

УДК 632.155:574

ДИНАМИКА ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ И ПОТЕРИ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЛЯХ БЕЛАРУСИ

О. Л. ЛОМОНОС¹⁾, М. М. ЛОМОНОС²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
ул. Петруся Бровки, 6, 220013, г. Минск, Беларусь

²⁾ИООО «Рапуль Бел»,
ул. Рождественская, 5А, 223043, д. Цнянка, Минский район, Минская область, Беларусь

В исследовании приведены результаты сравнительного анализа статистических данных Национального статистического комитета Республики Беларусь за пятилетний период (2017–2021 гг.) по внесению минеральных удобрений на сельскохозяйственных землях Беларуси, рассчитаны и представлены потери основных элементов питания (азота, фосфора, калия) при их применении. Произведен расчет продуктивности сельскохозяйственных культур, на основании чего установлены показатели выноса элементов питания с урожаем. Определена разница между приходной и расходной частями элементов питания с целью оценки влияния вносимых минеральных удобрений на окружающую среду. Согласно представленным данным, наблюдается снижение внесения минеральных удобрений по сравнению с предыдущим периодом (2012–2016 гг.) на 59 кг/га д. в. Расчет структуры статей расхода азота в среднем по республике за 2017–2021 гг. показывает, что значительная часть азота (72 % от общего количества) идет на формирование урожайности сельскохозяйственных культур, а оставшееся его количество составляют газообразные потери (21 %), потери от выщелачивания (6 %) и эрозии почв (1 %). Практически весь фосфор, вносимый с удобрениями, используется сельскохозяйственными культурами для формирования урожая и лишь незначительная его часть теряется в результате эрозионных процессов (0,1–0,4 кг/га). Потери калия составляют 10 %, из которых 9 % теряется в результате выщелачивания. Задача современного земледелия состоит в оптимизации и повышении эффективности использования минеральных удобрений, что снизит риски их негативного влияния на экологическую обстановку. Строгое соблюдение технологических рекомендаций по их применению будет способствовать предотвращению нарушения равновесия экосистемы.

Ключевые слова: минеральные удобрения; газообразные потери; выщелачивание; эрозионные потери; экология; окружающая среда.

DYNAMICS OF FERTILIZER APPLICATION AND NUTRITION LOSS ON AGRICULTURAL LAND IN BELARUS

V. L. LAMANOS^a, M. M. LAMANOS^b

^aBelarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
6 Petrusia Broŭki Street, Minsk 220013, Belarus

^bFLLC «Rapol Bel»,
5A Razhdestvenskaja Street, Tsnianka 223043, Minsk district, Minsk region, Belarus
Corresponding author: V. L. Lamanos (volha.lamanos@gmail.com)

Образец цитирования:

Ломонос ОЛ, Ломонос ММ. Динамика применения удобрений и потери элементов питания на сельскохозяйственных землях Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2023;2:96–104.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2023-2-96-104>

For citation:

Lamanos VL, Lamanos MM. Dynamics of fertilizer application and nutrition loss on agricultural land in Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2023;2:96–104. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2023-2-96-104>

Авторы:

Ольга Леонидовна Ломонос – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры инженерной психологии и эргономики.
Михаил Михайлович Ломонос – кандидат сельскохозяйственных наук; заместитель директора.

Authors:

Volha L. Lamanos, PhD (agriculture), associate professor at the department of engineering psychology and ergonomics.
volha.lamanos@gmail.com
Mikhail M. Lamanos, PhD (agriculture); deputy director.
lomonos_mikhail@mail.ru

The article presents the results of a comparative analysis of the statistical data of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus for a five-year period (2017–2021) on the application of mineral fertilizers on the agricultural lands of Belarus, calculated and presented the losses of the main nutrients (nitrogen, phosphorus, potassium) during their application. The calculation of the productivity of agricultural crops was made, on the basis of which the indicators of the removal of nutrients with the harvest were established. The calculation of the productivity of agricultural crops was made, on the basis of which the indicators of the removal of nutrients with the harvest were established. The difference between the incoming and outgoing parts of the fertilizer elements was determined to assess the effect of applied mineral fertilizers on the environment. According to the presented data, there is a decrease in the application of mineral fertilizers compared to the previous period (2012–2016) by 59 kg/ha a.i. Calculation of the structure of nitrogen flowrate items on average in the republic for 2017–2021 shows that a significant part of nitrogen (72 % of the total amount) is used to form crop yields, and the remaining amount is gaseous losses (21 %), losses from leaching (6 %) and soil erosion (1 %). Almost all of the phosphorus applied with fertilizers is used by crops to form crops, and only a small part of it is lost as a result of erosion processes (0.1–0.4 kg/ha). Potassium losses are 10 %, of which 9 % is lost as a result of leaching. Strict observance of the conditions of transportation, storage, mixing of fertilizers, optimization of the use of mineral fertilizers based on scientifically based recommendations will ensure their efficient use and thus significantly reduce the risks of negative effect of fertilizers on the environment. Strict adherence to technological recommendations for their application will help prevent ecosystem imbalance.

Keywords: mineral fertilizers; gaseous losses; leaching; erosive losses; ecology; environment.

Введение

Острой экологической проблемой современности, имеющей глобальный характер, является ухудшение качества окружающей среды. Если ранее это наблюдалось в основном в районах с развитой промышленностью, то в настоящее время экологический кризис очень быстро охватывает значительную часть аграрных территорий. С одной стороны, в решении продовольственного вопроса, увеличения объемов высокопродуктивного производства растениеводческой и животноводческой продукции, важная роль отводится индустриально-технологическим формам земледелия, а с другой – они же являются причиной ухудшения среды обитания человека.

В Беларуси задача повышения экономической и экологической эффективности использования земельных ресурсов и удобрений имеет первостепенное значение. Почвенный покров отличается пестротой по гранулометрическому составу, увлажнению и уровню плодородия [1]. Погодные условия в период вегетации растений характеризуются значительной неустойчивостью: запасы почвенной влаги колеблются от избыточного до критического уровня. Поэтому в современных агротехнологиях, не умаляя важности таких приемов, как обработка почвы, выбор сорта (гибрида), система защиты растений, особое внимание необходимо уделять повышению эффективности использования удобрений, за счет которых формируется 35–45 % и более общей урожайности, улучшается качество продукции и устойчивость сельскохозяйственных культур к неблагоприятным погодным условиям [2].

Мировая и отечественная практика интенсивного земледелия убедительно показывает, что удобрения – это материальная основа количества и качества получаемой растениеводческой продукции, источник биогенных элементов для растений. Научно обоснованная система применения минеральных и органических удобрений позволяет решать задачи расширенного воспроизводства плодородия почв, бездефицитного или положительного баланса биогенных элементов и гумуса в системе «почва – растение – удобрение», получение растениеводческой продукции, сбалансированной по химическому составу и питательной ценности, повышения рентабельности сельскохозяйственного производства [3; 4]. Ежегодно в мире для повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур в составе минеральных удобрений вносится около 60 млн т азота, фосфора и калия и 4–5 млн т пестицидов [5].

В то же время применение удобрений и других средств химизации – это весьма активное влияние на природную среду. В настоящее время в индустриально развитых странах, а также в ряде регионов нашей страны применяются достаточно высокие дозы минеральных удобрений, поэтому их влияние на окружающую среду требует пристального внимания с целью повышения эффективности мер по охране природы, внедрению научно обоснованных систем ведения сельского хозяйства и прогрессивных технологий.

Растения сельскохозяйственных культур в первый год действия усваивают (в среднем) из удобрений 15–20 % фосфора, 50–60 % калия, 60–70 % азота [6]. В то же время оставшаяся их часть выходит за пределы пахотных земель и загрязняет объекты окружающей среды. Вследствие несовершенства самих удобрений и нарушений технологий их использования, каждый год фактические потери минеральных удобрений по республике достигают 15 %, что в пересчете на физический вес составляет более 600 тыс. т в год [5].

Последствия таких процессов зависят от вида минеральных удобрений. Так, систематическое внесение физиологически кислых удобрений, особенно азотных, приводит к повышению кислотности почв, а продолжительное использование удобрений одного класса способствует накоплению в грунтах анионных остатков (хлоридов, сульфатов и т. д.).

Современный ассортимент азотных удобрений в республике представлен в основном, карбамидом (мочевиной), КАС, сульфатом аммония и аммиачной селитрой. Практически весь ассортимент фосфорных удобрений реализуется в форме комплексных удобрений (аммонизированный суперфосфат, аммофос, сульфоаммофос и др.) и комплексных азотно-фосфорно-калийных удобрений. В ассортименте калийных удобрений основное место занимает хлористый калий. В небольших количествах используется сульфат калия (около 1 %) и 1,5–2,0 % калия поступает в виде комплексных удобрений [7].

Нарушение научно обоснованной агрономической технологии применения удобрений (доз, сочетаний, способов, сроков внесения, форм удобрений) также является существенным источником их потерь и загрязнения окружающей среды. Вместе с тем расширенное воспроизводство плодородия почв невозможно без системного применения минеральных удобрений. Система их применения в Беларуси предусматривает компенсацию выноса элементов питания с урожаем и должна обеспечивать постепенное повышение запасов в почвах гумуса и элементов минерального питания растений до оптимального уровня [1].

Цель исследования – проведение сравнительного анализа статистических данных по динамике применения минеральных удобрений на сельскохозяйственных землях Беларуси в 2017–2021 гг. и оценка потерь основных элементов питания.

Материалы и методы исследования

Предмет и объект исследований – минеральные удобрения (азотные, фосфорные, калийные), сельскохозяйственные земли.

Метод исследований – системный анализ с применением общепринятых методик обработки данных.

При расчете приходной и расходной статей баланса элементов питания по областям и республике использовали данные из отчета Национального статистического комитета Республики Беларусь за 2017–2021 гг. [8]:

- внесение минеральных удобрений (в пересчете на 100 % питательных веществ) в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь;
- внесение органических удобрений в сельскохозяйственных организациях по областям;
- валовый сбор и урожайность сельскохозяйственных культур в сельскохозяйственных организациях по областям;
- посевные площади сельскохозяйственных культур в сельскохозяйственных организациях по областям.

Расчет структуры приходной и расходной статей элементов питания рассчитывали в соответствии с методикой расчета баланса элементов питания в земледелии Республики Беларусь [9]. При пересчете валовых сборов (тыс. т) в кормовые единицы применяли коэффициенты для пересчета продукции растениеводства в кормовые единицы [7].

Результаты исследования и их обсуждение

По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, применение минеральных удобрений на сельскохозяйственных землях в 2017–2021 гг. составило 173 кг действующего вещества на гектар (кг д. в./га) (табл. 1).

Таблица 1

Внесение минеральных и органических удобрений под сельскохозяйственные культуры в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь, среднее за 2017–2021 гг.

Table 1

Application of mineral and organic fertilizers for agricultural crops in agricultural organizations of the Republic of Belarus, average for 2017–2021

Область	NPK	В том числе			Органические удобрения
		азотные	фосфорные	калийные	
	кг д.в./га				
Брестская	221	94	23	104	15,4
Витебская	95	50	9	36	5,4
Гомельская	170	79	19	72	8,4
Гродненская	231	106	22	103	11,5
Минская	184	83	23	78	10,6
Могилевская	136	65	13	58	7,7
Республика Беларусь	173	79	19	75	9,8

Данный показатель существенно различается по областям, изменяясь от 95 кг д. в./га в Витебской обл. до 231 кг д. в./га – в Гродненской.

Важным аспектом применения минеральных удобрений является их сбалансированность. В процентном соотношении наибольшую долю минеральных удобрений по республике составляли азотные удобрения – 45,7 %, почти на этом же уровне калийные – 43,4 %, а фосфорные лишь 11,0 %. Наибольшее количество азотных удобрений вносилось на сельскохозяйственных землях Гродненской обл. – 106 кг д. в. / га, наименьшее в Витебской – 50 кг д. в./га. Количество используемых фосфорных удобрений во всех областях минимальное – от 9 кг д. в./ га в Витебской обл. до 23 кг д. в./га в Брестской и Минской обл. По количеству вносимых калийных удобрений лидировали Брестская и Гродненская области – 104 и 103 кг д. в. / га соответственно.

Сравнивая объемы применения минеральных удобрений за предыдущий период (2012–2016 гг.) следует отметить их снижение на 59 кг д. в./га NPK (рис. 1).

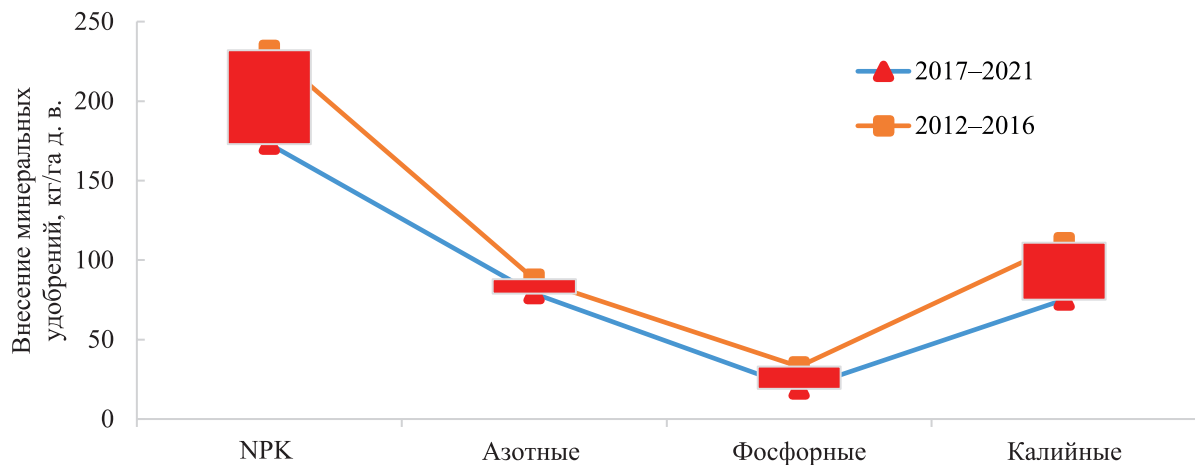


Рис. 1. Динамика применения минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры в Беларуси за период 2012–2016 и 2017–2021 гг., кг д. в./га

Fig. 1. Dynamics of the application of mineral fertilizers for agricultural crops in Belarus for the period 2012–2016 and 2017–2021, kg a. i./ha

При этом внесение азотных удобрений снизилось на 9 кг д. в./га, фосфорных – на 14 и больше всего калийных – на 36 кг д. в./га. Вместе с тем ежегодная потребность в минеральных удобрениях по расчетам Института почвоведения и агрохимии на период до 2025 г. составляет 1808 тыс. т д. в., в том числе 671 азотных, 331 фосфорных, 806 тыс. т д. в. калийных удобрений [10], что предполагает рост применения минеральных удобрений в ближайшей перспективе, а значит более внимательное отношение к соблюдению экологических норм при их применении.

Азоту принадлежит ведущая роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур, особенно в условиях дерново-подзолистых почв Беларуси. Однако роль азотных удобрений в питании растений не ограничивается их непосредственным усвоением корневой системой. Азот удобрений активно включается в общий биологический цикл, участвуя в биохимических, физико-химических и химических процессах, происходящих в органической и минеральной частях почвы. Результатом этих превращений является изменение химического состава почвы и сопредельных с ней сред. Поэтому для повышения эффективности и экологической безопасности использования азотных удобрений к данному элементу необходимо относиться особенно внимательно.

Азот в почве вследствие микробиологических процессов в конечном счете накапливается в виде окисленной формы – нитратов (NO_3) [11; 12]. Эта его форма очень подвижна, поэтому нитраты легко смываются с поверхности почвы, мигрируют по профилю до грунтовых вод, загрязняя их и водоемы. Высокое содержание нитратов в почве приводит также к повышенному их накоплению в растениях, что снижает качество растениеводческой продукции и является небезопасным для человека.

Значительная часть нитратов в процессе денитрификации восстанавливается до N_2O и молекулярного азота (N_2), сопровождается газообразными потерями в атмосферу [13].

В связи с этим важно обеспечить контроль непродуктивных потерь азота при применении азотных удобрений под сельскохозяйственные культуры с целью оценки их влияния на окружающую среду. Калькуляция расходных статей азота состоит из выноса с урожаем, потерями от выщелачивания, газообразными потерями, потерями в результате эрозии почвы. Расчет структуры статей расхода азота в среднем по республике за 2017–2021 гг. показывает, что его значительная часть (72 % от общего количества) идет на

формирование урожайности сельскохозяйственных культур, а оставшееся количество (28 %) составляют потери данного элемента питания (рис. 2).



Рис. 2. Структура статей расхода азота в Республике Беларусь, среднее за 2017–2021 гг.

Fig. 2. Structure of nitrogen flowrate items in the Republic of Belarus, average for 2017–2021

Из общего количества потерь азота значительная его часть сопровождается газообразными потерями в атмосферу – 21 %. Потери от выщелачивания составляют 6 %, в результате эрозии – 1 %.

Анализ абсолютных значений использования азота на формирование урожая и его непродуктивных потерь по областям Беларуси указывает на более высокий уровень его газообразных потерь в условиях Брестской (36,3 кг/га) и Гродненской (36,0 кг/га д. в.) областей, что связано с внесением наибольшего количества азотных удобрений в этих регионах, по сравнению с другими (рис. 3). Максимальные потери азота в результате выщелачивания наблюдаются в Брестской 10,4 кг/га (23 %) и Гомельской 10,1 кг/га (26 %) областях, что вызвано более высокой долей легких по гранулометрическому составу почв. Потери от эрозии в зависимости от области находятся в диапазоне 0,5–1,8 кг/га и не превышают 2 % от объема внесенных азотных удобрений.

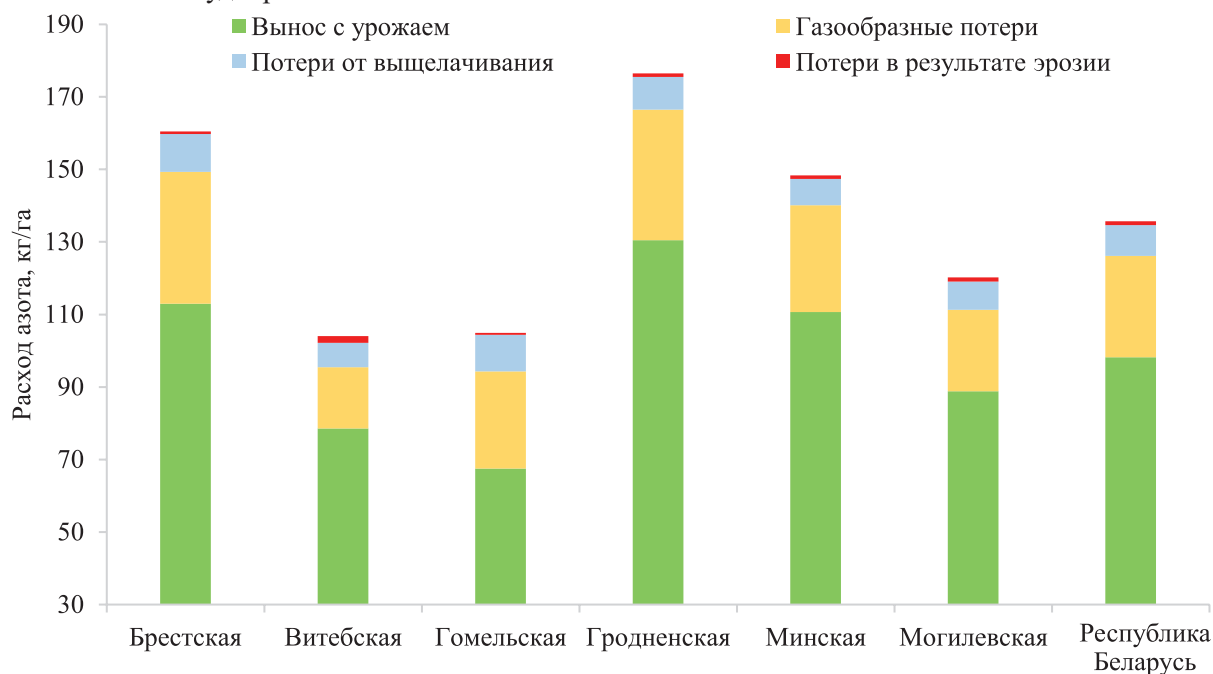


Рис. 3. Статьи расхода азота, кг/га

Fig. 3. Nitrogen flowrate items, kg/ha

Фосфор как биогенный элемент меньше теряется в окружающую среду вследствие малой его подвижности в почве и не представляет такой экологической опасности, как азот. От других биогенных элементов фосфор отличается отсутствием газообразных соединений и тем, что большинство фосфатов плохо растворимы. Данный элемент практически не вымывается из почвы (до 0,2 кг/га в год) [6]. Тем не менее, значительное количество соединений фосфора ежегодно теряется вследствие смыва фосфорных удобрений с полей под воздействием эрозионных процессов. Наибольшие эрозионные потери фосфора составили в Витебской и Могилевской областях и достигали 0,4 кг/га, минимальные в Брестской и Гомельской – 0,1 кг/га (рис. 4). Оставшееся количество фосфора, внесенного в виде удобрений, идет на формирование урожайности сельскохозяйственных культур.

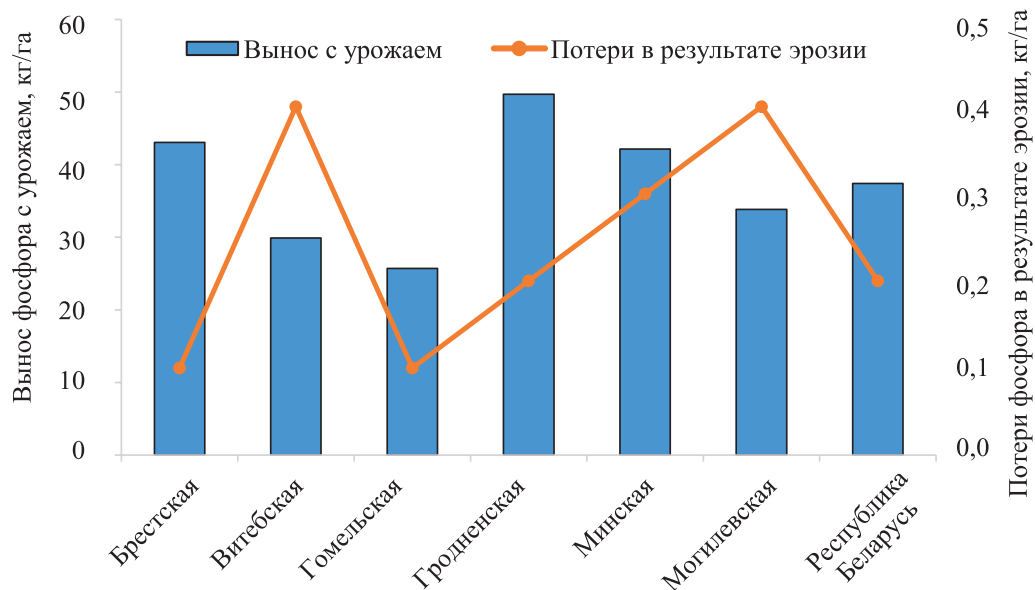


Рис. 4. Статьи расхода фосфора в среднем за 2017–2021 гг., кг/га

Fig. 4. Phosphorus flowrate items on average for 2017–2021, kg/ha

Максимальные показатели использования фосфора для формирования урожайности установлены в Гродненской, Брестской и Минской областях. Величина выноса фосфора с урожаем в данных регионах находится в пределах от 42,2 кг/га в Минской обл. до 49,7 кг/га в Гродненской.

Потери калия более значительны, чем фосфора. Именно минеральные удобрения – основной и самый главный источник загрязнения водоемов калием. Его усредненные потери от выщелачивания в Беларуси составили 8,8–9,8 кг/га или 7–13 % всех расходных статей, а в результате эрозии – 0,2–1,0 кг/га (рис. 5).

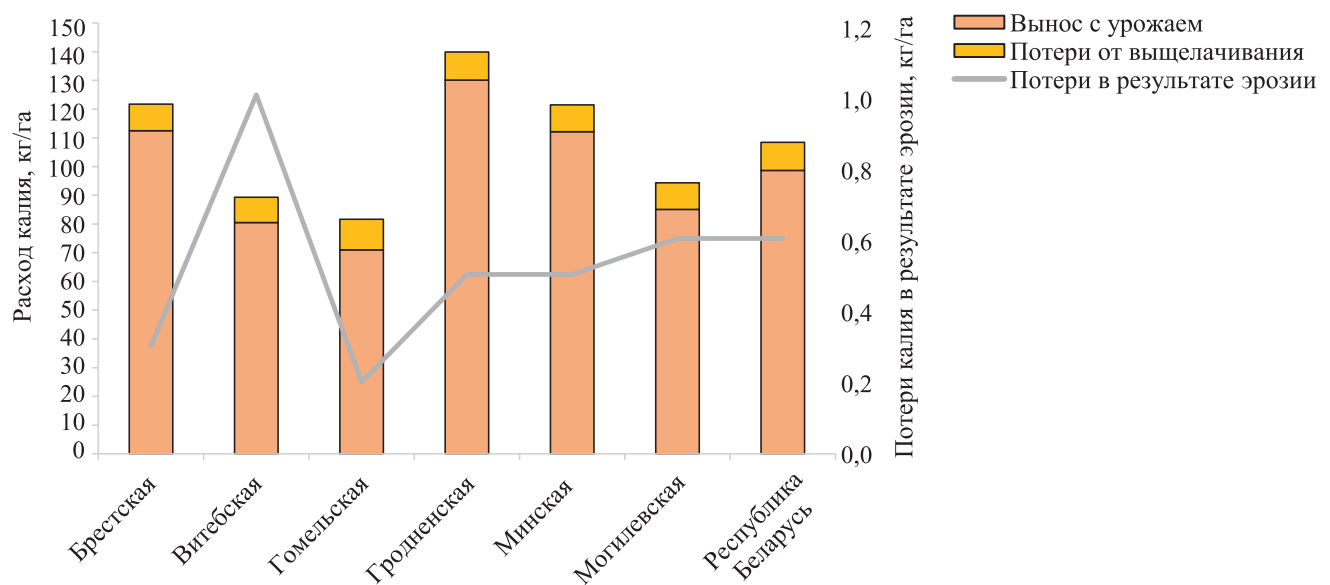


Рис. 5. Статьи расхода калия в среднем за 2017–2021 гг., кг/га

Fig. 5. Potassium flowrate items on average for 2017–2021, kg/ha

Среди областей более значительные потери калия 10,7 кг/га наблюдаются в Гомельской обл., что в большей степени связано с высокой долей в структуре посевных площадей легких по гранулометрическому составу почв. Но стоит отметить, что в данной области наименьшие эрозионные потери из почв. В среднем по Беларуси потери калия в результате эрозии составляют 0,6 кг/га, а от выщелачивания 9,7 кг/га.

В целом же в условиях Беларуси значительная часть калия (около 91 %) идет на формирование урожайности сельскохозяйственных культур (рис. 6). Непродуктивные потери составляют не более 10 %, в том числе 9 % калия теряется в результате выщелачивания и 1 % вследствие эрозии.

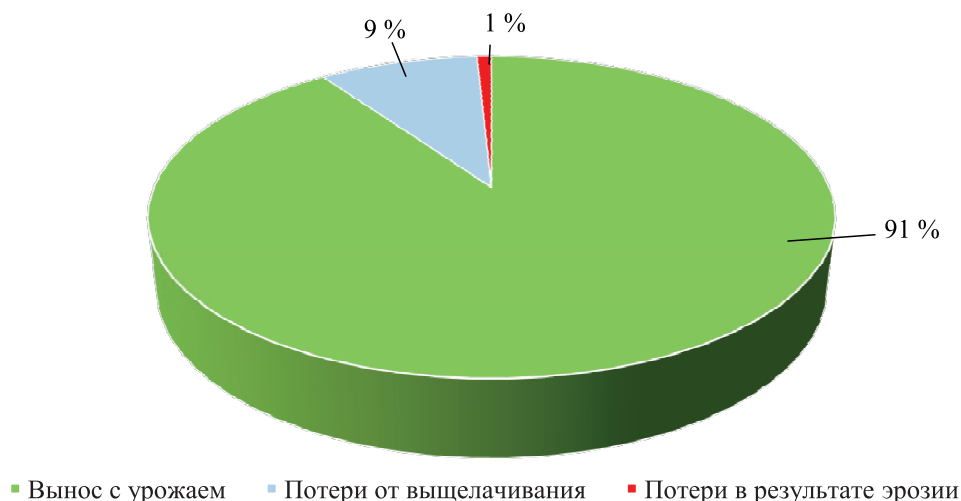


Рис. 6. Структура статей расхода калия в Республике Беларусь, среднее за 2017–2021 гг.

Fig. 6. Structure of potassium flowrate items in the Republic of Belarus, average for 2017–2021

Баланс питательных веществ в системе «почва – растение – удобрение» составляет часть общего процесса взаимодействия элементов и относится к малому биологическому круговороту. Показатели баланса отражают пути превращения и расхода питательных веществ минеральных и органических удобрений, долю элементов питания, продуктивно используемую и отчуждаемую растениями из почвы и восполняемую за счет минеральных и органических удобрений [14]. Оценка разницы между приходными и расходными статьями элементов питания (азота, фосфора и калия) свидетельствует, что со снижением применения минеральных и органических удобрений, а также с ростом продуктивности за счет эффективного использования других элементов технологии возделывания сельскохозяйственных культур (высокопродуктивные сорта или гибриды, средства защиты растений и т. д.) в большинстве регионов Беларуси отмечается отрицательный баланс элементов питания, указывающий на то, что существующий уровень применения удобрений не может обеспечить воспроизводство плодородия почв, так как их основная часть при внесении идет на формирование урожая сельскохозяйственных культур, что практически исключает рост непродуктивных потерь элементов питания (рис. 7).

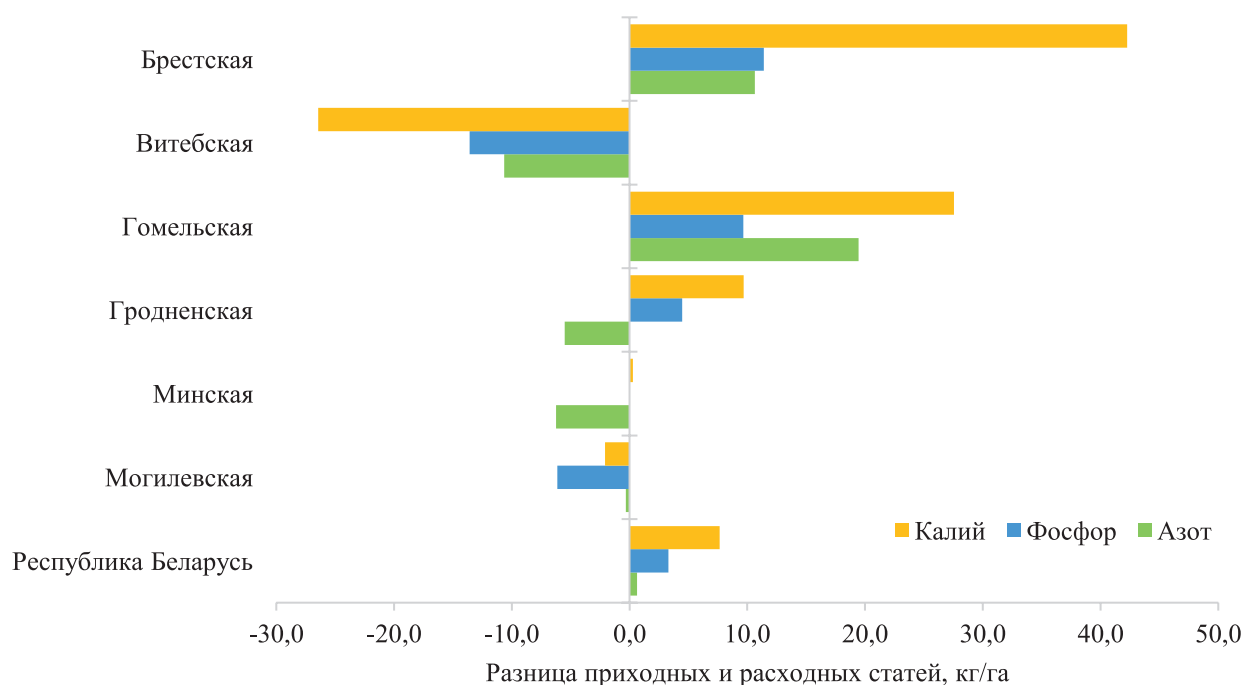


Рис. 7. Разница между приходными и расходными статьями элементов питания за 2017–2021 гг.

Fig. 7. The difference between the income and expense items of fertilizer element for 2017–2021

Минимизировать непродуктивные потери элементов питания и снизить негативное влияние минеральных удобрений на окружающую среду позволит комплекс мероприятий.

1. Усиление роли органических удобрений (ежегодно применять в среднем 12,5 т/га пашни) [15].
2. Увеличение доли промежуточных культур, используемых на зеленое удобрение (люпин, озимая рожь, горчица, рапс, редька масличная и др.).
3. Увеличение в структуре посевных площадей зернобобовых культур (кормовые бобы, горох, люпин, соя) и многолетних бобовых трав (люцерна, клевер и др.), что позволит обогатить почву биологическим азотом, снизить объем вносимых азотных удобрений и тем самым уменьшить их негативное влияние на окружающую среду.
4. Внесение комплексных минеральных удобрений с заданным соотношением элементов питания в зависимости от биологических особенностей культуры, уровня плодородия почв, с добавками микроэлементов и регуляторов роста.
5. Использование азотных удобрений пролонгированного действия, позволяющее избежать непродуктивных потерь азота (карбамид с полимерным покрытием, карбамид с фосфатным покрытием, сульфат аммония с полимерным покрытием и др.).
6. Внесение минеральных удобрений локальным способом, что снижает потери элементов питания и повышает эффективность их использования при формировании урожая.
7. Соблюдение в системах земледелия научно обоснованных севооборотов, позволяющее снизить внесение минеральных удобрений за счет создания оптимально-минимальной системы удобрения, адаптированной к условиям окружающей среды.
8. Использование технологии точного земледелия для дозированного внесения минеральных удобрений, учитывающей содержание элементов питания в почве и потребность культур в этих элементах.

Заключение

За 2017–2021 гг. применение минеральных удобрений по Республике Беларусь снижено по сравнению с предыдущим периодом (2012–2016 гг.) на 59 кг/га д. в. и было недостаточным как для реализации потенциала сельскохозяйственных культур, так и для повышения содержания элементов питания в почвах, на что указывает отрицательный баланс элементов питания в большинстве регионов страны. Расчет структуры статей расхода азота в среднем по республике за указанный период свидетельствует, что основная его часть (72 % от общего количества) идет на формирование урожайности сельскохозяйственных культур. Оставшееся количество азота составляют газообразные потери (21 %), потери от выщелачивания (6 %) и эрозии почв (1 %). Практически весь фосфор (25,7–49,7 кг/га), вносимый с удобрениями, используется

сельскохозяйственными культурами для формирования урожая, однако незначительная его часть теряется в результате эрозионных процессов (0,1–0,4 кг/га). Потери калия составляют 10 %, из которых 9 % теряется в результате выщелачивания, 1 % вследствие эрозионных процессов.

Библиографические ссылки

1. Богдевич ИМ, и др. *Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020 гг.)*. Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси; 2022. 276 с.
2. Семененко НН. *Инновационные технологии применения азотных удобрений: теория, методология, практика*. Минск: Альфа-книга; 2020. 320 с.
3. Минеев ВГ. *Агрохимия. 2-е издание*. Москва: Издательство МГУ, Издательство «КолосС»; 2004. 720 с.
4. Цыганов АР, Вильдфлуш ИР, Персикова ТФ. *Экологические проблемы агрохимии*. Минск: Учебно-методический центр Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь; 1997. 75 с.
5. Мисун ЛВ, Мисун ИН, Гришук ВМ. *Инженерная экология в АПК*. Минск: БГАТУ; 2007. 302 с.
6. Лапа ВВ, и др. *Система применения удобрений*. Гродно: ГГАУ; 2011. 418 с.
7. Лапа ВВ, и др. *Справочник агрохимика*. Минск: ИВЦ Минфина; 2021. 260 с.
8. *Сельское хозяйство Республики Беларусь*. Минск: Информационно-вычислительный центр Национального статистического комитета Республики Беларусь; 2022. 36 с.
9. Лапа ВВ, и др. *Методика расчета баланса элементов питания в земледелии Республики Беларусь*. Минск: БНИВНФХ в АПК; 2007. 24 с.
10. Лапа ВВ, и др. *Комплекс мероприятий по повышению плодородия и защите от деградации почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь на 2021–2025 гг.* Минск: ИВЦ Минфина; 2021. 148 с.
11. Юркин СН, Благовещенская ЗК, Макаров НБ, Пименов ЕА. *Потери элементов питания в земледелии и охрана окружающей среды*. Москва: ВАСХНИЛ; 1978. 52 с.
12. Пироговская ГВ. *Поступление, потери элементов питания растений в системе «атмосферные осадки – почва – удобрение – растение»*. Минск: Белорусская наука; 2018. 227 с.
13. Минеев ВГ. *Химизация земледелия и природная среда*. Москва: Агропромиздат; 1990. 287 с.
14. Лапа ВВ, Иващенко НН, Баланс азота, фосфора и калия и применение удобрений на почвах пахотных земель Беларуси. *Вести НАН Беларуси. Серия аграрных наук*. 2017; 2: 48–57.
15. Серая ТМ, Богатырева ЕН, Кирдун ТМ, Жабровская НЮ. Виды органических удобрений и методика расчета их потребности для обеспечения бездефицитного баланса гумуса в пахотных почвах. *Почвоведение и агрохимия*. 2022; 2(69): 37–56.

References

1. Bogdevich IM, et al. *Agrohimicheskaja harakteristika pochv sel'skhozajstvennyh zemel' Respubliki Belarus' (2017–2020 gg.)* [Agrochemical characteristics of soils of agricultural lands of the Republic of Belarus (2017–2020)]. Minsk: Institute for System Research in the Agroindustrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus; 2022. 276 p. Russian.
2. Semenenko NN. *Innovacionnye tehnologii primenenija azotnyh udobrenij: teorija, metodologija, praktika* [Innovative technologies for the use of nitrogen fertilizers: theory, methodology, practice]. Minsk: Al'fa-kniga; 2020. 320 p. Russian.
3. Mineev VG. *Agrohimija. 2-e izdanie* [Agrochemistry. 2nd edition]. Moscow: Izdatel'stvo MGU, Izdatel'stvo «KolosS»; 2004. 720 p. Russian.
4. Tsyganov AR, Vil'dflush IR, Persikova TF. *Jekologicheskie problemy agrohimii* [Ecological problems of agrochemistry]. Minsk: Uchebno-metodicheskij centr Ministerstva sel'skogo hozjajstva i prodovol'stviya Respubliki Belarus'; 1997. 75 p. Russian.
5. Misun LV, Misun IN, Grischuk VM. *Inzhenernaja jekologija v APK* [Engineering ecology in the agro-industrial complex]. Minsk: BGATU; 2007. 302 p. Russian.
6. Lapa VV, et al. *Sistema primenenija udobrenij* [Fertilizer application system]. Grodno: GGAU; 2011. 418 p. Russian.
7. Lapa VV, et al. *Spravochnik agrohimika* [Handbook of an agrochemist]. Minsk: IVC Minfina; 2021. 260 p. Russian.
8. *Sel'skoe hozjajstvo Respubliki Belarus'* [Agriculture of the Republic of Belarus]. Minsk: Informacionno-vychislitel'nyj centr Nacional'nogo statisticheskogo komiteta Respubliki Belarus; 2022. 36 p. Russian.
9. Lapa VV, et al. *Metodika rascheta balansa jelementov pitaniya v zemledelii Respubliki Belarus'* [Methodology for calculating the balance of nutrients in agriculture of the Republic of Belarus]. Minsk: BNIVNFH v APK; 2007. 24 p. Russian.
10. Lapa VV, et al. *Kompleks meroprijatij po povysheniju plodorodija i zashhite ot degradacii pochv sel'skhozajstvennyh zemel' Respubliki Belarus' na 2021–2025 gg.* [A set of measures to improve fertility and protect agricultural lands from soil degradation in the Republic of Belarus for 2021–2025]. Minsk: IVC Minfina; 2021. 148 p. Russian.
11. Jurkin SN, Blagoveschenskaya ZK, Makarov NB, Pimenov EA. *Poteri jelementov pitaniya v zemledelii i ohrana okruzhajushhej sredy* [Losses of nutrients in agriculture and environmental protection.]. Moscow: VASHNIL; 1978. 52 p. Russian.
12. Pirogovskaya GV. *Postuplenie, poteri jelementov pitaniya rastenij v sisteme «atmosfernye osadki – pochva – udobrenie – rastenie»* [Income, losses of plant nutrients in the «atmospheric precipitation – soil – fertilizer – plant» system]. Minsk: Belaruskaja navuka; 2018. 227 p. Russian.
13. Mineev VG. *Himizacija zemledelija i prirodnaia sreda* [Chemicalization of agriculture and natural environment]. Moscow: Agropromizdat; 1990. 287 p. Russian.
14. Lapa VV, Ivahnenko NN, *Balans azota, fosfora i kalija i primenenie udobrenij na pochvah pahotnyh zemel' Belarusi* [The balance of nitrogen, phosphorus and potassium and the use of fertilizers on soils of arable land in Belarus]. *Vesti NAS of Belarus. Series of agricultural sciences*. 2017;2:48–57. Russian.
15. Seraya TM, Bogatireva EN, Kirdun TM, Zhabrovskaya NYu. *Vidy organicheskikh udobrenij i metodika rascheta ih potrebnosti dlja obespechenija bezdeficitnogo balansa gumusa v pahotnyh pochvah* [Types of organic fertilizers and a method for calculating their needs to ensure a deficit-free balance of humus in arable soils]. *Soil science and agrochemistry*. 2022;2(69):37–56. Russian.