

ISSN 1817-7204 (Print)

ISSN 1817-7239 (Online)

ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА **AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION**

УДК 631.452 (470.325)

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2024-62-4-288-302>

Поступила в редакцию 02.04.2024

Received 02.04.2024

С. В. Лукин¹, А. В. Суринов²

¹*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Белгород, Российская Федерация*

²*Центр агрохимической службы «Белгородский», Белгород, Российская Федерация*

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПАХОТНЫХ ПОЧВ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РАЙОНА РОССИИ

Аннотация. Цель исследований заключалась в проведении агроэкологической оценки состояния пахотных почв лесостепной зоны Центрально-Черноземного района на примере Белгородской области. Были использованы данные государственного агроэкологического мониторинга почв, проводимого агрохимической службой России по общепринятым методикам. В девятом цикле агрохимического обследования (2010–2014 гг.) в среднем вносилось 99,4 кг/га минеральных и 6,3 т/га органических удобрений. В одиннадцатом цикле (2019–2022 гг.) использование минеральных удобрений увеличилось на 14,8 %, достигнув 114,1 кг/га, а органических выросло на 66,7 %, до уровня 10,5 т/га. За период с девятого по одиннадцатый цикл доля кислых почв снизилась на 23,3 %, с 60,9 до 37,6 %, в том числе среднекислых – на 14,1 %, с 18,2 до 4,1 %. Средневзвешенное содержание органического вещества в почвах увеличилось на 0,3 %, с 5,0 до 5,3 %. Средневзвешенное содержание подвижных форм калия возросло на 11 мг/кг, со 152 до 163 мг/кг, а подвижных форм фосфора было достаточно стабильным и в одиннадцатом цикле составило 146 мг/кг. Доля почв, низкообеспеченных подвижными формами серы, снизилась на 10,2 %, с 95,1 до 84,9 %, марганца – на 15,7 %, с 55,3 до 39,6 %. Содержание подвижных форм цинка, меди и кобальта существенно не изменилось, и в одиннадцатом цикле доля почв, низкообеспеченных этими микроэлементами, составила 97,4; 98,8 и 93,1 % соответственно. При достигнутом уровне использования удобрений и плодородия почв урожайность озимой пшеницы, кукурузы, подсолнечника, сои увеличилась на 45,6; 39,7; 39,0 и 26,1 % и в одиннадцатом цикле составила 5,40; 7,50; 3,03 и 2,08 т/га соответственно.

Ключевые слова: микроэлементы, органическое вещество почвы, удобрения, урожайность, подвижные формы фосфора и калия, сера, тяжелые металлы, чернозем

Для цитирования: Лукин, С. В. Агроэкологическая оценка состояния пахотных почв юго-западной части лесостепной зоны Центрально-Черноземного района России / С. В. Лукин, А. В. Суринов // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2024. – Т. 62, № 4. – С. 288–302. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2024-62-4-288-302>

Sergei V. Lukin¹, Artem V. Surinov²

¹*Belgorod State National Research University, Belgorod, Russian Federation*

²*Belgorod Center for Agrochemical Service, Belgorod, Russian Federation*

AGROECOLOGICAL ASSESMENT OF ARABLE SOILS IN THE SOUTHWESTERN PART OF THE FOREST-STEPPE ZONE OF THE CENTRAL BLACK EARTH REGION OF RUSSIA

Abstract. The aim of the following research paper was to evaluate the agro-ecological state of arable soils, located in the Central Black Earth forest-steppe zone with the Belgorod region as an example. The state agro-ecological analysis of soils, conducted using prevalent methods by the agrochemical service of Russia was used as a primary source. On average, about 99.4 kg/ha of mineral and 6.3 t/ha of organic fertilizers were applied during the 9th cycle of the agrochemical survey (2010–2014). During the 11th cycle (2019–2022), a 14.8 % increase of mineral fertilizers was introduced, thereby making 114.1 kg/ha, and 66.7 % increase of organic fertilizers, making 10.5 t/ha. In relation to the 9th cycle, the 11th one was accompanied by a 23.3 % decline

in the quantity of acidic soils from 60.9 to 37.6 %, which included a decrease of 14.1 % (from 18.2 to 4.1 %) in the acidity of medium acidic soils. The weighted average mean of organic matter in soils increased by 0.3 %, from 5.0 to 5.3 %. The average weighted mean of mobile forms of potassium displayed an increase of 11 mg/kg, from 152 to 163 mg/kg, while the mobile forms of phosphorus were fairly stable at 146 mg/kg in the 11th cycle. Share of soils low in mobile forms of sulfur decreased by 10.2 %, from 95.1 to 84.9 %, and manganese by 15.7 %, from 55.3 to 39.6 %. The concentrations of mobile zinc, copper and cobalt mostly remained unchanged, with soils, that contained low traces of these elements being at 97.4; 98.8 and 93.1 %, respectively, in the 11th cycle. Winter wheat, maize, sunflower, and soybean yields increased by 45.6; 39.7; 39.0 and 26.1 %, and in the eleventh cycle made 5.40; 7.50; 3.03 and 2.08 t/ha, respectively, within the achieved levels of soil fertility and usage of fertilizer.

Keywords: trace elements, soil organic matter, fertilizers, yield, mobile forms of phosphorus and potassium, sulfur, heavy metals, black earth

For citation: Lukin S. V., Surinov A. V. Agroecological assessment of arable soils in the southwestern part of the forest-steppe zone of the forest steppe zone of the Central Black Earth region of Russia. *Vesti Natsyonal'nai akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnykh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2024, vol. 62, no. 4, pp. 288–302 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2024-62-4-288-302>

Введение. Удовлетворение потребностей постоянно растущего населения в продуктах питания является приоритетной проблемой современного человечества. Основное количество продовольствия производится за счет использования плодородия почв, которое является феноменом, обусловившим зарождение и развитие человеческой цивилизации.

Один из основателей агрономического почвоведения П. А. Костычев [1] указывал, что почвенные исследования должны производиться в самой тесной связи с потребностями сельского хозяйства и их основная задача – изучение плодородия почв. В конце XIX в. почвоведы всего мира признали эталоном плодородия монолит чернозема, отобранного в лесостепной зоне Воронежской области (Панинский р-н). Эту почву образно называли «черным бриллиантом» [2]. Основатель генетического почвоведения В. В. Докучаев [3] писал: «Чернозем для России дороже всякой нефти, всякого каменного угля, дороже золотых и железных руд; в нем – вековечное неисчерпаемое русское богатство!»

Однако в конце XX и начале XXI в. появилось много научных публикаций, свидетельствующих о том, что в результате длительного и не всегда рационального использования черноземов стали усиливаться такие виды их деградации, как водная эрозия, дегумификация, подкисление и др. [4–6]. Эти негативные тенденции, наряду с использованием устаревших экстенсивных агротехнологий, привели к тому, что продуктивность агроэкосистем долгие годы была крайне низкой.

В последнее десятилетие ситуация в российском земледелии значительно улучшилась. Внедряются интенсивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур, увеличилось использование минеральных удобрений, при поддержке государства реализуется программа известкования кислых почв. Все эти факторы привели к устойчивому тренду повышения урожайности сельскохозяйственных культур [4, 7].

В Центрально-Черноземном районе (ЦЧР) лидером по производству продукции агропромышленного комплекса является Белгородская область. В ней уже более десяти лет успешно реализуется программа биологизации земледелия, направленная на повышение плодородия почв и продуктивности агроценозов за счет эффективного использования ресурсов органических удобрений, биологического азота, сидерации, известкования кислых почв, проведения комплекса мероприятий по защите почв от водной эрозии. Данной программой предусматривается разработка и освоение проектов адаптивно-ландшафтных систем земледелия и охраны почв (АЛСЗ), в которых с учетом особенностей конкретного землепользования составлен план мероприятий по биологизации [8, 9]. Для проектирования и последующей оценки эффективности освоения АЛСЗ используются материалы государственного агроэкологического мониторинга почв, проводимого агрохимической службой России [4, 5].

Цель исследований – провести агроэкологическую оценку состояния пахотных почв лесостепной зоны ЦЧР на примере Белгородской области.

Материалы и методы исследований. Проведение исследований осуществлялось в 2010–2022 гг. в юго-западной части лесостепной зоны ЦЧР на территории Белгородской области. В данной природной зоне преобладающими почвами являются черноземы типичные (Haplic

Chernozems) и выщелоченные (Luvic Chernozems). В меньшей степени распространены темно-серые лесные почвы (Luvic Retic Greyzemic Phaeozems) и черноземы оподзоленные (Luvic Greyzemic Chernic Phaeozems).

Климат зоны исследований – умеренно континентальный. Среднегодовая температура воздуха изменялась в пределах от 7,3 °С (пос. Готня и г. Старый Оскол) до 7,7 °С (г. Новый Оскол) [10]. Величина суммы осадков за год изменялась в пределах от 509 мм (г. Старый Оскол) до 598 мм (пос. Готня) (см. табл. 1).

Таблица 1. Среднемноголетние значения (1991–2020 гг.) суммы осадков и температуры воздуха за период вегетации растений

Table 1. Average annual values (1991–2020) of precipitation and air temperature during the growing season of plants

Месяц	Метеостанция			
	пос. Готня (Ракитянский р-н)	г. Белгород	г. Старый Оскол	г. Новый Оскол
<i>Сумма осадков, мм</i>				
IV	37	32	34	39
V	60	53	46	46
VI	63	55	53	67
VII	74	64	64	64
VIII	39	37	40	44
IX	56	46	48	47
В сумме за год	598	526	509	555
<i>Средняя температура воздуха, °С</i>				
IV	8,4	8,8	8,5	8,9
V	14,9	15,3	15,2	15,4
VI	18,5	19,0	18,8	19,3
VII	20,4	20,9	20,8	21,2
VIII	19,4	20,0	19,8	19,9
IX	13,6	14,1	13,8	14,0
В среднем за год	7,3	7,6	7,3	7,7

Общая площадь посева сельскохозяйственных культур в среднем за 2010–2014 гг. составляла 912,2, в 2019–2022 гг. – 951,2 тыс. га. В 2019–2022 гг. под озимой пшеницей было занято 26,6 % от всей посевной площади, под соей – 22,3, под кукурузой на зерно – 11,2, под подсолнечником – 9,7 %¹.

Для корректного анализа результатов агроэкологического мониторинга были использованы материалы фонового мониторинга, который осуществляется на целинных почвах, не используемых в сельском хозяйстве. Данный вид мониторинга проводился на севере лесостепной зоны области вблизи г. Губкин на черноземах типичных и выщелоченных Государственного природного заповедника «Белогорье» (участок «Ямская степь»).

В работе использованы материалы агроэкологического мониторинга почв, проводимого Центром агрохимической службы «Белгородский». Длительность девятого цикла сплошного обследования (2010–2014 гг.) составляла пять лет, десятого (2015–2018 гг.) и одиннадцатого (2019–2022 гг.) – четыре года.

Пробы почвы отбирались тростевым буром из слоя 0–25 см с элементарных участков площадью 15–20 га. После высушивания и пробоподготовки в них определяли содержание органического вещества по методу Тюрина, pH солевой вытяжки (pH_{KCl}) – по общепринятой методике. Определение концентрации подвижных форм фосфора (P₂O₅) и калия (K₂O) проводили по методу Чирикова, цинка, марганца, меди и кобальта – по методу Крупского и Александровой. Турбидиметрическим методом определяли содержание подвижных (сульфатных) форм серы [11].

¹ ЕМИСС. Государственная статистика. Базы данных. Федеральная служба государственной статистики. Сельское хозяйство, охота и охотничье хозяйство, лесное хозяйство. Внесение удобрений, проведение работ по химической мелиорации земель и применяемые почвозащитные агротехнологии сельскохозяйственными организациями [Электронный ресурс]. URL: <https://fedstat.ru/organizations/#> (дата обращения: 24.09.2023).

При обработке данных сплошного мониторинга почв рассчитывалось взвешенное среднее значение для основных параметров плодородия. Математическая обработка данных и построение агрохимических картограмм проводились автоматически с использованием программного комплекса ГИС «Агроэколог Онлайн» [12–14].

Полученные результаты и их обсуждение. *Использование удобрений* является важнейшим фактором, влияющим на агроэкологическое состояние почв и продуктивность агроценозов. В Белгородской области за весь период наблюдений, начиная с 1964 г., наиболее высокий уровень использования минеральных удобрений (184 кг/га) был установлен в 1987–1988 гг., а органических (5,8 т/га) – в 1987 г. Минимальное внесение минеральных удобрений (27 кг/га) наблюдалось в 1999-м, а органических (0,9 т/га) – в 2004–2006 гг.¹

За период времени с девятого по одиннадцатый цикл наблюдался тренд к увеличению доз внесения минеральных и существенно повысился уровень использования органических удобрений (рис. 1).

В 2010–2014 гг. (9-й цикл) в среднем вносилось 99,4 кг/га минеральных и 6,3 т/га органических удобрений. В 2019–2022 гг. (11-й цикл) использование минеральных удобрений увеличилось на 14,8 %, достигнув уровня 114,1 кг/га, при этом доли азота, фосфора и калия составили 64,8; 17,3 и 17,9 % соответственно [4]. Значительное превалирование азота над фосфором и калием во вносимых минеральных удобрениях характерно для современного российского и мирового земледелия.

Применение органических удобрений выросло на 66,7 % и достигло уровня 10,5 т/га. Причина этого – в существенном росте объемов производства продукции птицеводства и свиноводства, который сопровождается увеличением образования органических удобрений.

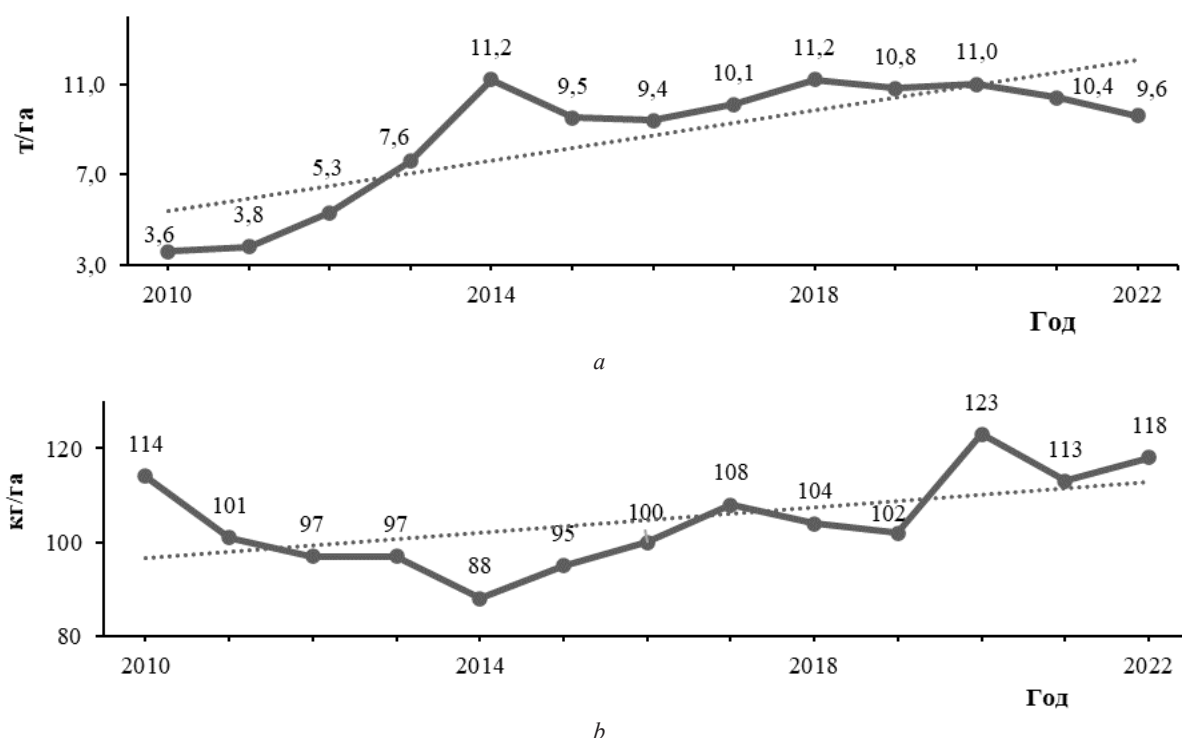


Рис. 1. Динамика внесения органических (а) и минеральных (б) удобрений

Fig. 1. Dynamics of application of organic (a) and mineral (b) fertilizers

¹ ЕМИСС. Государственная статистика. Базы данных. Федеральная служба государственной статистики. Сельское хозяйство, охота и охотничье хозяйство, лесное хозяйство. Внесение удобрений, проведение работ по химической мелиорации земель и применяемые почвозащитные агротехнологии сельскохозяйственными организациями [Электронный ресурс]. URL: <https://fedstat.ru/organizations/#> (дата обращения: 24.09.2023).

В России в среднем за 2016–2020 гг. вносилось 55,3 кг/га минеральных и 1,5 т/га органических удобрений. За эти же годы в лесостепной зоне ЦЧР наиболее высокий уровень использования минеральных (156 кг/га) и органических (2,3 т/га) удобрений наблюдался в Липецкой области. Наиболее низкое использование минеральных (100 кг/га) и органических (0,24 т/га) удобрений было зафиксировано в Тамбовской области¹.

Кислотность почвенного раствора является важнейшим показателем агроэкологического состояния почв. От величины данного параметра зависит доступность для растений тяжелых металлов и радионуклидов, микробиологическая активность почвы, размеры накопления биологического азота, эффективность минеральных удобрений. Большинство сельскохозяйственных культур, возделываемых в ЦЧР, особенно сахарная свекла, на кислых почвах существенно снижают урожайность.

В фоновых целинных черноземах типичных величина pH_{KCl} составляет 6,0, в черноземах выщелоченных – 5,3. Пахотные почвы лесостепной зоны ЦЧР в процессе длительного сельскохозяйственного использования подкисляются в результате вымывания кальция в подпахотные слои. В ЦЧР подкисление лесостепных подтипов черноземов и серых лесных почв является одним из самых масштабных видов их деградации. В Курской, Липецкой и Тамбовской областях кислые почвы занимают 71,0; 77,9; 77,3 % площади пашни соответственно, в том числе средне- и сильнокислых (pH_{KCl} – менее 5,0) – 32,8; 30,6; 24,0 % [13].

В девятом цикле обследования в лесостепи Белгородской области доля кислых почв достигла максимального уровня за всю историю наблюдений – 60,9 %, в том числе 18,2 % среднекислых и 0,2 % сильнокислых. Наиболее высокая доля кислых почв (83,4 %) отмечалась в муниципальном образовании (МО) Борисовский район, а наиболее низкая (33,6 %) – в МО Красненский район (рис. 2).

С учетом сложившейся ситуации в области была разработана программа, предусматривающая финансовую поддержку для хозяйств, осуществляющих известкование кислых почв. Благодаря ее успешной реализации в десятом цикле общая доля кислых почв снизилась до 47,3 % (среднекислых – до 8,5 %), а в одиннадцатом – до 37,6 % (среднекислых – до 4,1 %). Сильнокислых почв в десятом и одиннадцатом циклах выявлено не было. В целом за период с девятого по одиннадцатый цикл доля кислых почв снизилась на 23,3 %. Наиболее заметное снижение данного параметра (на 41,0 %) было достигнуто в МО Борисовский район, а самое незначительное (10,4 %) – в Губкинском городском округе. В ЦЧР заметное снижение кислотности почв отмечается только в Белгородской области [4].

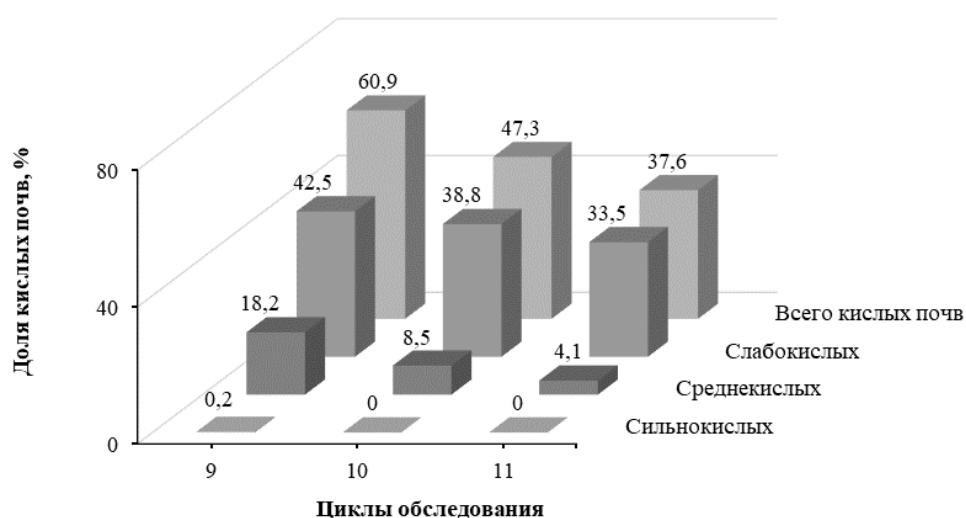
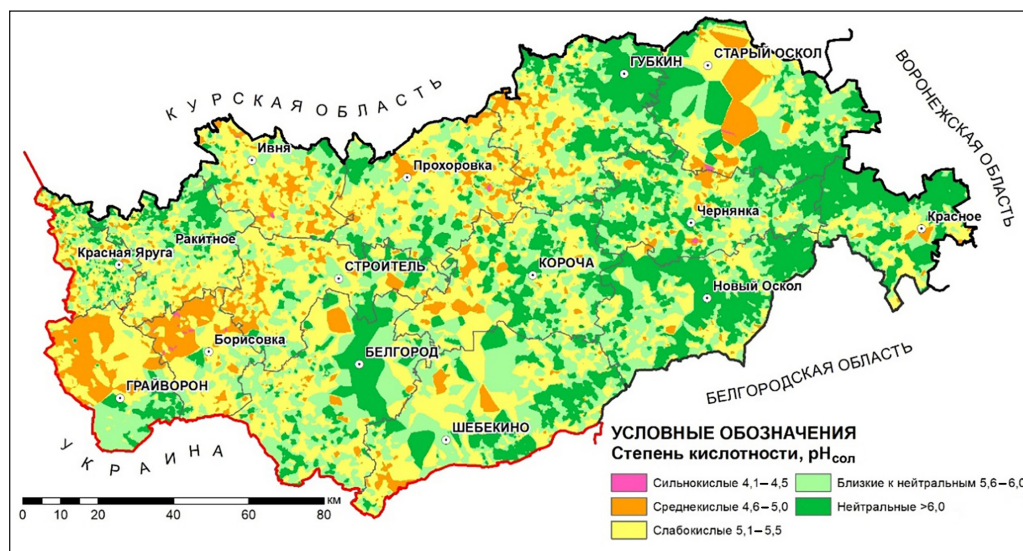


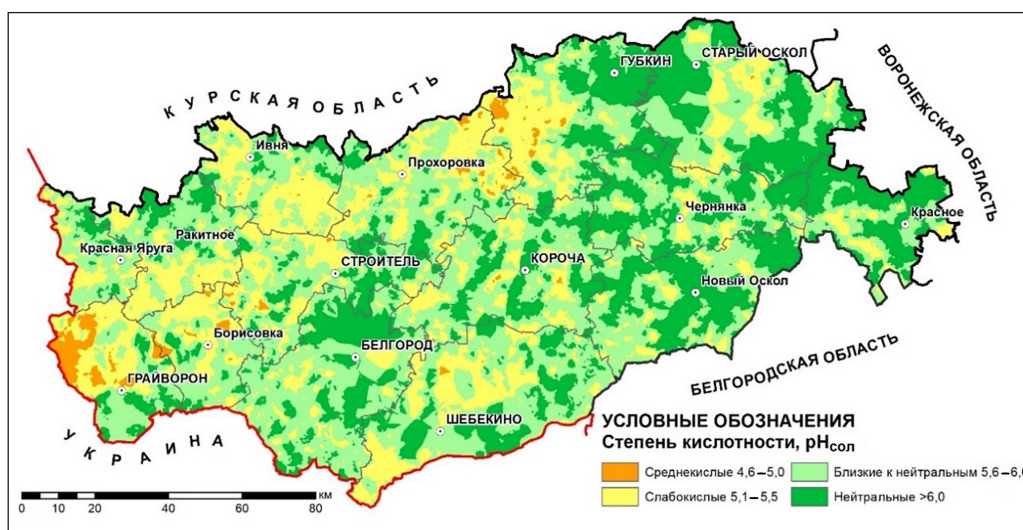
Рис. 2. Динамика доли кислых почв, % от обследованной площади

Fig. 2. Dynamics of the proportion of acidic soils, % of the surveyed area

¹ URL: <https://fedstat.ru/organizations/#> (дата обращения: 24.09.2023).



a



b

Рис. 3. Кислотность пахотных почв: 9-й (a) и 11-й (b) циклы обследования

Fig. 3. Acidity of arable soils: 9 (a) and 11 (b) survey cycles

По результатам одиннадцатого цикла обследования наиболее высокая доля кислых почв (56,2 %) была выявлена в МО Ивнянский район, а самая низкая (21,5 %) – в МО Красненский район (рис. 3).

В лесостепи Белгородской области доля кислых почв стала существенно ниже, чем в Курской, Липецкой и Тамбовской областях.

Содержание органического вещества в пахотных почвах традиционно считается важнейшим показателем их плодородия. В последние годы органическому веществу отводят огромную роль в обеспечении биосферно-экологических функций почвы, в частности секвестировании выбросов углекислого газа [15, 16].

Фоновое содержание органического вещества в слое 10–20 см целинного чернозема типичного составляет 10,1, чернозема выщелоченного – 9,7 %. Дегумификация пахотных черноземов в результате развития эрозионных процессов и некомпенсированной минерализации органического вещества почвы является острой агроэкологической проблемой современного земледелия. По последним данным, средневзвешенное содержание органического вещества в пахотном слое почв Курской, Липецкой, Тамбовской областей составляет 4,7; 5,6 и 6,5 % соответственно [4].

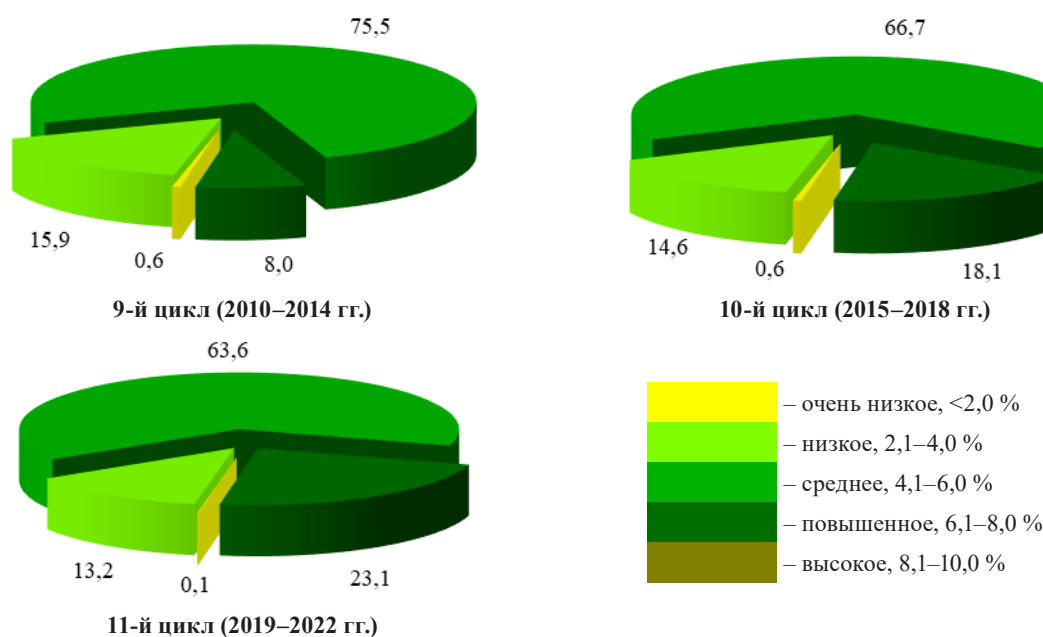


Рис. 4. Динамика распределения пахотных почв по содержанию органического вещества, % от обследованной площади

Fig. 4. Dynamics of distribution of arable soils according to organic matter content, % of the surveyed area

В экстенсивных системах земледелия, при низком уровне использования удобрений, от величины запасов органического вещества во многом зависит пищевой режим почв, особенно азотный. Поэтому в черноземах, как правило, содержание почвенного органического вещества (P_o , %) тесно коррелирует с концентрацией щелочногидролизующего (легкогидролизующего) азота по Корнфилду ($N_{лг}$, мг/кг).

На основе анализа данных выборки из 126 образцов черноземов типичных с содержанием органического вещества в пределах 4–6 % нами разработана математическая модель, отражающая связь между этими показателями: $N_{лг} = 25,1P_o + 41,5$; $R^2 = 0,92$.

За период с девятого по одиннадцатый цикл обследования средневзвешенное содержание органического вещества в пахотном слое почв лесостепной зоны увеличилось на 0,3 %, с 5,0 до 5,3 %, а его запасы – на 9 т/га, со 150 до 159 т/га. При отмеченном уровне увеличения запасов органического вещества дополнительно депонируется около 5,2 т/га углерода, или 19 т/га в пересчете на CO_2 . Такое значительное увеличение запасов органического вещества в пахотных черноземах на большой площади и за столь незначительный период времени никогда не фиксировалось ранее в ЦЧР.

За этот же период доля почв с повышенным содержанием органического вещества возросла на 15,1 %, до 23,1 %, а с низким и очень низким уменьшилась на 2,7 и 0,5 %, до 13,2 и 0,1 % соответственно (рис. 4).

Установленная нами позитивная динамика существенного повышения обеспеченности почв органическим веществом является следствием совокупного действия следующих факторов: значительного увеличения применения органических удобрений и поступления растительных остатков (побочной продукции) при росте урожайности сельскохозяйственных культур; широкого использования пожнивных сидератов; уменьшения размеров минерализации гумуса в связи с сокращением площади под чистыми парами.

По итогам обследования в 2019–2022 гг. преобладающими являются пахотные почвы с содержанием органического вещества в пределах 4,1–6,0 %. Их доля составляет 63,6 %. Достаточно распространены (23,1 %) почвы с содержанием данного параметра в пределах 6,1–8,0 %. В лесостепной зоне Белгородской области величина средневзвешенного содержания органического вещества достаточно сильно варьирует в зависимости от географического положения,

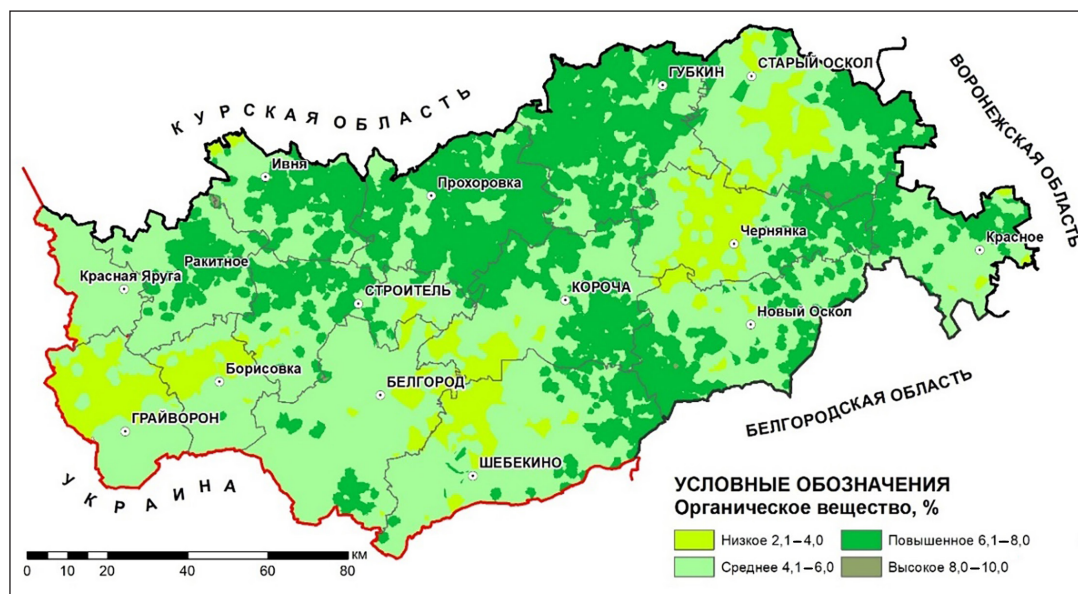


Рис. 5. Картограмма обеспеченности пахотных почв органическим веществом

Fig. 5. Cartogram of the supply of arable soils with organic matter

что связано не столько с антропогенными факторами, сколько с особенностями почвообразовательного процесса. Самая низкая величина данного параметра (4,07 %) зафиксирована в почвах МО Грайворонский район, расположенного на юго-западе области. Самое высокое средневзвешенное содержание органического вещества (6,03 %) установлено в МО Прохоровский район, расположенном на северо-западе области (рис. 5).

Содержание подвижных форм фосфора и калия в пахотных почвах во многом отражает степень их окультуренности и в первую очередь уровень применения удобрений, содержащих эти элементы. В незатронутых сельскохозяйственным использованием целинных черноземах типичных концентрация подвижных форм фосфора и калия составляет 28 и 101, черноземах выщелоченных – 24 и 105 мг/кг соответственно. По мере вовлечения целинных почв в сельскохозяйственный оборот и увеличения доз вносимых удобрений содержание этих параметров плодородия, как правило, повышалось. По современным оценкам, в Курской, Липецкой и Тамбовской областях средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора составляет 129, 98 и 88, калия – 112, 138 и 106 мг/кг соответственно [4].

За годы наблюдений средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора было относительно стабильным: в девятом цикле – 148, в десятом – 153, в одиннадцатом – 146 мг/кг.

Средневзвешенное содержание подвижных форм калия за период с девятого по десятый цикл возросло на 26 мг/кг, с 152 до 178 мг/кг, а в одиннадцатом цикле снизилось на 15 мг/кг, до уровня 163 мг/кг. В настоящее время основным источником пополнения почвенного фонда подвижных форм фосфора и калия являются органические удобрения.

Из обследованных в одиннадцатом цикле пахотных почв основная часть (30,8 %) относилась к категории со средней (51–100 мг/кг) обеспеченностью, а 29,3 % – к категории с повышенной (101–150 мг/кг) обеспеченностью фосфором. По обеспеченности подвижными формами калия основная часть почв (41,1 %) относилась к категории с высокой (121–180 мг/кг) обеспеченностью, а 28,9 % площади – к категории с очень высокой (более 180 мг/кг) обеспеченностью (рис. 6).

По результатам одиннадцатого цикла обследования самое высокое средневзвешенное содержание подвижного фосфора (185 мг/кг) и калия (199 мг/кг) было характерно для пахотных почв МО Новооскольский район. В то же время почвы пашни МО Красненский район содержали минимальное количество подвижных форм фосфора (99 мг/кг) и калия (124 мг/кг) (рис. 7).

В целом пахотные почвы лесостепи Белгородской области являются наиболее обеспеченными в ЦЧР по содержанию подвижных форм этих макроэлементов.

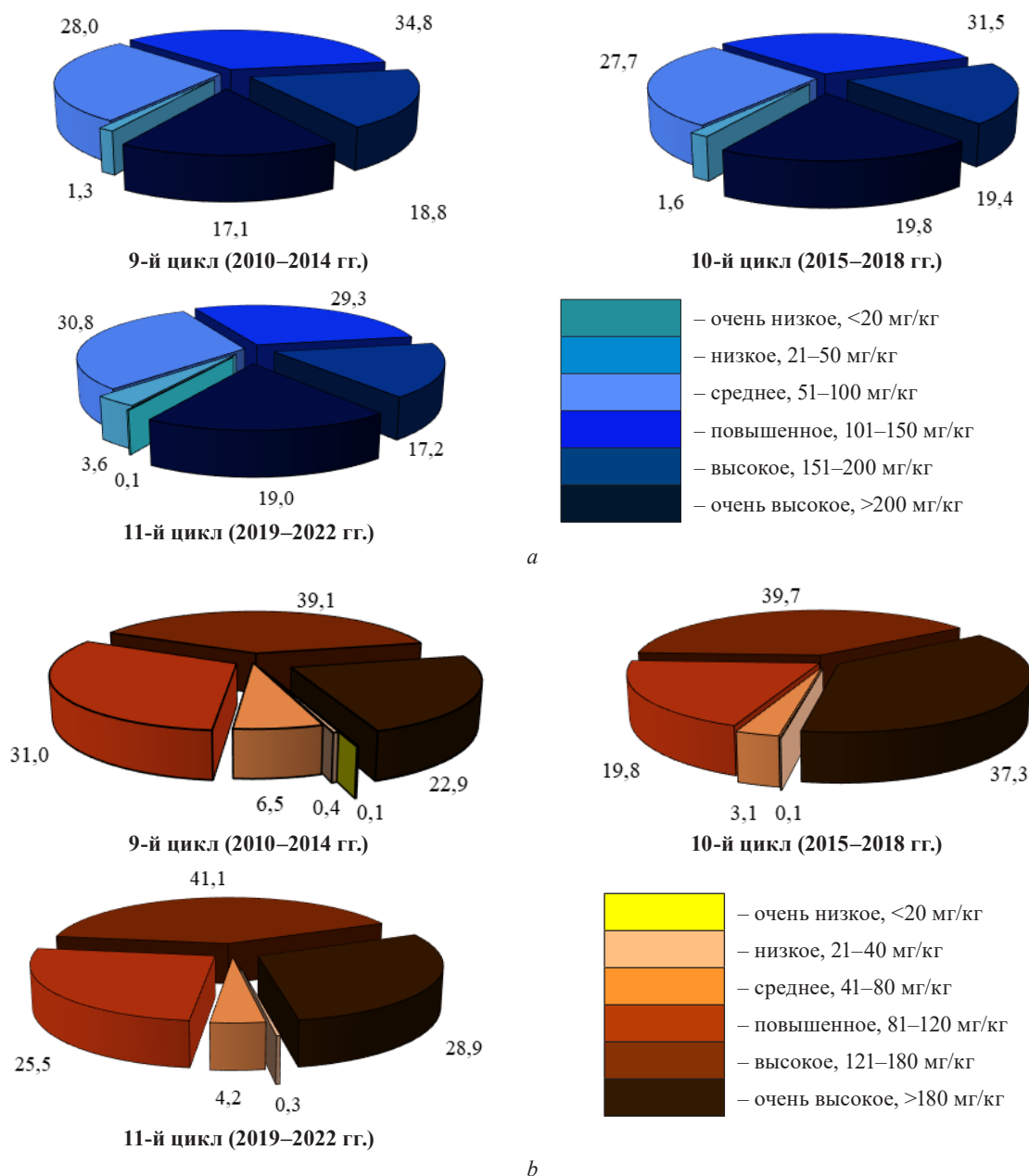


Рис. 6. Динамика распределения пахотных почв по содержанию подвижных форм фосфора (а) и калия (б), % от обследованной площади

Fig. 6. Dynamics of distribution of arable soils according to the content of mobile forms of phosphorus (a) and potassium (b), % of the surveyed area

Содержание подвижных форм серы и микроэлементов в пахотных почвах является важным параметром их агроэкологического состояния, от которого зависит урожайность сельскохозяйственных культур, а также качество растениеводческой продукции [17–19]. Факторами, негативно влияющими на экологическую устойчивость и продуктивность агроценозов, являются как низкие уровни содержания этих элементов в почвах, так и чрезмерно высокие, превышающие их предельно допустимые концентрации (ПДК) [20, 21].

Фоновый уровень содержания элементов в основном зависит от свойств почвообразующей породы и особенностей почвообразовательного процесса. Содержание подвижных форм серы и цинка в целинных черноземах типичных и выщелоченных составляет 2,3–2,9; 0,75–0,79 мг/кг соответственно и оценивается как низкое. Содержание подвижных форм меди, марганца

и кобальта в целинных черноземах выщелоченных составляет 0,19; 5,42 и 0,14 мг/кг соответственно, что также отвечает низкому уровню обеспеченности. Концентрация подвижных форм меди, марганца и кобальта в черноземах типичных несколько выше и составляет 0,24; 10,9 и 0,20 мг/кг соответственно, что характерно для среднего уровня обеспеченности.

В почвах сельскохозяйственного назначения содержание изучаемых элементов зависит не только от их фоновой концентрации, но и от уровня антропогенной нагрузки: выбросов промышленных предприятий и автотранспорта, доз внесения удобрений и мелиорантов. В Белгородской области увеличение уровня внесения органических удобрений до 10,5 т/га привело к существенному росту поступления серы и микроэлементов в почвы. Однако в результате снижения кислотности почвенного раствора за счет высоких объемов известкования в почвах образуются малорастворимые карбонаты микроэлементов, в результате чего уменьшается их подвижность и доступность для растений.

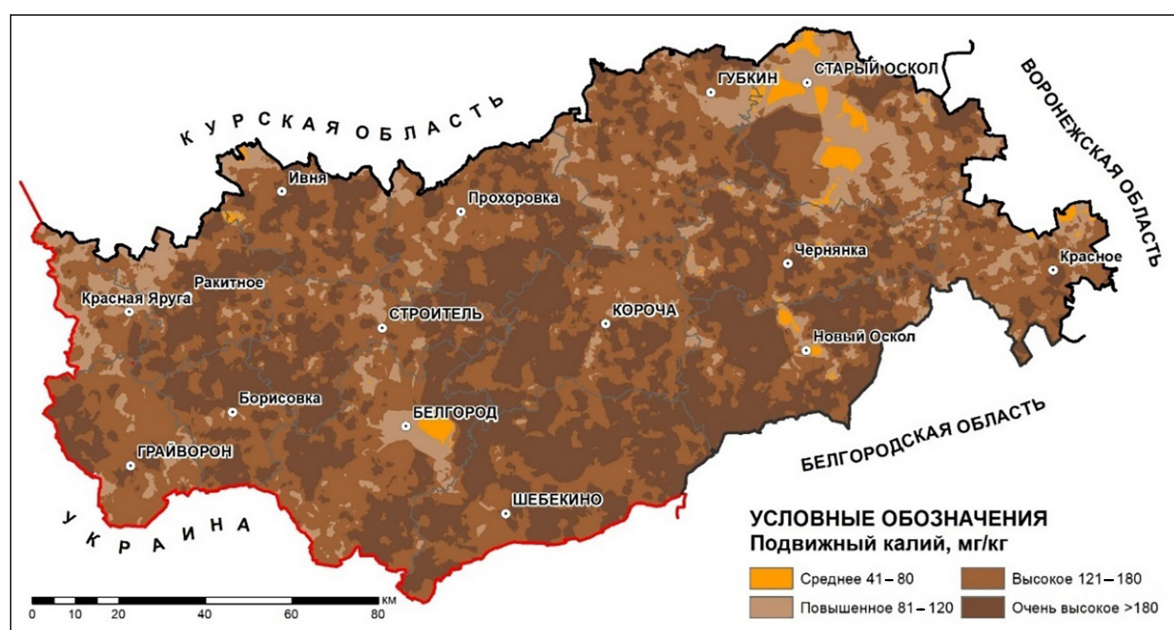
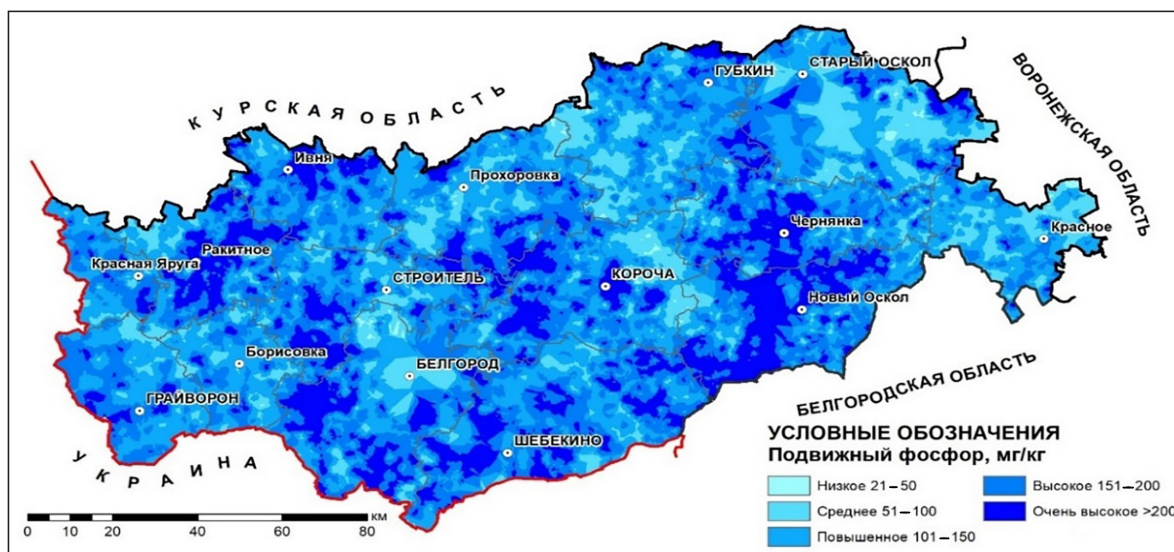


Рис. 7. Картограммы обеспеченности пахотных почв подвижными формами фосфора (а) и калия (б)

Fig. 7. Cartograms of the supply of arable soils with mobile forms of phosphorus (a) and potassium (b)

Дефицит изучаемых элементов характерен для многих регионов России. Например, в лесостепных областях ЦЧР пахотные почвы низкой группы обеспеченности подвижными формами серы, цинка и меди распространены на 90,4–95,1; 99,3–99,9; 96,4–99,5 % от обследованной площади. В Курской области почвы пашни с низким содержанием подвижных форм кобальта и марганца занимают соответственно 98,3 и 79,7 %, а в Тамбовской – 99,7 и 88,3 % от обследованной площади [4]. На почвах, низкообеспеченных серой и микроэлементами, эффективно внесение серных удобрений, например сульфата аммония и микроудобрений, содержащих дефицитные элементы. Микроудобрения рекомендуется вносить не в почву, во избежание потери их растворимости и доступности для растений, а применять для обработки семян перед посевом и проведения внекорневых подкормок.

В лесостепной зоне Белгородской области за период с девятого по одиннадцатый цикл обследований средневзвешенное содержание подвижных форм серы и марганца повысилось на 1,1 мг/кг, а доля низкообеспеченных этими элементами почв пашни снизилась на 10,2 и 15,7 % соответственно (табл. 2).

Таблица 2. Динамика распределения пахотных почв по содержанию подвижных форм серы и микроэлементов

Table 2. Dynamics of distribution of arable soils according to the content of mobile forms of sulfur and trace elements

Элемент	Годы обследования (циклы)		
	2010–2014 (9)	2015–2018 (10)	2019–2022 (11)
<i>Средневзвешенное содержание, мг/кг</i>			
Сера	2,8	3,4	3,9
Марганец	10,3	11,8	11,4
Цинк	0,55	0,55	0,54
Кобальт	0,093	0,079	0,081
Медь	0,112	0,108	0,131
<i>Группа низкой обеспеченности, % от обследованной площади</i>			
Сера (менее 6 мг/кг)	95,1	90,3	84,9
Марганец (менее 10 мг/кг)	55,3	36,9	39,6
Цинк (менее 2 мг/кг)	98,9	98,5	97,4
Кобальт (менее 0,15 мг/кг)	95,5	99,3	98,8
Медь (менее 0,2 мг/кг)	97,5	97,9	93,1
<i>Группа средней обеспеченности, % от обследованной площади</i>			
Сера (6–12 мг/кг)	3,9	8,4	12,7
Марганец (10–20 мг/кг)	40,3	58,5	58,1
Цинк (2–5 мг/кг)	1,0	1,4	2,3
Кобальт (0,15–0,3 мг/кг)	4,4	0,7	1,2
Медь (0,2–0,5 мг/кг)	2,4	2,1	6,7
<i>Группа высокой обеспеченности, % от обследованной площади</i>			
Сера (более 12 мг/кг)	1,0	1,4	2,4
Марганец (более 20 мг/кг)	4,4	4,6	2,3
Цинк (более 5 мг/кг)	0,1	0,1	0,3
Кобальт (более 0,3 мг/кг)	0,1	0,1	0,0
Медь (более 0,5 мг/кг)	0,1	0,1	0,2

Средневзвешенное содержание и обеспеченность почв подвижными формами цинка и кобальта существенно не изменились. Наблюдается тенденция повышения средневзвешенного содержания (на 0,019 мг/кг) и снижения доли почв, низкообеспеченных (на 4,4 %) подвижными формами меди.

По результатам одиннадцатого цикла обследования доли почв, низкообеспеченных подвижными формами серы, марганца, цинка, кобальта и меди, составляют 84,9; 39,6; 97,4; 98,8 и 93,1 %.

Превышения ПДК подвижных форм марганца, цинка, кобальта и меди, которые составляют соответственно 140, 23, 5 и 3 мг/кг, в почвах лесостепной зоны никогда не выявлялось.

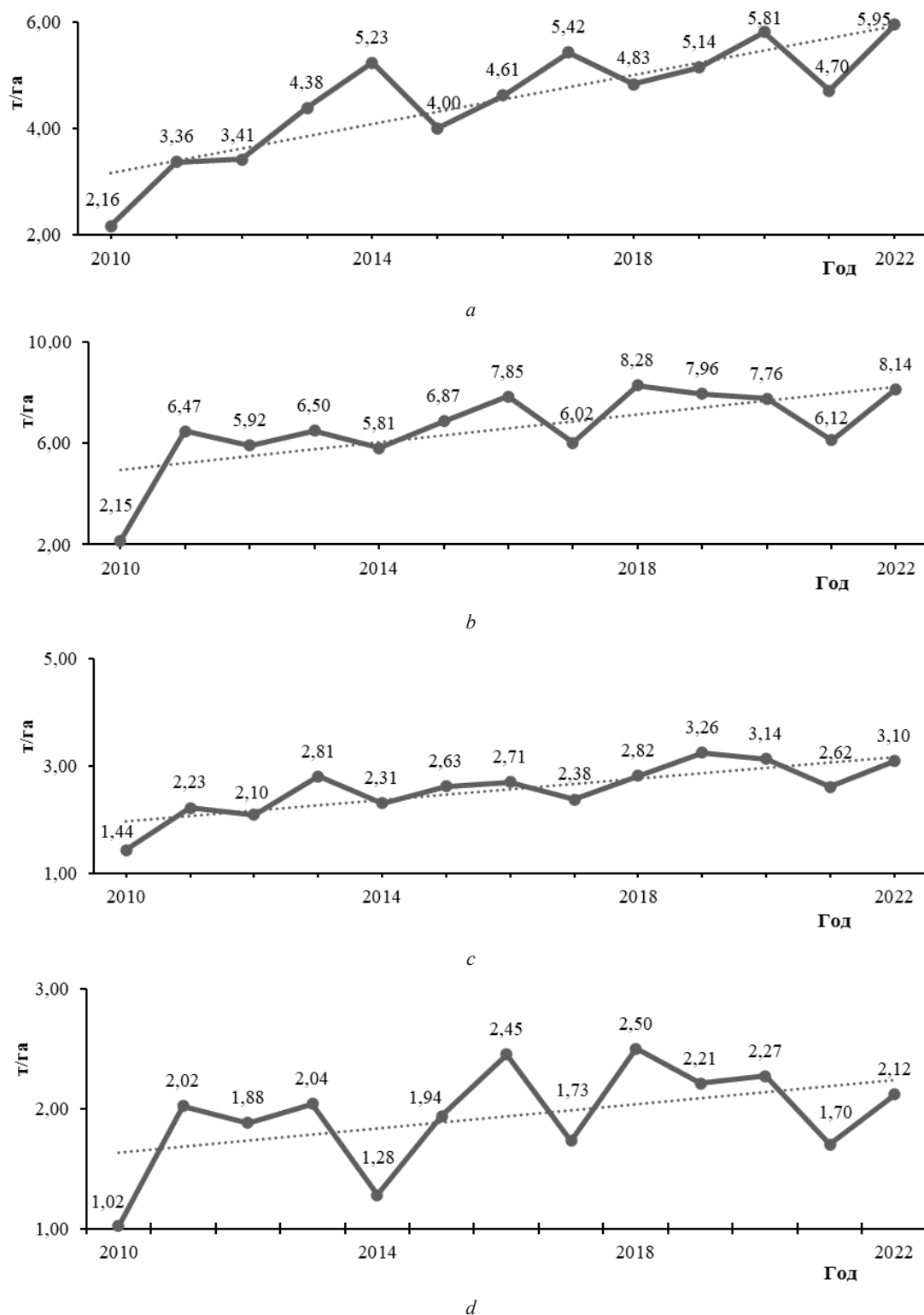


Рис. 8. Динамика урожайности озимой пшеницы (a), кукурузы на зерно (b), подсолнечника (c) и сои (d), т/га

Fig. 8. Yield dynamics of winter wheat (a), corn for grain (b), sunflower (c) and soybeans (d), t/ha

Урожайность сельскохозяйственных культур является интегральным показателем плодородия почв. В России, и, в частности, в ЦЧР, увеличение использования удобрений, внедрение высокопродуктивных сортов и гибридов, переход на современные интенсивные агротехнологии обусловили устойчивый тренд к росту урожайности сельскохозяйственных культур.

На изучаемой нами территории за 2019–2022 гг. урожайность озимой пшеницы составила 5,40, подсолнечника – 3,03, кукурузы на зерно – 7,50, сои – 2,08 т/га. По сравнению с 2010–2014 гг. урожайность озимой пшеницы увеличилась на 1,69 т/га (45,6 %), подсолнечника – на 0,85 т/га (39,0 %), кукурузы – на 2,13 т/га (39,7 %), сои – на 0,43 т/га (26,1 %) (рис. 8).

В лесостепной зоне ЦЧР в среднем за 2016–2020 гг. наиболее высокая урожайность зерна озимой пшеницы, кукурузы, сои и семян подсолнечника (4,92; 7,80; 2,17 и 2,69 т/га соответственно) была достигнута в Курской области. Самая низкая урожайность зерна озимой пшеницы (3,94 т/га) и семян подсолнечника (2,18 т/га) наблюдалась в Тамбовской, а зерна кукурузы (5,86 т/га) и сои (1,72 т/га) – в Липецкой областях¹.

Заключение. В девятом цикле агрохимического обследования (2010–2014 гг.) в среднем вносилось 99,4 кг/га минеральных и 6,3 т/га органических удобрений. В одиннадцатом цикле (2019–2022 гг.) использование минеральных удобрений увеличилось на 14,8 %, а органических – на 66,7 %, достигнув уровня 114,1 кг/га и 10,5 т/га соответственно.

Вследствие проведения широкомасштабных работ по известкованию за период с девятого по одиннадцатый цикл доля площади кислых почв снизилась на 23,3 %, с 60,9 до 37,6 %, в том числе среднекислых – на 14,1 %, с 18,2 до 4,1 %, сильнокислых – на 0,2 %, с 0,2 до 0,0 %.

В результате интенсивного применения органических удобрений, широкого использования сидерации средневзвешенное содержание органического вещества в почвах увеличилось на 0,3 %, с 5,0 до 5,3 %.

Средневзвешенное содержание подвижных форм калия возросло на 11 мг/кг, со 152 до 163 мг/кг, а подвижных форм фосфора было достаточно стабильным и в одиннадцатом цикле составило 146 мг/кг.

Доля почв, низкообеспеченных подвижными формами серы, снизилась на 10,2 %, с 95,1 до 84,9 %, марганца – на 15,7 %, с 55,3 до 39,6 %. Содержание подвижных форм цинка, меди и кобальта существенно не изменилось, и в одиннадцатом цикле доля почв, низкообеспеченных этими микроэлементами, составила 97,4; 98,8 и 93,1 % соответственно.

При достигнутом в 2019–2022 гг. уровне применения удобрений и плодородия почв урожайность озимой пшеницы увеличилась на 45,6 %, до 5,40 т/га, кукурузы – на 39,7 %, до 7,50 т/га, подсолнечника – на 39,0 %, до 3,03 т/га, сои – на 26,1 %, до 2,08 т/га.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда «Потенциал депонирования органического углерода и ресурсно-экологическая реабилитация черноземных почв в агроландшафтах» (№ 23-17-00169).

Acknowledgments. The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation “Potential for organic carbon sequestration and resource-ecological rehabilitation of black earth soils in agricultural landscapes” (No. 23-17-00169).

Список использованных источников

1. Помелова, М. А. К 175-летию со дня рождения П. А. Костычева (1845–1895) / М. А. Помелова // Агрохимия. – 2020. – № 3. – С. 94–96. <https://doi.org/10.31857/S0002188120030126>
2. Докучаев, В. В. Русский чернозем / В. В. Докучаев. – М.: Кн. по Требованию, 2012. – 559 с.
3. Апарин, Б. Ф. Признание (к 175-летию со дня рождения В. В. Докучаева) / Б. Ф. Апарин, М. К. Захарова // Бюл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. – 2021. – Спецвып. – С. 202–225. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-D-202-225>
4. Лукин, С. В. Динамика агроэкологического состояния почв Белгородской области при длительном сельскохозяйственном использовании / С. В. Лукин // Почвоведение. – 2023. – № 12. – С. 1671–1685. <https://doi.org/10.31857/S0032180X23600890>
5. Surinov, A. V. Fertility dynamics of the forest-steppe zone’s arable soils in the central chernozem region (on the example of the Prokhorovsky district of the Belgorod region) / A. V. Surinov // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2022. – Vol. 1043. – Art. 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012014>
6. Surinov, A. V. Agro-ecological assessment of the condition of arable soils of the CCR / A. V. Surinov // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2023. – Vol. 1206. – Art. 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1206/1/012011>
7. Kiryushin, V. I. The management of soil fertility and productivity of agrocenoses in adaptive-landscape farming systems / V. I. Kiryushin // Eurasian Soil Sci. – 2019. – Vol. 52, № 9. – P. 1137–1145. <https://doi.org/10.1134/S1064229319070068>
8. Савченко, Е. С. Выступление губернатора Белгородской области, члена-корреспондента РАН Е. С. Савченко / Е. С. Савченко // Вестн. Рос. акад. наук. – 2019. – Т. 89, № 5. – С. 525–526. <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895525-526>

¹ URL: <https://fedstat.ru/organizations/#> (дата обращения: 24.09.2023).

9. Соколов, М. С. Оздоровление почвы и биологизация земледелия – важнейшие факторы оптимизации экологического статуса агрорегиона (белгородский опыт) / М. С. Соколов // *Агрохимия*. – 2019. – № 11. – С. 3–16. <https://doi.org/10.1134/S0002188119110127>
10. Климатические нормы [Электронный ресурс]: фактические данные // Гидрометцентр России. – Режим доступа: <https://meteoinfo.ru/climatcities>. – Дата доступа: 24.04.2023.
11. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / под ред. Л. М. Державина, Д. С. Булгакова; [разраб.: В. Г. Сычев и др.]. – М.: Росинформагротех, 2003. – 240 с.
12. Malysheva, E. S. Application of geoinformation systems for a complex analysis of data from agrochemical and soil-erosion monitoring of soils / E. S. Malysheva // *BIO Web Conf.* – 2021. – Vol. 36. – Art. 03016. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213603016>
13. Malysheva, E. S. Complex analysis of data from agrochemical and soil-erosion monitoring using geoinformation systems / E. S. Malysheva, A. V. Malyshev, I. G. Kostin // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* – 2021. – Vol. 937. – Art. 032070. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/3/032070>
14. Костин, И. Г. Использование геоинформационных систем для анализа экологического состояния агроландшафтов / И. Г. Костин // *Моск. экон. журн.* – 2023. – Т. 8, № 2. – С. 8–21. https://doi.org/10.55186/2413046X_2023_8_2_54
15. Zavyalova, N. E. Carbon stocks and carbon protection capacity of soddy-podzolic soils in natural and agricultural ecosystems of the Cis-Ural region / N. E. Zavyalova // *Eurasian Soil Sci.* – 2022. – Vol. 55, № 8. – P. 1140–1147. <https://doi.org/10.1134/S1064229322080166>
16. Динамика свойств почв и экосистемные запасы углерода при разных типах землепользования (средняя тайга Карелии) / И. А. Дубровина [и др.] // *Почвоведение*. – 2022. – № 9. – С. 1112–1125. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22090052>
17. Побилат, А. Е. Мониторинг микроэлементов в почвах (обзор) / А. Е. Побилат, Е. И. Волошин // *Микроэлементы в медицине*. – 2021. – Т. 22, № 4. – С. 14–26. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2021-22-4-14-26>
18. Левшаков, Л. В. Сера в почвах Курской области / Л. В. Левшаков, В. В. Пироженов // *Агрохим. вестн.* – 2022. – № 3. – С. 49–53. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-3-009>
19. Жуйков, Д. В. Сера и микроэлементы в агроценозах (обзор) / Д. В. Жуйков // *Достижения науки и техники АПК*. – 2020. – Т. 34, № 11. – С. 32–42. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11105>
20. Lukin, S. V. Content and balance of trace elements (Co, Mn, Zn) in agroecosystems of the Central Chernozemic region of Russia / S. V. Lukin, D. V. Zhuikov // *Agriculture*. – 2022. – Vol. 12, № 2. – Art. 154. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020154>
21. Жуйков, Д. В. Мониторинг содержания микроэлементов (Mn, Zn, Co) в агроценозах юго-западной части Центрально-Черноземного района России / Д. В. Жуйков // *Земледелие*. – 2020. – № 5. – С. 9–13. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10503>

References

1. Pomelova M. A. To the 175th anniversary of the birth of P. A. Kostychev (1845–1895). *Agrokhimiya* [Agrochemistry], 2020, no. 3, pp. 94–96 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188120030126>
2. Dokuchaev V. V. *Russian chernozem*. Moscow, Kniga po trebovaniyu Publ., 2012. 559 p. (in Russian).
3. Aparin B. F., Zakharova M. K. Recognition (to the 175th anniversary of the birth of V. V. Dokuchaev). *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V. V. Dokuchaeva = Dokuchaev Soil Bulletin*, 2021, spec. iss., pp. 202–225 (in Russian). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2021-D-202-225>
4. Lukin S. V. Dynamics of agroecological state of soils in the Belgorod region during long-term agricultural use. *Eurasian Soil Science*, 2023, vol. 56, no. 12, pp. 1986–1998. <https://doi.org/10.1134/S1064229323602123>
5. Surinov A. V. Fertility dynamics of the forest-steppe zone's arable soils in the central chernozem region (on the example of the Prokhorovsky district of the Belgorod region). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 1043, art. 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012014>
6. Surinov A. V. Agro-ecological assessment of the condition of arable soils of the CCR. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2023, vol. 1206, art. 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1206/1/012011>
7. Kiryushin V. I. The management of soil fertility and productivity of agroecosystems in adaptive-landscape farming systems. *Eurasian Soil Science*, 2019, vol. 52, no. 9, pp. 1137–1145. <https://doi.org/10.1134/S1064229319070068>
8. Savchenko E. S. Speech of the governor of the Belgorod region, the corresponding member of the Russian Academy of Sciences E. S. Savchenko. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk* [Herald of the Russian Academy of Sciences], 2019, vol. 89, no. 5, pp. 525–526 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895525-526>
9. Sokolov M. S. Soil rehabilitation and biologization of agriculture – impotent factors optimizing the ecological status of the region (Belgorod experience). *Agrokhimiya* [Agrochemistry], 2019, no. 11, pp. 3–16 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S0002188119110127>
10. Climate norms: actual data. *Hydrometcenter of Russia*. Available at: <https://meteoinfo.ru/climatcities> (accessed 24.04.2023) (in Russian).
11. Derzhavin L. M., Bulgakov D. S. (eds.). *Methodological guidelines for comprehensive monitoring of soil fertility of agricultural lands*. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2003. 240 p. (in Russian).

12. Malysheva E. S. Application of geoinformation systems for a complex analysis of data from agrochemical and soil-erosion monitoring of soils. *BIO Web of Conferences*, 2021, vol. 36, art. 03016. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213603016>
13. Malysheva E. S., Malyshev A. V., Kostin I. G. Complex analysis of data from agrochemical and soil-erosion monitoring using geoinformation systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 937, art. 032070. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/3/032070>
14. Kostin I. G. The use of geoinformation systems for the analysis of the ecological state of agricultural landscapes. *Moskovskii ekonomicheskii zhurnal = Moscow Economic Journal*, 2023, vol. 8, no. 2, pp. 8–21 (in Russian). https://doi.org/10.55186/2413046X_2023_8_2_54
15. Zavyalova N. E. Carbon stocks and carbon protection capacity of soddy-podzolic soils in natural and agricultural ecosystems of the Cis-Ural region. *Eurasian Soil Science*, 2022, vol. 55, no. 8, pp. 1140–1147. <https://doi.org/10.1134/S1064229322080166>
16. Dubrovina I. A., Moshkina E. V., Tuyunen A. V., Genicova N. V., Karpechko A. Yu., Medvedeva M. V. Dynamics of soil properties and ecosystem carbon stocks for different types of land use (middle taiga of Karelia). *Eurasian Soil Science*, 2022, vol. 55, no. 9, pp. 1209–1221. <https://doi.org/10.1134/s1064229322090046>
17. Pobilat A. E., Voloshin E. I. Monitoring of trace elements in soils (review). *Mikroelementy v meditsine = Trace Elements in Medicine*, 2021, vol. 22, no. 4, pp. 14–26 (in Russian). <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2021-22-4-14-26>
18. Levshakov L. V., Pirozhenko V. V. Sulphur in soils in the Kursk region. *Agrokhimicheskii vestnik = Agrochemical Herald*, 2022, no. 3, pp. 49–53 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-3-009>
19. Zhuikov D. V. Sulphur and trace elements in agrocenoses (review). *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2020, vol. 34, no. 11, pp. 32–42 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11105>
20. Lukin S. V., Zhuikov D. V. Content and balance of trace elements (Co, Mn, Zn) in agroecosystems of the Central Chernozemic region of Russia. *Agriculture*, 2022, vol. 12, no. 2, art. 154. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020154>
21. Zhuikov D. V. Monitoring of the content of trace elements (Mn, Zn, Co) in agrocenoses of the southwestern part of Central Chernozem region of Russia. *Zemledelie*, 2020, no. 5, pp. 9–13 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10503>

Информация об авторах

Лукин Сергей Викторович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой агроэкологии, Белгородский государственный национальный исследовательский университет (ул. Победы, 85, 308015, Белгород, Российская Федерация). Researcher ID: IZD-7722-2023, <https://orcid.org/0000-0003-0986-9995>. E-mail: serg.lukin2010@yandex.ru

Суринов Артем Владимирович – заведующий лабораторией агрохимического обследования отдела мониторинга почв, Центр агрохимической службы «Белгородский» (ул. Щорса, 8, 308027, Белгород, Российская Федерация). Researcher ID: KFT-3193-2024, <https://orcid.org/0009-0002-0083-5027>. E-mail: Surinoff.2012@yandex.ru

Information about the authors

Sergei V. Lukin – Dr. Sc. (Agriculture), Professor, Head of the Agroecology Department, Belgorod State National Research University (85, Pobedy Str., 308015, Belgorod, Russian Federation). Researcher ID: IZD-7722-2023, <https://orcid.org/0000-0003-0986-9995>. E-mail: serg.lukin2010@yandex.ru

Artem V. Surinov – Head of the Laboratory of Agrochemical Inspection of Soil Monitoring Department, Belgorod Center for Agrochemical Service (83, Shchors Str., 308027, Belgorod, Russian Federation). Researcher ID: KFT-3193-2024, <https://orcid.org/0009-0002-0083-5027>. E-mail: Surinoff.2012@yandex.ru