ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА

AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION

УДК 631.452:631.41(476)
https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-1-22-33

Поступила в редакцию 19.08.2022
Received 19.08.2022

И. М. Богдевич

Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук, Минск, Республика Беларусь

ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОПТИМИЗАЦИИ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОДОРОДИЯ ПАХОТНЫХ ПОЧВ БЕЛАРУСИ

Аннотация. Представлен критический обзор динамики агрохимических показателей плодородия почв за 50-летний период. Малоплодородные дерново-подзолистые и болотные почвы Беларуси характеризовались относительно низким содержанием питательных веществ, доступных растениям. В результате крупномасштабной гидромелиорации, известкования, повышенных доз минеральных и органических удобрений продуктивность пашни в зерновом эквиваленте повысилась за период 1965–2020 гг. с 1,5 до 4,6 т к. ед. с гектара. Заметно повысился и уровень плодородия почв. Оценка агрохимических показателей плодородия почв базируется на данных крупномасштабных обследований, проводимых агрохимической службой с периодичностью 4–5 лет. Доля сильно- и среднекислых почв, с pH < 5,0, проблемных для основных культур, снизилась с 66,8 % в 1970 г. до 4,5 % от общей площади пашни в 2004 г. Затем эта доля кислых почв снова начала повышаться – до 9,8 % в 2020 г. – вследствие недостаточного известкования, объемы которого будут увеличены в предстоящие годы. Средневзвешенное содержание гумуса было существенно повышено с 1,77 до 2,28 % за период 1970–2000 гг. вследствие почвозащитной структуры посевов и высоких доз навоза до 14–15 т/га. В пашню включили около 1 млн га осушенных почв с высоким содержанием гумуса. В последующие годы содержание гумуса находится в динамическом равновесии – 2,23–2,27 %, с тенденцией к снижению в отдельных районах. Средневзвешенные показатели содержания подвижных форм фосфора и калия повысились в 2,4–3,2 раза за исследуемый период и находятся в зоне оптимума для возделываемых культур. В настоящее время наиболее важным является применение дифференцированных доз удобрений с учетом потребностей возделываемых культур и агрохимических свойств почв каждого поля. Формирование и поддержание оптимальных показателей плодородия почв, особенно pH, подвижные P_2O_5, K_2O, строго контролируются в качестве защитной меры на землях, загрязненных радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr после аварии на ЧАЭС. Обсуждаются меры повышения эффективности капиталовложений при воспроизводстве плодородия и использовании пахотных почв.

Ключевые слова: плодородие почв, известкование, удобрения, гумус, кислотность, подвижные формы макро- и микроэлементов в почве

Для цитирования: Богдевич, И. М. Итоги и перспективы оптимизации агрохимических показателей плодородия пахотных почв Беларуси / И. М. Богдевич // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2023. – Т. 61, № 1. – С. 22–33. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-1-22-33

Iossif M. Bogdevitch

Research Institute for Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

RESULTS AND PROSPECTS OF OPTIMIZATION OF AGROCHEMICAL INDICIES OF ARABLE SOILS FERTILITY IN BELARUS

Abstract. A critical overview of dynamics of agrochemical indices of arable soils fertility over 50-year period is presented. The low-yield sod-podzol and swampy soils of Belarus were relatively poor in available plant nutrients. As a result of the large-scale water engineering, liming and the intensive use of fertilizers over the period of 1965–2020 the productivity of arable land increased from 1.5 to 4.6 tons per hectare in grain equivalent. The significant improvement of soil fertility status was also achieved. Data of soil fertility status are based on the large-scale soil test monitoring conducted by State Agrochemical Service every 4–5 years. The share of strongly and moderately acid soils with pH < 5.0, that are harmful for the main crops, decreased

© Богдевич И. М., 2023

from 66.8 % in 1970 to 4.5% of total area of arable land in 2004. However, the share of acid arable soils increased up to 9.8% in 2020, due to insufficient volume of liming that will be increased in the forthcoming years. The average organic matter (O.M.) content had been strongly increased from 1.77 to 2.28 % during the period of 1970–2000, due to high share of perennial grasses in cropping structure and manure application up to 14–15 t/ha per year. About 1 million ha of drained soils with the high O.M. content was also involved to arable land. The average O.M. content in the last two decades had been in mobile equilibrium of 2.23–2.27 % with a tendency to decline in some districts. The average contents of mobile Phosphorous and Potassium in arable soils increased up to 2.4–3.2 times during the experimental period and they are in the optimal range for cultivated crops. Currently balanced fertilization is the most important, with differentiation of fertilizer rates that would be most suitable to crop requirements and soil tests on each field. Formation and maintenance of optimal soil fertility indices, especially pH and mobile P_2O_5 and K_2O contents, are strictly controlled as protective measures on the land contaminated with radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr after Chernobyl accident. Measures to improve the efficiency of capital investment at fertility reproduction and use of arable soils are discussed currently.

For citation: Bogdevitch I. M. Results and prospects of optimization of agrochemical indicies of arable soils fertility in Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2023, vol. 61, no. 1, pp. 22–33 (in Russian). https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-1-22-33

Введение. Основой получения высокой и устойчивой продуктивности сельскохозяйственных культур является уровень плодородия почв и объемы применения минеральных и органических удобрений. Для оценки изменения плодородия почв сельскохозяйственных земель и разработки мероприятий по поддержанию и повышению их плодородия проводится агрохимическое обследование. Почвы отличаются большой пестротой природных и приобретенных свойств, усугубленной различными темпами окультуривания.

Первый тур агрохимического мониторинга почв завершен в 1964 г. в процессе крупномасштабного почвенно-агрохимического обследования земель, 14-й тур – в 2020 г. Исследования агрохимических свойств гумусовых горизонтов пахотных почв, улучшенных сенокосов и пастбищ проводятся с 1965 г. областными проектно-изыскательскими станциями по химизации сельского хозяйства с периодичностью сначала через 5 лет, затем через 4 года. После аварии на ЧАЭС дополнительно определяются мощность дозы гамма-излучения, активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах.

Институт почвоведения и агрохимии осуществляет методическое обеспечение работы агрохимической службы. Сотрудники института готовят и публикуют методики исследований, ежегодно осуществляют выборочный контроль и оценку качества полевых работ по отбору образцов почв, сличение результатов агрохимических анализов, выполненных в различных лабораториях, верификацию, обобщение и анализ полученных данных, публикацию материалов в разрезе областей и районов Беларуси [1]. В настоящее время готовится к печати очередное издание «Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь» по результатам исследований 2017–2020 гг.

Состояние агрохимических свойств почв объективно отражает уровень их плодородия и степень интенсификации сельскохозяйственного производства. Учет и анализ изменений агрохимических свойств почв на уровнях рабочий участок – поле севооборота – хозяйство – район – область – республика является обязательным атрибутом культурного земледелия, информационной основой обновления стоимостной кадастровой оценки плодородия почв [2]. Рациональное применение известковых мелиорантов, органических и минеральных удобрений в системе современных технологий позволяет вести расширенное воспроизводство плодородия почв.

Цель настоящей работы – критический анализ динамики агрохимических свойств почв, а также оценка роли органических и минеральных удобрений в воспроизводстве плодородия пахотных почв за полувековой период крупномасштабных исследований. Метод исследований – системный анализ динамики агрохимических свойств почв в сопоставлении с оптимальными параметрами, установленными при обобщении полевых опытов с участием автора [3, 4].

Оптимизация степени кислотности почв. Является важным условием повышения урожайности сельскохозяйственных культур и предпосылкой эффективного применения минеральных удобрений. В 1970 г. закончился первый цикл известкования кислых почв, когда на пашне преобладали (≥66 %) сильно- и среднекислые почвы с pH KCl < 5,0. После девяти циклов интенсивного известкования в 2004 г. средневзвешенный показатель pH на пахотных землях составил 5,98, а доля проблемных почв (pH < 5,0) снизилась до незначительного минимума – 4,5 % (табл. 1).

Таблица 1. **Динамика известкования, степени кислотности и содержания обменных форм кальция и магния в пахотных почвах Беларуси**

Table 1. **Dynamics of liming, soil acidity, exchangeable Ca and Mg content in arable soils in Belarus**

Периоды	$CaCO_3$ млн т в год	Средневзвешенный pH KCl	% площади pH < 5,0	Ca	Mg	$Ca^{2+} : Mg^{2+}$ эквиваленты
				мг/кг почвы		
1966–1970	2,7	4,95	66,8	–	–	–
1971–1975	5,8	5,19	49,4	–	–	–
1976–1980	5,6	5,44	30,8	–	56	–
1981–1984	5,1	5,61	19,8	–	66	–
1985–1988	5,4	5,81	11,8	771	95	4,9
1989–1992	4,8	5,88	8,1	788	115	4,1
1993–1996	2,5	5,99	5,8	762	112	4,1
1997–2000	2,1	5,98	5,8	734	112	3,9
2001–2004	1,9	5,98	4,5	743	118	3,8
2005–2008	2,2	5,92	4,8	744	127	3,5
2009–2012	1,8	5,89	7,1	844	156	3,2
2013–2016	1,3	5,84	9,1	839	151	3,3
2017–2020	1,1	5,80	9,8	822	146	3,4

Длительное системное известкование доломитовой мукой позволило насытить поглощающий комплекс почв обменными формами кальция и магния со средневзвешенным, близким к оптимальному эквивалентному соотношению $Ca^{2+} : Mg^{2+}$ в пределах 3,5–4,0. Оптимальный диапазон кислотности почв для наиболее ценных сельскохозяйственных культур поддерживается на 70–80 % площади пашни.

В настоящее время преобладает подкисление почв во многих районах Беларуси в связи со снижением требуемых объемов работ из-за недостаточного финансирования. Разработан и утвержден Комплекс мероприятий по повышению плодородия и защите от деградации почв Беларуси на 2021–2025 гг., где предусмотрены необходимые объемы известкования для оптимизации степени кислотности почв [5].

На 33 % площади пашни обозначилась проблема избыточного содержания обменного магния (Mg > 180 мг/кг почвы), при котором подкисление сопровождается дефицитом кальция, обусловленного неблагоприятным соотношением $Ca^{2+} : Mg^{2+}$, сопровождающимся снижением урожайности возделываемых культур [6–8]. В специально спланированных полевых опытах на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах установлено, что урожайность семян ярового рапса, зерна колосовых культур, кукурузы, гороха увеличивается на 12–29 % при повышении содержания обменного магния в почве от низкого до оптимального уровня. Оптимальный уровень, специфичный для каждой культуры, находится в диапазоне содержания Mg 140–180 мг/кг почвы, а оптимальное эквивалентное соотношение $Ca^{2+} : Mg^{2+}$ – в пределах 6–4. При дальнейшем повышении содержания магния в почве сверх оптимального уровня и сужении соотношения $Ca^{2+} : Mg^{2+} \leq 3,0$ наблюдалось снижение урожайности зерновых культур на 3–8 %, а снижение урожайности семян ярового рапса достигало 32 %.

На почвах с низким и средним содержанием обменного магния получены существенные прибавки урожайности семян рапса (2,0–3,2 ц/га), зерна колосовых культур и кукурузы (3,4–9,5 ц/га) от некорневых подкормок раствором сульфата магния. Рекомендуется проведение некорневой подкормки ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 4%-й раствор, Mg 1,5 кг/га) в фазы кущения колосовых, образования 6–8 листьев кукурузы и в фазу бутонизации рапса при недостаточном уровне обеспеченности почвы обменным магнием (Mg ≤ 140 мг/кг почвы). Оптимизация магниевого питания растений позволяет повысить масличность семян рапса, увеличить сбор сырого белка с гектара посева зерновых культур на 20–30 %.

Содержание гумуса. Проблему плодородия дерново-подзолистых почв справедливо связывают с содержанием и качеством гумуса, которые определяют важнейшие агрономические свойства и энергетический потенциал почвы [3, 9]. Заметные изменения баланса органических веществ

в почвах и накопления его наиболее ценной части – гумуса можно увидеть за длительный период времени. Динамика средневзвешенного содержания гумуса на пахотных почвах за анализируемый период носит сложный характер и зависит от ряда факторов (рис. 1).

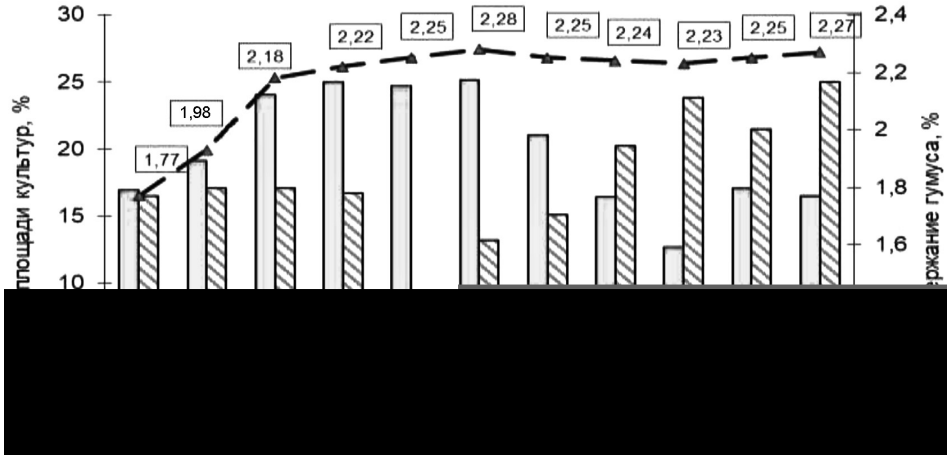

Рис. 1. Динамика структуры посевов и содержания гумуса в пахотных почвах Беларуси

Fig. 1. Dynamics of crop structure and organic matter content in arable soils in Belarus

Три десятилетия на пахотных почвах формировался положительный баланс гумуса. Его достигали за счет больших капиталовложений Советского Союза и включения в пашню мелиорированных земель, расширения доли многолетних трав до 25 % от общей посевной площади, высоких доз навоза на торфяной подстилке (до 14–15 т/га). В период 1970–2000 гг. в пашню включили около 1 млн га осушенных дерново-болотных и дерново-подзолистых заболоченных почв с высоким содержанием гумуса [10]. В результате средневзвешенное содержание гумуса в пахотных почвах было повышено с 1,77 % в 1970 г. до 2,28 % в 2000 г. В последующий период (2001–2020 гг.) средневзвешенное содержание гумуса находится в динамическом равновесии в диапазоне 2,23–2,27 % с тенденцией к снижению в отдельных районах.

Содержание гумуса мало различается по группам гранулометрического состава почв пашни, но существенно разнится по областям и районам, в зависимости от доли осушенных почв (рис. 2).

Наиболее низкое содержание гумуса характерно для старопахотных земель Гродненской и Могилевской областей, на преобладающих автоморфных дерново-подзолистых почвах. Темпы

Рис. 2. Средневзвешенное содержание гумуса в пахотных почвах по районам Беларуси в зависимости от доли осушенных почв от площади пашни, 2017–2020 гг.

Fig. 2. Weighted average organic matter contents in arable soils in districts of Belarus in relation to the share of drained soils in arable land area, 2017–2020

Таблица 2. **Динамика внесения фосфорных и калийных удобрений и обеспеченности пахотных почв Беларуси подвижными формами фосфора и калия**

Table 2. **Dynamics of phosphorus and potassium fertilizer application and availability of mobile forms of phosphorus and potassium in arable soils in Belarus**

Периоды	Среднегодовые дозы на га		Средневзвешенное содержание, мг/кг почвы		Доля площади слабообеспеченных почв, %	
	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O
1966–1970	30	42	77	67	80,9	70,7
1971–1975	38	72	104	101	62,2	48,4
1976–1980	45	101	124	137	48,1	23,8
1981–1984	45	95	141	156	38,9	18,3
1985–1988	58	100	173	172	27,7	13,7
1989–1992	65	107	188	182	20,8	11,5
1993–1996	17	46	185	176	21,1	12,5
1997–2000	24	82	182	177	22,0	12,6
2001–2004	18	77	178	190	22,8	8,9
2005–2008	36	104	179	191	23,1	8,1
2009–2012	51	137	191	206	21,1	6,2
2013–2016	30	106	188	218	22,9	5,6
2017–2020	19	73	177	207	24,8	6,6

подстилаемых суглинками почв – до уровня 250–300 мг/кг, а для суглинистых почв – до уровня 300–350 мг P_2O_5 на кг почвы [18]. Необходимо продолжить формирование положительного баланса фосфора на суглинистых и супесчаных, подстилаемых суглинками, почвах, а также торфяных почвах с большим потенциалом плодородия. В то же время следует предотвратить накопление непроизводительных запасов подвижных фосфатов на малоплодородных песчаных почвах (рис. 4).

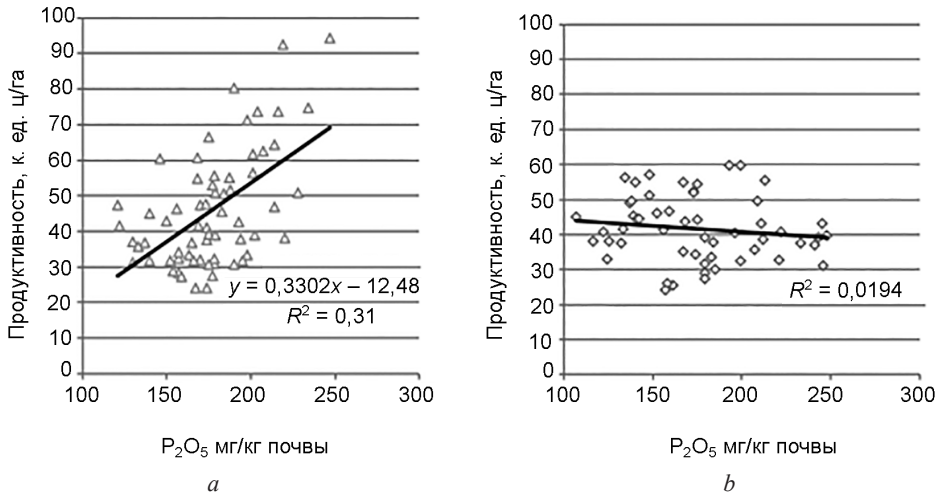

Рис. 4. Продуктивность пашни в зависимости от содержания подвижных фосфатов в почвах по районам Беларуси, 2017–2020 гг.: *a* – районы с преобладанием суглинистых и супесчаных, подстилаемых суглинками, почв; *b* – районы с преобладанием песчаных и рыхло-супесчаных почв

Fig. 4. Productivity of arable land in grain equivalent in relation to mobile Phosphorous content in soils in districts of Belarus, 2017–2020: *a* – districts dominated by loamy and sandy loam, underlain by loams; *b* – districts dominated by sandy and loosely-sandy soils

На песчаных и рыхло-супесчаных почвах достаточно формировать и поддерживать содержание подвижных фосфатов на уровне нижней границы оптимума (не более 150 мг P_2O_5 на кг почвы).

Велика роль фосфатного статуса почвы в повышении качества продукции. В наших опытах увеличение содержания сырого протеина в зерне яровой пшеницы на 1,3–1,5 %, а клейковины на

4–6 % наблюдалось по мере повышения содержания подвижных фосфатов с 70 до 200 мг/кг почвы. А содержание белка в зерне гороха повышалось на 1,9–2,5 % и озимой тритикале на 0,5–1,1 % при повышении содержания P_2O_5 от 200 до 300 мг/кг почвы. При повышении содержания подвижных фосфатов в супесчаной, подстилаемой суглинком почве от низкого до оптимального уровня прибавки урожайности зерна яровой пшеницы от азотных и калийных удобрений возрастают практически вдвое [19]. Известно, что накопление избытка подвижных фосфатов в почвах может сопровождаться снижением эффективности азотных и калийных удобрений и другими негативными экологическими последствиями [20, 21].

Оптимизация фосфатного статуса весьма важна на загрязненных радионуклидами землях. В наших опытах повышение обеспеченности связно-супесчаной почвы фосфором от 70 до 393 мг P_2O_5 на кг почвы сопровождалось снижением перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в зерно пшеницы в 1,5–1,6 раза. Расчетный минимум накопления радионуклидов в зерне был в диапазоне содержания 300–310 мг P_2O_5/кг почвы [22].

За полувековой период средневзвешенное содержание подвижного калия в пахотных почвах повысилось втрое (см. табл. 2). Пахотные почвы по обеспеченности калием сравнительно меньше различаются по областям республики, а также по средневзвешенным показателям типов и разновидностей почв. Проблемной является пестрота содержания подвижных форм калия в почвах на мезо- и микроуровнях: районы – хозяйства – поля – участки (рис. 5).

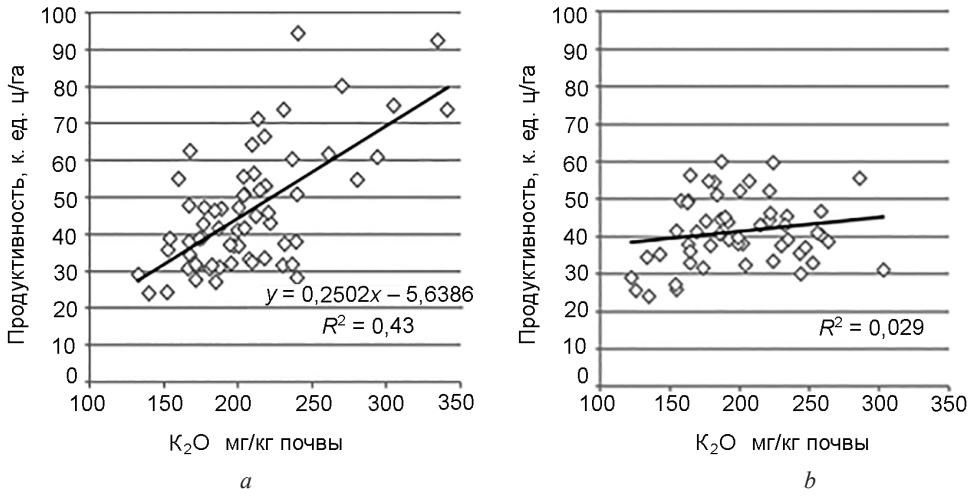

Рис. 5. Продуктивность пашни, в зависимости от содержания подвижных форм калия в почвах по районам Беларуси, 2017–2020 гг.: *a* – районы с преобладанием суглинистых и супесчаных, подстилаемых суглинками, почв; *b* – районы с преобладанием песчаных и рыхло-супесчаных почв

Fig. 5. Productivity of arable land in grain equivalent in relation to mobile Potassium content in soils in districts of Belarus, 2017–2020: *a* – districts dominated by loamy and sandy loam, underlain by loams; *b* – districts dominated by sandy and loosely-sandy soils

Предстоит кропотливая работа по оптимизации калийного статуса пахотных почв во многих районах республики. В первую очередь необходимо ограничить внесение калийных удобрений на участках с высоким и избыточным содержанием подвижных форм калия. На рис. 5 видно, что в группе районов, где преобладают высокоплодородные почвы, продуктивность севооборотов достоверно возрастает в диапазоне 22–90 к. ед. ц/га, по мере повышения содержания подвижных форм калия от 170 до 300–350 мг K_2O на кг почвы. В группе районов, где преобладают песчаные и рыхло-супесчаные почвы, продуктивность пашни различается по районам от 20 до 60, но без связи с содержанием подвижных форм калия в почвах.

В районах, где преобладают песчаные почвы, достаточно вносить минимальные дозы калия, чтобы компенсировать вынос этого элемента с отчуждаемой частью урожая сельскохозяйственных культур и формировать содержание подвижных форм калия в почвах на уровне 150–200 мг K_2O на кг почвы. На почвах, загрязненных радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr, необходимо формировать

и поддерживать несколько более высокую концентрацию подвижных форм калия, примерно на 50 мг K_2O/кг почвы выше, чем на незагрязненных полях и участках, для гарантии минимизации перехода радионуклидов в продукцию сельскохозяйственных культур [23].

Микроэлементы. Динамика средневзвешенных показателей содержания подвижных форм цинка, меди и бора в пахотных горизонтах почв Беларуси показывает период их накопления до 1996 г., а затем следует тренд снижения и стабилизации содержания микроэлементов в динамическом равновесии (рис. 6).

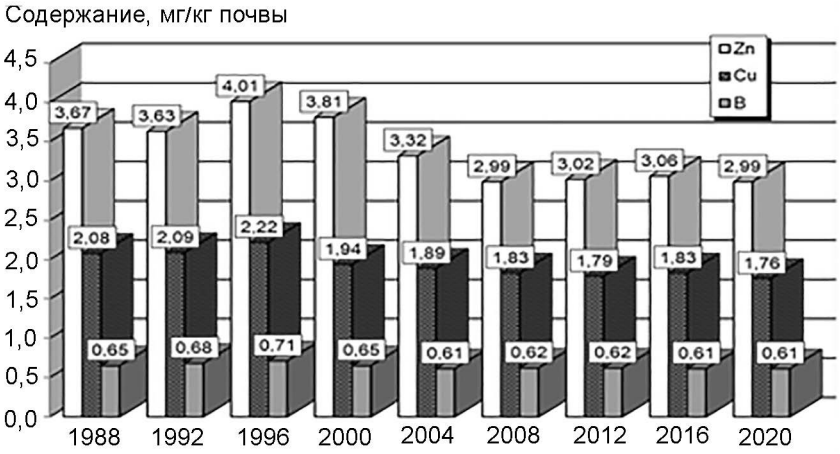

Рис. 6. Динамика средневзвешенного содержания подвижных форм микроэлементов в пахотных почвах Беларуси

Fig 6. Dynamics of the weighted average contents of mobile micronutrients in arable soils in Belarus

Пахотные почвы сравнительно хорошо обеспечены подвижными формами бора, средневзвешенное содержание которого за 1996–2020 гг. снизилось на 14 %. Однако доля площади слабо обеспеченных бором почв остается незначительной (3,2 %). Средневзвешенное содержание подвижных форм меди снизилось на 21 % и составило 1,76 мг/кг почвы, а доля площади с низким содержанием меди составила 53,6 %. Наибольшее снижение, на 25 %, характерно для содержания подвижных форм цинка, а доля слабо обеспеченных цинком почв составляет 64,3 % от площади пашни. Это говорит о значительных резервах повышения урожайности и качества продукции сельскохозяйственных культур за счет применения дифференцированных доз микроудобрений.

В нынешний период воспроизводство плодородия почв должно преимущественно базироваться на принципах самоокупаемости почвоулучшающих мер. Поэтому особое внимание должно уделяться объемам, составу и дозам используемых минеральных удобрений (рис. 7).

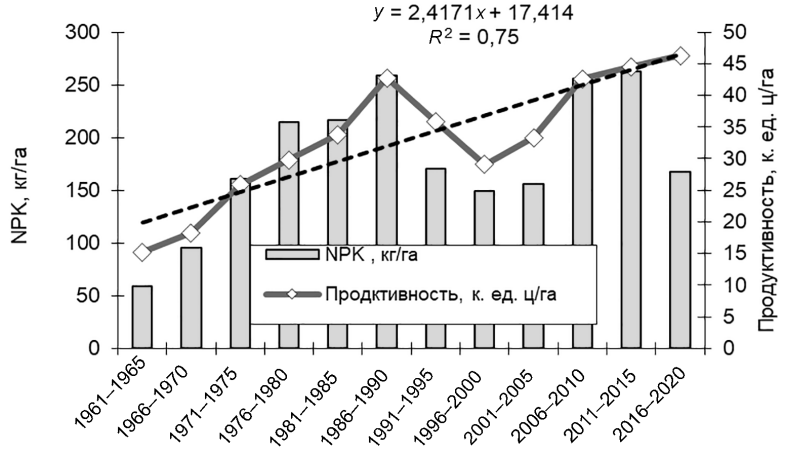

Рис. 7. Динамика среднегодовых доз минеральных удобрений и продуктивности пахотных почв Беларуси

Fig. 7. Dynamics of annual doses of nutrients applied with fertilizers and productivity in grain equivalent in arable soils in Belarus

Несмотря на некоторое снижение доз удобрений и продуктивности пашни в период перехода к рыночной экономике, можно видеть устойчивый тренд повышения продуктивности севооборотов на пахотных почвах Беларуси из расчета 2,4 ц/га за каждые 5 лет в течение более полувека.

Необходимо преодолеть тренд снижения доз минеральных удобрений за последние пять лет для предотвращения деградации плодородия почв и снижения продуктивности севооборотов. Во всех районах республики остается актуальной задача снижения себестоимости товарной продукции и повышения окупаемости капиталовложений.

Заключение. Анализ результатов 14 туров крупномасштабного агрохимического обследования показал существенное повышение плодородия основных массивов пахотных почв Беларуси. Обозначились и локальные негативные тенденции подкисления и дегумификации почв, деградации мелкозалежных торфяников, повышения контрастности в обеспеченности почв подвижными формами макро- и микроэлементов на уровне районов, хозяйств и полей севооборотов.

Различия в средневзвешенных показателях содержания подвижных форм P, K, Ca, Mg, B, Cu и Zn по типам и группам гранулометрического состава почв небольшие и не превышают 1,5–2 раз. Различия по районам – до 2–4 раз, а по полям и элементарным участкам – на порядок и более. Выравнивание агрохимической пестроты плодородия почв в оптимальных диапазонах экономически перспективно. Для ускорения оптимизации требуется детализация системы удобрений с учетом свойств рабочих участков каждого поля и оснащение хозяйств новой техникой для реализации цифровых технологий.

Во всех областях Беларуси имеются большие резервы повышения плодородия почв за счет дифференцированного применения мелиорантов, органических и минеральных макро- и микроудобрений.

Список использованных источников

1. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 274 с.

2. Информационная модель стоимостной оценки искусственного плодородия почв по их важнейшим показателям (гумус, фосфор, калий, кислотность) / В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск: [б. и.], 2006. – 63 с.

3. Оптимальные параметры плодородия почв / под ред. Т. Н. Кулаковской. – М.: Колос, 1984. – 271 с.

4. Богдевич, И. М. Концепция повышения плодородия почв Республики Беларусь / И. М. Богдевич, Н. И. Смеян, В. В. Лапа // Ахова раслін. – 2002. – № 1. – С. 8–11.

5. Комплекс мероприятий по повышению плодородия и защите от деградации почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь на 2021–2025 годы / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы, Н. Н. Цыбулько. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 147 с.

6. Богдевич, И. М. Динамика степени кислотности пахотных и луговых почв в результате известкования / И. М. Богдевич, О. Л. Ломонос, О. М. Таврыкина // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 1 (52). – С. 159–172.

7. Диагностика магниевого питания сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых суглинистых почвах / И. М. Богдевич [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2016. – № 2. – С. 34–43.

8. Урожайность и качество зерна гороха в зависимости от условий минерального питания магнием и серой на дерново-подзолистых суглинистых почвах / И. М. Богдевич [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1 (66). – С. 93–105.

9. Воробьев, В. Б. Закономерности изменения гумусового состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы под влиянием антропогенной нагрузки / В. Б. Воробьев. – Горки: БГСХА, 2012. – 158 с.

10. Земля Беларуси 2001 / И. М. Богдевич [и др.]; ред.: Г. И. Кузнецов, Г. В. Дудко. – Минск: [б. и.], 2002. – 118 с.

11. Никончик, П. И. Агроэкономические основы систем использования земли / П. И. Никончик. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 532 с.

12. Лапа, В. В. Влияние органоминеральной системы удобрения на продуктивность севооборотов и баланс гумуса в дерново-подзолистых почвах / В. В. Лапа, В. Н. Босак, Г. В. Пироговская // Агрохимия. – 2009. – № 2. – С. 40–44.

13. Влияние систем удобрения на баланс элементов питания и агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы / Т. М. Серая [и др.] // Почвоведения и агрохимия. – 2012. – № 1 (48). – С. 62–69.

14. Научные системы ведения сельского хозяйства Республики Беларусь / В. Г. Гусаков [и др.]; редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2020. – 683 с.

15. Аристархов, А. Н. Агрохимия серы / А. Н. Аристархов; под ред. В. Г. Сычева. – М.: ВНИИА, 2007. – 271 с.

16. Пироговская, Г. В. Поступление, потери элементов питания в системе «атмосферные осадки – почва – удобрение – растение» / Г. В. Пироговская. – Минск: Беларус. навука, 2018. – 227 с.

17. Диагностика минерального питания озимой тритикале серой и магнием на дерново-подзолистой суглинистой почве / И. С. Станилевич [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1 (68). – С. 103–114. https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-103-114

18. Динамика и оптимизация фосфатного статуса пахотных почв Беларуси в зависимости от уровня интенсификации земледелия / И. М. Богдевич [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 1 (40). – С. 104–117.

19. Богдевич, И. М. Зависимость урожайности и качества продукции зерновых культур от обеспеченности дерново-подзолистых супесчаных почв фосфором и доз минеральных удобрений / И. М. Богдевич, В. А. Микулич, Г. И. Каленик // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – № 2 (45). – С. 55–72.

20. Bergmann, W. Nutritional disorders of plants: development, visual and analytical diagnosis / W. Bergmann. – Jena: Gustav Fischer Verlag, 1992. – 741 p.

21. Титова, В. И. Оптимизация применения азотных и калийных удобрений на почвах с высоким содержанием фосфора / В. И. Титова // Перм. аграр. вестн. – 2018. – № 1 (21). – С. 87–93.

22. Bogdevitch, I. Fertilization as a remediation measure on soils contaminated with radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr / I. Bogdevitch, N. Mikhailouskaya, V. Mikulich // Fertilizing crops to improve human health: a scientific review / Intern. Plant Nutrition Inst., Intern. Fertilizer Industry Assoc.; ed.: T. W. Bruulsema [et al.]. – Paris, 2012. – Vol. 3: Risk reduction. – P. 275–290.

23. Динамика обеспеченности калием пахотных и луговых почв Беларуси / И. М. Богдевич [и др.] // Почвоведение и агрохимия – 2020. – № 1 (64). – С. 104–116.

References

1. Bogdevich I. M., Lapa V. V., Rak M. V., Chernysh A. F., Putyatin Yu. V., Lomonos O. L. (et al.). *Agrochemical characteristics of soils of agricultural lands of the Republic of Belarus (2013–2016)*. Minsk, IVTs Minfina Publ., 2017. 274 p. (in Russian).

2. Gusakov V. G., Bel'skii V. I., Sidorovich V. A., Kuz'menko M. P., Moisyuk N. V., Vasilevich V. M., Sapizhenko T. V. *Information model of the cost estimate of artificial soil fertility according to their most important indicators (humus, phosphorus, potassium, acidity)*. Minsk, 2006. 63 p. (in Russian).

3. Kulakovskaya T. N. (ed.). *Optimal parameters of soil fertility*. Moscow, Kolos Publ., 1984. 271 p. (in Russian).

4. Bogdevich I. M., Smeyan N. I., Lapa V. V. The concept of increasing soil fertility in the Republic of Belarus. *Akhova raslin* [Plant Protection], 2002, no. 1, pp. 8–11 (in Russian).

5. Lapa V. V., Tsybul'ko N. N. (eds.). *A set of measures to improve fertility and protect against soil degradation of agricultural lands of the Republic of Belarus for 2021–2025*. Minsk, IVTs Minfina Publ., 2021. 147 p. (in Russian).

6. Bogdevitch I. M., Lomonos O. L., Tavrykina O. M. Dynamics of acidity, calcium and magnesium supply in the arable and grassland soils of Belarus in the course of liming. *Pochvovedenie i agrokhimiya = Soil Science and Agrochemistry*, 2014, no. 1 (52), pp. 159–172 (in Russian).

7. Bogdevitch I. M., Putyatin Yu. V., Tavrykina O. M., Lomonos O. L. Diagnostic of the crop magnesium nutrition on podzoluvisol loamy soils. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2016, no. 2, pp. 34–43 (in Russian).

8. Bogdevitch I. M., Stanilevich I. S., Putyatin Yu. V., Dovnar V. A., Tretiakov Ye. S. Yield and quality of pea's grain in relation to the mineral nutrition by magnesium and sulfur on podzoluvisol loamy soils. *Pochvovedenie i agrokhimiya = Soil Science and Agrochemistry*, 2021, no. 1 (66), pp. 93–105 (in Russian).

9. Vorob'ev V. B. *Patterns of changes in the humus state of soddy-podzolic light loamy soil under the influence of anthropogenic load*. Gorki, Belarusian State Agricultural Academy, 2012. 158 p. (in Russian).

10. Kuznetsov G. I., Dudko G. V. (eds.). *Land of Belarus 2001*. Minsk, 2002. 118 p. (in Russian).

11. Nikonchik P. I. *Agroeconomic bases of land use systems*. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2007. 532 p. (in Russian).

12. Lapa V. V., Bosak V. N., Pirogovskaya G. V. Effect of organo-mineral fertilizing system on crop rotation productivity and humus balance in soddy-podzolic soils. *Agrokhimiya* [Agrochemistry], 2009, no. 2, pp. 40–44 (in Russian).

13. Seraya T. M., Mezentseva E. G., Bogatyreva E. N., Biryukova O. M., Biryukov R. N. Influence of fertilizer systems balance of nutrients and agrochemical indexes of sod-podzolic loamy sand soil. *Pochvovedenie i agrokhimiya = Soil Science and Agrochemistry*, 2012, no. 1 (48), pp. 62–69 (in Russian).

14. Gusakov V. G., Bel'skii V. I., Kazakevich P. P., Krupko I. I., Kazakevich P. P., Grakun V. V. (et al.). *Scientific farming systems of the Republic of Belarus*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2020. 683 p. (in Russian).

15. Aristarkhov A. N. *Agrochemistry of sulfur*. Moscow, All-Russian Research Institute of Agrochemistry, 2007. 271 p. (in Russian).

16. Pirogovskaya G. V. *Receipt, loss of nutrients in the system "atmospheric precipitation - soil - fertilizer - plant"*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2018. 227 p. (in Russian).

17. Stanilevich I. S., Bogdevitch I. M., Putyatin Yu. V., Dovnar V. A., Tretiakov Ye. S. Diagnostic of the winter triticale for sulfur and magnesium nutrition on podzoluvisol loamy soil. *Pochvovedenie i agrokhimiya = Soil Science and Agrochemist*ry, 2022, no. 1 (68), pp. 103–114 (in Russian). https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-103-114

18. Bogdevich I. M., Shmigel'skaya I. D., Seraya T. M., Mikulich V. A., Tereshchenko N. D., Kalenik G. I., Adianova O. B. Dynamics and optimization of the phosphate status of arable soils of Belarus depending on the level of intensification of agriculture. *Pochvovedenie i agrokhimiya = Soil Science and Agrochemist*ry, 2008, no. 1 (40), pp. 104–117 (in Russian).

19. Bogdevitch I. M., Mikulich V. A., Kalenik G. I. Yield and quality of cereal grains in relation to p-status of sod-pozolic loamy sand soils and fertilizers. *Pochvovedenie i agrokhimiya = Soil Science and Agrochemist*ry, 2010, no. 2 (45), pp. 55–72 (in Russian).

20. Bergmann W. *Nutritional disorders of plants: development, visual and analytical diagnosis*. Jena, Gustav Fischer Verlag, 1992. 741 p.

21. Titova V. I. Optimization of nitrogen and potassium fertilizers application on soils with high content of phosphorus. *Permskii agrarnyi vestnik = Perm Agrarian Journal,* 2018, no. 1 (21), pp. 87–93 (in Russian).

22. Bogdevitch I., Mikhailouskaya N., Mikulich V. Fertilization as a remediation measure on soils contaminated with radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr. *Fertilizing crops to improve human health: a scientific review. Vol. 3: Risk reduction*. Paris, 2012, pp. 275–290.

23. Bogdevitch I. M., Putyatin Yu. V., Stanilevich I. S., Lomonos O. L. Dynamics of potassium supply of arable soils and grassland in Belarus. *Pochvovedenie i agrokhimiya = Soil Science and Agrochemist*ry, 2020, no. 1 (64), pp. 104–116 (in Russian).

Информация об авторе

Богдевич Иосиф Михайлович – академик Национальной академии наук Беларуси, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук (ул. Казинца, 90, 220108, Минск, Республика Беларусь). E-mail: brissa5@mail.belpak.by

Information about the author

Iossif M. Bogdevitch – Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, D. Sc. (Agriculture), Professor, Chief Researcher, Institute for Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (90, Kazintsa Str., Minsk, 220108, Republic of Belarus). E-mail: brissa5@mail.belpak.by