

## Эффективность ускоренного окультуривания деградированной агродерново-подзолистой почвы в севооборотах разной интенсивности

© 2024. А. И. Иванов✉, Ж. А. Иванова, П. А. Филиппов

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Скрытая деградация эффективного плодородия ранее окультуренных агродерново-подзолистых почв представляет один из самых значимых рисков для развития земледелия Нечерноземья и его продовольственной безопасности. В стационарном многолетнем эксперименте, заложенном в Ленинградской области в 2006 году, выполнена комплексная оценка эффективности ускоренного окультуривания деградированной супесчаной агродерново-подзолистой почвы до хорошего и высокого уровней окультуренности. Объектами исследования выступали три вида почвы (средне-, хорошо- и высокоокультуренная) и культуры полевого и овощекормового шестипольных севооборотов, возделываемых по трехвариантной схеме полной минеральной системы удобрения. В ходе исследования во второй ротации севооборотов (2012–2016 гг.) было установлено, что отзывчивость сельскохозяйственных культур на ускоренное окультуривание почвы и полное минеральное удобрение определяется сочетанием их биологических и сортовых особенностей с погодно-климатическими и фитосанитарными условиями. Среднегодовой уровень продуктивности полевого и овощекормового севооборотов на среднеокультуренной почве составил 3,9 и 3,8 тыс. зерн. ед./га. На хорошо- и высокоокультуренной почве их продуктивность увеличилась на 34 и 67 %, 50 и 86 %, а от применения полной минеральной системы удобрения – на 28 и 18 % соответственно. Уровень рентабельности окультуривания почвы варьировал от 51–97 % в полевом, до 234–301 % – в овощекормовом севообороте при среднегодовой чистой доходности 12,1–13,1 и 97,1–110,4 тыс. руб./га соответственно. Срок окупаемости затрат на ускоренное окультуривание до хорошего и высокого уровней составил 3,3 и 5,1 года в полевом севообороте и 0,6 и 1,2 года – в овощекормовом севообороте соответственно.*

**Ключевые слова:** уровень окультуренности почвы, отзывчивость культур, агрономическая эффективность, продуктивность севооборота, экономическая эффективность, окупаемость

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (тема FGEG-2022-0007).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Иванов А. И., Иванова Ж. А., Филиппов П. А. Эффективность ускоренного окультуривания деградированной агродерново-подзолистой почвы в севооборотах разной интенсивности. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024;25(6):1081–1089. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1081-1089>

Поступила: 16.09.2024

Принята к публикации: 26.11.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

## The effectiveness of accelerated cultivation of degraded agrarian sod-podzolic soil in crop rotations of different intensity

© 2024. Alexey I. Ivanov✉, Zhanna A. Ivanova, Petr A. Filippov

Agrophysical Research Institute, Saint-Petersburg, Russian Federation

*The hidden depleting degradation of the effective fertility of previously cultivated agrarian sod-podzolic soils is one of the most significant risks for the development of agriculture in the Non-Chernozem region and its food security. In a stationary long-term experiment, established in the Leningrad region in 2006, a comprehensive assessment of the effectiveness of accelerated cultivation of degraded sandy loam agrarian sod-podzolic soil to a good and high level of cultivation was performed. The objects of the research were three types of soil (medium-, well- and highly cultivated) and crops of cereal and row six-field crop rotations, cultivated in a three-variant scheme of a complete mineral fertilizer system. During the study in the second rotation of crop rotations (2012–2016), it has been established that the responsiveness of crops to accelerated soil cultivation and complete mineral fertilizer is determined by a combination of their biological and varietal characteristics with weather, climatic and phytosanitary conditions. The average annual productivity level of studied crop rotations on medium-cultivated soil amounted to 3.9 and 3.8 thousand grain units per ha. On well-cultivated and highly cultivated soil the productivity increased by 34 and 67, 50 and 86 %, respectively, and from the use of a complete mineral fertilizer system – by 28 and 18 %, respectively. The level of profitability of soil cultivation varied from 51–97 % in the crop rotation with cereals, and to 234–301 % in the row crop rotation with an average annual net yield of 12.1–13.1 and 97.1–110.4 thousand rubles/ha. The payback period for accelerated cultivation to a good and high level was 3.3 and 5.1 years in the crop rotation with cereals and 0.6 and 1.2 years in the row crop rotation, respectively.*

**Keywords:** level of soil cultivation, crop response, agronomic efficiency, crop rotation productivity, economic efficiency, payback

*Acknowledgments:* the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Agrophysical Research Institute (theme No. FGEG-2022-0007).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

*Conflict of interest:* the authors declare no conflict of interest.

*For citations:* Ivanov A. I., Ivanova Z. A., Filippov P. A. The effectiveness of accelerated cultivation of degraded agrarian sod-podzolic soil in crop rotations of different intensity. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1081–1089. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1081-1089>

Received: 16.09.2024

Accepted for publication: 26.11.2024

Published online: 25.12.2024

За годы химизации земледелия в Нечернозёмной зоне РФ был создан весьма обширный фонд хорошо- и высококультуренных агродерново-подзолистых почв [1, 2, 3]. В пригородных овощеводческих хозяйствах на их долю приходилось более половины площади пахотных земель. В годы экономического кризиса эти почвы стали своеобразным страховым фондом, обеспечившим за счет сокращения затрат на удобрения определенную защиту сельхозпроизводителей от банкротства. Естественно, что в условиях, когда внесение мелиорантов и удобрений исчислялось всего несколькими килограммами действующего вещества на гектар, преобладающая часть таких почв подверглась деградационным процессам [2, 3, 4], которые не останавливались даже под залежью [5, 6, 7]. Фактические темпы истощения окультуренных агродерново-подзолистых почв зависели от комплекса сопутствующих факторов, ведущую роль среди которых играли особенности их генезиса, интенсивность земледельческой деятельности, характер и продолжительность вынужденного отказа от удобрений и буферность отдельных свойств. Наибольшие риски для развития земледелия здесь были связаны с ускоренным подкислением зональных почв, утратой ими агрономически ценного структурного состояния и запасов подвижного калия [2, 3, 8].

Поскольку обеспечение продовольственной безопасности государства на истощенных почвах практически невозможно, вторичное окультуривание прежде уже окультуренных почв стало в настоящее время одной из первоочередных задач [3, 9, 10]. С одной стороны, ее практическая реализация на региональном уровне лимитируется ограниченной ресурсной базой и хроническим диспаритетом цен на промышленную и сельскохозяйственную продукцию. Вследствие этого по-прежнему ключевой остается проблема окупаемости затрат на окультуривание, которая во многом будет определяться структурой посевных площадей и уровнем продуктивности отдельных сельскохозяйственных культур.

С другой стороны, в настоящее время во многих местах неудовлетворительно используются доступные ресурсы сыромолотых мелиорантов и птичьего помёта [8]. Например, в Ленинградской области из среднегодового объёма производства твердого птичьего помёта до 1 млн т используется на удобрение менее 20 %. В ряде сельскохозяйственных предприятий с развитым животноводством имеются возможности для интенсивного применения собственных органических удобрений. Это значит, что даже при ограниченной государственной поддержке в настоящее время на уровне отдельных хозяйств и инвестиционных проектов существуют условия для ускоренного окультуривания утративших плодородие агродерново-подзолистых почв. Однако целый ряд аспектов, касающийся комплексной оценки его эффективности в современных погодно-климатических и социально-экономических условиях, а также реального воздействия на показатели эффективного плодородия почвы, системному изучению ранее не подвергался.

**Цель исследований** – комплексная оценка ускоренного окультуривания подвергшейся скрытой деградации агродерново-подзолистой почвы в севооборотах разной интенсивности.

**Научная новизна** – установление агротехнологических пределов продуктивности различных севооборотов в современных почвенно-климатических условиях Северо-Запада РФ.

**Материал и методы.** Методической основой исследования избран многолетний стационарный опыт «Агрофизический стационар». Заложен он был в 2006 году в Меньковском филиале АФИ (Гатчинский район Ленинградской области) на среднекультуренной агродерново-слабоподзолистой супесчаной почве, сформировавшейся на маломощной морене, подстилаемой с глубины 112–115 см озёрноледниковым песком.

До закладки опыта, в 1990 году, почва классифицировалась как типичная хорошо окультуренная с оптимальными показателями агрохимических свойств пахотного слоя: рН<sub>KCl</sub> – 6,8, содержание органического вещества

– 4,08 % (ГОСТ 26213–91<sup>1</sup>), подвижных соединений  $P_2O_5$  – 490 мг/кг,  $K_2O$  – 327 мг/кг (ГОСТ 26207–91<sup>2</sup>). Поскольку материнская порода этой почвы характеризуется среднекислой реакцией и низким содержанием фосфора и калия, такие показатели стали прямым следствием 30-летнего периода химизации в форме двукратного известкования (в сумме 14 т/га доломитовой муки), внесения органических удобрений в среднегодовых дозах более 15 т/га и минеральных – более 250 кг/га по действующему веществу. В результате истощительной деградации уже к 2003 году данная почва имела следующие показатели агрофизических и агрохимических свойств: плотность сложения – 1,40 г/см<sup>3</sup> (методом режущего кольца); общая пористость – 42,8 % (расчетным методом); полная полевая влагоёмкость – 23,7 % (методом заливки полевых площадок);  $pH_{KCl}$  – 5,6 ед.; содержание органического вещества – 2,99 %; подвижных соединений  $P_2O_5$  – 296 и  $K_2O$  – 229 мг/кг.

Закладке опыта предшествовало ускоренное окультуривание этой почвы в уравнильных посевах однолетних трав в 2003–2005 годах. Для повышения степени окультуренности до хорошей на 1 га вносили по 1 т доломитовой муки и 220 т подстилочного навоза КРС, до высокой – 3 и 540 т соответственно. В результате к 2006 году параметры плодородия хорошо- и высокоокультуренного видов этой почвы были доведены по плотности сложения до 1,25 и 1,22 г/см<sup>3</sup>, общей пористости – до 52,6 и 53,0 %, полной полевой влагоёмкости – 26,7 и 27,2 %,  $pH_{KCl}$  – 6,2 и 6,4 ед., содержанию органического вещества – 3,54 и 3,89 %, подвижных соединений  $P_2O_5$  – 349 и 434,  $K_2O$  – 482 и 720 мг/кг соответственно. В качестве варианта сравнения в опыте оставалась исходная (среднеокультуренная) почва.

На указанных почвах вводились развёрнутые во времени 6-польные севообороты: полевой (зернотравяной) – «ячмень + многолетние травы (клевер луговой + тимофеевка луговая) – многолетние травы 1 г. п. – многолетние травы 2 г. п. – озимая рожь – картофель – однолетние травы»; специальный (овощекормовой зернопропашной) – «картофель – пшеница озимая – люпин кормовой – свёкла столовая – капуста белокочанная – ячмень». В работе анализировали материалы исследований, накопленные по завершении второй ротации этих севооборотов (2012–2016 гг.).

Для каждой из культур и севооборота в целом проектировались три варианта доз НРК, основанных на необходимости обеспечения элементами питания трёх уровней продуктивности фотосинтеза: 1 – без минеральных удобрений (НРК)0 – КПД ФАР – 1,0–1,5 %; 2 – средние дозы удобрений (НРК)1 – КПД ФАР – 2–3 %; 3 – повышенные дозы удобрений (НРК)2 – КПД ФАР – 3–4 %. Для полевого севооборота среднегодовые дозы действующего вещества удобрений составили 122 кг/га в варианте (НРК)1 и 180 кг/га – в варианте (НРК)2, для овощекормового – 205 и 310 кг/га соответственно. Минеральные удобрения вносили в основной приём в форме азофоски, аммиачной селитры и хлористого калия под предпосевную или предпосадочную обработку почвы и в подкормку в начале весеннего отращивания – на озимых зерновых и многолетних травах. Кроме того, для поддержания искусственно сформированных уровней окультуренности один раз в ротацию применяли органические удобрения (навоз КРС и птичий помет) из расчета их среднегодового поступления 6,25 т/га в хорошо окультуренную и 13,5 т/га – в высокоокультуренную почву. Все культуры возделывали на высоком агротехническом фоне с использованием стандартного агротехнологического оборудования и обоснованного применения средств защиты растений (гербицидов, инсектицидов и фунгицидов).

Экономическую эффективность ускоренного окультуривания и систем удобрения окультуренных почв устанавливали с учетом всего комплекса затрат на приобретение и применение мелиорантов и удобрений, уборку и обработку дополнительного урожая, а также фактических доходов от реализации продукции в ценах 2020 года.

Общая площадь опытной делянки – 200 м<sup>2</sup>, учётная – 120 м<sup>2</sup> для пропашных культур и 160 м<sup>2</sup> – для культур сплошного сева, повторность трёхкратная. Учёт урожая проводили сплошным весовым методом с использованием стандартного технологического оборудования. Структуру урожая и его фитосанитарные потери оценивали по совокупности показателей, определяемых вручную на учетных площадках 1–3 м<sup>2</sup>. Статистическую обработку данных учётов выполняли методом двухфакторного дисперсного анализа с использованием программного пакета Statistica 7.0 на 5%-ном уровне значимости.

<sup>1</sup>ГОСТ 26213–91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Изд-во стандартов, 1992. 8 с.

URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f09/4294828267.pdf>

<sup>2</sup>ГОСТ 26207–91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Изд-во стандартов, 1992. 7 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/c43/4294828273.pdf>

*Результаты и их обсуждение.* Научная гипотеза исследования исходила из вполне очевидного предположения, что отзывчивость культур обоих севооборотов на ускоренное окультуривание среднеокультуренной почвы и минеральную систему удобрения будет определяться их биологическими особенностями. Однако в период проведения исследований это положение оказалось в значительной мере нивелировано весьма неблагоприятным сочетанием погодно-климатических и фитосанитарных условий. В частности, на фоне выраженного увеличения прихода тепла (суммы активных температур на 230 °С, или 12 %) и влаги (на 33 мм, или 9 %) за вегетационный период и повышения биоклиматического потенциала на 12 % резко (с 10 до 13 %) возросла вариабельность среднемесячных параметров гидротермического коэффициента и вероятность опасных погодно-климатических явлений [3]. Особенно острые негативные последствия имело сочетание продолжительных 2-3-недельных волн холода в начале вегетации с критическим избытком влаги в её конце, зафиксированные в 2016 и 2017 годах. Прохладная дождливая погода в начале вегетации инициировала марганцевый токсикоз большинства культур на среднеокультуренной почве, обостряющийся на фоне усиленного азотного питания. У капусты белокочанной этот эффект был усугублен эпифитотийным поражением ризоктониозом в начале вегетации после посадки рассады. На картофеле первоначальная задержка развития (на 14–17 дней) в сочетании с переувлажнением в заключительной части вегетации не позволила сдержать эпифитотию фитофтороза, даже при трехкратной фунгицидной обработке посадок. На свекле столовой такая погода инициировала поражение растений паршой обыкновенной.

Фактические потери урожая, связанные с изреживанием посевов и посадок, поражением товарной продукции патогенами на фоне эпифитотий, варьировали по вариантам от величин 0,1–0,5 тыс. зерн. ед./га на зерновых и кормовых культурах до критических 4,6–13,3 тыс. зерн. ед./га – на картофеле и овощных. Учтенный в полевом опыте уровень фитосанитарных потерь урожая на средне-, хорошо- и высокоокультуренной почве составил у картофеля 5,5–6,6, 6,2–12,5 и 9,2–18,2 т/га клубней, свеклы столовой – 6,5–11,4, 12,9–21,3 и 15,6–24,4 т/га корнеплодов, капусты белокочанной –

4,5–37,7, 34,9–61,5, 50,8–83,5 т/га кочанов соответственно. Это означает, что продуктивный потенциал данных культур в опыте не был реализован. Столь значительные потери урожая, редко оцениваемые в научной агрономической практике, не могли не оказать отрицательного влияния на эффективность как ускоренного окультуривания почвы, так и полной минеральной системы удобрения.

И всё же резкое улучшение основных агропроизводственных свойств почвы обеспечило не менее значительное повышение продуктивности обоих севооборотов во второй их ротации (табл. 1). При этом эффективность минеральной системы удобрения закономерно понизилась. Уровень натуральной окупаемости минеральных удобрений сократился в среднем по вариантам и севооборотам в 1,4–1,5 раза (с 7,9 зерн. ед./кг д. в. на среднеокультуренной до 5,6 – на хорошо окультуренной и 5,2 зерн. ед./кг д. в. – на высокоокультуренной почве).

Несмотря на то, что севообороты отличались по доле сельскохозяйственных культур с повышенными требованиями к уровню почвенного плодородия и удобрениям, в действии изучаемых факторов на растения было много общего. Во-первых, в обоих из них урожайность в большей степени определялась уровнем окультуренности почвы, в меньшей – системой удобрения. Хотя агрономическая эффективность окультуривания в условиях овощекормового севооборота была заметно выше. Так, с повышением степени окультуренности со средней до хорошей и высокой среднегодовая продуктивность полевого севооборота увеличивалась на 34 и 50 % (с 3,9 до 5,2 и 5,8 тыс. зерн. ед./га), а овощекормового – на 67 и 86 % (с 3,8 до 6,4 и 7,1 тыс. зерн. ед./га) соответственно. В среднем во всех вариантах опыта относительные прибавки продуктивности за счёт ускоренного окультуривания деградированной почвы составили в полевом севообороте 61 %, в овощекормовом – 93 %.

Степень отзывчивости сельскохозяйственных культур на окультуривание определялась не только их биологическими особенностями, но и сочетанием погодно-климатических и фитосанитарных условий, а также системой удобрения (а, отчасти, и погодными показателями). Убывающий ряд отзывчивости на повышение степени окультуренности почвы со средней до хорошей (по величине показателей

прибавок продуктивности в тыс. зерн. ед./га) для культур полевого севооборота выглядел – «рожь озимая (1,91) > однолетние травы (1,75) > картофель (1,63) > ячмень (1,14) > много-

летние травы (1,13)»; овощекормового – «капуста белокочанная (8,18) > картофель (2,45) > люпин узколистый (2,38) > пшеница озимая (1,99) > свёкла столовая (1,56) > ячмень (1,40)».

Таблица 1 – Эффективность окультуривания агродерново-подзолистой почвы и системы удобрения во второй ротации севооборотов /

Table 1 – Efficiency of agrarian sod-podzolic soil cultivation and fertilizer system in the second rotation of crop rotations

Окультуренность почвы (фактор А) / Soil cultivation (factor A)	Вариант удобрения* (фактор В) / Variant of the fertilizer (factor B)	Показатель эффективности по севооборотам / Efficiency parameter of the crop rotations							
		продуктивность севооборота, тыс. зерн. ед./га / crop rotation productivity, thousand grain unit/ha	прибавка продуктивности / yield increase						окупаемость 1 кг NPK, зерн. ед. / payback of 1 kg NPK, grain unit
			всего / in total		от окультуривания / from soil cultivation		от системы удобрения / from fertilizer system		
		тыс. зерн. ед./га / thousand grain unit/ha	%	тыс. зерн. ед./га / thousand grain unit/ha	%	тыс. зерн. ед./га / thousand grain unit/ha	%		
Полевой севооборот / Cereal crop rotation									
Средняя / Medium	(NPK) <sub>0</sub>	23,23	-	-	-	-	-	-	-
	(NPK) <sub>122</sub>	31,27	8,04	35	-	-	8,04	35	12,0
	(NPK) <sub>180</sub>	35,01	11,78	51	-	-	11,78	51	10,9
Хорошая / Well	(NPK) <sub>0</sub>	31,21	7,98	34	7,98	34	-	-	-
	(NPK) <sub>122</sub>	35,58	12,35	53	4,31	14	4,37	14	6,5
	(NPK) <sub>180</sub>	39,51	16,68	72	4,50	13	8,30	27	7,7
Высокая / High	(NPK) <sub>0</sub>	34,91	11,68	50	11,68	50	-	-	-
	(NPK) <sub>122</sub>	40,08	16,85	73	8,81	28	5,17	15	7,7
	(NPK) <sub>180</sub>	42,90	19,67	85	7,89	23	7,99	23	7,4
НСР <sub>05</sub> (А) / LSD <sub>05</sub> (А)		-	-	-	2,22	-	-	-	-
НСР <sub>05</sub> (В) / LSD <sub>05</sub> (В)		-	-	-	-	-	2,84	-	-
Овощекормовой севооборот / Row crop rotation									
Средняя / Medium	(NPK) <sub>0</sub>	22,81	-	-	-	-	-	-	-
	(NPK) <sub>205</sub>	29,27	6,46	28	-	-	6,46	28	5,3
	(NPK) <sub>310</sub>	29,12	6,31	28	-	-	6,31	28	3,4
Хорошая / Well	(NPK) <sub>0</sub>	38,18	15,37	67	15,37	67	-	-	-
	(NPK) <sub>205</sub>	42,85	20,04	88	13,58	46	4,67	12	3,8
	(NPK) <sub>310</sub>	46,33	23,52	103	17,21	59	8,15	21	4,4
Высокая / High	(NPK) <sub>0</sub>	42,52	19,71	86	19,71	86	-	-	-
	(NPK) <sub>205</sub>	46,12	23,31	102	16,85	58	3,60	8	2,9
	(NPK) <sub>310</sub>	47,72	24,91	109	18,60	64	5,20	12	2,8
НСР <sub>05</sub> (А) / LSD <sub>05</sub> (А)		-	-	-	2,97	-	-	-	-
НСР <sub>05</sub> (В) / LSD <sub>05</sub> (В)		-	-	-	-	-	3,80	-	-

\* Среднегодовая доза NPK, кг/га д. в. / \* Average annual dose of NPK, kg/ha of active substance

На дальнейшее повышение степени окультуренности почвы до высокой растения реагировали уже слабее, а такие как многолетние травы второго года хозяйственного использования, люпин узколистый, картофель (в поле-вом севообороте) вообще не формировали статистически значимых прибавок урожайности. И если на люпине узколистом такой эффект был ожидаем, то на многолетних

травках, представляющих смесь клевера луго-вого с тимофеевкой луговой, и картофеле не прогнозировался. У картофеля основной причиной этого стали описанные выше потери урожая от эпифитотийного поражения культуры фито-фторозом. У многолетних же трав это стало следствием посева в составе смеси с тимофе-евкой луговой сорта Ленинградская 204 (Ленин-градский НИИСХ «БЕЛОГОРКА» – филиал

ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха», Россия) относительно малотребовательного к плодородию почвы [11, 12] клевера лугового сорта Орфей (ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», Россия). В результате их продуктивность, даже на неудобряемой среднекультуренной почве при доминировании в ботаническом составе клевера лугового, составила в среднем 7,61 т/га, на хорошо окультуренной – 8,89 и высокоокультуренной почве – 9,12 т/га сена ( $НСР_{05} = 0,72$  т/га).

На таком почвенно-агрохимическом и агроэкологическом фоне отзывчивость на минеральную систему удобрения была невысокой у культур обоих севооборотов. Средние по опыту прибавки продуктивности составили 28 % (7,65 тыс. зерн. ед./га) в полевом и 18 % (4,85 тыс. зерн. ед./га) – овощекормовом севообороте. Причём реакция на удобрения столь сильно зависела от специфики погодных и фитосанитарных условий, что убывающий ряд отзывчивости на них сельскохозяйственных культур (по величине показателя окупаемости 1 кг NPK в зерн. ед.) часто вообще не согласовался с параметрами биологического выноса этих элементов. Для культур полевого севооборота он имел вид – «многолетние травы (8,7) > ячмень (7,8) > рожь озимая (7,2) > картофель (6,4) > однолетние травы (3,5)», а для овощекормового – «картофель (6,3) > свёкла столовая (5,5) > пшеница озимая (4,0) > люпин узколистный (2,8) > ячмень (2,1) > капуста белокочанная (2,1)». К примеру, в условиях холодной погоды вегетационного периода 2016 года агрономический эффект минеральных удобрений на капусте получили нулевым, поскольку они усилили развитие ризоктониоза, в конечном итоге снизившего урожайность культуры на 34–64 %.

На эффективности системы удобрения негативно сказывалось и повышение степени окультуренности почвы, поскольку потребности растений в элементах питания обеспечивались в значительной степени за счёт почвенных запасов последних, полученных от внесения органических удобрений. В целом по опыту прибавки продуктивности севооборотов от полной минеральной системы удобрения достигли на среднекультуренной почве 36 %, на хорошо- и высокоокультуренной – 19 и 15 %, что в абсолютном выражении составило 8,15, 6,37 и 5,49 тыс. зерн. ед./га соответственно. Это значит, что фактическая отдача от применяемой минеральной системы удобрения сокращалась при ускоренном окультуривании

почвы до хорошо- и высокоокультуренного состояния в среднем по вариантам опыта на 22 и 33 % соответственно.

При достигнутом в опыте уровне продуктивности полуторакратное увеличение доз полного минерального удобрения со среднего до повышенного уровня достоверно активизировало продукционный процесс на всех видах почвы только у свеклы столовой и однолетних трав, у картофеля и озимых зерновых – на средне- и хорошо окультуренной почве, у ячменя – только на среднекультуренной. Посевы люпина узколистного, многолетних трав и капусты белокочанной статистически значимой прибавки урожая в варианте (NPK)<sub>2</sub> относительно (NPK)<sub>1</sub> по разным причинам не сформировали.

Более устойчивый агрономический эффект от повышения доз полного минерального удобрения был зафиксирован в обоих севооборотах на хорошо окультуренной агродерново-подзолистой почве, где абсолютная прибавка продуктивности достигла 3,93 и 3,67 тыс. зерн. ед./га. На этой почве, даже натуральная окупаемость удобрений увеличилась относительно варианта (NPK)<sub>1</sub> в полевом и овощекормовом севооборотах на 18 и 16 % соответственно.

Выполненный с использованием технологических карт расчет затрат на ускоренное окультуривание деградированной агродерново-подзолистой почвы показал, что их уровень на первоначальном восстановительном этапе составил для хорошо- и высокоокультуренной почвы 69,4 и 173,7 тыс. руб./га соответственно. В их структуре на мелиоранты и удобрения приходилась треть издержек и до 40 % – на расходы по обеспечению работы технологического оборудования (амортизация техники и горюче-смазочные материалы). Дальнейшие среднегодовые затраты на поддержание эффективного плодородия хорошо- и высококультуренной почвы за счет применения навоза и птичьего помета составили 2,1 и 4,2 тыс. руб./га соответственно. В результате при использовании сравнительно дешёвых местных удобрений формирование и частичное воспроизводство 1 га хорошо окультуренной почвы обходилось в 81,6 тыс. руб., высокоокультуренной – 197,9 тыс. руб. При дальнейшей оценке экономической эффективности эти издержки распределяли равными долями на продукцию двух ротаций севооборотов.

Несмотря на весомость затрат и неполную реализацию продуктивного потенциала ряда культур, экономическая эффективность уско-

ренного окультуривания агродерново-подзо- листой почвы может быть оценена как

удовлетворительная в полевом и высокая – в овощекормовом севообороте (табл. 2).

*Таблица 2 – Экономическая эффективность ускоренного окультуривания агродерново-подзолистой почвы за ротацию севооборота /*

*Table 2 – Economic efficiency of accelerated cultivation of agrarian sod-podzolic soil for a rotation of the crop rotation*

Показатель / Parameter	Параметры экономической эффективности по севооборотам и уровням окультуренности почвы / Economic efficiency parameters			
	полевой / cereal		овощекормовой / row	
	хорошая / well	высокая / high	хорошая / well	высокая / high
Стоимость прибавки, тыс. руб/га / Cost of the increase, thousand rubles/ha	147,5	231,9	776,0	945,7
Дополнительные затраты, тыс. руб/га / Additional cost, thousand rubles/ha	74,9	153,4	193,3	283,2
Условный чистый доход, тыс. руб/га / Conditional net income, thousand rubles/ha	72,6	78,5	582,7	662,5
Рентабельность, % / Profitability, %	97	51	301	234
Окупаемость, руб/руб / Payback, rubles	1,97	1,51	4,01	3,34
Срок окупаемости затрат, лет / Payback period, years	3,3	5,1	0,6	1,2

В теоретических расчётах при этом обеспечивался вполне приемлемый уровень рентабельности (от 74 % в среднем по двум вариантам окультуривания почвы в полевом до 268 % – в овощекормовом севообороте). За счёт повышенной отзывчивости культур и относительной оценённости рынком картофеля и овощей затраты на окультуривание в овощекормовом севообороте окупались в среднем в 4,9 раза быстрее, чем в полевом (0,9 против 4,4 года).

С экономических позиций в полевом севообороте вложения в дальнейшее расширенное воспроизводство плодородия деградированной почвы от хорошо- до высокоокультуренного состояния оказались неэффективны, так как стоимость дополнительной прибавки урожая за ротацию (84,4 тыс. руб/га) с трудом покрывала возрастающие затраты (78,5 тыс. руб/га). Напротив, в овощекормовом севообороте при достигнутом уровне продуктивности и этот приём был весьма эффективным – среднегодовой уровень условного чистого дохода на высокоокультуренной почве относительно хорошо окультуренной увеличился на 14 % (с 97,12 до 110,42 тыс. руб/га).

Таким образом, вторичное ускоренное окультуривание утративших прежний уровень плодородия агродерново-подзолистых почв – одно из перспективных направлений возрождения сельскохозяйственного производства в Нечерноземье.

**Заключение.** Результаты многолетнего эксперимента подтвердили высокую агрономическую эффективность и экономическую целесообразность вторичного ускоренного окультуривания подвергшихся деградационным процессам ранее хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв. При наличии ресурсов местных мелиорантов и удобрений их агропроизводственные свойства могут быть за 2-3 года улучшены до параметров хорошей окультуренности с целью последующего использования в любых севооборотах или высокой окультуренности – для эксплуатации в интенсивных специальных севооборотах.

Отзывчивость отдельных культур на это мероприятие определяется сочетанием их биологических и сортовых особенностей с комплексом погодно-климатических и фитосанитарных условий. Так, при повышении степени окультуренности со средней до хорошей и высокой среднегодовая продуктивность полевого севооборота увеличивалась на 33 и 49 % (с 3,9 до 5,2 и 5,8 тыс. зерн. ед./га, а овощекормового – на 68 и 87 % (с 3,8 до 6,4 и 7,1 тыс. зерн. ед./га) соответственно.

Агрономическая эффективность окультуривания деградированной почвы существенно превосходила отдачу от полного минерального удобрения. Прибавка продуктивности полевого и овощекормового севооборотов от окультуривания составила в среднем 61 и 93 %,

а от применения полной минеральной системы удобрения – 28 и 18 % соответственно.

Срок окупаемости весомых затрат на расширенное воспроизводство эффективного плодородия почвы до хорошо- и высокоокультуренного состояния (81,6 и 197,9 тыс. руб/га) товарной продукцией овощекормового севооборота составил в 4,9 раза короче, чем полевого

(0,9 против 4,4 года). Экономическая эффективность ускоренного окультуривания была удовлетворительной в полевом и высокой – в овощекормовом севообороте. Среднегодовой уровень условного чистого дохода от ускоренного окультуривания почвы в этих севооборотах достиг 12,1–13,1 и 97,1–110,4 тыс. руб/га соответственно.

#### Список литературы

1. Небольсин А. Н., Небольсина З. П., Яковлева Л. В., Поляков В. А. Научные основы и технология использования удобрений и извести. СПб.: СЗНИИСХ, 1997. 52 с.
2. Ivanov A. I., Ivanova Zh. A., Konashekov A. A. Environmental Landscape Conditions of the Russian Northwest, the Fertility of Sod-Podsolic Soils and the Efficiency of Precise Fertilizer Systems. Exploring and Optimizing Agricultural Landscapes. Springer Nature Switzerland AG, 2021. Ch. 15. pp. 349–372. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49620776> EDN: ZHMKUR
3. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечернозёмной зоны Российской Федерации до 2030 года. Версия 2.0. Под ред. С. Г. Митина, А. Л. Иванова. М.: ООО «Изд-во МБА», 2021. 400 с.
4. Сычев В. Г., Шафран С. А., Виноградова С. Б. Плодородие почв России и пути его регулирования. *Агрохимия*. 2020;(6):3–13. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188120060125> EDN: POXVQI
5. Соколов И. В. Освоение запущенных земель в Ленинградской области: проблема не одна. *Агрофизика*. 2020;(2):27–33. DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2020.02.05> EDN: TVELWV
6. Литвинович А. В., Лаврищев А. В., Буре В. М. Агрогенная эволюция дерново-подзолистой глееватой глинистой почвы (*Albic Retisols*) с регулируемым водно-воздушным режимом. *Агрохимия*. 2021;(7):13–26. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46153597> EDN: LWUMAL
7. Сычев В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: РАН, 2019. 325 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48062476> EDN: ETPUNH
8. Иванов А. И., Вязовский А. А., Конашенков А. А., Петров И. И., Воробьёв В. А. Актуальные вопросы известкования кислых почв Нечерноземья. *Агрохимический вестник*. 2019;(6):3–9. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10081> EDN: NPEJVK
9. Кирейчева Л. В., Шевченко В. А. Состояние пахотных земель Нечернозёмной зоны Российской Федерации и основные направления повышения плодородия почв. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2020;(2):12–16.
10. Агромелиоративные приемы восстановления плодородия деградированных и вышедших из оборота сельскохозяйственных земель и пастбищных территорий. Под ред. В. А. Шевченко. М.: ВНИИГИМ им. А. Н. Костякова, 2022. 205 с.
11. Онучина О. Л., Корнева И. А. Устойчивость сортов клевера лугового к стрессовым факторам кислой дерново-подзолистой почвы. *Сельское хозяйство*. 2018;(2):1–8. DOI: <https://doi.org/10.7256/2453-8809.2018.2.28120> EDN: YSXQPZ
12. Новоселов М. Ю., Новоселова А. С., Дробышева Л. В., Разгуляева Н. В., Пуца Н. М., Полюдина Р. И., и др. Результаты и перспективы экологической селекции клевера лугового (*Trifolium pratense* L.). *Кормопроизводство*. 2007;(9):16–19.

#### References

1. Nebolsin A. N., Nebolsina Z. P., Yakovleva L. V., Polyakov V. A. Scientific foundations and technology of using fertilizers and lime. Saint-Petersburg: *SZNIISKh*, 1997. 52 p.
2. Ivanov A. I., Ivanova Zh. A., Konashekov A. A. Environmental Landscape Conditions of the Russian Northwest, the Fertility of Sod-Podsolic Soils and the Efficiency of Precise Fertilizer Systems. Exploring and Optimizing Agricultural Landscapes. Springer Nature Switzerland AG, 2021. Ch. 15. pp. 349–372. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49620776>
3. Recommendations for the development of the agro-industrial complex and rural areas of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation until 2030. Version 2.0. Edited by S. G. Mitin, A. L. Ivanov. Moscow: *ООО «Изд-во МБА»*, 2021. 400 p.
4. Sychev V. G., Shafran S. A., Vinogradova S. B. Soil fertility in Russia and ways of its regulation. *Agrokhimiya*. 2020;(6):3–13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188120060125>
5. Sokolov I. V. Development of neglected lands in the Leningrad region. *Agrofizika*. 2020;(2):27–33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2020.02.05>

6. Litvinovich A. V., Lavrishchev A. V., Bure V. M. Agrogenic evolution of sod-podzolic surface-moistened clay soil (*Albic Retisols*) with adjustable water-air mode. *Agrokhimiya*. 2021;(7):13–26. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46153597>

7. Sychev V. G. The current state of soil fertility and the main aspects of its regulation. Moscow: *RAN*, 2019. 325 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48062476>

8. Ivanov A. I., Vyazovskiy A. A., Konashenkov A. A., Petrov I. I., Vorob'ev V. A. Topical issues of liming acid soils of Non-chernozem zone. *Agrokhimicheskiy vestnik = Agrochemical Herald*. 2019;(6):3–9. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10081>

9. Kireycheva L. V., Shevchenko V. A. The status of the arable land in the non-chernozem zone of the Russian Federation and the main directions of soil fertility improvement. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal = International Agricultural Journal*. 2020;(2):12–16. (In Russ.).

10. Agro-reclamation techniques for restoring fertility of degraded and decommissioned agricultural lands and pasture territories. *Pod red. V. A. Shevchenko*. Moscow: *VNIIGIM im. A. N. Kostyakova*, 2022. 205 p.

11. Onuchina O. L., Korneva I. A. Resistance of meadow clover varieties to stress factors of acidic sod-podzolic soil. *Sel'skoe khozyaystvo = Agriculture*. 2018;(2):1–8. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.7256/2453-8809.2018.2.28120>

12. Novoselov M. Yu., Novoselova A. S., Drobysheva L. V., Razgulyaeva N. V., Putsa N. M., Polyudina R. I., et al. Results and prospects of ecological breeding of meadow clover (*Trifolium pratense* L.). *Kormoproizvodstvo = Forage Production*. 2007;(9):16–19. (In Russ.).

#### **Сведения об авторах**

✉ **Иванов Алексей Иванович**, доктор с.-х. наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский проспект, д. 14, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195220, e-mail: [office@agrophys.ru](mailto:office@agrophys.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1502-0798>, e-mail: [ivanovai2009@yandex.ru](mailto:ivanovai2009@yandex.ru)

**Иванова Жанна Анатольевна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский проспект, д. 14, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195220, e-mail: [office@agrophys.ru](mailto:office@agrophys.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3138-8285>

**Филиппов Петр Александрович**, кандидат с.-х. наук, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский проспект, 14, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195220, e-mail: [office@agrophys.ru](mailto:office@agrophys.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2362-8330>

#### **Information about the author**

✉ **Alexey I. Ivanov**, DSc in Agricultural Science, professor, corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky pr., 14, Saint-Petersburg, Russian Federation, 195220, e-mail: [office@agrophys.ru](mailto:office@agrophys.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1502-0798>, e-mail: [ivanovai2009@yandex.ru](mailto:ivanovai2009@yandex.ru)

**Zhanna A. Ivanova**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky pr., 14, Saint-Petersburg, Russian Federation, 195220, e-mail: [office@agrophys.ru](mailto:office@agrophys.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3138-8285>

**Petr A. Filippov**, PhD in Agricultural Science, junior researcher, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky pr., 14, Saint-Petersburg, Russian Federation, 195220, e-mail: [office@agrophys.ru](mailto:office@agrophys.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2362-8330>

✉ – Для контактов / Corresponding author