

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.144-152>
УДК 631.452:631.816:631.153.3



Изменение агрохимических показателей чернозема выщелоченного под влиянием дифференцированного применения минеральных удобрений

© 2019. А.А. Артемьев, А.М. Гурьянов

Мордовский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», г. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация

В статье представлены результаты исследований, проведенных на экспериментальном полигоне в условиях лесостепи Поволжья в 2004-2010 гг., о влиянии традиционного (усредненного) и дифференцированного применения минеральных удобрений в полевом севообороте (озимая пшеница (рекогносцировочный посев) – яровая пшеница – однолетние травы – яровой ячмень – чистый пар – озимая пшеница – яровая пшеница) на изменение агрохимических свойств чернозема выщелоченного. Установлено, что шестилетнее использование удобрений независимо от технологии их внесения способствовало улучшению основных показателей плодородия в пахотном слое почвы. В среднем по 15 секторам (делянкам) каждого варианта содержание подвижного фосфора за ротацию севооборота возросло при дифференцированном внесении удобрений на 15,9%, калия – на 15,0%, а при традиционном – соответственно на 4,8 и 16,7% (контроль 100,8 и 116,2 мг/кг почвы соответственно). На участках, где не вносили удобрения, содержание подвижных элементов на 2-7% снизилось. Содержание азота в почве напрямую зависело от сроков взятия образцов и количества в почве влаги, поэтому отследить его изменение достаточно сложно. Разница в накоплении минерального азота между технологиями применения удобрений не наблюдалась. По органическому веществу во всех вариантах опыта за годы исследований произошло снижение показателя. Заметнее это было в контроле, где значение уменьшилось на 2,7% (отн.). Здесь же значение $pH_{\text{соч}}$ выросло на 0,12 единицы и составило 4,7. В вариантах с удобрениями значение кислотности почвы осталось практически без изменения (4,6-4,7). В целом дифференцированное применение минеральных удобрений не оказало отрицательного влияния на агрохимический состав чернозема выщелоченного. Происходило постепенное относительное нивелирование пестроты почвенного плодородия за счет остаточных количеств фосфора и калия на низкоплодородных участках и некоторого снижения содержания подвижных элементов на участках с высокой обеспеченностью.

Ключевые слова: полевой севооборот, усредненные дозы удобрений, дифференцированные дозы удобрений, коэффициент вариации, контурная карта

Для цитирования: Артемьев А.А., Гурьянов А.М. Изменение агрохимических показателей чернозема выщелоченного под влиянием дифференцированного применения минеральных удобрений. Аграрная наука Евро-Северо-Востока 2019;20(2):144-152. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.144-152>

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания (тема НИР №0767-2018-0063-С-03).

Changes in agrochemical parameters of leached chernozem under the influence of differentiated use of minerals

© 2019. Andrey A. Artemjev, Aleksandr M. Guryanov

Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agrarian Research Center of the North-East named N.V.Rudnitsky, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation

The article presents the results of studies conducted in 2004-2010 at the experimental plot in the forest-steppe Volga region. The research investigated the impact of traditional (average) and differentiated use of mineral fertilizers in the field crop rotation (winter wheat (reconnaissance sowing) – spring wheat – annual grass – spring barley – bare fallow– winter wheat – spring wheat) on the change of agrochemical properties of leached chernozem. It was established that the six-year use of fertilizers contributed to the improvement of the main indicators of top soil fertility regardless of application technology. On average, in 15 sectors (plots) of each variant, the content of mobile phosphorus per rotation of crop rotation increased with differentiated fertilization by 15.9%, potassium – by 15%, and in the traditional one – by 4.8 and 16.7% respectively, (control of 100.8 and 116.2 mg/kg of soil, respectively). In sectors where no fertilizer was applied, the content of mobile elements decreased by 2-7%. The nitrogen content in the soil directly depended on the timing of sampling and the amount of moisture in the soil, so it was difficult to track its change. The difference in the accumulation of mineral nitrogen between the technologies of fertilizer application was not observed. For organic matter in all variants of the experience over the years of research there was a decrease in the indicator. This was more noticeable in the control, where the value decreased by 2.7%. Here, the value of soil acidity increased by 0.12 units and became 4.7. In variants with fertilizers soil acidity remained the

same (4.6-4.7). In general, the differentiated use of mineral fertilizers did not have a negative influence on the agrochemical composition of leached chernozem. There was a gradual equalization of soil fertility due to the residual amounts of phosphorus and potassium on low-fertile plots and some reduction of mobile elements in zones with high content.

Key words: *leached chernozem, field crop rotation, average doses of fertilizers, differentiated doses of fertilizers, coefficient of variation, contour map*

For citation: Artemjev A.A., Guryanov A.M. Changes in agrochemical parameters of leached chernozem under the influence of differentiated the use of mineral. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(2):144-152. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.144-152>

В точном земледелии основополагающим принципом является адаптивность к внутрипольной вариабельности почвенного плодородия, учет которой с агрохимической точки зрения является наиболее затратным вопросом. Вместе с тем, накопление знаний о поле и выделение на этой основе контуров (элементарных участков) составляют основу почвоадаптивного применения агрохимических средств [1]. Несмотря на то, что сегодня существует множество различных способов получения информации о неоднородности распределения элементов питания по полю [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9], реализация технологии координатного земледелия в производство без комплексных и глубоких исследований невозможна [10,11, 12, 13]. Кроме того, для ее освоения требуется оценка эффективности дифференцированного применения удобрений в конкретных почвенно-климатических условиях, так как агрохимические и другие показатели плодородия почвы в условиях разной степени ее окультуренности имеют, особенно для оптимизации доз удобрений, первостепенное значение [14, 15, 16].

Цель исследований – выявить характер изменения внутрипольной вариабельности свойств чернозема выщелоченного под влиянием дифференцированного применения удобрений в полевом севообороте.

Материал и методы. Изучение изменения показателей плодородия почвы проводили на экспериментальном полигоне Мордовского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, созданного в 2003 году, где исследовалось 3 варианта применения удобрений: 1 – контроль (без удобрений); 2 – применение минеральных удобрений по традиционной технологии (усредненная доза); 3 – дифференцированное применение минеральных удобрений с учетом внутрипольной вариабельности почвенного плодородия. Опыт заложен в 3-кратной повторности по принципу расщепленной делянки, при котором делянки 1-го порядка отведены под один из 3-х вариан-

тов с удобрениями, а субделянки (по пять делянок в каждом повторении) – для выявления вариабельности почвенного плодородия и внесения удобрений. Полигон площадью 1 га в общей сложности был разделен на 45 секторов (по 15 делянок в каждом варианте), размером каждый 220,7 м² (37,4 × 5,9). Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднегумусный среднемощный тяжелосуглинистый. Работа выполнялась в типичном для лесостепи Поволжья севообороте: озимая пшеница (рекогносцировочный посев) – яровая пшеница – однолетние травы – яровой ячмень – чистый пар – озимая пшеница – яровая пшеница. При возделывании яровой пшеницы (урожайность 3,0 т/га) усредненные дозы составили: N90P32K40, дифференцированные – N48-158P22-35K23-57; суданской травы (урожайность зеленой массы 20 т/га) – N90P45K77 и N68-117P31-49K51-110; ярового ячменя (урожайность 3,0 т/га) – соответственно N70P44K30 и N48-82P37-92 K21-38; в чистом пару удобрения не вносили; озимой пшеницы (3,5 т/га) – N84P46K53 и N48-108 P30-52K36-65; яровой пшеницы (3,0 т/га) – N94P40K47 и N53-129P26-48K32-57 соответственно. При внесении удобрений по традиционной технологии расчет доз азота, фосфора и калия проведен исходя из средневзвешенных агрохимических показателей почвы делянок (секторов) второго варианта опыта. На участках третьего варианта, т.е. при дифференцированном применении, все удобрения были внесены с учетом агрохимической характеристики почвы каждой делянки.

Исследования выполняли по общепринятой методике¹. Агрохимические показатели почвы из проб, отобранных с пахотного горизонта сеточным методом из центра ячейки [17], определяли в сертифицированной лаборатории Центра агрохимического обслуживания «Мордовский». Изучали каждую делянку (сектор) полигона с жесткой привязкой к конкретному месту взятия пробы. Основные

¹Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

результаты подвергали статистической обработке методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову¹ с использованием программ обработки данных. Построение контурных карт распределения основных элементов питания по делянкам опытного полигона проводили с помощью компьютерного пакета Surfer 7.0^{2,3}.

Результаты и их обсуждение. Отслеживание изменения агрохимических показателей чернозема выщелоченного под действием

различных технологий применения минеральных удобрений в полевом севообороте проводили по основным элементам, необходимым для роста и развития растений: рН_{кол}, органическому веществу, подвижному фосфору, обменному калию, нитратному и аммонийному азоту.

В таблице 1 представлена характеристика исходного уровня плодородия пахотного горизонта чернозема выщелоченного до применения удобрений по вариантам опыта.

Таблица 1 / Table 1

Характеристика исходного уровня плодородия почвы в зависимости от варианта применения минеральных удобрений (2005 г., перед посевом яровой пшеницы) / Characteristics of the initial level of soil fertility depending on the variant of application of mineral fertilizers (2005, before spring wheat sowing)

Вариант / Variant	рН _{кол} / рН _{KCl}	Содержание в почве / Content in soil			
		органическое вещество (С), % / organic substance (C), %	NH ₄ -NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль (без удобрений) / Control (without fertilizers)	4,56	6,48	12,58	102,6	124,0
Усредненные дозы / Average doses	4,64	6,68	13,08	119,3	127,0
Дифференцированные дозы / Differentiated doses	4,65	6,99	13,94	107,4	131,2
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,24	0,59	2,41	18,1	17,6

Как следует из данных таблицы 1, плодородие почвы всех делянок полигона (в среднем по 15 делянкам (секторам) каждого варианта) по существующим агрохимическим градициям характеризовалось кислой реакцией среды, достаточной обеспеченностью подвижными формами фосфора и калия. Содержание органического вещества находилось на уровне 6,48-6,99%. Вместе с тем, как видно из представленных контурных карт на рисунках 1, а, б, в, колебания агрохимических показателей на делянках опыта в слое почвы 0-25 см были существенными. Так, по органическому веществу крайние значения составили 4,4 и 8,7%, по сумме нитратного и аммонийного азота – 9,81 и 17,79 мг/кг почвы, по рН_{кол} – 4,4 и 4,8, по содержанию фосфора – 74 и 169 мг/кг и калия – 93 и 180 мг/кг почвы.

В таблице 2 представлены коэффициенты вариации исходных агрохимических данных. Они свидетельствуют о значительной вариабельности органического вещества во всех делянках изучаемых вариантов опыта.

Наименьшей изменчивостью отличались делянки по минеральному азоту. Среднее значение коэффициента вариации (V = 14,7-18,4%) наблюдалось по калию. По фосфору в делянках контрольного варианта и усредненных доз удобрений изменчивость была средней (V = 11,7-19,6%), а в делянках, где закладывался вариант с дифференцированным использованием туков коэффициент вариации был значительным (V = 25%).

По агрохимическим показателям почва отдельных секторов полигона относилась к разным классификационным категориям. Присутствовали места со слабой, средней и хорошей обеспеченностью подвижными элементами питания. Это позволило с достаточным основанием провести сравнение двух технологий применения удобрений и выявить их влияние на изменение плодородия чернозема выщелоченного.

На рисунках 1, а, б, в представлены контурные карты распределения основных элементов питания по секторам опытного полигона.

²Golden Software Ins. Surfer 7.0 Help [Электронный ресурс]. URL: <http://www.goldensoftware.com/> (дата обращения: 28.03. 2019)

³Мальцев К.А. Основы работы в программе Surfer 7.0: Учебно-методическое пособие. Казань: Изд-во КГУ, 2008. 24 с.

Таблица 2 / Table 2

Исходные коэффициенты вариации основных агрохимических показателей по вариантам применения удобрений (2005 г.) /
Initial variation coefficients of the main agrochemical parameters for the variants of fertilizer application (2005)

Вариант / Variant	Коэффициент вариации / Variation coefficient			
	органическое вещество / organic substance	NH_4-NO_3	P_2O_5	K_2O
Контроль (без удобрений) / Control (without fertilizers)	24,4	9,7	11,7	15,5
Усредненные дозы / Average doses	21,0	13,4	19,6	18,4
Дифференцированные дозы / Differentiated doses	21,2	9,4	25,0	14,7

Анализ карт распределения питательных элементов позволил установить интенсивность изменения основных показателей плодородия на участках полигона. О ней принято судить по расстоянию между изолиниями. На рисунках 1, а, б, в наибольший горизонтальный градиент наблюдался в верхней правой части, а в нижней он был минимальным. Градиент численно равен изменению показателя по нормали к изолинейной поверхности и направлен по этой нормали в сторону уменьшения показателя, в нашем случае от верхней правой части карты к нижней левой. Размещение зон максимальной скорости изменения показателя обусловлено закономерностями формирования пестроты плодородия. В нашем опыте они связаны, в первую очередь, с антропогенными факторами (например, в прошлом неравномерное распределение удобрений, несоблюдение амплитуды обработки почвы и т.д.) и в меньшей степени с природными (рельеф, тип почвы и т.д.). Следует отметить, что в зарубежных странах, где точное земледелие интенсивно внедряется в производство [18, 19, 20, 21, 22],

на основе подобных карт формируются задания для машин по внесению удобрений. В результате на каждый сектор (контур) вносится именно то количество удобрений, которое необходимо этому участку с учетом внутривариационности плодородия почвы.

Составление электронных карт позволяет сделать вывод о наличии и обеспеченности растений питательными веществами, своевременно устранить дефицит и дифференцированно восполнить содержание элементов питания в почве. Обязательным является то, что для отслеживания динамики изменения агрохимических показателей почвенную карту поля с учетом уровня плодородия по элементарным участкам составляют на основе точного отбора проб в глобальной системе позиционирования.

Длительное применение в севообороте минеральных удобрений по различным технологиям оказало неоднозначное влияние на изменение плодородия чернозема выщелоченного. Результаты агрохимического обследования почвы опытного полигона в конце ротации севооборота представлены в таблице 3.

Таблица 3 / Table 3

Агрохимические показатели почвы в конце ротации полевого севооборота в зависимости от варианта применения удобрений (2010 г.) /
Agrochemical parameters of soil at the end of field crop rotation depending on the variant of fertilizers application (2010)

Вариант / Variant	$pH_{сол}$ / $pH_{КСЛ}$	Содержание в почве / Content in soil			
		органическое вещество (С), % / organic substance (C), %	NH_4-NO_3	P_2O_5	K_2O
			мг/кг / mg/kg		
Контроль (без удобрений) / Control (without fertilizers)	4,7	6,34	9,9	100,8	116,2
Усредненные дозы / Average doses	4,6	6,62	12,5	125,2	152,8
Дифференцированные дозы / Differentiated doses	4,7	6,86	13,5	127,6	154,2
HCP_{05} / LSD_{05}	0,18	0,31	2,51	3,0	29,8

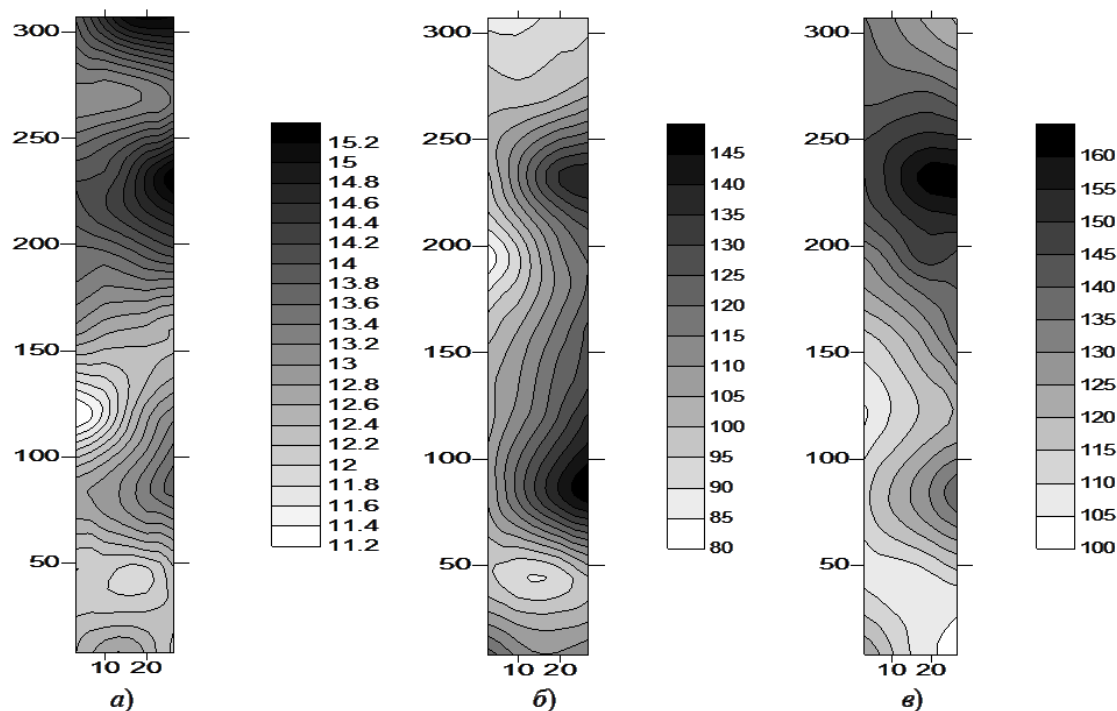


Рис. 1. Распределение основных элементов питания на опытном полигоне, мг/кг почвы (2005 г.):
a) нитратного + аммонийного азота ($\text{NH}_4\text{-NO}_3$); *б)* подвижного фосфора (P_2O_5); *в)* обменного калия (K_2O) /
Fig. 1. Distribution of basic nutrients at the experimental plot, mg/kg of soil (2005 year): *a)* of nitrate +
ammonium nitrogen ($\text{NH}_4\text{-NO}_3$), *б)* of mobile phosphorus (P_2O_5); *в)* exchangeable potassium (K_2O)

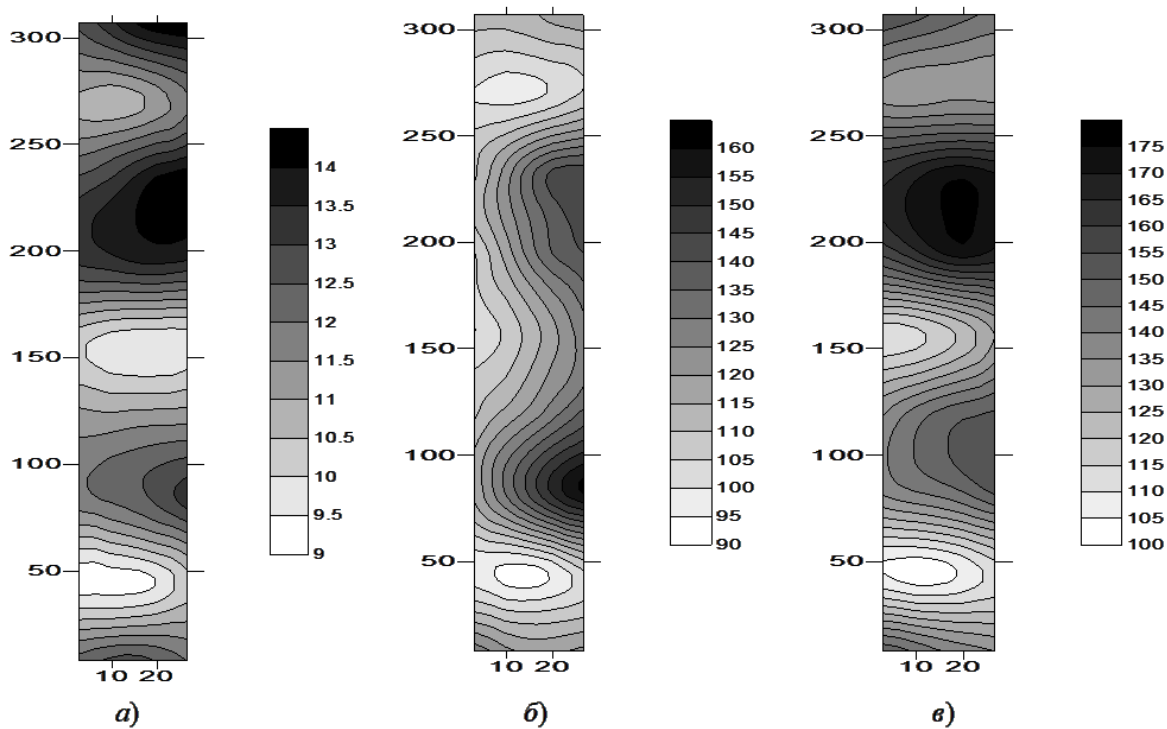


Рис. 2. Распределение основных элементов питания на опытном полигоне, мг/кг почвы (2010 г.):
a) нитратного + аммонийного азота ($\text{NH}_4\text{-NO}_3$); *б)* подвижного фосфора (P_2O_5); *в)* обменного калия (K_2O) /
Fig. 2. Distribution of basic nutrients at the experimental plot, mg/kg of soil (2010 year): *a)* of nitrate +
ammonium nitrogen ($\text{NH}_4\text{-NO}_3$), *б)* of mobile phosphorus (P_2O_5); *в)* exchangeable potassium (K_2O)

Анализ данных таблицы 3 свидетельствует, что применение минеральных удобрений в севообороте по различным технологиям не приводило к снижению содержания подвижных форм фосфора и калия. Происходило их накопление в пахотном слое при возможных колебаниях уровня в зависимости от метеорологических и агробиологических условий. В среднем по вариантам опыта содержание подвижного фосфора за ротацию полевого севооборота возрастало при дифференцированном внесении удобрений на 15,9%, калия – на 15,0%, а при традиционном – соответственно на 4,8 и 16,7%. На делянках, где удобрения не вносили, содержание подвижных элементов в большинстве случаев снизилось. Содержание в почве минерального азота очень динамично и зависит от влажности и активности почвенной микрофлоры, фазы развития растений, а также от сроков взятия образцов. Поэтому отследить его изменение достаточно сложно. В то же время разницы в накоплении минерального азота между технологиями применения минеральных удобрений не наблюдалось.

По органическому веществу во всех вариантах опыта за шесть лет произошло некоторое снижение показателей. Заметнее это было в контроле, где его значение уменьшилось на 2,7% (отн.). Следует отметить, что одним из полей экспериментального севооборота являлся

чистый пар, где за лето проводили 5-6 механических обработок. Это и способствовало интенсивному разложению органического вещества и накоплению в почве минерального азота.

Стоит также отметить, что в контрольном варианте значение $pH_{\text{сол}}$ выросло на 0,12 единицы и составило 4,7 (против 4,58 при исходном измерении). В вариантах с использованием удобрений значение кислотности почвы осталось практически без изменения.

При длительном дифференцированном применении минеральных удобрений происходило постепенное относительное нивелирование пестроты почвенного плодородия за счет остаточных количеств фосфора и калия на низкоплодородных участках (с повышенными дозами удобрений) и некоторого снижения содержания подвижных элементов на участках с высокой обеспеченностью (за счет превышения выноса над внесением). Это, в свою очередь, дало дополнительный эффект за счет выравнивания условий минерального питания, роста, развития и продуктивности растений, в то время как внесение удобрений под культуру при разном исходном уровне почвенного плодородия не может полностью обеспечить этих условий. Подтверждением этого являются расчеты коэффициентов вариации по основным агрохимическим показателям, представленных в таблице 4.

Таблица 4 / Table 4

Коэффициенты вариации основных агрохимических показателей по вариантам применения удобрений (2010 г.) /

Variation coefficients of the main agrochemical parameters for the variants of application of fertilizers (2010)

Вариант / Variant	Коэффициент вариации (V), % / Coefficient of variation (V), %			
	органическое вещество / organic substance	NH_4-NO_3	P_2O_5	K_2O
Контроль (без удобрений) / Control (without fertilizers)	24,4	15,7	14,4	14,2
Усредненные дозы / Average doses	20,6	13,0	16,1	13,4
Дифференцированные дозы / Differentiated doses	21,1	10,9	18,1	11,2

Установлено, что наиболее стабильным показателем почвы за 6 лет исследований явилось содержание органического вещества, вариация которого осталась практически на исходном уровне. Сразу стоит отметить, что в контрольном варианте без внесения минеральных туков увеличилась вариабельность по минеральному азоту на 6,0%, подвижному фосфору – на 2,7%, а по калию осталась практически на прежнем уровне. Содержание обменно-

го калия на делянках этого варианта в исходном определении характеризовалось достаточно высоким уровнем, поэтому изменение коэффициента вариации здесь было незначительным. Наиболее существенное снижение коэффициента вариации по фосфору и калию произошло в варианте с дифференцированным внесением минеральных удобрений, что подтверждает вышеобозначенное заключение. Наглядно это также можно увидеть на пред-

ставленных контурных картах (рис. 2, а, б, в). Так, при сравнении карт разных лет между собой видно, что распределение элементов питания, особенно подвижного фосфора и обменного калия, за шесть лет исследований несколько изменилось, а именно четко наметилась тенденция к снижению (некоторое увеличение расстояния между изолиниями в местах наибольшей концентрации элементов при исходном их определении) вариабельности данных показателей в секторах с дифференцированным внесением удобрений. В то же время характер распределения питательных элементов в контрольных делянках и делянках с внесением усредненных доз на опытном полигоне спустя шесть лет остался прежним.

Заключение. Дифференцированное применение минеральных удобрений не оказало отрицательного влияния на агрохимический состав чернозема выщелоченного. В этом варианте происходило постепенное относительное нивелирование пестроты почвенного плодородия за счет остаточных количеств фосфора и калия на низкоплодородных участках и некоторого снижения содержания подвижных элементов на участках с высокой обеспеченностью. Независимо от технологии внесения удобрений при длительном их применении содержание подвижных элементов питания в почве возрастало. При дифференцированном использовании уровень подвижного фосфора за ротацию увеличился на 15,9%, калия – на 15,0%, а при традиционном – соответственно на 4,8 и 16,7% (контроль – 100,8 и 116,2 мг/кг почвы соответственно). Разницы в накоплении минерального азота между технологиями применения минеральных удобрений не наблюдалось. Содержание органического вещества было более стабильным, хотя во всех вариантах показатель снижался. В контроле он уменьшился на 2,7% (отн.). Здесь также выросло значение $pH_{\text{сол}}$ на 0,12 единицы. В вариантах с внесением удобрений значение кислотности почвы осталось практически без изменения (4,6-4,7).

Список литературы

1. Афанасьев Р.А. Агрохимическое обеспечение точного земледелия. Проблемы агрохимии и экологии. 2008;(3):46-53. Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=11749632>.
2. Bullock D.G., Hoefl R.G. Nutrient Management with Intensive Soil Sampling and Differential Fertilizer Spreading. Better Crops with Plant Food. Vol. LXXVIII. 1994;(4):10-12. URL: <http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/issue/BC-1954-3>.
3. Wollenhaupt N.C., Wolkowski R.P., Clayton M.K. Mapping Soil Test Phosphorus and Potassium for Variable-Rate Fertilizer Application. Journal of Production Agriculture. 1994;(7):441-448. URL: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jpa/abstracts/7/4/441?search-result=1>.
4. Fiez T.E., Miller B.C., Pan W.L. Assessment of Spatially Variable Nitrogen Fertilizer Management in Winter Wheat. Journal of Production Agriculture. 1994;(7):86-93. URL: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jpa/abstracts/7/1/86>.
5. Якушев В.П., Буре В.М., Якушев В.В. Выделение однородных зон на поле по урожайности отдельных участков. Доклады РАСХН. 2007;(3):33-36.
6. Личман Г.И., Марченко Н.М., Дринча В.М. Основные принципы и перспективы применения точного земледелия. М.: Россельхозакадемия, 2004. 81 с.
7. Березовский Е.В., Железова С.В., Самсонова В.П. Опыт составления карт для точного земледелия. Аграрное образование. 2010;(2):43-46. Режим доступа: http://agroobzor.ru/ao_archiv/ao-2-2010.pdf.
8. Самсонова В.П., Железова С.В., Березовский Е.В. Картограммы почвенных свойств для целей точного земледелия. Проблемы агрохимии и экологии. 2010;(4):18-22. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15560175>.
9. Абрамов Н.В., Шерстобитов С.В., Абрамов О.Н. Дифференцированное внесение минеральных удобрений с использованием космических систем. Агропродовольственная политика России. 2014;(2 (26)):2-8. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22453624>.
10. Медведев И.Ф., Губарев Д.И., Деревягин С.С., Сиренко Ф.В. Эффективность применения минеральных удобрений и средств химизации под зерновые культуры в условиях точного земледелия. Проблемы агрохимии и экологии. 2012;(1):28-31. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17856262>.
11. Любич В.А., Попов С.В., Бакиров Ф.Г., Долматов А.П., Курамшин М.Р. Дифференцированное внесение удобрений в системе точного земледелия. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012;(1):73-75. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17738030>.
12. Ерёмин Д.И., Кибук Ю.П. Дифференцированное внесение удобрений как инновационный подход в системе точного земледелия. Вестник КрасГАУ. 2017;(8):17-26. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29875923>.
13. Ваулин А.В. Оптимизация азотного питания ячменя при внедрении точного земледелия. Агрохимический вестник. 2013;(1):15-16. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20328263>.

14. Гурьянов А.М., Артемьев А.А. Продуктивность культур полевого севооборота в зависимости от варианта применения минеральных удобрений. Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции: материалы 9-й Международ. науч.-практ. конф. Саранск, 2013. С. 43-45.
15. Афанасьев Р.А. Закономерности внутривидовой вариативности показателей плодородия почвы. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012;(1):24-27. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17248065>.
16. Беленков А.И., Тюмаков А.Ю., Умар Сабо, Мокичева Д.С. Агробиологическая и биологическая характеристика плодородия почвы опытного участка центра точного земледелия. Известия ТСХА. 2013;(3):53-62. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20179856>.
17. Сычев В.Г., Афанасьев Р.А., Личман Г.И., Марченко Н.М. Методика отбора почвенных проб по элементарным участкам поля в целях дифференцированного применения удобрений. М., 2007. 36 с. Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/1360488/>.
18. Lund E.D., Christy C.D., Drummond P.E. Using yield and soil electrical conductivity (EC) map to derive crop production performance information. Presented at the fifth International Conference on Precision 168 Agriculture. Veris technologies. 2000. pp. 1-8. URL: http://www.veristech.com/images/ecfaq/EC_yld_analy-sis%20paper_5thconf.pdf
19. Ruß G., Brenning, A. Data Mining in Precision Agriculture: Management of Spatial Information. In: Hüllermeier E., Kruse R., Hoffmann F. (eds.) IPMU 2010. LNCS, vol. 6178. P. 350-359. Springer, Heidelberg. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-14049-5_36.
20. Schellberg J, Hill MJ, Gerhards R, Rothmund M, Braun M. Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. *Europ. J. Agronomy* 29 (2008). pp. 59-71. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.05.005>.
21. Zhang N., Taylor R. Applications of a field-level geographic information system (GIS) in precision agriculture. *Applied Engineering in Agriculture*. 2001;17(6):885-892.
22. Goodwin R.J., Miller P.C. H. A review of the technologies for mapping within-field variability. *Biosystems Engineering*. 2003;84(4):393-407. URL: [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00283-0](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00283-0).

Поступила: 01.03.2019 Принята к публикации: 08.04.2019 Опубликована онлайн: 30.04.2019

Сведения об авторах:

Артемьев Андрей Александрович, доктор с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, зам. директора по научной работе, Мордовский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», ул. Мичурина, д. 5, р.п. Ялга, г. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, **ORCID**: <http://orcid.org/0000-0002-8759-8070>, e-mail: artemjevaa@yandex.ru,

Гурьянов Александр Михайлович, доктор с.-х. наук, профессор, директор, Мордовский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», ул. Мичурина, д. 5, р.п. Ялга, г. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430904, **ORCID**: <http://orcid.org/0000-0003-2642-1498>, e-mail: niish-mordovia@mail.ru

References

1. Afanas'ev R.A. *Agrokhimicheskie obespechenie tochnogo zemledeliya*. [Agrochemical provision of precision agriculture]. *Problemy agrokhimii i ekologii*. 2008;(3):46-53. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11749632>.
2. Bullock D.G., Hoefl R.G. Nutrient Management with Intensive Soil Sampling and Differential Fertilizer Spreading. *Better Crops with Plant Food*. Vol. LXXVIII. 1994;(4):10-12. URL: <http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/issue/BC-1954-3>.
3. Wollenhaupt N.C., Wolkowski R.P., Clayton M.K. Mapping Soil Test Phosphorus and Potassium for Variable-Rate Fertilizer Application. *Journal of Production Agriculture*. 1994;(7):441-448. URL: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jpa/abstracts/7/4/441?search-result=1>.
4. Fiez T.E., Miller B.C., Pan W.L. Assessment of Spatially Variable Nitrogen Fertilizer Management in Winter Wheat. *Journal of Production Agriculture*. 1994;(7):86-93. URL: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jpa/abstracts/7/1/86>.
5. Yakushev V.P., Bure V.M., Yakushev V.V. *Vydelenie odnorodnykh zon na pole po urozhaynosti ot del'nykh uchastkov*. [Allocation of homogeneous zones in the field according to the yield of individual plots]. *Doklady RASKhN*. 2007;(3):33-36. (In Russ.).
6. Lichman G.I., Marchenko N.M., Drincha V.M. *Osnovnye printsipy i perspektivy primeneniya tochnogo zemledeliya*. [Basic principles and perspectives of application of precision farming]. Moscow: *Rossel'khozakademiya*, 2004. 81 p. (In Russ.).
7. Berezovskiy E.V., Zhelezova S.V., Samsonova V.P. *Opyt sostavleniya kart dlya tochnogo zemledeliya*. [The experience of mapping for precision agriculture]. *Agrarnoe obrazovanie*. 2010;(2):43-46. (In Russ.). URL: http://agroobzor.ru/ao_archiv/ao-2-2010.pdf.

8. Samsonova V.P., Zhelezova S.V., Berezovskiy E.V. *Kartogrammy pochvennykh svoystv dlya tseley tochnogo zemledeliya*. [Cartograms of soil properties for the purposes of precision agriculture]. *Problemy agrokhimii i ekologii*. 2010;(4):18-22. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15560175>.
9. Abramov N.V., Sherstobitov S.V., Abramov O.N. *Differentsirovannoe vnesenie mineral'nykh udobreniy s ispol'zovaniem kosmicheskikh sistem*. [Differentiated application of mineral fertilizers using space systems]. *Agroprodovol'stvennaya politika Rossii*. 2014;(2 (26)):2-8. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22453624>.
10. Medvedev I.F., Gubarev D.I., Derevyagin S.S., Sirenko F.V. *Effektivnost' primeneniya mineral'nykh udobreniy i sredstv khimizatsii pod zernovye kul'tury v usloviyakh tochnogo zemledeliya*. [Efficiency of application of mineral fertilizers and means of chemization under grain crops in the conditions of precision agriculture]. *Problemy agrokhimii i ekologii*. 2012;(1):28-31. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17856262>.
11. Lyubchich V.A., Popov S.V., Bakirov F.G., Dolmatov A.P., Kuramshin M.R. *Differentsirovannoe vnesenie udobreniy v sisteme tochnogo zemledeliya*. [Differentiated application of fertilizers in the system of precision agriculture]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2012;(1):73-75. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17738030>.
12. Eremin D.I., Kibuk. Yu.P. *Differentsirovannoe vnesenie udobreniy kak innovatsionnyy podkhod v sisteme tochnogo zemledeliya*. [Differentiated application of fertilizers as an innovative approach in the system of exact agriculture]. *Vestnik KrasGAU*. 2017;(8):17-26. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29875923>.
13. Vaulin A.V. *Optimizatsiya azotnogo pitaniya yachmenya pri vnedrenii tochnogo zemledeliya*. [Optimization of nitrogen nutrition of barley in the introduction of precision farming]. *Agrokhimicheskii vestnik*. 2013;(1):15-16. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20328263>.
14. Gur'yanov A.M., Artem'ev A.A. *Produktivnost' kul'tur polevogo sevooborota v zavisimosti ot varianta primeneniya mineral'nykh udobreniy*. [The Productivity of crops in field crop rotation depending on the application of mineral fertilizers]. *Resursosberegayushchie ekologicheski bezopasnye tekhnologii proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaystvennoy produktsii: materialy 9-y Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf.* [Resource-saving ecologically safe technologies of production and processing of agricultural products: Proceedings of the 9th International scientific and practical Conference.]. Saransk, 2013. pp. 43-45. (In Russ.).
15. Afanas'ev R.A. *Zakonomernosti vnutripol'noy variabel'nosti pokazateley plodorodiya pochvy*. [Regularities of intra-field variability of soil fertility indicators]. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2012;(1):24-27. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17248065>.
16. Belenkov A.I., Tyumakov A.Yu., Umar Sabo, Mokicheva D.S. *Agrokhimicheskaya i biologicheskaya kharakteristika plodorodiya pochvy opytного uchastka tsentra tochnogo zemledeliya*. [Agrochemical and biological characteristics of soil fertility on the experimental plot of the centre of precision agriculture]. *Izvestiya TSKhA*. 2013;(3):53-62. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20179856>.
17. Sychev V.G., Afanas'ev R.A., Lichman G.I., Marchenko N.M. *Metodika otbora pochvennykh prob po elementarnym uchastkam polya v tselyakh differentsirovannogo primeneniya udobreniy*. [Methods of soil sampling in elementary areas of the field for the purpose of differentiated application of fertilizers]. Moscow, 2007. 36 p. (In Russ.). URL: <https://www.twirpx.com/file/1360488/>.
18. Lund E.D., Christy C.D., Drummond P.E. Using yield and soil electrical conductivity (EC) map to derive crop production performance information. Presented at the fifth International Conference on Precision 168 Agriculture. Veris technologies. 2000. pp. 1-8. URL: http://www.veristech.com/images/ecfaq/EC_yld_analy-sis%20paper_5thconf.pdf
19. Ruß G., Brenning, A. Data Mining in Precision Agriculture: Management of Spatial Information. In: Hüllermeier E., Kruse R., Hoffmann F. (eds.) IPMU 2010. LNCS, vol. 6178. P. 350-359. Springer, Heidelberg. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-14049-5_36.
20. Schellberg J, Hill MJ, Gerhards R, Rothmund M, Braun M. Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. *Europ. J. Agronomy* 29 (2008). pp. 59-71. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.05.005>.
21. Zhang N., Taylor R. Applications of a field-level geographic information system (GIS) in precision agriculture. *Applied Engineering in Agriculture*. 2001;17(6):885-892.
22. Goodwin R.J., Miller P.C. H. A review of the technologies for mapping within-field variability. *Biosystems Engineering*. 2003;84(4):393-407. URL: [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00283-0](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00283-0).

Received: 01.03.2019

Accepted for publication: 08.04.2019

Published online: 30.04.2019

Information about the authors:

Andrey A. Artemjev, DSc in Agriculture, associate professor, leading researcher, principal director of scientific research, Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agrarian Research Center of the North-East named N.V.Rudnitsky, Michurin street, 5, settlement Yalga, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8759-8070>**, e-mail: artemjevaa@yandex.ru,

Aleksandr M. Guryanov, DSc in Agriculture, professor, director, Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agrarian Research Center of the North-East named N.V.Rudnitsky, Michurina street, 5, r. p. Yalga, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2642-1498>**