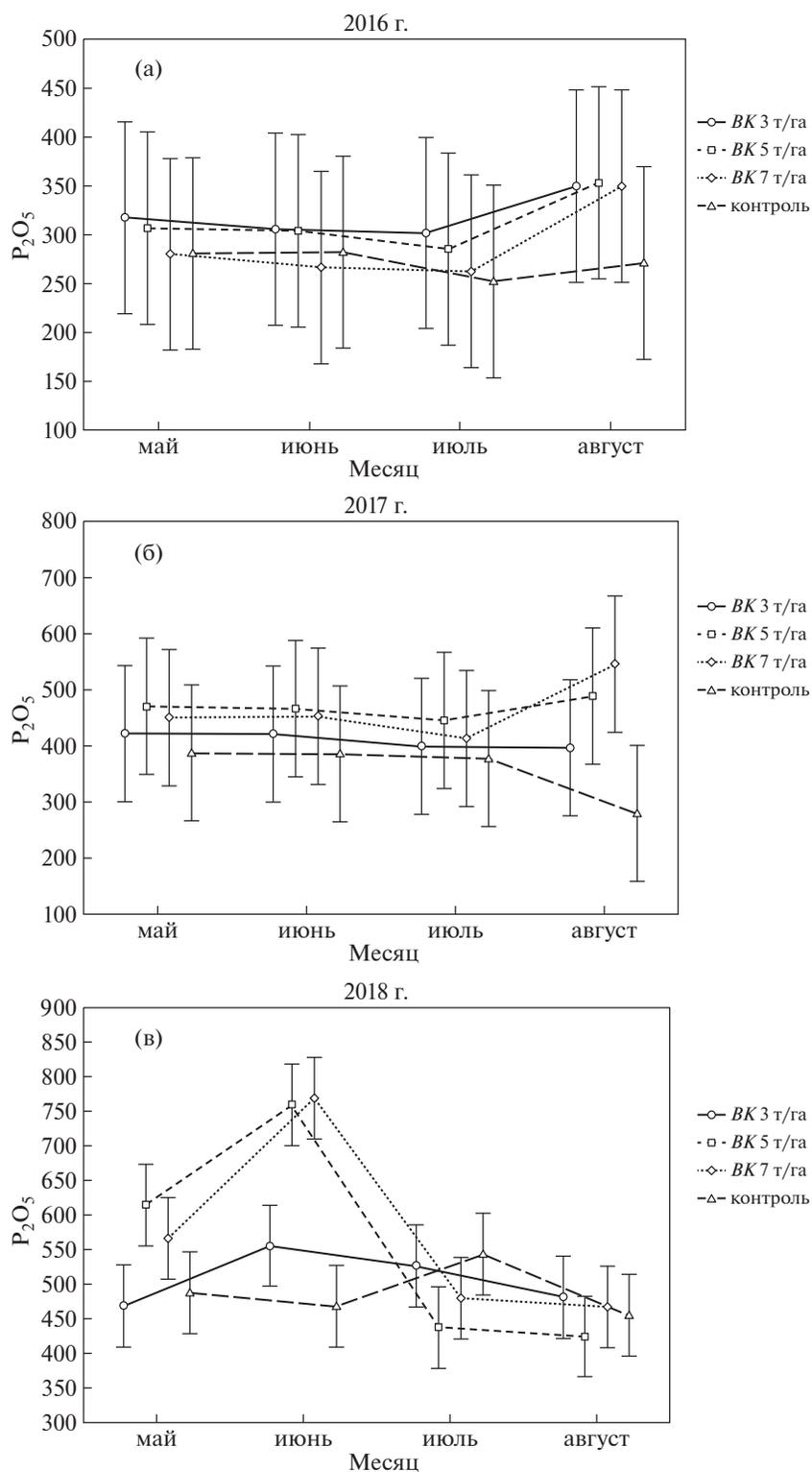
Отметили, что соотношение содержаний легкогидролизуемого азота и трудногогидролизуемой фракции не превышало 1.

Важным показателем высокого эффективного плодородия почв является наличие в них достаточного запаса необходимых растениям биогенных элементов в доступной форме [8]. В майский период 2016 г. количество N-NH<sub>4</sub> в почве в контроле и в варианте внесения *ВК* 3 т/га, согласно градациям Гамзикова [9], характеризовалось низкой обеспеченностью (табл. 3). Внесение *ВК* 5 т/га увеличило этот показатель до среднего уровня, а при применении 7 т/га – до высокой обеспеченности. В динамике в июньский период во всех вариантах опыта в почве был установлен средний уровень обеспеченности аммонийным азотом. В последующий период этот показатель снизился до очень низкого уровня в контроле и низкого в удобренных вермикомпостом вариантах. Уменьшение количества аммонийного азота до первого класса обеспеченности в августе связано с расходом его на формирование клубней картофеля. В 2017 г. количество N-NH<sub>4</sub> варьиро-

вало в вариантах опыта от низкого до очень низкого уровня. В майский и июньский период почва характеризовалась очень низкой обеспеченностью этой формой азота во всех вариантах опыта. В 2018 г. содержание аммонийного азота менялось до среднего и высокого уровня в зависимости от варианта опыта.

Низкая обеспеченность нитратным азотом весной (май) была обусловлена низкими температурами в регионе в этот период, снижающими процессы нитрификации, а очень низкая обеспеченность этой формой азота осенью – использованием нитратного азота на формирование урожая картофеля, и возможно, и его вымыванием вниз по почвенному профилю осадками (табл. 3).

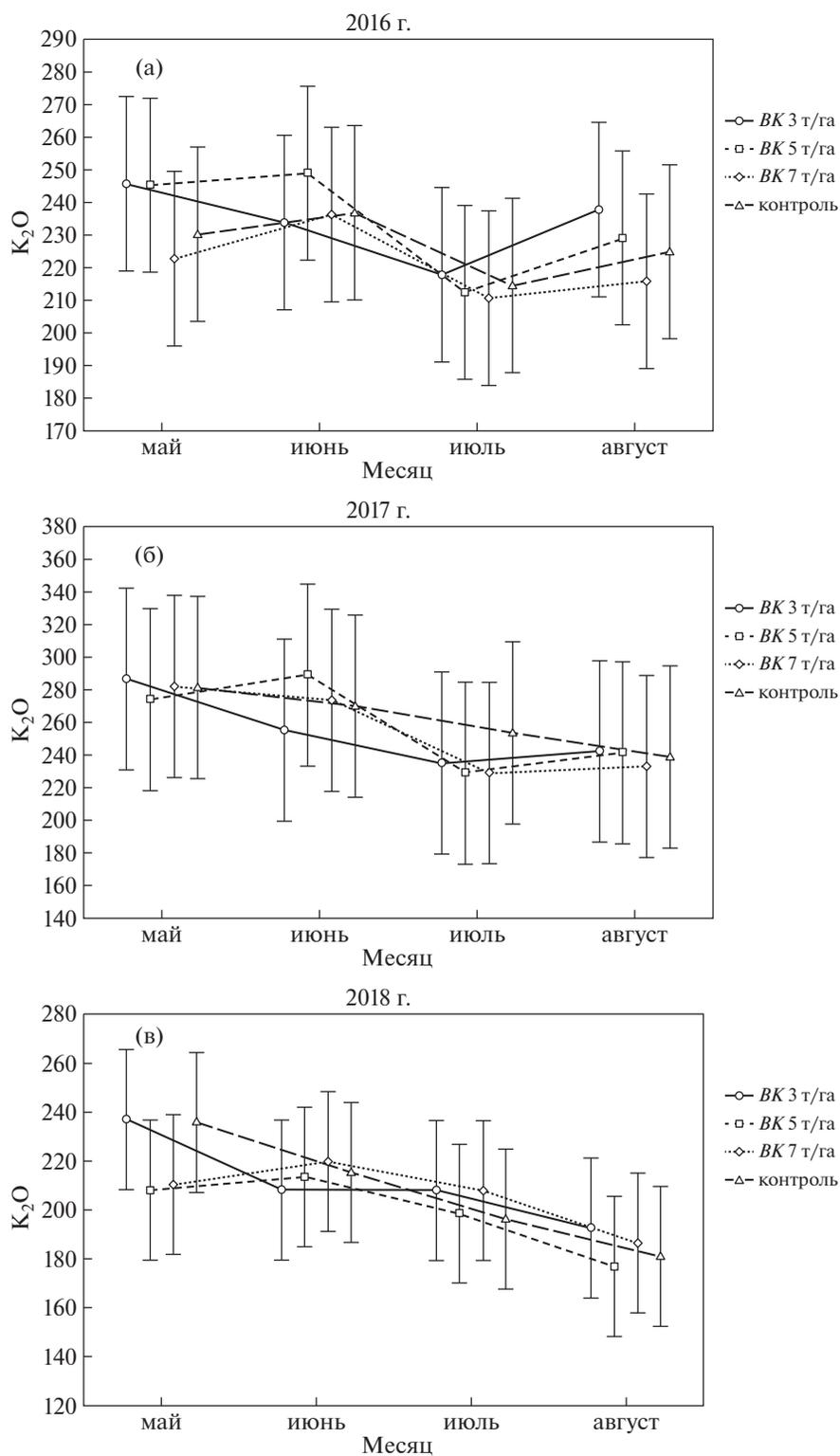
В 2016 г. агрочернозем характеризовался высокой обеспеченностью подвижным фосфором (рис. 1а). Применение *ВК* 3 и 5 т/га привело к изменению класса обеспеченности этого показателя с высокого, отмеченного в контроле, до очень высокого. В динамике (2017–2018 гг.) во всех вариантах опыта сохранилась очень высокая обеспеченность подвижным фосфором (рис. 1б, в).



**Рис. 1.** Влияние возрастающих доз вермикомпоста на содержание подвижного фосфора в агрочерноземе (а) – 2016 г., (б) – 2017 г., (в) – 2018 г.

Отмечена лишь тенденция к снижению данного показателя в течение вегетации, что было обусловлено использованием его на формирование урожая картофеля.

Картофель – культура со слаборазвитой корневой системой и относительно продолжительным периодом максимального потребления элементов питания, и ее продуктивность закономер-



**Рис. 2.** Влияние вермикомпоста на содержание обменного калия в агрочерноземе: (а) — 2016 г., (б) — 2017 г., (в) — 2018 г.

но реагирует на изменение калийного режима почвы [10]. В первый год исследования обеспеченность обменным калием находилась на высоком уровне во всех вариантах (рис. 2а). Очень вы-

сокая обеспеченность почвы обменным калием в 2017 г. в начале вегетации (май, июнь) в динамике уменьшилась до высокого класса обеспеченности (рис. 2б). Высокая обеспеченность обменным ка-

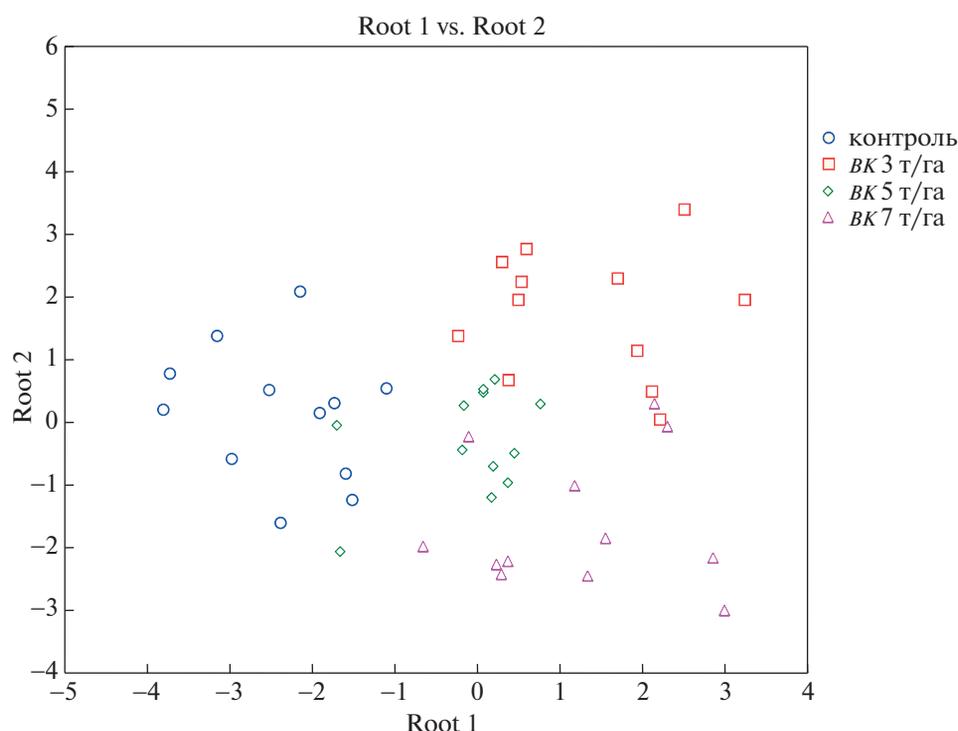
**Таблица 4.** Влияние вермикомпоста (*ВК*) на урожайность и качества картофеля

Вариант	Урожайность (среднее за 3 года)	Прибавка урожайности	Содержание в клубнях			NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/кг
			сухое вещество	крахмал	редуцирующие сахара	
т/га		%				
Контроль без удобрения	41.4	—	5.7	16.8	0.21	143
<i>ВК</i> 3 т/га	42.8	1.4	6.4	16.2	0.29	202
<i>ВК</i> 5 т/га	46.2	4.8	5.4	15.5	0.44	161
<i>ВК</i> 7 т/га	43.6	2.2	4.3	14.6	0.66	140

лием в 2018 г. в майский и июньский период во всех вариантах опыта снизилась до повышенного уровня к августу, что было связано с использованием этого элемента питания на формирование урожая культуры (рис. 2в).

В России картофель по значимости является одной из важных продовольственных культур. Доступность и хорошие вкусовые качества картофеля делают его популярным и востребованным. Красноярский регион по сравнению с другими субъектами федерального округа является одним из крупнейших потребителей товарного картофеля как на душу населения (196 кг/год), так и в валовом выражении [11]. Урожайность и качество

клубней – интегральный показатель, формирующийся в процессе выращивания картофеля под действием различных факторов, которые могут ослабить или усилить биологические особенности и возможности культивируемого сорта [12]. В настоящее время отчуждение урожаев сельскохозяйственных культур с полей, проявление эрозийных процессов, выщелачивание биогенных элементов в отсутствие возможности внесения удобрений из-за финансовой нестабильности создали в почве отрицательный баланс органического вещества, макро- и микроэлементов, что требует использования удобрений [13, 14]. Картофель особенно отзывчив на органические удобрения

**Рис. 3.** Дискриминационное распределение вариантов опыта.

**Таблица 5.** Связь урожайности картофеля с агрохимическими показателями агрочернозема по данным множественной регрессии (2016–2018 гг.)

Показатель	Коэффициенты		Значимость коэффициентов, $p$
	$Beta$	$B$	
Свободный член		4.247700	
$K_2O$	0.571033	0.153772	<0.001
$N_{тг}$	-0.539287	-0.147654	<0.001
Гумус	0.472849	7.073772	<0.001

**Таблица 6.** Уровни значимости различий между вариантами опыта

	Контроль	$BK$ 3 т/га	$BK$ 5 т/га	$BK$ 7 т/га
Контроль		0.000861	0.006344	0.000112
$BK$ 3 т/га	0.000861		0.030792	0.001238
$BK$ 5 т/га	0.006344	0.030792		0.202017
$BK$ 7 т/га	0.000112	0.001238	0.202017	

ния. Однако дозы внесения органических удобрений в среднем в РФ составляют 1 т/га [15], а в Красноярской лесостепи они еще меньше (0.65 т/га), что не обеспечивает сохранения плодородия почв. В связи с этим необходимо увеличивать объемы применения органических удобрений, используя все отходы – резервы органического вещества.

По данным [16], максимальная урожайность сорта Арамис составляет 31.6 т/га на уровне стандарта (Красноярский край). Внесение вермикомпоста в дозах 3, 5 и 7 т/га обеспечило формирование урожайности клубней 42.8–46.2 т/га, что повысило урожайность до 12% к контролю (табл. 4). С увеличением дозы  $BK$  от 3 до 5 т/га формировалась более высокая урожайность по сравнению с контролем. Установлено, что внесение  $BK$  в дозе 5 т/га обеспечило максимальную прибавку 4.8 т/га. Применение  $BK$  7 т/га привело к снижению урожайности картофеля, что не противоречило литературным данным [17], указавшим, что высокие дозы  $BK$  ингибируют рост культур и снижают их урожайность.

При анализе всего массива экспериментальных данных методом множественной регрессии за период исследования (2016–2018 гг.) наиболее высокие связи урожайности картофеля выявили с содержанием обменного калия, трудногидролизуемого азота и гумуса в почве (табл. 5). Уравнение множественной регрессии, описывающее зависимость урожайности картофеля сорта Арамис

от агрохимических показателей, имело следующий вид:

$$Y = 4.247700 + 0.153772 \times K_2O - 0.147654 \times N_{тг} + 7.073772 \times \text{гумус},$$

где  $Y$  – урожайность картофеля,  $K_2O$  – содержание обменного калия в почве,  $N_{тг}$  – содержание трудногидролизуемого азота.

Зная количественные величины указанных агрохимических показателей почвы, можно спрогнозировать урожайность картофеля. Проведенный дискриминантный анализ всех данных за период 2016–2018 гг. без разделения их по годам показал, что удобренные варианты опыта статистически значимо ( $p < 0.001$ ) различались по сравнению с контролем комплексом таких показателей как урожайность картофеля за 3 года, содержание  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ,  $N_{тг}$ ,  $N_{лг}$ ,  $N-NO_3$ ,  $N-NH_4$ , гумуса (рис. 3). Однако варианты с внесением в почву  $BK$  5 и 7 т/га достоверно не различались между собой (табл. 6). Поэтому увеличивать дозу внесения вермикомпоста в почву до 7 т/га было нецелесообразно.

Оценку химического состава качественных показателей картофеля сорта Арамис проводили в Красноярской ЗХТ лаборатории. В первый год все исследованные образцы характеризовались средним содержанием крахмала (14.6–16.8%) и низким – редуцирующих сахаров (0.2–0.7%). Количество нитратов в клубнях картофеля изменялось от 140 до 202 мг/кг и не превышало ПДК. При этом установили, что наибольшее повышение показателей качества (сухого вещества, редуцирующих сахаров) без значительного изменения содержания крахмала и нитратов относительно контроля произошли почти во всех вариантах опыта (табл. 4). Накопление нитратов в вариантах оставалось на уровне контроля, кроме варианта  $BK$  3 т/га, где оно было больше, но не превышало ПДК (250 мг/кг).

По качественным показателям исследованный картофель имел правильную форму и был светло-желтого цвета (табл. 7). Лучшим по показателю равномерности окраски клубня отличался вариант, удобренный  $BK$  3 т/га. По другим качественным показателям клубней удобренные  $BK$  варианты не различались между собой. Разрез клубня картофеля, выращенного в удобренных вариантах, был умеренно упругий и оценивался как слабо развариваемый, отличался низким количеством отходов. Поверхность картофеля была гладкой, а окраска беловатой, что соответствовало требованиям потребителя.

**Таблица 7.** Потребительские качества клубней картофеля сорта Арамис при внесении в почву возрастающих доз вермикомпоста (ВК)

	Показатель	Контроль без удобрения	ВК 3 т/га	ВК 5 т/га	ВК 7 т/га
Оценка клубней перед варкой	Типичность и внешний вид	3.6	3.7	3.6	3.8
	Цвет мякоти	2.5	2.7	2.7	2.7
	Равномерность окраски мякоти	4.0	4.6	3.9	4.1
	Упругость при разрезе	2.6	2.7	2.8	2.4
Оценка сваренных клубней	Развариваемость	2.7	3.0	2.8	2.9
	Количество отходов	4.0	4.0	4.0	4.0
	Поверхность клубня	1.8	1.6	1.7	1.8
	Окраска поверхности	2.7	2.7	2.3	2.2
	Консистенция клубней		Слабо рассыпчатая		Рассыпчатая
	Запах	2.8	2.8	2.8	2.5
	Вкус	3.7	3.7	3.5	3.2
	Сохранность качества (через 2 часа)	2.5	2.2	2.1	1.9

## ВЫВОДЫ

1. Применение вермикомпоста поддерживало содержание гумуса в почве, тенденция к увеличению этого показателя в почве была наибольшей во 2-й год исследования, что связано с гидротермическими условиями этого периода.

2. Внесение вермикомпоста в почву достоверно пополняло запасы азотсодержащих соединений в ней. Соотношение легкогидролизуемого азота относительно трудногидролизуемой фракции не превышало 1 в агрочерноземе. Варьирование количества аммонийного азота было обусловлено процессами трансформации и его использованием на формирование урожая картофеля. Низкая и очень низкая обеспеченность агрочернозема нитратной формой азота в вариантах опыта за весь период наблюдений была связана с вымыванием этой фракции осадками и ее выносом урожаем культуры.

3. Оптимизация фосфатного режима почвы способствовала повышению урожайности картофеля во все периоды наблюдений. Уменьшение в почве обменного калия с высокого уровня весной до повышенной обеспеченности осенью было обусловлено использованием этого элемента питания на формирование урожая картофеля.

4. Максимальная (средняя за 3 года) урожайность картофеля сформировалась при внесении в почву вермикомпоста в дозе 5 т/га, который не ухудшил качественные показатели культуры.

5. Проведенный дискриминантный анализ показал, что варианты опыта (вермикомпост 5 т/га и

вермикомпост 7 т/га) статистически не различались по урожайности картофеля в среднем за 3 года и по комплексу агрохимических показателей в почве. В связи с этим увеличение дозы внесения вермикомпоста в почву до 7 т/га при возделывании картофеля было нецелесообразным.

6. Разработанная модель урожайности ( $Y$ ) картофеля сорта Арамис имеет следующий вид:  $Y = 4.247700 + 0.153772 \times K_2O - 0.147654 \times N_{тр} + 7.073772 \times \text{гумус}$  и позволяет спрогнозировать урожайность картофеля.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 478 с.
2. Иодко С.Л., Шарков И.Н. Новая модификация дисульфифенолового метода определения нитратов в почве // Агрохимия. 1994. № 4. С. 95–97.
3. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
4. Ермольев Е., Задина И. Методы оценки картофеля в современной селекции. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1959. 168 с.
5. Хижняк С.В., Пучкова Е.П. Математические методы в агроэкологии и биологии: уч. пособ. Красноярск: Красноярск ГАУ, 2019. 244 с.
6. Крупкин П.И. Способы повышения плодородия почв: уч. пособ. Красноярск: Красноярский ГАУ, 2011. 212 с.
7. Когут Б.М. Оценка содержания гумуса в пахотных почвах России // Почвоведение. 2012. № 9. С. 944–952.

8. *Шугалей Л.С.* Современные проблемы почвоведения: уч. пособ. Красноярск: Красноярский ГАУ, 2013. 296 с.
9. *Гамзиков Г.П.* Практические рекомендации по почвенной диагностике азотного питания полевых культур и применению азотных удобрений в сибирском земледелии: практ. рекоменд. М.: Росинфорагротех, 2018. 48 с.
10. *Якименко В.Н., Носов В.В.* Последствие калийных удобрений на картофеле в Западной Сибири. Питание растений // Вестн. Международ. ин-та питания растений. 2017. № 2. С. 11–14.
11. *Чураков А.А., Халипский А.Н., Ступницкий Д.Н., Абдураимов П.О.* Направления селекции и особенности оригинального семеноводства картофеля в Красноярском ГАУ // Адаптивность сельскохозяйственных культур в экстремальных условиях Центрально- и Восточно-Азиатского макрорегиона. Мат-лы симп. с международ. участием. 2018. С. 73–84.
12. *Якименко В.Н.* Влияние калийных удобрений на урожайность и качество клубней картофеля в лесостепи Западной Сибири // Агрохимия. 2017. № 9. С. 39–48.
13. *Вильман А.А., Антонова О.И.* Эффективность применения разных доз биогумуса при возделывании картофеля в условиях Алтайского Приобья // Вестн. Алтай ГАУ. 2004. № 4. С. 29–32.
14. *Волошин Е.И.* Эффективность применения органических удобрений в агропромышленном комплексе Красноярского края // Вестн. Красноярск ГАУ. 2016. № 4. С. 138–146.
15. *Семенов В.М., Когут Б.М.* Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
16. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений. М., 2015. С. 114–115.
17. *Жигжитова И.А., Корсунова Т.М.* Рекомендации по получению и применению вермикомпостов (биогумуса) для повышения урожая и качества сельскохозяйственных культур. 1999. 19 с.

## Influence of Increasing Doses of Vermicompost on Agrochemical Properties of Soil, Yield and Quality of Potato Tubers

**M. S. Butenko<sup>a, #</sup>, O. A. Ulyanova<sup>a</sup>, A. N. Khalipsky<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: mbs.93@mail.ru*

In the field experiment (2016–2018) the effect of vermicompost on agrochemical properties of agrochernozem of clay-illuvial Krasnoyarsk forest-steppe, yield and quality of potato tubers. It was found that the introduction of 5 t/ha of vermicompost into the soil contributed to the maximum formation of potato yield. High connections of potato yield were revealed with the amount of exchange potassium, hardly hydrolyzed nitrogen and humus content in the soil. The results obtained made it possible to develop a model of the yield of Aramis potatoes. The use of vermicompost in agrochernozem did not worsen the quality indicators of potato tubers.

*Key words:* vermicompost, agrochernozem, agrochemical properties of soil, yield, quality of potato tubers, yield model.