

**О БАЛАНСЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ РОССИИ****В.Г. Сычев, акад. РАН, С.А. Шафран, д.с.-х.н., ВНИИА**

*Проанализированы данные по балансу питательных веществ в земледелии России за 50-летний период, который характеризовался различными уровнями применения минеральных и органических удобрений. В годы интенсивной химизации (1966-1990 гг.) поступление питательных веществ в почву превышало их вынос урожаями. За 25 лет было внесено сверх выноса урожаями более 38 млн т NPK, что дало возможность сократить долю почв с низким содержанием подвижного фосфора с 51 до 22%, подвижного калия с 16 до 9%. Благодаря этому потенциальная продуктивность пашни без внесения удобрений возросла на 10%, что составляет около 10 млн т со всей посевной площади зерновых культур. Резкое снижение уровня применения удобрений в дальнейшем повлекло за собой значительные изменения в структуре баланса питательных веществ. С 1991 по 2015 гг. дефицит NPK составил 144,5 млн т, т.е. значительная часть урожая стала формироваться за счет почвенных запасов. В результате доля пахотных почв достаточно обеспеченных подвижным фосфором снизилась на 4,4%, а удельный вес почв с низким и средним содержанием гумуса увеличился с 76 до 81%. Для получения к 2030 г. валового сбора зерна 145-150 млн т необходимо вносить под зерновые культуры ежегодно не менее 7,4 млн т NPK. Применение такого количества удобрений позволит собрать намеченный урожай и способствовать повышению плодородия почв.*

*Ключевые слова: баланс питательных веществ, минеральные удобрения, плодородие почв, прогноз, валовой сбор зерна.*

Известно, что с каждым урожаем растения выносят из почвы питательные вещества и если эти потери не восполняются, то происходят истощение почвы и снижение урожаев. Об этом Д.Н. Прянишников писал еще в первой половине прошлого века. Опираясь на многолетний опыт Западной Европы, он отмечал, что там получали более высокие урожаи не за счет лучших климатических и почвенных условий, а благодаря труду и знаниям, вложенным в формирование плодородия почв, естественное состояние которых по своей природе хуже чем в России [1]. В начале это было введение плодосмена, затем - применение азотных удобрений: сперва исключительно их, а потом преимущественно. Только переход от зернового трехполья к плодосмену с культурой клевера привел постепенно, через несколько десятилетий, к удвоению урожаев по сравнению со средневековым уровнем - с 6-7 до 13-17 ц/га. Этот уровень продержался достаточно долго и только под влиянием внесения минеральных удобрений последовало еще более быстрое повышение урожаев, составлявшее трех- и четырехкратную величины по сравнению с исходными. К этому времени урожайность зерновых культур в странах Западной Европы составляла 24,3-31,8 ц/га. В 1937 г. вынос азота урожаями возмещался в Германии на 80%, в Дании на 91, в США на 83, а в СССР на 31% [1]. В 1940 г. вынос азота в земледелии СССР возмещался на 26%, фосфора на 32 и калия на

24%, т.е. значительная часть урожая формировалась за счет потребления питательных веществ из почвенных запасов, в то время как опыт Западной Европы показывал, что для систематического роста урожаев необходимо возвращать азот и калий примерно на 80%, фосфор на 100-110%.

В России минеральные удобрения сыграли важную роль в развитии земледелия. Первоначально позитивные сдвиги наблюдались в хлопкосеющих и чаеводческих регионах, куда минеральные удобрения направляли целевым назначением. Например, увеличение применения минеральных удобрений под хлопчатник с 0,15 ц/га в 1932 г. до 5,65 ц/га повысило урожайность хлопка-сырца с 8,9 до 17,0 ц/га. Подобное наблюдалось и при внесении минеральных удобрений под чай. Применение удобрений с 1,3 до 51 тыс. т способствовало увеличению сбора чайного листа с 891 до 2252 кг/га. Вместе с тем, под остальные сельскохозяйственные культуры минеральные удобрения вносили в незначительных количествах, что не могло существенно повлиять на прирост урожайности растениеводческой продукции.

Только во второй половине 20 в. в нашей стране стала развиваться бурными темпами промышленность по производству минеральных удобрений. С 1966-1970 по 1986-1990 гг. их применение в России почти утроилось и составило в среднем 22 кг/га пашни, тем не менее этого количества удобрений было недостаточно для того, чтобы обеспечить значительное повышение урожайности сельскохозяйственных культур и повысить почвенное плодородие. К этому времени в стране уже была создана Государственная агрохимическая служба и началось регулярное обследование почв сельскохозяйственных угодий на содержание в них питательных веществ. Первые результаты показали, что большинство почв России неудовлетворительно обеспечены подвижным фосфором и значительная часть подвижным калием (Нечерноземная зона). Следовательно, обширная территория нуждалась в повышении плодородия почв, а для этого необходимы данные по приходу и расходу питательных веществ в земледелии. Определение баланса азота, фосфора и калия, выполненное в целом по России за 1967 г., показало, что отчуждение этих питательных веществ с урожаем намного превышало их поступление в почву с удобрениями. Дефицит азота составил 43%, фосфора 29 и калия 63%. В это же время в Англии, Голландии, Швейцарии и других странах Западной Европы с минеральными и органическими удобрениями вносилось больше элементов питания, чем отчуждалось с товарной продукцией [2].

В последующие годы применение минеральных и органических удобрений постепенно возрастало. В среднем за 1986-1990 гг. в почву внесли в 3,6 раза больше азотных удобрений по сравнению с 1966-1970 гг., фосфорных в 5 раз и калийных в 3,3 раза. За этот же период поступление азота в почву увеличилось в 2,2 раза, фосфора и калия в 2,3 раза (рис.1). В результате улучшился баланс питательных веществ в земледелии

страны. Начиная с 1976 г. баланс азота стал положительным, т.е. его поступление в почву превысило вынос урожаями. Еще более благоприятно складывалась ситуация с фосфором, внесение которого в почву с минеральными и органическими удобрениями превосходило его вынос урожаями, начиная уже с 1971 г. Баланс калия за весь период исследований, исключая 1981-1985 гг., характеризовался как дефицитный. Возмещение выноса  $K_2O$  урожаями колебалось от 16 до 93%. Лишь в первой половине 80-ых годов приходная статья баланса калия равнялась расходной.

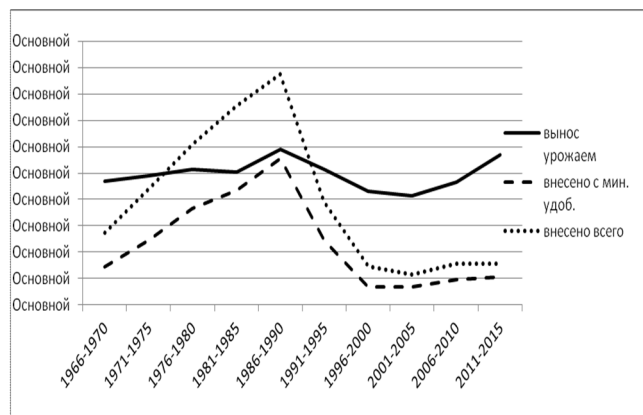


Рис. 1. Динамика баланса питательных веществ (NPK) в земледелии России, млн т (в среднем за год)

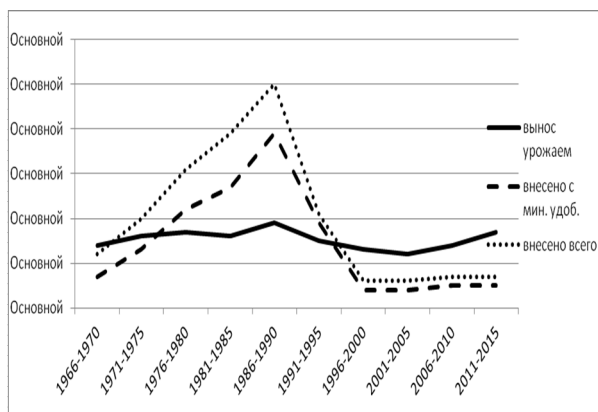


Рис. 2. Динамика баланса фосфора в земледелии России, млн т (в среднем за год)

В 1975 г. закончился первый цикл агрохимического обследования пахотных почв, согласно которому 51% пашни характеризовался очень низким и низким содержанием подвижного фосфора, и распределение его по территории было крайне неравномерным. В нечерноземной зоне Центрального федерального округа таких площадей 62%, в Волго-Вятской зоне Приволжского федерального округа и на Северном Кавказе 65, в Уральском 78 и в Дальневосточном 83%. В то же время в Западной Сибири преобладали почвы с высоким содержанием подвижного фосфора (44%), а с низкой обеспеченностью только 17%.

Полученные результаты агрохимического обследования почв стали научной основой для целенаправленной организации работ по повышению их плодородия. С этой целью основными институтами агрохимического профиля ВИУА и ЦИНАО было подготовлено более 10 документов, регламентирующих дозы удобрений под важнейшие сельскохозяйственные культуры и сроки их внесения. Наряду с этим было разработано не-

сколько целевых программ по повышению плодородия почв, в которых особое внимание уделялось фосфатной проблеме. Её решение осуществляли двумя путями. Во-первых, дифференциацией доз фосфора в зависимости от содержания  $P_2O_5$  в почвах. При низкой и средней обеспеченности почв подвижным фосфором внесение должно было превышать вынос планируемым урожаем, на достаточно обеспеченных равняться выносу, а на высокообеспеченных почвах внесение фосфорных удобрений не планировалось. Во-вторых, на почвах с низким содержанием подвижного фосфора и кислой реакцией почвенной среды рекомендовалось вносить фосфоритную муку в дозах 300-800 кг/га  $P_2O_5$  за один прием, что позволяет быстро повысить запас подвижных фосфатов в почве и довести их до намеченного уровня.

Такой прием получил название фосфоритование и широко использовался при проведении работ по комплексному агрохимическому окультуриванию полей (КАХОП). Это дало возможность в короткий срок перевести малоплодородные почвы в более высокую категорию.

В отличие от фосфора пахотные почвы страны характеризуются более высоким содержанием подвижного калия. Результаты первого цикла агрохимического обследования показали, что только 16% площадей относилось к категории низкообеспеченных и основная их доля приходилась на почвы Нечерноземной зоны. По состоянию на 1 января 1971 г. таких площадей было почти 40%. В связи с этим, основной поток калийных удобрений направлялся в эту зону, что позволило создать за 25-летний период в земледелии данного региона положительный баланс калия и снизить удельный вес пашни с низким содержанием  $K_2O$  до 22%.

Таким образом, за 25 лет планомерного и целенаправленного применения удобрений произошли заметные позитивные изменения в плодородии почв страны.

Доля пашни с низким содержанием подвижного фосфора в целом по стране снизилась до 22 %, подвижного калия - до 9%. Улучшение агрохимических свойств почв способствовало повышению потенциальной продуктивности пахотных почв. Согласно расчетам, выполненным по региональным нормативам окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур [3], в 1971 г. без внесения минеральных удобрений в среднем по России можно было ожидать урожайность зерновых культур 16,5 ц/га, в Нечерноземной зоне - 14,1, в 1996 г. - 18,4 и 22,7 ц/га соответственно [4].

Начиная с 90-ых годов прошлого века положение коренным образом изменилось. Применение минеральных удобрений резко сократилось. Баланс питательных веществ в земледелии страны стал складываться со значительным превышением выноса над их поступлением в почву. За 25 лет (с 1991 по 2015 г.) дефицит азота составил -56,3 млн т, фосфора -12,3, калия -75,9, а всего -144,5 млн т, или 40 кг/га в год (табл. 1). Это означает, что больше половины полученного в этот период урожая формировалось за счет почвенных запасов, и уже наметилась тенденция к снижению содержания питательных веществ в пашне России. В масштабе страны это пока не очень заметно. Однако, в отдельных регионах изменения существенны. В первую очередь это касается Нечерноземной зоны, где в отдельных её регионах снижение степени обеспеченности почв питатель-

ными веществами очевидно. Вследствие этого в этих регионах вероятность получения потенциально возможных урожаев зерновых культур снизилась на 5,1-7,3 ц/га [5]. В целом по зоне средняя потенциально возможная урожайность зерновых культур без применения удобрений снизилась на 1,3 ц/га, и если положение не улучшится, то деградация почв по агрохимическим показателям будет продолжаться.

**1. Баланс питательных веществ в земледелии России, млн т  
(в сумме за 25 лет)**

Питательные вещества	1966-1990 гг.			1991-2015 гг.		Баланс (±)
	Поступление	Вынос	Баланс (±)	Поступление	Вынос	
Азот	124,5	104,8	19,7	45,2	101,5	-56,3
Фосфор	76,2	40,6	35,4	23,1	35,4	-12,3
Калий	94,8	111,9	-17,1	26,6	102,5	-75,9
Всего	295,5	257,3	38,2	94,9	239,4	-144,5

Особую озабоченность вызывает ситуация с балансом фосфора, поскольку за последние 25 лет вынос этого элемента урожаем превысил его поступление в почву более, чем на 12 млн т, что является предпосылкой снижения содержания подвижного фосфора в почвах.

В первую очередь это касается регионов Нечерноземной зоны, где распространены менее буферные почвы, которые быстрее по сравнению с черноземами реагируют на «сдвиг» в сторону как увеличения, так и снижения запасов подвижных форм фосфора. По данным длительных полевых опытов Геосети ВНИИА, каждые вынесенные из дерново-подзолистых почв сверх поступления 50-100 кг/га фосфора приводят к снижению содержания  $P_2O_5$  на 10 мг/кг почвы, из серых лесных почв выносятся 80-125 кг/га, из карбонатных черноземов в зависимости от исходного содержания подвижного фосфора - 102-511 кг/га [6]. Уже наметилась устойчивая тенденция в целом по России к увеличению доли пахотных почв, недостаточно обеспеченных подвижным фосфором и соответственно сократилась доля достаточно обеспеченных.

Такой сценарий развития событий крайне нежелателен, поскольку уровень обеспеченности почв подвижным фосфором оказывает многостороннее влияние на рост и развитие растений. Увеличение содержания  $P_2O_5$  в почве, с одной стороны, обеспечит прирост урожайности, с другой, – способствует повышению эффективности азотных удобрений.

Согласно нашему прогнозу, последствие ранее внесенных фосфорсодержащих удобрений может продлиться до 2030 г., если уровень продуктивности пашни сохранится. При более благоприятных погодных условиях, как например в 2016 г., вынос урожаем фосфора возрастет, что ускорит процесс обеднения почв подвижным фосфором.

При этом данный процесс коснется не только Нечерноземной зоны, но и регионов с черноземными почвами. К настоящему времени в остальной части России за последние годы доля снижения почв, достаточно обеспеченных подвижным фосфором, снизилась на 4,4%, а в Нечерноземной зоне - на 3,8%. Особое внимание следует обратить на это в Краснодарском крае, в котором ежегодно выносятся с урожаем из почвы около 50 кг/га  $P_2O_5$ , а его компенсация не превышает 50%. Следовательно, около 25-30 кг/га ежегодно отчуждается из почвы, что ведет к снижению степени обеспеченности почв

подвижным фосфором. Наиболее высокое содержание  $P_2O_5$  зафиксировано по состоянию на 01.01.1996, равное 38 мг/кг, что относится к среднему уровню, согласно группировке, принятой в агрохимической службе России. К 2010 г. почвы края перешли в группу низкообеспеченных подвижным фосфором. Высокие урожаи зерновых культур, полученные в последней пятилетке, особенно в 2016 г., усилят дальнейшее обеднение почв фосфором.

Баланс калия в течение всего анализируемого периода складывался с большим дефицитом. Несмотря на высокий вынос  $K_2O$  урожаями, применение калийных удобрений всегда отставало от азотных и фосфорных. Наибольшее количество калийных удобрений было внесено в 1986-1990 гг. - около 20 кг/га. Затем произошел резкий спад поставок калия на внутренний рынок и последние 25 лет средняя доза  $K_2O$  равнялась 1-2 кг/га. Ежегодный дефицит калия в земледелии страны колебался от 16 до 36 кг/га и составил за 25 лет 650 кг/га. В результате за это время доля пашни в Нечерноземной зоне с низким содержанием подвижного калия выросла на 4,9%, а с высоким – уменьшилась на 5,8%. В Северотаежной зоне содержание подвижного калия снизилось со 128 до 91 мг/кг. Аналогичная картина наблюдалась в Среднетаежной, Южнотаежной и даже Лесостепной зонах [7].

На более буферных почвах, характеризующихся высоким содержанием калия (черноземы, каштановые почвы), при отрицательном балансе не отмечено снижение содержания подвижного калия. Среднее содержание  $K_2O$  в зонах распространения таких почв находится в пределах повышенной, высокой и очень высокой степеней обеспеченности. В связи с этим, определенный дефицит  $K_2O$  в земледелии здесь допустим и оправдан с экономической и экологической точек зрения, но следует иметь в виду, что при систематическом дефиците пополнение запасов подвижного калия в почвах происходит за счет его необменных форм. Однако эти запасы не беспредельны и наступит момент, когда процесс станет необратимым, поскольку ресурсы доступного растениями калия ограничены на всех типах почв и последние не смогут поддерживать своё исходное состояние [8].

В настоящее время применение азотных удобрений заметно превалирует над фосфорными и калийными, но тем не менее такого количества недостаточно для компенсации существующего размера выноса урожаем азота из почвы. В среднем дефицит азота за последние 25 лет составил около 20 кг/га, или 56 млн т. Это означает, что значительная часть урожаев сформирована за счет азота почвы и если его не восполнять это приведет к её обеднению не только минеральным азотом, но и гумусом.

Результаты агрохимического обследования пахотных почв показали, что по состоянию на 1 января 1996 г. в целом по России доля пашни с низким и средним содержанием гумуса выросла с 76 до 81%. В регионах, получающих наиболее высокие урожаи подобные изменения больше заметны. В Краснодарском крае удельный вес таких почв увеличился с 80 до 100%, в Ставропольском – с 86 до 99, в Ростовской области с 90 до 100, в Татарстане с 56 до 74, в Московской области с 74 до 100% [9].

Согласно долгосрочному прогнозу социально-экономического развития страны на период до 2030 г.,

поставлена задача увеличить производство зерна до 145-150 млн т. Для этого потребуется увеличить применение минеральных удобрений до 7,4 млн т в том числе 3,2 азотных, по 2,1 фосфорных и калийных. Это позволит получить урожайность зерновых культур 30 ц/га и улучшить агрохимические показатели почв России (табл. 2). Важное место в решении этой проблемы должно занять освоение интенсивных технологий возделывания зерновых культур, суть которых заключается в получении планируемой урожайности путем планомерного управления продукционным процессом, обеспечивающим оптимальное питание растений и их защиту от вредителей, болезней, сорных растений и полегания стеблей. С повышением интенсификации производства должны не только повыситься применение удобрений и пестицидов, но и соблюдаться общая культура земледелия, включая чередование культур в севооборотах, обработку почвы, качество семенного материала и использование сортов интенсивного типа.

**2. Прогноз баланса питательных веществ в земледелии России к 2030 г., кг/га пашни**

Статья баланса	Азот	Фосфор	Калий	Всего
Вынос урожаями	52,8	18,3	52,9	124,0
Поступление в почву, всего	60,3	40,3	41,2	141,8
В том числе с минеральными удобрениями	45,9	37,3	37,3	120,5
Баланс	7,5	22,0	-11,7	17,8

Прогноз прихода и расхода питательных веществ в земледелии России, рассчитанный до 2030 г., свидетельствует о том, что благодаря внесению удобрений в указанном количестве баланс азота будет близок к уравновешенному, внесение фосфора позволит перевести через 8-9 лет почвы с низким и средним содержанием  $P_2O_5$  в более высокую категорию. Небольшой дефицит калия (около 25%) будет способствовать существенному улучшению калийного режима почв. Это в первую очередь касается дерново-подзолистых почв, на которых положительный баланс калия позволит трансформировать их в более плодородные.

**Заключение.** В годы интенсивной химизации (1966-1990 гг.) баланс питательных веществ в земледелии России складывался положительно, их внесение в почву превышало вынос урожаями. За 25 лет превышение прихода над расходом составило более 38 млн т NPK, что позволило снизить долю почв с низким содержанием  $P_2O_5$  с 51 до 22%,  $K_2O$  с 16 до 9%. Благодаря этому возросла нормативная продуктивность пашни, которую можно получить без внесения удобрений, с 16,5 ц/га в

1971 г. до 18,4 ц/га в 1996 г. Одновременно улучшение агрохимических свойств способствовало повышению эффективности азотных удобрений на 15%.

Начиная с 90-ых годов прошлого века, положение коренным образом изменилось. Применение минеральных удобрений резко сократилось. Баланс питательных веществ в земледелии страны стал складываться со значительным превышением над их поступлением в почву. За 25 лет (с 1991 по 2015 гг.) дефицит азота составил 56,3 млн т, фосфора 12,3, калия 75,9, (всего 144,5 млн т), т. е. значительная часть урожая стала формироваться за счет почвенных запасов. В масштабе страны это не очень заметно, тем не менее по состоянию на 1 января 2010 г. удельный вес достаточно обеспеченных подвижным фосфором почв снизился на 4,4%, количество пашни с низким и средним содержанием гумуса увеличилось с 76 до 81%. В регионах, получающих более высокие урожаи, подобные изменения заметнее. В Краснодарском крае доля таких почв возросла с 80 до 100%, в Ставропольском – с 86 до 100, в Ростовской области с 90 до 100, в Татарстане с 56 до 74%.

Для того, чтобы к 2030 г. собрать 145-150 млн т зерна необходимо внести под зерновые культуры 7,4 млн т минеральных удобрений, в том числе 3,2 млн т азотных, по 2,1 млн т фосфорных и калийных. Это не только позволит получить намеченную урожайность, но и будет способствовать повышению плодородия почв.

#### Литература

1. Д.Н. Прянишников. Азот в жизни растений и земледелии СССР. - М.: АН СССР, 1945. - 197 с.
2. А.В. Постников, С.А. Шафран. Баланс питательных веществ// Земледелие. - 1968. - №10. - С.21-25.
3. В.Г. Сычев, А.А. Завалин, С.А. Шафран и др. Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур. - М.: ВНИИА, 2016. - 95 с.
4. С.А. Шафран. Динамика плодородия почв Нечерноземной зоны и его резервы// Агрохимия. - 2016. - №8. - С.3-11.
5. В.Г. Сычев, С.А. Шафран, Т.М. Духанина. Прогноз потребности сельского хозяйства России в минеральных удобрениях к 2030 г// Плодородие. - 2016. - №2. - С. 5-7.
6. Ю.И. Касицкий, А.А. Лупина. Эффективность возрастающих доз фосфорных удобрений в зависимости от времени взаимодействия с различными типами почв в одинаковых климатических условиях // Совершенствование методологии исследований фосфорного режима, оптимизации фосфорного питания растений и баланс фосфора в агроэкосистемах. Сб. докл. симпозиума. ВНИПТИХИМ, 1999. - С.74-90.
7. В.Г. Сычев. Основные ресурсы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь. - М.: ЦИНАО, 2003. - 228 с.
8. В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин. Калий и калийные удобрения. - М.: Ледум, 2000. - 185 с.
9. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации (по состоянию на 1 января 2010 г.). - М.: ВНИИА, 2013. - 208 с.

#### BALANCE OF NUTRIENTS IN RUSSIAN AGRICULTURE

**V.G. Sychev, S.A. Shafran, Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry, Russian Academy of Sciences, ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia, info@vniia-pr.ru**

Data on the balance of nutrients in Russian agriculture were analyzed for the 50-year-long period characterized by different levels of organic and mineral fertilization. In the years of intensive chemicalization (1966–1990), the input of nutrients into the soil exceeded their removal by crops. More than 38 million tons NPK in excess of its removal by crops was applied during 25 years, which allowed reducing the share of soils with the low content of available phosphorus from 51 to 22% and the share of soils with the low content of exchangeable potassium from 16 to 9%. Thus, the potential productivity of plowland without fertilization increased by 10%, which corresponds to 10 million tons from the total cereal crop area. The abrupt decrease in the fertilization level significantly affected the structure of nutrient balance later on. From 1991 to 2015, the deficit of NPK was 144.5 million tons; i.e., a significant part of crop was formed due to soil reserves. As a result, the share of arable soils with sufficient phosphorus supply decreased by 4.4%, and the proportion of soils with low and medium humus content increased from 76 to 81%. To obtain a gross grain yield of 145–150 million tons in 2030, no less than 7.4 million tons NPK should be applied annually for cereal crops. The application of this amount of fertilizers will allow obtaining the planned crop yield and favor the increase in soil fertility.

Keywords: nutrient balance, mineral fertilizers, soil fertility, prognosis, gross grain yield.