УДК 631.41 DOI:10.25695/AGRPH.2021.03.03

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ НА ПРИМЕРЕ ОБЫКНОВЕННЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

В. В. Гукалов[1], С. И. Баршадская[1], В. А. Седых[2], В. И. Савич[3]

[1] СКСХОС – филиал ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко»
353740, Краснодарский край, Ленинградский р-н, ст-ца Ленинградская, ул. Терновая, д. 23, Россия;
[2] Научно-исследовательский институт ФСИН РФ
125130, г. Москва, ул. Нарвская, д. 15А, стр. 1, Россия;
[3] Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева
127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49, Россия
E-mail: Soillab@rgau-msha.ru

Поступила в редакцию 29 апреля 2021 г., принята к печати 30 августа 2021 г.

В результате 30-летних многофакторных полевых опытов, проведенных на обыкновенных черноземах Краснодарского края, установлено, что внесение в почву $N_{45}P_{53}K_{35}$ оказало достоверное влияние на содержание в ней подвижных форм NPK и урожайность с/х культур. В то же время увеличение доз до $N_{90}P_{106}K_{70}$ не привело к существенному повышению содержания $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_4$, калия и урожайности, однако способствовало увеличению содержания подвижных фосфатов. Проявился закон убывающей отдачи. Отвальная обработка почв по сравнению с безотвальной способствовала повышению коэффициента структурности от 1,6 до 1,95, а при добавлении 40 т га$^{-1}$ навоза за ротацию севооборота – до 2,45. При отвальной обработке также произошло значительное увеличение содержания гумуса, обменного калия и урожайности озимой пшеницы (с 44 до 58 ц га$^{-1}$).

Ключевые слова: плодородие почв, система удобрений, обработки, экономическая эффективность.

AGROECOLOGICAL ASSESSMENT OF SOILS ON THE EXAMPLE OF ORDINARY CHERNOZEMS OF THE KRASNODAR KRAI

V. V. Gukalov[1], S. I. Barshadskaya[1], V. A. Sedykh[2], V. I. Savich[3]

[1] North Kuban Agricultural Experiment Station – branch of Federal State Budgetary Institution «National Grain Center n.a. P. P. Lukyanenko»
23, Ternovaya St., Leningradskaya stanitsa, Leningradskiy district, Krasnodar Krai, 353740;
[2] Research Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia
15a, building 1, Narvskaya St., Moscow, 125130;
[3]Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy n.a. K. A. Timiryazev
49, Timiryazevskaya St., Moscow, 127550
E-mail: Soillab@rgau-msha.ru

As a result of 30 years of multifactorial field experiments carried out on ordinary chernozems of the Krasnodar Krai, it was found that the introduction of $N_{45}P_{53}K_{35}$ into the soil had a significant effect on the content of mobile forms of NPK and the yield of agricultural crops. At the same time, an increase in the rates to $N_{90}P_{106}K_{70}$ did not lead to a significant increase in the content of $N\text{-}NO_3^{2-}$, $N\text{-}NH_4^{+}$, potassium and crop yield, but contributed to an increase in the content of mobile phosphates. The law of diminishing returns was manifested. Moldboard plowing in comparison to the other treatments contributed to an increase in the soil structure coefficient from 1.6 to 1.95, and with the application of 40 t ha^{-1} of farmyard manure per crop rotation – to 2.45. At the same time, during the moldboard plowing, there was also a significant increase in the content of humus, exchangeable potassium and the yield of winter wheat (from 4.4 to 5.8 t ha^{-1}).

Keywords: soil fertility, fertilizer system, tillage, economic efficiency.

ВВЕДЕНИЕ

Почвы в значительной степени определяют урожай с/х культур и его качество, а также эффективность ведения сельскохозяйственного производства (Аристархов, 2000). Однако даже типы почв и их фации $N_{45}P_{53}K_{35}$ в недостаточной степени учитываются при корректировке систем обработки, систем удобрений и планировании систем севооборотов (Сычев и др., 2020). Недостаточный учет разнообразия свойств почв, протекающих в них процессов и режимов приводит к снижению эффективности ведения сельскохозяйственного производства.

Целью исследования являлась оценка изменения свойств обыкновенных черноземов в рамках длительных полевых опытов при применении разных способов обработки почвы и различных систем удобрений. В задачи исследования входило отслеживание изменений содержания подвижных форм NPK в почвах при применении возрастающих доз удобрений и в зависимости от системы обработки почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Почва опытного участка – мощный малогумусовый обыкновенный чернозем на лессовидном суглинке. Мощность гумусового слоя составляла 110–116 см. Слой 0–30 см характеризовался следующими показателями: содержание гумуса – 3,9 %; азота – 0,2%; минерального азота – 10 мг кг$^{-1}$; валового фосфора – 0,16%; подвижного фосфора (по Мачигину) – 12,9 мг кг$^{-1}$ почвы; обменного калия – 386 мг кг$^{-1}$; валового калия – 1,7 %. Посевная площадь делянки – 190 м^2 (Гукалов, Савич, 2019).

Исследования проведены по результатам 30-летнего многофакторного стационарного опыта по изучению влияния системы обработки и удобрений в двух 10-польных севооборотах на физические и агрохимические свойства почв и урожайность озимой пшеницы, подсолнечника, кукурузы, эспарцета, сахарной свеклы и ячменя. Данные получены совместно с Ф.И. Дерекой и Е.П. Божко. Исследования выполнены в соответствии с ГОСТ (Кирюшин, Иванов, 2005; Аристархов, 2000; Савич и др., 2020; Сычев, 2020; Шильников, 2012).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

I. Свойства, процессы, режимы изучаемых почв и их агроэкологическая оценка

Уровень плодородия почв определяется оптимальным сочетанием физико-химических, водно-физических, агрохимических свойств почв и их микробиологической активности (Кирюшин, Иванов, 2005). При этом важны не только рассматриваемые свойства почв, но и их взаимосвязи.

Дополнительными параметрами, определяющими степень оптимальности агрохимических свойств почв, являются депонирующая способность почв, кинетика процессов, буферность и буферная емкость почв в разных интервалах изучаемых показателей. В конечном итоге плодородие можно выразить как

$$У = \Sigma K_1 X_i^n t,$$

где K_1 – степень влияния фактора на плодородие почв, урожайность с/х культур; X_i – величина параметра; t – продолжительность влияния фактора; n – показатель, отражающий экспоненциальный характер зависимости. В ряде случаев более перспективно учитывать X_i/X_{opt} для данных условий. При влиянии определенных свойств почв на их плодородие и урожайность с/х культур проявляются эффекты синергизма и антагонизма (Гукалов, Савич, 2019; Савич, Булгаков, Раскатов, 2010; Савич, Седых и др., 2020).

Плодородие почв и в более общем виде их агроэкологическое состояние определяются трансформацией, миграцией и аккумуляцией вещества, энергии и информации, а также сочетанием свойств почв, протекающих в них процессов и режимов.

II. Повышение плодородия изучаемых почв за счет оптимизации системы севооборотов и чередования культур

Отдельные сельскохозяйственные культуры предъявляют неодинаковые требования к плодородию почв, потребляют биофильные элементы из разных горизонтов почвенного профиля и оставляют после выращивания пожнивные остатки различного химического и биохимического состава (Аристархов, 2000; Кидин, Бельдяева, 2015; Сычев и др., 2020; Шильников и др., 2012).

В рамках проведенных исследований в двух 10-польных севооборотах выращивались следующие культуры: озимая пшеница, подсолнечник, кукуруза, сахарная свекла, яровой ячмень под покров эспарцета, горох.

Содержание органического вещества в зависимости от пожнивных остатков выращиваемых в севообороте растений составляло (т га$^{-1}$): под эспарцетом – 7,7–8,5; под кукурузой – 5,7–7,5; под подсолнечником – 5,4–6,5; под озимой пшеницей – 3,9–7,5; под яровым ячменем – 3,1–5,2; под горохом – 2,5–3,4; под сахарной свеклой – 2,1–3,1 т га$^{-1}$. Таким образом, наибольшая масса пожнивных остатков была характерна для эспарцета, наименьшая – для сахарной свеклы.

За счет пожнивных остатков в почву возвращалось 19–92 кг га$^{-1}$ азота, 5,8–32 кг га$^{-1}$ фосфора и 41–124 кг га$^{-1}$ калия. Наибольшее количество азота и фосфора возвращалось с пожнивными остатками эспарцета, наименьшее – с пожнивными остатками подсолнечника; наибольшее количество калия – с пожнивными остатками кукурузы, наименьшее – с пожнивными остатками ярового ячменя.

Содержание гумуса в пахотном слое почв составляло 3,7–4,1% и существенно не изменялось как в зависимости от выращиваемых в севообороте растений, так и при разных дозах внесения удобрений.

Валовое содержание NPK существенно не изменялось как в зависимости от культур, так и при разных системах удобрений. В то же время содержание в почвах подвижных форм NPK различалось в зависимости как от выращиваемых культур, так и от доз удобрений, о чем свидетельствуют данные, представленные в табл. 1.

Как видно из представленных данных, содержание подвижных форм NPK под подсолнечником при всех дозах удобрений было ниже, чем под пшеницей.

Таблица 1. **Изменение содержания подвижных форм элементов питания в черноземе под разными культурами и в зависимости от доз внесенных удобрений (за 30 лет), мг кг$^{-1}$**

Вариант	Культура	
	озимая пшеница	подсолнечник
$N\text{-}NO_3$		
контроль	16,2	10,9
$N_{89}P_{106}K_{71}$	19,1	13,9
$P_{53}K_{36}$	16,5	11,8
NPK + 12 т га$^{-1}$ навоза	18,2	12,5
P_2O_5		
контроль	13,9	12,8
$N_{89}P_{106}K_{71}$	41,2	31,5
NPK + 12 т га$^{-1}$ навоза	40,0	26,3
K_2O		
контроль	350	346
NPK + 12 т га$^{-1}$ навоза	405	380

III. Повышение плодородия изучаемых почв за счет оптимизации систем обработки

Биопродуктивность угодий в значительной степени определяется не только физико-химическими и агрохимическими свойствами почв, но и их водно-физическими свойствами, а также микробиологической активностью. Согласно литературным данным, оптимальная плотность пахотного слоя изучаемых почв составляет 1,1–1,2 г см$^{-3}$, общая порозность – 50–55%, содержание водопрочных агрегатов > 0,25 мм – 44–55% (Кирюшин, Иванов, 2005).

Значительное снижение плодородия почв отмечается при их уплотнении. Так, согласно полученным данным, при ежегодном чередовании отвальных и безотвальных обработок, ежегодной отвальной обработке и дополнительном внесении дважды за ротацию севооборота по 40 т га$^{-1}$ навоза коэффициент структурности обыкновенного тяжелосуглинистого чернозема составлял соответственно 1,6; 1,98 и 2,45. При чередовании отвальных и безотвальных обработок, дополнительном внесении дважды за ротацию севооборота и запашке соломы содержание гумуса в почве составляло соответственно 3,9 и 4,6%, $N\text{-}NO_3$ – 13,3 и 14,1 мг 100 г$^{-1}$, K_2O – 400 и 474 мг кг$^{-1}$, коэффициент структурности был равен соответственно 1,6 и 3,1. Разуплотнение почв привело к повышению урожайности озимой пшеницы с 44 до 58 ц га$^{-1}$.

Аналогичные данные получены ранее для дерново-подзолистых почв (Гукалов, Савич, 2019). Внесение пожнивных остатков ячменя в слабоокультуренную дерново-подзолистую почву в количестве 3 г на 100 г почвы привело к повышению содержания водопрочных агрегатов > 0,25 мм от 40,7 до 49,6%, в среднеокультуренную – от 52,1 до 85,9%. При этом содержание агрегатов более 3 мм в слабоокультуренной почве увеличилось от 0,11 до 9,39%.

Согласно полученным данным, разрыхление почвы, достигнутое за счет обработок и внесения органических удобрений, привело также к уменьшению содержания в почвенном воздухе CO_2, активации аэробной микрофлоры, повышению окислительно-восстановительного потенциала и снижению расхода энергии, затрачиваемой корнями растений на проникновение в почву (Савич и др., 2010; Савич др., 2020).

IV. Повышение плодородия изучаемых почв за счет оптимизации системы удобрений

Плодородие почв и урожайность с/х культур существенно повышаются при применении удобрений. Однако эффект от их использования в значительной степени зависит от применяемых доз, о чем свидетельствуют данные табл. 2.

Таблица 2. **Влияние доз удобрений на содержание подвижных форм NPK в черноземе, мг кг$^{-1}$**

Дозы удобрений на 1 га площади	$N\text{-}NO_3 + N\text{-}NH_4$	P_2O_5	K_2O	Урожайность озимой пшеницы, т га$^{-1}$
контроль	16,2	13,9	350	2,8
$N_{45}P_{54}K_{35}$	Δ2,2	Δ16,9	Δ16	Δ2,0
+ 12 т га$^{-1}$ навоза	Δ2,0	Δ26,1	Δ55	Δ2,2
$N_{90}P_{106}K_{70}$	Δ2,8	Δ27,3	Δ22	Δ2,4

Как видно из представленных данных, внесение удобрений способствовало значительному повышению урожайности озимой пшеницы и некоторому увеличению содержания в почвах NO_3+NH_4, K_2O и особенно P_2O_5. Однако увеличение применяемых доз в два раза не привело к существенному изменению как урожайности озимой пшеницы, так и содержания в почвах подвижных форм NPK, т. е. проявился закон убывающей отдачи. Внесение дополнительно к $N_{45}P_{53}K_{35}$ 12 т га$^{-1}$ навоза привело к изменению содержания подвижных форм NPK в почвах, сходному с тем, которое наблюдалось при увеличении доз NPK в два раза.

Полученные данные свидетельствуют о проявлении закона убывающей отдачи при применении на исследуемых почвах высоких доз удобрений. Данный закон в рамках проведенных опытов проявился в уменьшении прироста урожая на 1 ц удобрений, прироста подвижных форм NPK на 1 ц удобрений и приостановке повышения качества продукции на 1 ц удобрений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интерпретация данных многолетних полевых опытов по изучению влияния систем обработки и удобрений на свойства почв и урожайность с/х культур, проведенных на обыкновенных черноземах Краснодарского края, позволила выявить достоверное увеличение за 30 лет содержания в почвах обменного калия, $N\text{-}NO_3$ и особенно подвижного фосфора при внесении $N_{89}P_{106}K_{71}$, а также повышение урожайности выращиваемых культур. Однако увеличение доз удобрений от $N_{45}P_{53}K_{35}$ до $N_{90}P_{106}K_{70}$, привело к незначительному повышению содержания подвижных форм изучаемых элементов. Проявился закон убывающей отдачи, который выразился также в увеличении урожайности на 1 ц внесенных удобрений.

Оптимизация плодородия почв за счет применения отвальных обработок почвы и особенно внесения при этом 40 т га$^{-1}$ навоза за ротацию севооборотов способствовала существенному повышению коэффициента структурности почв (с 1,6 до 2,5), содержания гумуса (с 3,9 до 4,6 %) и урожайности озимой пшеницы (с 44 до 58 ц га$^{-1}$).

Список литературы

Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий / Под ред. В. И. Кирюшина, А. Л. Иванова. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. 784 с.

Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах. М.: ЦИНАО, 2000. 500 с.

Гукалов В.В., Савич В.И. Интегральная оценка кислотно-основного состояния почв таежно-лесной и лесостепной зон. М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2019. 408 с.

Кидин В.В., Бельдяева К.Ю. Доступность растениям ячменя и овса фосфора и калия из подпахотных слоев дерново-подзолистой почвы // Плодородие. 2015. № 5. С. 24–26.

Савич В.И., Булгаков Д.С., Раскатов В.А. Интегральная оценка плодородия почв. М.: РГАУ-МСХА, 2010. 347 с.

Савич В.И., Седых В.А., Балабко П.Н., Замана С.П., Гукалов В.В. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе. М.: РГАУ-МСХА, ООО «Плодородие», 2020. 350 с.

Сычев В.Г., Шафран С.А., Духанина Т.М. Научные основы и методика определения доз питательных веществ и прогнозирования экономической эффективности применения минеральных удобрений. М.: ВНИИА, 2020. 152 с.

Шильников И.А., Сычев В.Г., Шеуджен А.Х., Аканова Н.И., Бондарева Т.Н., Кизинек С.В. Потери элементов питания растений в биогеохимическом круговороте веществ и способы их минимизации. М.: МСХА РФ, ВНИИА, 2012. 351 с.

References

Agroecologicheskaya otsenka zemel', proyektirovaniye adaptivno-landshaftnykh system zemledeliya i agrotekhnologiy [Agroecological assessment of land, design of adaptive landscape systems of agriculture and agricultural technologies] / Pod red. V. I. Kiryushina, A. L. Ivanova. Moscow: FSRI «Rosinformagrotekh», 2005, 784 p.

Aristarkhov A.N. *Optimizatsiya pitaniya rasteniy i primeneniya udobreniy v agroecosistemakh* [Optimization of plant nutrition and application of fertilizers in agroecosystems]. Moscow: Publishing house of Central Institute of Agrochemical Services, 2000, 500 p.

Gukalov V.V., Savich V.I. *Integral'naya otsenka kislotno-osnovnogo sostoyaniya pochv tayezhno-lesnoy i lesostepnoy zon* [Integral assessment of the acid-base state of the soils of the taiga-forest and forest-steppe zones]. Moscow: Publishing house of RSAU-MTAA, All-Russian Research Institute of Automation, 2019, 408 p.

Kidin V.V., Bel'dyayeva K.Yu. Dostupnost' rasteniyam yachmenya i ovsa fosfora i kaliya iz podpakhotnykh sloyev dernovo-podzolistoy pochvy [Availability of phosphorus and potassium from the subsurface layers of sod-podzolic soil to barley and oat plants] // *Plodorodiye*, 2015, no. 5, pp. 24–26.

Savich V.I., Bulgakov D.S., Raskatov V.A. *Integral'naya otsenka plodorodiya pochv* [Integral assessment of soil fertility]. Moscow: Publishing house of RSAU-MTAA, 2010, 347 p.

Savich V.I., Sedykh V.A., Balabko P.N., Zamana S.P., Gukalov V.V. *Innovatsionnyye tekhnologii v agropromyshlennom komplekse* [Innovative technologies in the agro-industrial complex]. Moscow: Publishing house «Plodorodiye», 2020, 350 p.

Sychev V.G., Shafran S.A., Dukhanina T.M. Nauchnyye osnovy i metodika opredeleniya doz pitatel'nykh veshchestv i prognozirovaniya ekonomicheskoy effektivnosti primeneniya mineralnykh udobreniy [Scientific basis and methodology for determining nutrient doses and forecasting the economic efficiency of mineral fertilizers application]. Moscow: Publishing house of All-Russian Research Institute of Automation, 2020, 152 p.

Shil'nikov I.A., Sychev V.G., Sheudzhen A.H., Akanova N.I., Bondareva T.N., Kizinek S.V. *Poteri elementov pitaniya rasteniy v biogeokhimicheskom krugovorote veshchestv i sposoby ikh minimalizatsii* [Losses of plant nutrition elements in the biogeochemical cycle of substances and ways to minimize them]. Moscow: Publishing house of Ministry of Agriculture of the Russian Federation, All-Russian Research Institute of Automation, 2012, 351 p.