Nauchnyye osnovy i tekhnologii ispol'zovaniya udobrenij i izvesti [Scientific bases and technologies of fertilizers and lime use], *Metodicheskiye rekomendacii*, Saint-Petersburg, 1997, 52 p.
Nebol'sin A. N., Nebol'sina Z. P. *Teoreticheskiye osnovy izvestkovaniya pochv* [Theoretical foundations of soils liming], Saint-Petersburg, 2005, 152 p.
Shil'nikov I. A., Akanova N. I., Fedotova L. S. Opredeleniye poter' kal'ciya iz pakhotnykh pochv po dannym polevykh opytov [Determination of calcium losses from arable soils according to field experiments data] // *Plodorodiye*, 2004, no. 2, pp. 21–23.
Yakovleva L. V. *Migratsiya osnovanij v dernovo-podzolistykh pochvakh Severo-Zapada Rossii* [Migration of bases in sod-podzolic soils of the North-West of Russia], Saint-Petersburg, 2013, 105 p.

УДК 631.8.022.3 DOI: 10.25695/AGRPH.2020.01.06

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ПОЛЕВОМ СЕВООБОРОТЕ

Н. А. Цыганова

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»
196601, Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2, лит. А
E-mail: nats-2012y@yandex.ru

Поступила в редакцию 28 января 2020 г., принята к печати 25 февраля 2020 г.

Минеральные удобрения являются одним из факторов повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, обеспечивающим до 70% прироста урожайности на Северо-Западе Российской Федерации. Однако эффективность их применения в значительной степени зависит от неоднородности почвенного плодородия, весьма характерной для данного региона. Методической основой исследования являлся стационарный ландшафтный полевой опыт, проведенный в 2008–2012 гг. Объектами исследования выступали сельскохозяйственные культуры зернотравянопропашного севооборота и варианты системы удобрения, различающиеся методическими подходами к учету пространственной неоднородности агрохимических свойств почвы. В ходе исследования установлено, что на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах минеральные удобрения остаются одним из самых эффективных факторов повышения производительности и эффективности труда в сельском хозяйстве. При их равномерном применении прибавка урожая основной продукции составила 2,05 т га$^{-1}$, коэффициент энергетической эффективности – 1,4, рентабельность – 256%. В условиях повышенной пестроты почвенного плодородия, свойственной пахотным угодьям Северо-Запада Российской Федерации, энергетически и экономически обоснованным является использование точных минеральных систем удобрения, базирующихся на ежегодном дифференцированном применении туков или разовом приеме дифференцированного окультуривания и их последующем равномерном использовании. Применение данных систем удобрения привело к увеличению урожайности сельскохозяйственных культур зернотравянопропашного севооборота на 110–112%, при этом коэффициент энергетической эффективности составил 2,1–2,4, а уровень рентабельности – 257–499%.

Ключевые слова: минеральные удобрения, неоднородность почвенного плодородия, дифференцированное применение удобрений, энергетическая эффективность, экономическая эффективность.

ENERGY AND ECONOMICAL EFFICIENCY OF SITE-SPECIFIC APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS IN FIELD CROP ROTATION

N. A. Tcyganova

Saint-Petersburg State Agrarian University
2, Peterburgskoye highway, Saint-Petersburg-Pushkin, 196601
E-mail: nats-2012y@yandex.ru

Mineral fertilizers are one of the factors affecting productivity of agricultural crops. Fertilizers provide up to 70% of yield growth in the North-West region of Russian Federation. However, the efficiency of fertilizer application depends significantly on soil heterogeneity, which is a natural feature of the soil cover of the region. The study was carried out in a stationary landscape field experiment in 2008–2012. The objects of the study were agricultural crops of a grain-grass crop rotation with different fertilizer treatments, differing in methodological approach to accounting for the spatial heterogeneity of the soil agrochemical properties. It was found that for the high-quality sod-podzolic soils mineral fertilizers were still one of the most effective factors to increase labor productivity. Conventional fertilizer application provided an increase in the yields of the main products to 2.05 t ha^{-1}, while the energy efficiency ratio was 1.4, and the profitability was 256%. In conditions of increased heterogeneity of soil fertility two options of site-specific mineral fertilizer application were energetically and economically justified: site-specific annual application of mineral fertilisers according to the soil properties and site-specific application of potassium fertiliser only to reduce spatial variability in soil potassium content. The use of these options led to an increase in crop productivity in the field crop rotation by 110–112%, while the energy efficiency ratio was 2.1–2.4, and the profitability level was 257–499%.

Key words: mineral fertilizers, heterogeneity, soil fertility, site-specific, energy efficiency, economical efficiency.

ВВЕДЕНИЕ

Применение минеральных удобрений – один из самых действенных, но в то же время высокозатратных способов повышения урожайности сельскохозяйственных культур. В современном земледелии удобрения обеспечивают в среднем 35–45%, а на Северо-Западе Российской Федерации – до 70% прироста урожайности (Иванов и др., 2016; Научные основы …, 2018). Экономическая эффективность удобрений, вносимых под сельскохозяйственные культуры, в значительной степени определяется их отзывчивостью на минеральное питание и, конечно, рыночной конъюнктурой. По данным А.И. Алтухова (2009), в современных условиях для выгодного ведения сельского хозяйства окупаемость 1 кг действующего вещества удобрений должна составлять 7–10 кг зерна. Однако достигнуть такого уровня эффективности в производстве удается весьма редко. Это связано как с определенной технологической отсталостью сельскохозяйственных предприятий, так и с высокой пестротой плодородия пахотных почв, имеющей практически повсеместное распространение (Фоменко и др., 2012; Soon et al., 2005; Knyazhneva et al., 2006; Huang, Jiang, 2007; Akbas et al., 2009). Её масштабы и негативные последствия для регионального земледелия в Нечернозёмной зоне являются одними из самых критических (Самсонова, 2008; Шпедт, Пурлаур, 2008; Басевич, Тетенькин, 2010; Иванов и др., 2014). И хотя в большинстве случаев ведущую роль в её формировании играют природные факторы, негативное значение также может иметь неравномерное применение мелиорантов и удобрений (Иванов и др., 1994; Иванов и др., 2007; Иванов, Конашенков, 2012). При оценке степени неоднородности невозможно не принимать во внимание разную скорость деградационных изменений свойств дерново-подзолистых почв, особенно быстро подкисляющихся и утрачивающих доступные соединения калия (Иванова и др., 1997; Ефимов, Иванов, 2001; Литвинович, 2009; Иванов и др., 2015).

Возможности для учета всех указанных обстоятельств представились с появлением прецизионного информационно-технологического оборудования, использующегося в точных системах удобрения. Научные основы последних активно разрабатываются в Агрофизическом институте на протяжении последних 15 лет (Якушев и др., 2007; Точное сельское хозяйство, 2009; Иванов, Конашенков, 2014; Иванов и др., 2017). Однако по причине исключительной вариабельности цен на товарную продукцию земледелия даже такие системы не всегда гарантируют высокую денежную окупаемость. Как правило, она существенно выше при производстве овощных культур и ниже – при производстве полевых (Иванов, Конашенков, 2014; Конашенков, 2014). В определённой мере более объективный характер в таких условиях может иметь энергетический подход к оценке системы применения удобрений (Волобуев, 1979; Володин, 1989). Основной мерой такой оценки принято считать энергетический коэффициент, выражающий отношение дополнительно полученной энергии урожая к затратам антропогенной энергии на его формирование. Система удобрения энергетически оправдана, если энергетический коэффициент превышает 1. Однако в наиболее эффективных вариантах он может достигать 3–4, а при оценке отдельных приёмов внесения удобрений – и более значительных величин (Конашенков, 2014).

Целью исследования являлась оценка энергетической и экономической эффективности

дифференцированного применения минеральных удобрений в типичном для современных хозяйственных условий Северо-Запада РФ полевом севообороте.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Комплексное исследование по оценке эффективности точных минеральных систем удобрения, базирующихся на разных принципах обоснования пространственной дифференциации оптимальной дозы, проводилось в период 2008–2012 гг. в Меньковском филиале Агрофизического института. Его методической базой являлся стационарный ландшафтный полевой опыт в системе зернотравянопропашного севооборота картофель – ячмень + многолетние травы – многолетние травы 1 и 2 года пользования – озимая пшеница.

Агроландшафт в полевом эксперименте представлен участком общей площадью 22 га, характерным для озерно-ледниковой равнины с выраженным пологоволнистым мезорельефом. Весьма контрастный почвенный покров представлен комплексами дерново-слабоподзолистых типичных и глееватых почв, развитых на красноцветных моренных отложениях легкого (от связнопесчаного до легкосуглинистого) гранулометрического состава. При оценке по средневзвешенным показателям почва агроландшафта может быть отнесена к виду хорошо окультуренных. Однако при прецизионном обследовании его территории было установлено, что фактически к хорошо, средне и слабо окультуренным относится 63%, 28% и 9% почв соответственно (Иванов и др., 2014). Слабо и средне окультуренные участки располагались преимущественно в труднодоступных для техники переувлажненных местах поля с глееватыми дерново-подзолистыми почвами, а переудобренные – на возвышенностях, где периодически складировались органические удобрения. Таким образом, при среднем по опыту содержании в пахотном слое почвы органического вещества 4,36%, подвижных фосфатов – 434 мг кг$^{-1}$, подвижного калия – 197 мг кг$^{-1}$ оно фактически варьировалось в пределах 1,70–7,54%, 232–580 мг кг$^{-1}$ и 76–360 мг кг$^{-1}$ соответственно. Коэффициенты вариации показателей гумусированности и обеспеченности почвы подвижным калием превысили 25%, что послужило одним из главных оснований для пространственной дифференциации доз азотных и калийных удобрений.

Схема опыта включала пять вариантов: 1. контроль (без удобрений); 2. зональная система удобрения (ЗСУ); 3. точная система удобрения 1 (ТСУ-1); 4. точная система удобрения 2 (ТСУ-2); 5. точная система удобрения 3 (ТСУ-3). Оптимальные дозы минеральных удобрений рассчитывались для получения урожая картофеля в размере 25 т га$^{-1}$, ячменя – 4,5 т га$^{-1}$, сена многолетних трав – 5 т га$^{-1}$, озимой пшеницы – 5 т га$^{-1}$. В варианте ЗСУ расчет проводился по средним показателям агрохимических свойств. Среднегодовые дозы удобрений в указанном варианте составили $N_{98}P_{45}K_{63}$. В первом варианте точной системы удобрения доза азота была эквивалентна варианту ЗСУ, а ежегодное дифференцированное внесение азотных и периодическое внесение (под картофель, ячмень, пшеницу и травы 2 года использования) калийных удобрений в среднегодовой дозе $N_{98}K_{57}$ осуществлялось с использованием кузовного разбрасывателя Amazone-ZAM 1500. Особенностью второго варианта точной системы удобрения было предварительное выравнивание обеспеченности почвы подвижным калием за счет дифференцированного внесения хлористого калия и последующее равномерное внесение комплексных удобрений аналогично варианту ЗСУ. Среднегодовая доза удобрений при этом составила $N_{98}P_{45}K_{85}$. В третьем варианте точной системы удобрения, эквивалентном ЗСУ по количеству удобрений, основой для пространственной дифференциации их доз служили карты урожайности предшествующих культур.

Общая площадь делянки в опыте составляла 12000 м^2 (ширина – 20 м, длина – 600 м), учетная площадь – 6000 м^2. Опыт проведен в 4-кратной повторности, размещение вариантов и повторений систематическое. Расчет экономической и энергетической эффективности систем удобрения проводился при помощи балансового метода на основе сопоставления доходных статей с фактическими денежными и энергетическими затратами, взятыми из технологических карт возделывания отдельных сельскохозяйственных культур.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования были установлены параметры агрономической эффективности изучаемых систем удобрения (табл. 1), которые в немалой степени зависели от погодно-климатических условий. Из пяти лет проведения исследований относительно благоприятными могут считаться лишь условия развития ячменя в 2009 г. и озимой пшеницы в 2012 г. Снижение урожайности картофеля в 2008 г. было в значительной степени обусловлено волной холода на стадии прорастания клубней и резким переувлажнением в конце вегетации. Многолетние злаковые травы сильно пострадали от засух в 2010 и 2011 гг. Тем не менее эффективность минеральных систем удобрения в опыте может быть оценена как очень высокая. Даже при их равномерном внесении в условиях неоднородности почвенных свойств продуктивность севооборота повысилась на 90%, а окупаемость 1 кг действующего вещества удобрений достигла 9,9 з. ед. Как и предполагалось в научной гипотезе исследования, максимально эффективным оказался вариант ТСУ-1 с дифференцированным внесением азотных и калийных удобрений, в котором на фоне 25%-й экономии фосфорного компонента произошло повышение продуктивности севооборота на 110% относительно контроля и на 10% по сравнению с вариантом ЗСУ. Окупаемость питательных веществ удобрений при том увеличилась в 1,6 раза.

Таблица 1. **Агрономическая эффективность систем удобрения в полевом севообороте**

Вариант	Урожайность основной и побочной продукции по культурам, т га$^{-1}$ з.ед.					Продуктивность севооборота, т га$^{-1}$ з.ед.	Прибавка		Окупаемость, кг з.ед./кг NPK
	картофель	ячмень	мног. тр. 1 г. п.	мног. тр. 2 г.п.	пшеница озимая		т га$^{-1}$ з.ед.	%	
Контроль – 0	3,15	2,43	1,82	0,87	3,05	11,32	–	–	–
ЗСУ	5,10	5,21	3,57	2,94	4,74	21,56	10,24	90	9,9
ТСУ-1	5,18	5,67	3,85	3,16	5,93	23,79	12,47	110	16,1
ТСУ-2	5,78	5,61	3,99	3,10	5,49	23,97	12,65	112	11,2
ТСУ-3	5,43	5,30	3,57	3,13	5,49	22,92	11,60	102	10,2
$НСР_{05}$	0,31	0,44	0,44	0,15	0,29		1,63		

Вариант ТСУ-2 с предварительным дифференцированным внесением калийных удобрений оказался эффективным только при возделывании требовательной к калийному питанию культуры – картофеля, продуктивность которого увеличилась на 12%. В третьем варианте точной системы удобрения, в котором дифференциация доз проводилась на основе карты урожайности предшествующих культур, отмечено достоверное повышение урожайности только многолетних трав 2 года использования. Вероятно, это связано с тем, что основой для дифференциации доз служила карта урожайности тех же культур. По отношению к остальным культурам в силу существенных различий биологических особенностей питания существенного эффекта по сравнению с ЗСУ добиться не удалось.

Анализ структуры энергетических (рис. 1) и экономических (рис. 2) затрат на реализацию изучаемых в опыте вариантов системы удобрения показал определённое сходство между ними. Так, при обоих методических подходах абсолютно доминирующей статьёй затрат стали сами минеральные удобрения, потребовавшие от 40,5 до 62,0 ГДж антропогенной энергии или от 15,0 до 29,5 тыс. руб. в денежном эквиваленте. Это составило 60–65% от общих энергетических затрат и 47–56% – от экономических. Некоторыми авторами такая разница связывается с не вполне обоснованным включением в энергетический эквивалент удобрений их собственной энергоёмкости, а не только антропогенных затрат на производство (Конашенков, 2014).

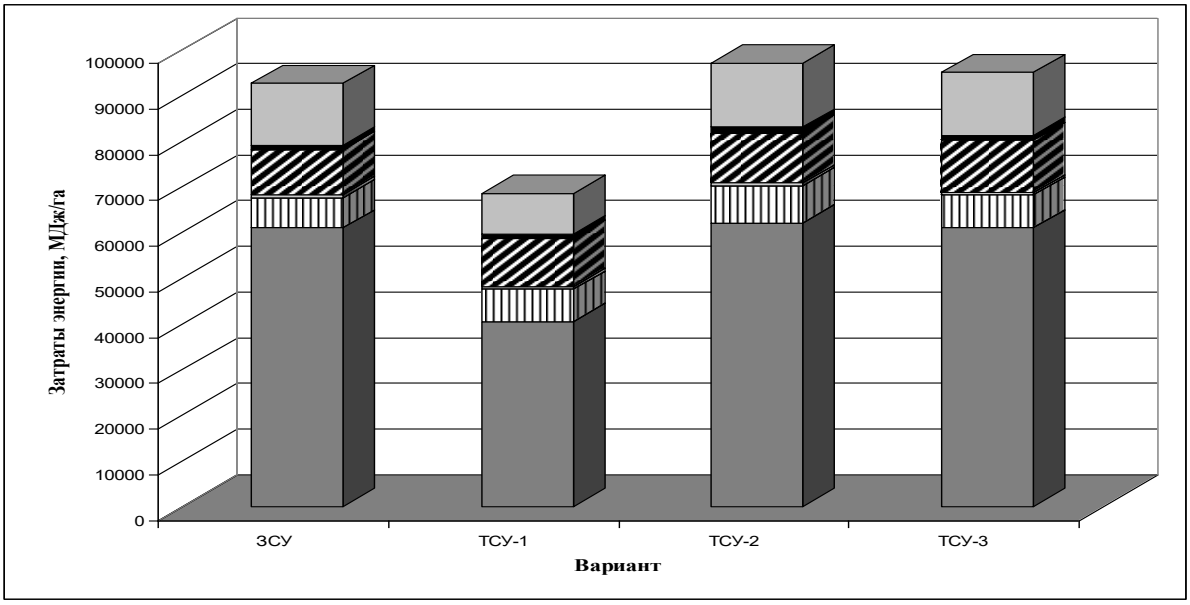

Рис. 1. Энергетические затраты на применение удобрений и уборку дополнительного урожая

(■ – удобрения; ▥ – ГСМ; □ – электроэнергия; ▨ – амортизация; ■ – труд; ▢ – прочие)

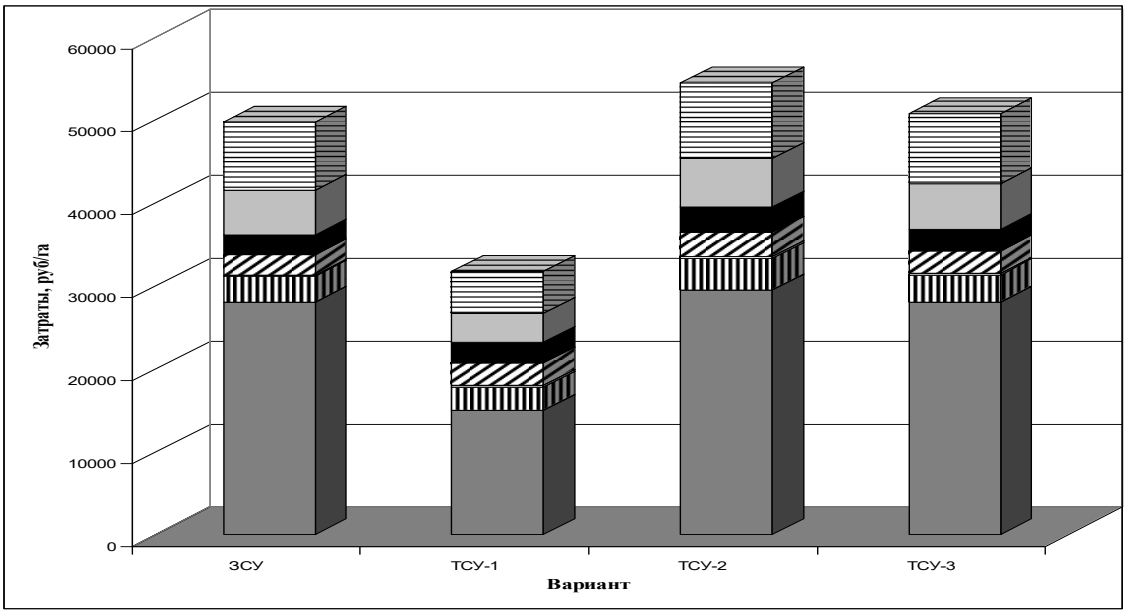

Рис. 2. Экономические затраты на применение удобрений и уборку дополнительного урожая

(■ – удобрения; ▥ – ГСМ; □ – электроэнергия; ▨ – амортизация; ■ –заработная плата; ▢ – прочие прямые; ▤ – накладные расходы)

Сопоставимое значение в структуре затрат имели две весомые статьи: расходы на горюче-смазочные материалы (ГСМ) и затраты на амортизацию сельскохозяйственной техники и оборудования, составляющие по отдельным вариантам от 5 до 15% от общих расходов. Максимальное соответствие между энергетическими (7–10%) и денежными (6–9%) затратами было свойственно статье расходов на ГСМ. Напротив, энергетическая оценка амортизации сельскохозяйственной техники (11–15%) в 1,6 раза превосходила денежную (5–9%). В силу технологических особенностей возделывания культур севооборота и переработки их урожая затраты электрической энергии составляли менее половины процента от общих энергетических и денежных затрат.

С учетом высокой степени механизации и производительности труда энергозатраты работников во всех вариантах опыта находились в пределах 1–1,4%, тогда как оплата труда вполне закономерно увеличилась до 4,7–7,8%.

Сравнение изученных вариантов системы удобрения показало, что различия в величине энергетических и денежных расходов между вариантом с равномерным внесением удобрений и вариантами с пространственной дифференциацией их доз (второй и третий варианты) несущественны. В то же время в результате замены внесения комплексных удобрений на дифференцированное применение их азотных и калийных видов общие энергетические затраты за ротацию севооборота сократились с 92,6 до 68,5 Гдж, денежные – с 49,6 до 31,7–тыс. руб. га$^{-1}$, т. е. в 1,4 и 1,6 раза соответственно. Это вызвало определённые положительные изменения и в структуре затрат. Так, доля затрат на удобрения сократилась с 57–66% до 47–59%. Вполне закономерно, что при этом в 1,4–1,5 раза возросло значение живого труда, повысилась его оплата, а также увеличились затраты на горюче-смазочные материалы и амортизацию техники.

Результаты расчёта энергоёмкости прибавки урожая, полученной за счёт применения удобрений, весьма объективно характеризуют приходную статью, тесно коррелируя с параметрами их агрономической эффективности (табл. 2). В наиболее эффективных вариантах с дифференцированным применением минеральных удобрений (ТСУ-1 и ТСУ-2) выход валовой и обменной энергии увеличился на 15–29 и 15–36% соответственно относительно ЗСУ. С учётом значительной экономии затрат при отказе от комплексных удобрений в варианте с ежегодным дифференцированным применением простых видов минеральных удобрений вполне закономерно были отмечены максимальные показатели агроэнергетической эффективности. Энергетический коэффициент здесь достиг 3,6 ед. по валовой энергии и 2,1 ед. – по обменной, что превысило соответствующие показатели в варианте ЗСУ на 50–57%. В варианте с предварительным прецизионным окультуриванием (применением калийных удобрений), несмотря на более высокие энергетические затраты, показатели коэффициента энергетической эффективности применения минеральных удобрений увеличились на 26–29%.

Таблица 2. **Энергетическая эффективность минеральных систем удобрения**

Показатели	Варианты			
	ЗСУ	ТСУ-1	ТСУ-2	ТСУ-3
Выход валовой энергии в прибавке урожая, МДж га$^{-1}$	37188	42688	47903	41548
Выход обменной энергии в прибавке урожая, МДж га$^{-1}$	21760	25020	29587	24572
Общие энергетические затраты, МДж га$^{-1}$	15823	11951	16606	16248
Окупаемость живого труда, МДж МДж$^{-1}$*	192,5 / 112,6	217,7 / 127,6	187,5 / 154,9	184,2 / 114,8
Коэффициент энергетической эффективности*	2,3 / 1,4	3,6 / 2,1	2,9 / 1,8	2,5 / 1,5

Примечание: * над чертой – относительно валовой энергии; под чертой – относительно обменной энергии.

Данные экономических расчётов хотя и подтвердили в целом установленные в эксперименте закономерности высокой отдачи от применения минеральных удобрений на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах, тем не менее носили существенно более сложный характер. Так, несмотря на весьма близкие относительные показатели экономической эффективности в вариантах ЗСУ, ТСУ-2 и ТСУ-3 (рентабельность – 256–269%, окупаемость 1 рубля затрат на применение удобрений – 3,5–3,7 руб.), в вариантах с дифференцированным применением минеральных удобрений ежегодно обеспечивалось получение дополнительно 1,9–2,5 тыс. руб. условного чистого дохода с каждого гектара.

Как следует из данных по агрономической эффективности, наиболее высокие показатели окупаемости денежных вложений достигнуты в варианте с ежегодным дифференцированным применением наиболее эффективных в почвенно-агрохимических условиях Северо-Запада РФ азотных и калийных удобрений (ТСУ-1) (табл. 3). В указанном варианте за счёт прецизионной оптимизации питательного режима почвы удалось добиться получения среднегодового условного чистого дохода в размере 31,9 тыс. руб. с 1 га при рентабельности 499% и окупаемости каждого рубля вложений 6 рублями дохода от продажи дополнительного урожая. Относительное превосходство методического варианта с пространственной дифференциацией доз удобрений перед принятыми технологиями равномерного внесения составило: по условному чистому доходу – 25%, рентабельности – 95%, окупаемости 1 кг NPK – 44%, окупаемости 1 руб. затрат – 71%. Таким образом, результаты исследования полностью подтвердили теоретическую и практическую обоснованность применения точных систем удобрения в условиях Северо-Западного региона России.

Таблица 3. **Экономическая эффективность минеральных систем удобрения**

Показатели	Варианты			
	ЗСУ	ТСУ-1	ТСУ-2	ТСУ-3
Стоимость прибавки, руб. га$^{-1}$	35243	38341	38896	37521
Дополнительные затраты, руб. га$^{-1}$	9960	6403	10892	10159
Условный чистый доход, руб. га$^{-1}$	25483	31938	28004	27362
Рентабельность, %	256	499	257	269
Окупаемость удобрений, руб. кг$^{-1}$ NPK	171,1	247,4	170,6	182,1
Окупаемость удобрений, руб. руб.$^{-1}$	3,5	6,0	3,6	3,7

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах минеральные удобрения остаются одним из самых эффективных факторов повышения производительности и эффективности труда в сельском хозяйстве. При их равномерном применении прибавка урожая основной продукции составила 2,05 т га$^{-1}$, коэффициент энергетической эффективности – 1,4, рентабельность – 256%. В условиях повышенной пестроты почвенного плодородия, свойственной пахотным угодьям Северо-Запада Российской Федерации, энергетически и экономически обоснованным является использование точных минеральных систем удобрения, базирующихся на ежегодном дифференцированном применении туков или разовом приеме дифференцированного окультуривания и их последующем равномерном использовании. Применение данных систем удобрения привело к увеличению урожайности сельскохозяйственных культур зернотравянопропашного севооборота на 110–112%, при этом коэффициент энергетической эффективности составил 2,1–2,4, а уровень рентабельности – 257–499%.

Список литературы

Алтухов А. И. Если российское сельское хозяйство не готово использовать минеральные удобрения, может ли оно накормить страну? // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2009. № 1. С. 6–11.

Басевич В. Ф., Тетенькин В. Л. Неоднородность подзолистых почв и пестрополье // Вестник МГУ. 2010. Сер. 17. № 2. С. 35–42.

Волобуев В. Р. Агроэнергетика – актуальная и практическая проблема // Почвоведение. 1979. № 10. С. 5–14.

Володин В. М. О расширении воспроизводства почвенного плодородия // Вестник сельскохозяйственной науки. 1989. № 6. С. 24–30.

Ефимов В. Н., Иванов А. И. Деградация хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2001. № 6. С. 21–23.

Иванова В. Ф., Иванов И. А., Иванов А. И. Калийный фонд пахотных почв Псковской области // Агрохимический вестник. 1997. № 4. С. 38.

Иванов А. И., Конашенков А. А., Иванова Ж. А., Воробьёв В. А., Фесенко М. А., Данилова Т. А., Филиппов П. А. Агротехнические аспекты реализации биоклиматического потенциала Северо-Запада России // Агрофизика. 2016. № 2. С. 35–44.

Иванов А. И., Конашенков А. А., Хомяков Ю. В., Фоменко Т. Г., Федькин И. А. Оценка параметров пространственной неоднородности показателей почвенного плодородия // Агрохимия. 2014. № 2. С. 39–49.

Иванов А. И., Конашенков А. А. Агроэкологические последствия неравномерного внесения навоза в овощном севообороте // Агрохимия. 2012. № 6. С. 66–72.

Иванов А. И., Конашенков А. А., Федотенков Д. В. Равномерность внесения навоза и пестрота почвенного плодородия // Плодородие. 2007. № 2. С. 16–18.

Иванов И. А., Иванова В. Ф., Иванов А. И. Зафосфаченно-закалиенные почвы Северо-Запада как объект агроэкологического мониторинга // Агрохимический вестник. 1994. № 2. С. 24–25.

Иванов А. И., Воробьёв В. А., Иванова Ж. А. Современные деградационные процессы в хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Проблемы агрохимии и экологии. 2015. № 3. С. 15–19.

Иванов А. И., Конашенков А. А. Методико-технологические аспекты и результаты оценки точных систем удобрения // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. № 3. С. 20–24.

Иванов А. И., Лапа В. В., Конашенков А. А., Иванова Ж. А. Биологические особенности ответа культур овощного севооборота на точные системы удобрения // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 3. С. 454–463.

Конашенков А. А. Научное обоснование систем удобрения для прецизионного применения на Северо-Западе России. Дисс. докт. с.-х. наук. СПб.: АФИ, 2014. 368 с.

Литвинович А. В. Постагрогенная эволюция хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв Нечернозёмной зоны // Агрохимия. 2009. № 7. С. 85–93.

Научные основы эффективного использования агроресурсного потенциала Северо-Запада России / Под ред. М. В. Архипова. СПб. – Пушкин, 2018. 135 с.

Самсонова В. П. Пространственная изменчивость почвенных свойств: на примере дерново-подзолистых почв. М.: Издательство ЛКИ, 2008.

Точное сельское хозяйство / Под ред. Д. Шпаара, А. В. Захаренко, В. П. Якушева. СПб. –Пушкин, 2009.

Фоменко Т. Г., Павлова В. П., Иванов А. И. Дифференциация свойств чернозёмных почв при локальных способах орошения и применения удобрений // Проблемы агрохимии и экологии. 2012. № 4. С. 8–13.

Шпедт А. А., Пурлаур В. К. Оценка влияния рельефа на плодородие почв и урожайность зерновых культур // Сибирский вестник с.-х. науки. 2008. № 10. С. 5–11.

Якушев В. П., Иванов А. И., Якушев В. В., Конашенков А. А. Реализация системы удобрения в точном земледелии // Земледелие. 2008. № 5. С. 77–85.

Akbas F., Gunal H., Gokmen F., Gezging S. Spatial variation of micronutrients in topsoil and subsoil of Fertic Haplustepts // Agrochimica, 2009, v. 53, no. 2, pp. 101–116.

Huang Zhi-gang, Jiang Dai-hua. Guangxi nongye shenguru kexue // Guangxi Agr. and Biol. Sci., 2007, v. 26, no. 1, pp. 67–70.

Knyazhneva E. V., Nadezhkin S. M., Frid A. S. The spatial heterogeneity of the fertility in a leached chernozem within a field // Eurasian Soil Science, 2006, v. 39, no. 9, pp. 1011–1020.

Soon Y. K., Malhi S. S., Can J. Soil nitrogen dynamics as affected by landscape position and nitrogen fertilizer // Soil Sci., 2005, v. 85, no. 5, pp. 579–587.

REFERENCES

Altukhov A. I. Esli rossiyskoye sel`skoye khozyaystvo ne gotovo ispol`zovat` mineral`nyye udobreniya, mozhet li ono nakormit` stranu? [If Russian agriculture is not ready to use mineral fertilizers, can it feed the country?]. *E`konomika sel`skokhozyaystvenny`kh i pererabaty`vayuschikh predpriyatiy*, 2009, no. 1, pp. 6–11.

Basevich V. F., Teten`kin V. L. Neodnorodnost` podzolistykh pochv i pestropol`ye [Heterogeneity of podzolic soil and disordered sowing]. *Vestnik MGU*, 2010, ser. 17, no. 2, pp. 35–42.

Volobuev V. R. Agroenergetika – aktual`naya i prakticheskaya problema [Agroenergetics is a current and practical issue]. *Pochvovedeniye*, 1979, no. 10, pp. 5–14.
Volodin V. M. O rasshirenii vosproizvodstva pochvennogo plodorodiya [About the expanded reproduction of soil fertility]. *Vestnik sel`skokhozyaystvennoy nauki*, 1989, no. 6, pp. 24–30.
Efimov V. N., Ivanov A. I. Degradatsiya khorosho okul`turennykh dernovo-podzolistykh pochv [Degradation of well-cultivated sod-podzolic soil]. *Doklady Rossiyskoy akademii sel`skokhozyaystvennykh nauk*, 2001, no. 6, pp. 21–23.
Ivanova V. F., Ivanov I. A., Ivanov A. I. Kaliynyi fond pakhotnykh pochv Pskovskoy oblasti [Potassium status of cultivated soil in Pskov region]. *Agrokhimicheskiy vestnik*, 1997, no. 4, pp. 38.
Ivanov A. I., Konashenkov A. A., Ivanova Zh. A., Vorob`yov V. A., Fesenko M. A., Danilova T. A., Filippov P. A. Agrotekhnicheskiye aspekty realizatsii bioklimaticheskogo potentsiala Severo-Zapada Rossii [Agrotechnical aspects of implementation of bioclimatic potential of Russia North-West]. *Agrofizika*, 2016, no. 2, pp. 35–44.
Ivanov A. I., Konashenkov A. A., Khomyakov Yu. V., Fomenko T. G., Fed`kin I. A. Otsenka parametrov prostranstvennoy neodnorodnosti pokazateley pochvennogo plodorodiya [Estimation of parameters of spatial heterogeneity of soil fertility]. *Agrokhimiya*, 2014, no. 2, pp. 39–49.
Ivanov A. I., Konashenkov A. A. Agroekologicheskiye posledstviya neravnomernogo vneseniya navoza v ovoschnom sevooborote [Agroecological consequences of non-uniform manure application in vegetable rotation]. *Agrokhimiya*, 2012, no. 6, pp. 66–72.
Ivanov A. I., Konashenkov A. A., Fedotenkov D. V. Ravnomernost` vneseniya navoza i pestrota pochvennogo plodorodiya [Uniformity of manure application and the heterogeneity of soil fertility]. *Plodorodiye*, 2007, no. 2, pp. 16–18.
Ivanov I. A., Ivanova V. F., Ivanov A. I. Zafosfachenno-zakaliyennyye pochvy Severo-Zapada kak ob`yekt agroekologicheskogo monitoringa [Overphosphated and overpotassiumed soils in the North-West as an object for agroecological monitoring]. *Agrokhimicheskiy vestnik*, 1994, no. 2, pp. 24–25.
Ivanov A. I., Vorob`yov V. A., Ivanova Zh. A. Sovremennyye degradatsionnyye processy v khorosho okul`turennykh dernovo-podzolistykh pochvakh [Current degradation process in well-cultivated sod-podzolic soils]. *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2015, no. 3, pp. 15–19.
Ivanov A. I., Konashenkov A. A. Metodiko-tekhnologicheskiye aspekty i rezul`taty otsenki tochnykh sistem udobreniya [Methodical and technological aspects and results of precision fertilizer systems estimation]. *Sel`skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*, 2014, no. 3, pp. 20–24.
Ivanov A. I., Lapa V. V., Konashenkov A. A., Ivanova Zh. A. Biologicheskiye osobennosti otveta kul`tur ovoschnogo sevooborota na tochnyye sistemy udobreniya [Biological response of the crops of vegetable rotation on precision fertilizer systems]. *Sel`skokhozyaystvennaya biologiya*, 2017, v. 52, no. 3, pp. 454–463.
Konashenkov A. A. *Nauchnoye obosnovaniye sistem udobreniya dlya pretsizionnogo primeneniya na Severo-Zapade Rossii*. Diss. dokt. s.-kh. nauk [Scientific rationale of precision fertilizer systems for its application in the North-West of Russia. Dr. Agr. Sci. Diss]. SPb.: AFI, 2014, 368 p.
Litvinovich A. V. Postagrogennaya evolyutsiya khorosho okul`turennykh dernovo-podzolistykh pochv Nechernozyomnoy zony [Post-agrogenic development of well-cultivated sod-podzolic soil of Non-chernozem zone]. *Agrokhimiya*, 2009, no. 7, pp. 85–93.
Nauchnyye osnovy effektivnogo ispol`zovaniya agroresursnogo potentsiala Severo-Zapada Rossii [Scientific basis of effective use of agroresourse potential in the North-West of Russia)] / Pod red. M. V. Arkhipova. SPb. – Pushkin, 2018, 135 p.
Samsonova V. P. Prostranstvennaya izmenchivost` pochvennykh svoystv: na primere dernovo-podzolistykh pochv [Spatial heterogeneity of soil properties on the example of sod-podzolic soils]. M.: Izdatel`stvo LKI, 2008.
Tochnoye sel`skoye khozyaystvo [Precision agriculture] / Pod red. D. Shpaara, A. V. Zakharenko, V. P. Yakusheva. SPb. – Pushkin, 2009.
Fomenko T. G., Pavlova V. P., Ivanov A. I. Differentsiatsiya svoystv chernozyomnykh pochv pri lokal`nykh sposobakh orosheniya i primeneniya udobreniy [Differentiation of chernozem soils properties during local irrigation and fertilizer application]. *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2012, no. 4, pp. 8–13.
Shpedt A. A., Purlaur V. K. Otsenka vliyaniya rel`yefa na plodorodiye pochv i urozhaynost` zernovykh kul`tur [Assessment of the impact of surface topography on soil fertility and productivity of grain crops]. *Sibirskiy vestnik s.-kh. nauki*, 2008, no. 10, pp. 5–11.
Yakushev V. P., Ivanov A. I., Yakushev V. V., Konashenkov A. A. Realizatsiya sistemy udobreniya v tochnom zemledelii [Implementation of fertilizer application in precision farming]. *Zemledeliye*, 2008, no. 5, pp. 77–85.
Akbas F., Gunal H., Gokmen F., Gezging S. Spatial variation of micronutrients in topsoil and subsoil of Fertic Haplustepts // Agrochimica, 2009, v. 53, no. 2, pp. 101–116.
Huang Zhi-gang, Jiang Dai-hua. Guangxi nongye shenguru kexue // Guangxi Agr. and Biol. Sci., 2007, v. 26, no. 1, pp. 67–70.
Knyazhneva E. V., Nadezhkin S. M., Frid A. S. The spatial heterogeneity of the fertility in a leached chernozem within a field // Eurasian Soil Science, 2006, v. 39, no. 9, pp. 1011–1020.
Soon Y. K., Malhi S. S., Can J. Soil nitrogen dynamics as affected by landscape position and nitrogen fertilizer // Soil Sci., 2005, v. 85, no. 5, pp. 579–587.