

**ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА**  
**AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION**

УДК [631.893-027.236:661.832'053.2-027.32/.33](476)  
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-3-286-296>

Поступила в редакцию 10.01.2019  
Received 10.01.2019

**В. Я. Прушак<sup>1</sup>, Г. В. Пироговская<sup>2</sup>, В. В. Лапа<sup>2</sup>, Л. К. Островский<sup>3</sup>,  
В. В. Шевчук<sup>3</sup>, Д. Г. Мысливец<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Солигорский институт проблем ресурсосбережения с опытным производством, Солигорск, Беларусь

<sup>2</sup>Институт почвоведения и агрохимии, Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь

<sup>3</sup>Институт общей и неорганической химии, Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь

<sup>4</sup>Фермерское хозяйство «Горизонт», Плодовое, Мостовский район, Гродненская область, Беларусь

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНЫХ НРК-УДОБРЕНИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ  
ИЗ КОНВЕРСИОННЫХ ЩЕЛОКОВ ПРОИЗВОДСТВА СУЛЬФАТА КАЛИЯ**

**Аннотация:** Важное значение для сельскохозяйственного производства имеет использование безотходной технологии получения бесхлорных удобрений (сульфата калия) и утилизация жидких отходов (конверсионных щелоков производства сульфата калия) для получения дополнительной продукции (различных марок комплексных удобрений на их основе), что позволяет снизить себестоимость растениеводческой продукции. В статье приведены результаты исследований по получению и агрохимической эффективности комплексного НРК-удобрения марки 16-10-16, полученного на основе конверсионных щелоков производства сульфата калия и аммофоса. Удобрение получено методом низкотемпературной конверсии хлористого калия сульфатом аммония, что позволяет получить бесхлорное удобрение (сульфат калия) и организовать процесс переработки конверсионных щелоков для получения широкой линейки комплексных удобрений, в том числе и исследуемой марки. Определена агрохимическая эффективность НРК-удобрения (марка 16-10-16) при возделывании овощных культур (моркови, капусты, лука) на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве. Установлено, что применение азотно-фосфорно-калийного удобрения марки 16-10-16 в эквивалентных дозах со стандартными удобрениями (карбамидом, суперфосфатом аммонизированным, калием хлористым гранулированным) при возделывании овощных культур обеспечивает урожайность моркови, капусты и лука на уровне эталона (стандартные удобрения) без существенных изменений качества продукции, отмечается лишь тенденция увеличения содержания сахаров и снижения содержания нитратов в продукции. Комплексное НРК-удобрение марки 16-10-16 внесено в «Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь» и разрешено для применения в агропромышленном комплексе и для розничной продажи населению.

**Ключевые слова:** производство сульфата калия, конверсионные щелоки производства сульфата калия, химический состав конверсионных сбросовых щелоков, карбамид, аммофос, хлористый калий, новые формы комплексных удобрений, марка 16-10-16, сельскохозяйственные культуры, морковь, капуста, лук, урожайность, качество продукции, содержание сухого вещества, растворимых сахаров, нитратов, витамина С, золь и клетчатка

**Для цитирования:** Эффективность комплексных НРК-удобрений, получаемых из конверсионных щелоков производства сульфата калия / В. Я. Прушак, Г. В. Пироговская, В. В. Лапа, Л. К. Островский, В. В. Шевчук, Д. Г. Мысливец // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2019. – Т. 57, №3. – С. 286–296.  
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-3-286-296>

**V. Y. Prushak<sup>1</sup>, G. V. Pirogovskaya<sup>2</sup>, V. V. Lapa<sup>2</sup>, L. K. Ostrovskiy<sup>3</sup>, V. V. Shevchuk<sup>3</sup>, D. G. Myslivets<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production, Soligorsk, Belarus

<sup>2</sup>The Institute for Soil Science and Agrochemistry, the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

<sup>3</sup>The Institute of General and Inorganic Chemistry of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

<sup>4</sup>Farm "Gorizont", Plodovoye, Mosty district, Grodno region, Belarus

**EFFICIENCY OF COMPLEX NPK FERTILIZERS OBTAINED FROM CONVERSION ALKALINE SOLUTION  
AT POTASSIUM SULPHATE PRODUCTION**

**Abstract:** Waste-free technology for producing chlorine-free fertilizers (potassium sulphate) and recycling liquid wastes (conversion liquors of potassium sulphate production) for obtaining additional products (various grades of complex fertilizers based on them) allowing to reduce price cost of plant production is vital for agricultural production. The paper dwells on results of studies on production and agrochemical efficiency of complex NPK fertilizer of 16-10-16 grade obtained based on

conversion alkaline solution at potassium sulfate and ammophos production. Fertilizer is obtained by method of low-temperature conversion of potassium chloride with ammonium sulfate. It allows to obtain chlorine-free fertilizer (potassium sulfate) and arrange processing of conversion alkaline solution to obtain a wide range of complex fertilizers, including the experimental brand. Agrochemical efficiency of NPK fertilizer (16-10-16 grade) during cultivation of vegetable crops (carrot, cabbage, onion) on sod-podzolic loose soil was determined. It was determined that nitrogen-phosphorus-potassium fertilizer of 16-10-16 brand in equivalent doses with standard solids (urea, ammoniated superphosphate, granulated potassium chloride) during cultivation of vegetable crops provides yield of carrot, cabbage and onion at the level of the standard (standard solids) with no significant changes in product quality, there is only a tendency to increase of sugar and reduction of nitrate content in products. The complex NPK-fertilizer of 16-10-16 brand has been recorded in the “State Register of Plant Protection Products and Fertilizers Allowed on the Territory of the Republic of Belarus” and is allowed to be used at agro-industrial complex and for retail sale.

**Keywords:** production of potassium sulfate, conversion alkaline solution at potassium sulfate production, chemical composition of conversion waste alkaline solution, urea, ammophos, potassium chloride, new forms of complex fertilizers, 16-10-16 grade, agricultural crops, carrot, cabbage, onion, yield, product quality, content of dry matter, soluble sugars, nitrates, vitamin C, ash and fiber

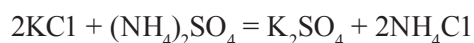
**For citation:** Prushak V. Y., Pirogovskaya G. V., Lapa V. V., Ostrovskiy L. K., Shevchuk V. V., Myslivets D. G. Efficiency of complex NPK fertilizers obtained from conversion alkaline solution at potassium sulphate production. *Vestsi Natsyynal'най akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2019, vol. 57, no 3, pp. 286-296 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-3-286-296>

Для большинства сельскохозяйственных культур хлористый калий является приемлемой формой и наиболее дешевым концентрированным калийным удобрением. Известно, что на глинистых и легкосуглинистых почвах наблюдается сильно выраженная сорбция калия глинистыми минералами почв, что обуславливает слабое его передвижение и вымывание вниз по профилю, исключение составляют почвы легкого гранулометрического состава (песчаные и супесчаные), из которых потери калия при вымывании значительные [1–8]. По данным лизиметрических исследований Института почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Беларуси, среднегодовые (1981–2015 гг.) потери калия (в пересчёте на  $K_2O$ ) при вымывании из слоя 1,0–1,5 м дерново-подзолистых легкосуглинистых почв (развивающихся на мощных лессовидных суглинках, легкосуглинистых, подстилаемых моренными суглинками или песками), находились в пределах 6,7–12,7 кг/га; рыхлосупесчаных, подстилаемых рыхлыми песками – 32,5 кг/га и песчаных – 47,6 кг/га; хлора – 14,7–25,6, 25,3 и 26,4 кг/га соответственно [8].

Многие ученые считают, что большая часть хлора (Cl), поступающего с хлорсодержащими калийными удобрениями осенью, при промывном водном режиме вымывается из корнеобитаемого слоя почв. Однако установлено, что значительное количество хлора накапливается в почвенной толще, концентрируясь, как и нитраты, в слое 40–120 см [3, 4]. При длительном внесении в севооборотах хлористого калия ежегодно может наблюдаться отрицательное его влияние на продуктивность отдельных сельскохозяйственных культур (картофеля, гречихи, льна, кукурузы, озимых зерновых культур, табака, винограда, цитрусовых, чая, кофе, томатов, цветов).

В последнее десятилетие в связи с интенсификацией сельского хозяйства наблюдается повышение интереса к сульфату калия, что выражается в росте его производства. Из существующих методов получения сульфата калия (высокотемпературная конверсия хлористого калия серной кислотой, конверсия хлористого калия сульфатом натрия или аммония) в качестве основного нами рассмотрен метод низкотемпературной конверсии хлористого калия сульфатом аммония.

Конверсия хлористого калия сульфатом аммония описывается уравнением реакции, обобщающем процессы, происходящие в двухстадийном производственном цикле:



Процесс получения сульфата калия включает в себя следующие стадии:

- I – приготовление растворов хлористого калия и сульфата аммония с заданной массовой долей;
- II – конверсия с получением двойной соли сульфата аммония и сульфата калия (I стадия);
- III – конверсия с получением сульфата калия (II стадия);
- IV – сушка сульфата калия;
- V – складирование и хранение сырья и готового продукта.

При этом при производстве сульфата калия на 1 т целевого продукта образуется  $\approx 4,2$  конверсионных сбросовых щелоков, или  $\approx 1,28$  т НК-удобрения (в пересчете на сухое вещество). В табл. 1 представлен химический состав конверсионных сбросовых щелоков.

Т а б л и ц а 1. Химический состав конверсионных сбросовых щелоков, % масс.  
Table 1. Chemical composition of conversion waste alkaline solution, % wt.

Ионный состав						Солевой состав			
K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> Cl	KCl	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
5,3	0,5	6,7	2,9	16,5	68,0	5,2	20,0	6,8	–

Для оценки перспектив реализации НК-удобрения, производимого из щелока, необходимо учитывать, что данное удобрение имеет неблагоприятный солевой состав. Сухой остаток сбросовых щелоков в основном представлен хлоридом аммония – низкокачественным азотным удобрением с высокой физиологической кислотностью и большим содержанием хлора.

Возможные потребители – владельцы насыщенных фосфором сельскохозяйственных земель в Европе. Кроме того, известно, что хлорид аммония используется при выращивании риса<sup>1</sup>, это, безусловно, расширяет географию реализации таких удобрений (Вьетнам, Индия, Китай, Япония).

Поскольку перспектива продажи комплексного НК-удобрения на базе хлорида аммония пока недостаточно изучена, наиболее реальным вариантом является выпуск комплексных удобрений за счет расширения диапазона соотношения азота и калия путем корректировки состава введением дополнительных компонентов, в том числе и фосфорсодержащих (аммофоса), обеспечивающих хорошие физико-химические свойства [9].

Комплексные минеральные удобрения – это удобрения, которые содержат два или три элемента питания (азот, фосфор, калий). В их состав могут входить и другие элементы (сера, натрий, магний, микроэлементы). Преимущества комплексных удобрений перед односторонними: удобрения могут содержать более высокую концентрацию питательных веществ, что способствует лучшему обеспечению растений необходимыми элементами, снижаются затраты на перевозку, хранение и внесение (на 10–11 % тратится меньше средств), обеспечивается равномерность их внесения, повышается урожайность и качество продукции, отдача от удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур и отдача от 1 кг НРК в целом<sup>2</sup> [10–16].

Цель исследования – изучение агрохимической эффективности использования комплексного НРК-удобрения марки N<sub>16</sub>P<sub>10</sub>K<sub>16</sub>, получаемого на основе конверсионных щелоков производства сульфата калия и аммофоса при возделывании овощных культур (моркови, капусты, лука) на дерново-подзолистых почвах.

**Материалы и методы исследования.** Объекты исследований: овощные культуры – морковь, капуста, лук, дерново-подзолистая рыхлосупесчаная почва. Предмет исследований – комплексное азотно-фосфорно-калийное удобрение марки N<sub>16</sub>P<sub>10</sub>K<sub>16</sub> с массовой долей питательных компонентов: N – 16 ± 1 %; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 10 ± 1 %; K<sub>2</sub>O – 16 ± 1 %. Удобрение представляет собой порошок серого цвета.

Исследования по агрохимической эффективности удобрения проводили на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве в фермерском хозяйстве «Горизонт» Мостовского района Гродненской области (морковь, капуста, лук). Пахотный горизонт ( $A_{\text{пах}}$ ) характеризовался следующими агрохимическими показателями:

<sup>1</sup> Городний, Н. М. Агрохимия : учеб. пособие. Киев : Выщ. шк., 1990. 288 с.

<sup>2</sup> Удобрения и их свойства / И. У. Марчук [и др.]. М. : ЕвроХим Агросеть, 2011. 350 с.; Комплексные удобрения : справ. пособие / под ред. В. Г. Минеева. 2-е изд. М. : Агропромиздат, 1986. 252 с.; Камасин С. М. Комплексные удобрения // Агрохимия : учебник / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. 2-е изд., доп. и перераб. Минск, 2001. Гл. 10. С. 188–192; Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси : сб. науч. материалов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию. 2-е изд., доп. и перераб. Минск : ИВЦ Минфина, 2007. 447 с.; Применение новых форм комплексных удобрений под основные сельскохозяйственные культуры : рекомендации / Г. В. Пироговская [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. Минск : [б. и.], 2011. 46 с.; Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии ; ред. В. В. Лапа. Минск : Белорус. наука, 2007. 390 с.

1) *в опыте с морковью*: содержание гумуса – 1,53 %,  $pH_{KCl}$  – 7,30,  $P_2O_5$  (по Кирсанову) – 548 и  $K_2O$  – 344 мг/кг почвы, CaO – 1424 и MgO – 189 мг/кг почвы, бора – 0,65, меди – 1,60, цинка – 3,60, марганца – 1,6 мг/кг почвы;

2) *капустой*: содержание гумуса – 1,53 %,  $pH_{KCl}$  – 7,30,  $P_2O_5$  (по Кирсанову) – 548 и  $K_2O$  – 320 мг/кг почвы, CaO – 1551 и MgO – 143 мг/кг почвы, серы – 11,90, бора – 0,73, меди – 3,70, цинка – 14,90, марганца – 2,0 мг/кг почвы;

3) *луком*: содержание гумуса – 1,32 %,  $pH_{KCl}$  – 6,80,  $P_2O_5$  (по Кирсанову) – 560 и  $K_2O$  – 399 мг/кг почвы, CaO – 1882 и MgO – 167 мг/кг почвы, серы – 6,40, бора – 0,63, меди – 2,20, цинка – 4,50, марганца – 2,2 мг/кг почвы.

Важнейшим условием получения достоверных результатов при проведении полевых и производственных опытов является выполнение на всех повторениях в опытах всего объёма агротехнических работ. Все работы по обработке почвы, севу, уходу за посевами выполняли в оптимальные сроки (с учетом метеорологических условий 2017–2018 гг.) и в течение одного дня.

Агротехника возделывания сельскохозяйственных культур в опытах – общепринятая для Республики Беларусь<sup>3</sup>.

Уход за посевами (обработку посевов против сорняков, вредителей и болезней) проводили разрешенными препаратами, которые внесены в «Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь»<sup>4</sup>:

1) *с морковью*: первая обработка гербицидом против сорняков Гезагард (1,0 л/га) + Рейсер (0,5 л/га) – до всходов, 05.05.2018 г.; вторая обработка гербицидом Гезагард (0,5 л/га) + Рейсер (0,3 л/га) – через 10 дней после первой обработки, 15.05.2018 г.; обработка Фюзилад Форте (0,75 л/га) – 21.06.2018 г.; поделачный учет и уборка урожая с отбором образцов на определение показателей качества продукции – 23.08.2018 г.;

2) *с капустой*: обработка гербицидом Бутизан 400 (1,5 л/га) – 28.04.2018 г.; инсектицидом Актеллик (0,6 л/га) – 24.05.2018 г.; подкормка азотом  $N_{50}$  – 07.06.2018 г.; подкормка азотом  $N_{20}$ (КАС) – 23.06.2018 г.; обработка инсектицидом Актеллик (0,6 л/га) + Пирифолис (0,2 л/га) – 30.06.2018 г.;

3) *с луком*: обработка гербицидом Стомп профессионал (1,5 л/га) – 15.03.2018 г.; гербицидом ГОАЛ 2Е (0,3 л/га) – 24.05.2018 г.; фунгицидом Ридомил Голд МЦ (2,0 кг/га) – 28.06.2018 г.; фунгицидом Танос (0,6 кг/га) – 14.07.2018 г. и фунгицидом Дитан нео-тек (2,0 кг/га) – 22.07.2018 г.

Агрохимические испытания эффективности комплексного удобрения проводили согласно существующим методикам по закладке полевых опытов и Методическим указаниям по проведению регистрационных испытаний макро-, микроудобрений и регуляторов роста растений в посевах сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь<sup>5</sup>.

Почвенные образцы отбирали в полевых опытах из пахотного горизонта почвы; в них определяли изучаемые показатели следующими методами: гумус – по методу И. В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213–84); обменную кислотность ( $pH_{KCl}$ ) – потенциометрический (ГОСТ 26483–85); содержание подвижного фосфора – по Кирсанову на фотоэлектроколориметре (ГОСТ 26207–84); содержание подвижного калия – по Кирсанову на пламенном фотометре (ГОСТ 280207–84); кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрофотометре; отбор проб – ГОСТ 26483–85.

<sup>3</sup> Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.] ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии ; ред. В. В. Лапа. Минск : Беларус. наука, 2007. 390 с.; Кукреш С. П. Месторождения калийных солей, способы получения, состав и свойства калийных удобрений // Агрохимия : учебник. 2-е изд., доп. и перераб. Минск, 2001. Гл. 7, § 4. С. 166–168; Современные технологии в овощеводстве / А. А. Аутко [и др.] / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т овощеводства ; под ред. А. А. Аутко. Минск : Беларус. наука, 2012. 490 с.

<sup>4</sup> Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь / М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, Гл. гос. инспекция по семеноводству, карантину и защите растений ; сост.: А. В. Пискун [и др.]. Минск : [б. и.], 2017. 687 с.

<sup>5</sup> Методические указания по проведению регистрационных испытаний макро-, микроудобрений и регуляторов роста растений в посевах сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь : метод. указания / Науч.-практ. центр Нац. акад. наук по земледелию, Ин-т почвоведения и агрохимии ; сост.: В. В. Лапа, М. В. Рак, С. А. Титова. Минск : [б. и.], 2008. 34 с.; Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Колос, 1979. 416 с.



Отбор растительных образцов (основной и побочной продукции) и их анализ проводили согласно существующим ГОСТ и ОСТ: отбор проб – ГОСТ 18 691–83; определение азота, фосфора, калия, кальция, магния после мокрого озоления (смесью серной кислоты и перекиси водорода) общепринятыми методами: азот – ГОСТ 13 496.4–93 п. 2; фосфор – спектрофотометрически; калий – на пламенном фотометре; кальций – ГОСТ 26 570–95; магний – ГОСТ 30 502–97, на атомно-адсорбционном спектрофотометре; сухое вещество – весовым методом.

Гидротермический коэффициент (ГТК) определяли по формуле Г.Т. Селянинова:  $ГТК = (\Sigma X \cdot 10) / \Sigma T$ , где  $\Sigma X$  – сумма осадков за период;  $\Sigma T$  – сумма положительных температур воздуха за тот же период.

Температура воздуха, количество выпавших атмосферных осадков и ГТК (с апреля по сентябрь 2017 и 2018 гг.) в фермерском хозяйстве «Горизонт» Мостовского района Гродненской области приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. Сумма положительных температур воздуха, количество атмосферных осадков и гидротермический коэффициент за период апрель–сентябрь, фермерское хозяйство «Горизонт», Мостовский район, Гродненская область, 2017–2018 гг.

Table 2. Sum of positive air temperature, rainfall values and hydrothermal coefficient for the period of April-September, farm Gorizont, Mosty district, Grodno region, 2017-2018

Показатель	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	За IV–IX месяцы
<i>2017 г.</i>							
Осадки, мм	66,1	27,3	96,5	113,6	59,7	75,8	439,0
$T, ^\circ\text{C}$	6,6	13,3	16,9	17,7	18,7	13,9	14,5
Сумма $T > 5-10 ^\circ\text{C}$	198,0	412,3	507,0	548,7	579,7	417	2662,7
ГТК	3,34	0,66	1,90	2,07	1,03	1,82	1,65
<i>2018 г.</i>							
Осадки, мм	44,6	14,9	46,0	202,9	38,3	56,3	403,0
$T, ^\circ\text{C}$	11,7	17,3	18,5	20,5	20,1	13,7	17,0
Сумма $T > 10 ^\circ\text{C}$	351,0	536,3	555,0	635,5	623,1	411	3111,9
ГТК	1,27	0,28	0,83	3,19	0,61	1,37	1,30
<i>Среднегодовое</i>							
Осадки, мм	40,0	70,0	78,0	92,0	67,0	62,0	409,0
$T, ^\circ\text{C}$	7,3	13,2	16,0	18,3	17,4	12,2	14,1
Сумма $T > 5-10 ^\circ\text{C}$	219,0	409,2	480,0	567,3	539,4	366,0	2580,9
ГТК	1,83	1,71	1,63	1,62	1,24	1,69	1,69

Анализ табл. 2 показал, что распределение осадков за вегетационный период 2017 г. было неравномерным: в апреле выпало 66,1 мм осадков, или 165,3 % от среднегодового значения (40,0 мм), в июне, июле и сентябре количество атмосферных осадков также превышало среднегодовые значения. Засушливые периоды вегетации в мае – 27,3 мм (39,0 % от нормы) и в августе – 59,7 мм (89,1 %) в большей степени отразились на формировании урожая капусты и в меньшей степени – на урожае моркови и лука. ГТК составил 1,65, что позволяет характеризовать вегетационный период возделывания овощных культур как влажный.

В условиях 2018 г. с апреля по сентябрь выпало 403 мм атмосферных осадков при среднегодовой норме 409 мм. Однако засушливые погодные условия отмечались в мае (количество атмосферных осадков в 4,7 раза ниже среднегодовых), в июне – в 1,7 раза, августе – в 1,8 раза, за исключением июля, когда количество атмосферных осадков выпало в 2,2 раза (202,9 мм) больше по сравнению со среднегодовым значением (92 мм). Среднемесячная температура воздуха за период апрель–сентябрь (IV–IX) выше на 2,9 °C среднегодовой, а сумма  $T > 10 ^\circ\text{C}$  – на 531 °C. ГТК изменялся по месяцам от 0,28 (май) до 3,19 (июль), а в среднем за апрель–сентябрь (IV–IX) составил 1,30 (оптимальный) при среднегодовом – 1,69 (см. табл. 2).

Статистическую обработку результатов исследований проводили по Б. А. Доспехову с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на персональном компьютере, наименьшая существенная разность рассчитывалась с помощью компьютерной программы Excel<sup>6</sup>.

**Результаты и их обсуждение.** Эффективность применения азотно-фосфорно-калийного удобрения ( $N_{16}P_{10}K_{16}$ ) при возделывании овощных культур в условиях 2017–2018 гг. приведена в табл. 3–9.

*Урожайность корнеплодов моркови* в условиях 2017 г. на контрольном варианте без удобрений составила 477 ц/га, в вариантах с удобрениями находилась на уровне 611–617 ц/га. При внесении азотно-фосфорно-калийного удобрения (марка 16-10-16) в дозе  $N_{90}P_{56}K_{90}$  урожайность корнеплодов моркови была на уровне применения стандартных туков (эталон, вар. II) (табл. 3).

**Т а б л и ц а 3. Урожайность корнеплодов моркови на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, фермерское хозяйство «Горизонт», Мостовский район, Гродненская область, 2017–2018 гг.**

**Table 3. Carrot root yield on sod-podzolic loose soil and sandy soil, farm Gorizont, Mosty district, Grodno region, 2017–2018**

Вариант опыта	Урожайность, ц/га			Прибавка, ц/га	
	2017 г.	2018 г.**	среднее	к контролю	к эталону
I. Контроль – без удобрений	477	524	501	–	–
II. Эталон – $N_{90}P_{56}K_{90}$ * (основное внесение)	613	710	662	161	
III. Испытуемое удобрение – $N_{90}P_{56}K_{90}$ * (16-10-16), доза 1	611	715	663	162	1
IV. Испытуемое удобрение – $N_{100}P_{62}K_{100}$ * (16-10-16), доза 2	617	693	655	154	–7
HCP <sub>05</sub>	43,9	66,7	56,5	–	–

\*Дозы удобрений под морковь в 2017 г.: эталон –  $N_{90}P_{56}K_{90}$ ; испытуемые удобрения –  $N_{90}P_{56}K_{90}$  и  $N_{100}P_{62}K_{100}$ .

\*\*Дозы под морковь в 2018 г.: эталон –  $N_{80}P_{50}K_{80}$ ; испытуемые удобрения –  $N_{80}P_{50}K_{80}$  и  $N_{90}P_{56}K_{90}$ .

Качество корнеплодов моркови оценивали по содержанию сухого вещества, нитратов и растворимых сахаров. При внесении азотно-фосфорно-калийного комплексного удобрения (16-10-16) в эквивалентных дозах со стандартными туками содержание сухого вещества корнеплодов моркови находилось на уровне эталонного варианта. Аналогичная закономерность отмечалась и по содержанию растворимых сахаров и нитратов. Наблюдаемые незначительные различия в этих вариантах находились в пределах наименьшей существенной разницы (табл. 4).

**Т а б л и ц а 4. Показатели качества корнеплодов моркови на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, фермерское хозяйство «Горизонт», Мостовский район, Гродненская область, 2017–2018 гг.**

**Table 4. Qualitative indicators of carrot root on sod-podzolic friable sandy soil, farm Gorizont, Mosty district, Grodno region, 2017-2018**

Вариант опыта	Сбор сухого вещества, ц/га			Содержание нитратов, мг/кг сырой массы			Содержание растворимых сахаров, °Brix		
	2017 г.	2018 г.	среднее	2017 г.	2018 г.	среднее	2017 г.	2018 г.	среднее
I. Контроль – без удобрений	95,4	104,8	100,1	66	433	250	8,0	10,1	9,1
II. Эталон – $N_{90}P_{56}K_{90}$ * (основное внесение)	122,6	142,0	132,3	107	463	285	8,5	9,9	9,2
III. Испытуемое удобрение – $N_{90}P_{56}K_{90}$ * (16-10-16), доза 1	122,2	143,0	132,6	115	449	282	8,4	10,1	9,3
IV. Испытуемое удобрение – $N_{100}P_{62}K_{100}$ * (16-10-16), доза 2	123,4	138,6	131,0	106	447	277	8,5	10,4	9,5
HCP <sub>05</sub>	8,1	10,7	9,5	6,7	41,2	29,5	0,34	0,48	0,29

\* Дозы удобрений под морковь в 2017 г.: эталон –  $N_{90}P_{56}K_{90}$ ; испытуемые удобрения –  $N_{90}P_{56}K_{90}$  и  $N_{100}P_{62}K_{100}$ .

\*\* Дозы под морковь в 2018 г.: эталон –  $N_{80}P_{50}K_{80}$ ; испытуемые удобрения –  $N_{80}P_{50}K_{80}$  и  $N_{90}P_{56}K_{90}$ .

<sup>6</sup> Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Колос, 1979. 416 с.

Следует отметить, что содержание сахара в корнеплодах моркови в годы исследований было высоким (8–14 % – высокое). Также выявлена тенденция повышения содержания сахара в корнеплодах при более высокой дозе внесения комплексного удобрения  $N_{100}P_{56-62}K_{100}$  по сравнению с  $N_{80-90}P_{50-56}K_{80-90}$ .

Содержание нитратов в 2018 г. при уборке до 1 сентября было во всех вариантах опыта высоким и даже превышало предельно допустимую концентрацию (ПДК). Согласно санитарно-гигиеническим нормативам и требованиям по продовольствию, ПДК по нитратам для корнеплодов моркови при ранних сроках уборки (август) – 400 мг/кг сырого вещества, при поздних сроках уборки (после 1 сентября) – 200 мг/кг сырого вещества. В 2017 г. их содержание было ниже ПДК.

Урожайность капусты поздней по вариантам в 2017 г. находилась в пределах 319–466 ц/га. Прибавка урожайности кочанов капусты в варианте с применением испытываемого удобрения азотно-фосфорно-калийного в разных дозах составила от 1 до 27 ц/га и была недостоверной ( $НСР_{05} = 40,5$  ц/га) по сравнению с эталоном. В 2018 г. при внесении испытываемого удобрения (16-10-16) в разных дозах урожайность кочанов капусты была ниже на 11–18 ц/га по сравнению с эталоном (табл. 5).

Т а б л и ц а 5. Урожайность капусты поздней на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, фермерское хозяйство «Горизонт», Мостовский район, Гродненская область, 2017–2018 гг.

Table 5. Late cabbage yield on sod-podzolic loose sandy soil, farm Gorizont, Mosty district, Grodno region, 2017-2018

Вариант опыта	Урожайность, ц/га			Прибавка, ц/га	
	2017 г.	2018 г.**	среднее	к контролю	к эталону
I. Контроль (50 т/га органических удобрений) + $N_{19}P_{70}K_{130}$	319	628	474	–	–
II. Эталон – $N_{90}P_{70}K_{130}$ * (стандартные туки в подкормку) + $N_{20}$	439	770	605	131	
III. Испытуемое удобрение* – $N_{90}P_{56}K_{90}$ (марка 16-10-16) + $P_{14}K_{40}$ (основное внесение, доза 1) + $N_{20}$ (в подкормку)	440	759	600	126	–5
IV. Испытуемое удобрение* – $N_{110}P_{69}K_{110}$ (марка 16-10-16) + $P_{11}K_{40}$ (основное внесение, доза 2) + $N_{40}$ (в подкормку)	466	752	609	135	4
$НСР_{05}$	40,5	48,5	31,6	–	–

\*Дозы удобрений под капусту в 2017 г.

\*\* Дозы под капусту в 2018 г.:  $N_{80}P_{50}K_{80}$  (16-10-16) +  $P_{20}K_{50}$  (основное внесение, доза 1) +  $N_{50+20}$  (в подкормку);  $N_{100}P_{62}K_{100}$  (16-10-16) +  $P_{18}K_{50}$  (основное внесение, доза 1) +  $N_{50+20}$  (в подкормку).

Т а б л и ц а 6. Содержание нитратов и сахаров в капусте поздней сорта Оклахома на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, фермерское хозяйство «Горизонт», Мостовский район, Гродненская область, 2017–2018 гг.

Table 6. Nitrates and sugars level in cabbage of late variety Oklahoma on sod-podzolic loose soil, farm Gorizont, Mosty district, Grodno region, 2017-2018

Вариант опыта	Сбор сухого вещества, ц/га		Содержание сахара, °Brix		Содержание витамина С, 2018 г., мг/кг	Содержание нитратов, мг/кг сырого вещества	
	2017 г.	2018 г.	2017 г.	2018 г.		2017 г.	2018 г.
I. Контроль (50 т/га органических удобрений) + $N_{19}P_{70}K_{130}$	63,8	58,4	6,2	8,0	35,0	609	251
II. Эталон – $N_{90}P_{70}K_{130}$ * (стандартные удобрения в подкормку) + $N_{20}$	87,8	77,0	6,4	8,1	36,1	311	319
III. Испытуемое удобрение* – $N_{90}P_{56}K_{90}$ (марка 16-10-16) + $P_{14}K_{40}$ (основное внесение, доза 1) + $N_{20}$ (в подкормку)	88,0	74,4	6,8	8,0	36,0	291	287
IV. Испытуемое удобрение* – $N_{110}P_{69}K_{110}$ (марка 16-10-16) + $P_{11}K_{40}$ (основное внесение, доза 2) + $N_{40}$ (в подкормку)	93,2	72,9	6,9	8,7	36,2	262	296
$НСР_{05}$	6,20	5,17	0,39	0,51	2,23	12,9	28,2

Содержание нитратов в товарной продукции капусты поздней в контрольном варианте составило в 2017 г. 609 мг/кг сырой массы, в вариантах с удобрениями – от 262 до 311 мг/кг сырой массы, в 2018 г. – 251 и 287–319 мг/кг сырой массы соответственно. В вариантах с испытуемым удобрением азотно-фосфорно-калийным (марка 16-10-16) отмечалось как в 2017 г. снижение содержания нитратов (на 20–49 мг/кг сырой массы, или на 6,4–15,8 %), так и в 2018 г. (на 23–32 мг/кг, или 7,2–10,0 %) по сравнению с эталонным вариантом (стандартные туки). Следует также отметить, что во всех вариантах с внесением минеральных удобрений на фоне 50 т/га органических удобрений содержание нитратов не превышало ПДК (400 мг/кг сырой массы), за исключением органической системы удобрения (вар. I, 2017 г.) (табл. 6).

Качество кочанов капусты оценивали и по содержанию сухого вещества, сахара и витамина С. При эквивалентных дозах внесения стандартных удобрений (эталон) и испытуемого удобрения в разных дозах существенных различий по этим показателям не установлено.

Урожайность лука сорта *Супра* на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве за 2017–2018 гг. в фермерском хозяйстве «Горизонт» Мостовского района Гродненской области учитывалась в 2017 г. в полевом опыте один раз (17.08.2017 г.), в 2018 г. – два раза, в фазу активного нарастания луковиц (24.07.2018 г.) и на момент уборки (23.08.2018 г.) (табл. 7).

Т а б л и ц а 7. Эффективность азотно-фосфорно-калийного удобрения (16-10-16) при возделывании лука в полевых опытах на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, фермерское хозяйство «Горизонт», Мостовский район, Гродненская область, 2017–2018 гг.

Table 7. Efficiency of nitrogen-phosphorus-potassium fertilizer (16-10-16) when cultivating onion in field experiments on sod-podzolic loosened soil at farm Gorizont, Mosty district, Grodno region, 2017-2018

Вариант опыта	Урожайность, ц/га				Прибавка, ц/га, ± к эталону
	2017 г.		2018 г.		
	ц/га	± к эталону	24.07.2018 г.	23.08.2018 г.	
I. $N_{13}P_{50}K_{80}$ (фон)	295	–	68,7	192	–
II. Эталон $N_{80}P_{50}K_{80}$ (основное внесение) + $N_{40}$ (в подкормку) – базовый вариант	368	–	80,2	233	–
III. Испытуемое удобрение – $N_{80}P_{50}K_{80}$ (16-10-16, доза 1) + $N_{40}$ (в подкормку)	375	7	83,3	233	0
IV. Испытуемое удобрение – $N_{100}P_{62}K_{100}$ (16-10-16, доза 2) + $N_{40}$ (в подкормку)	384	16	78,7	228	–5
НСР <sub>05</sub>	28,2	–	5,9	23,9	–

На фоновом варианте ( $N_{13}P_{50}K_{80}$ ) урожайность лука репчатого составила в 2017 г. 295 ц/га, в вариантах со стандартными удобрениями (эталон) и испытуемым удобрением – от 368 до 384 ц/га, в 2018 г. (на момент уборки) – 192 и 228–233 ц/га. В варианте с испытуемым азотно-фосфорно-калийным удобрением при эквивалентной дозе внесения со стандартными удобрениями в 2017 г. отмечена лишь тенденция повышения урожайности лука (7–16 ц/га) при  $НСР_{05} = 28,2$  ц/га. В 2018 г. эффективность стандартных и испытуемого удобрений находилась примерно на одном уровне.

Качество луковиц в 2017 г. оценивали по содержанию сухого вещества, растворимых веществ, сахаров, золы, клетчатки и нитратов (табл. 8). Установлено, что при внесении испытуемого азотно-фосфорно-калийного комплексного удобрения (марка 16-10-16) сбор сухого вещества в продукции лука по сравнению с эталоном увеличился на 5,8 ц/га, содержание сахаров повысилось на 0,4 %, снизилось содержание нитратов – на 10 мг/кг сырого вещества. Содержание золы и клетчатки в варианте с испытуемым удобрением и эталоном было в одинаковых пределах, а содержание растворимых сухих веществ снизилось на 0,7 %.

Качество лука в условиях 2018 г. оценивали по содержанию сахара, витамина С и нитратов. Достоверных различий в качестве лука в 2018 г. в вариантах с испытуемым удобрением и эталоном при двух учетах урожайности не выявлено. Однако следует отметить, что на момент уборки лука (23.08.2018 г.) содержание сахара увеличилось в 1,1–1,2 раза, в зависимости от варианта опыта, по сравнению с учетом урожайности лука (24.07.2018 г.), соответственно, снизилось содержание нитратов – в 1,1–1,4 раза, в зависимости от варианта опыта (табл. 9).



Т а б л и ц а 8. Показатели качества лука на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, фермерское хозяйство «Горизонт», Мостовский район, Гродненская область, 2017 гг.

Table 8. Onion qualitative indicators on sod-podzolic loose sandy soil, farm Gorizont, Mosty district, Grodno region, 2017

Вариант опыта	Урожайность сухого веще- ства, ц/га	Содержание, %				Нитраты, мг/кг сырой массы
		раствори- мых сухих веществ	сахаров	золы	клет- чатки	
I. $N_{13}P_{50}K_{80}$ (фон)	59,0	9,6	8,2	0,4	0,9	89,9
II. Эталон $N_{80}P_{50}K_{80}$ (основное внесение) + $N_{40}$ (в подкормку) – базовый вариант	71,0	10,5	8,4	0,4	0,8	120,5
III. Испытуемое удобрение – $N_{80}P_{50}K_{80}$ (16-10-16, доза 1) + $N_{40}$ (в подкормку)	76,8	9,8	8,8	0,4	0,8	110,5
НСР <sub>05</sub>	5,6	0,60	0,43	0,025	0,042	8,0

Т а б л и ц а 9. Влияние азотно-фосфорно-калийного удобрения (16-10-16) на качество лукович в полевом опыте на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, фермерское хозяйство «Горизонт», Мостовский район, Гродненская область, 2018 гг.

Table 9. Effect of nitrogen-phosphorus-potassium fertilizer (16-10-16) on quality of onion bulbs in the field experiment on sod-podzolic loose soil, farm Gorizont, Mosty district, Grodno region, 2018

Вариант опыта	1-й учет (24.07.2018 г.)			2-й учет (23.09.2018 г.)		
	Сахар, °Brix	Витамин С, мг/кг	Нитраты, мг/кг сыро- го вещества	Сахар, °Brix	Витамин С, мг/кг	Нитраты, мг/кг сырого вещества
I. $N_{13}P_{50}K_{80}$ (фон)	11,1	11,7	209	12,9	Не определен	148
II. Эталон $N_{80}P_{50}K_{80}$ (основное внесение) + $N_{40}$ (в подкормку) – базовый вариант	11,2	11,8	192	13,5	Не определен	174
III. Испытуемое удобрение – $N_{80}P_{50}K_{80}$ (16-10-16, доза 1) + $N_{40}$ (в подкормку)	11,3	11,5	184	14,1	Не определен	153
IV. Испытуемое удобрение – $N_{100}P_{62}K_{100}$ (16-10-16, доза 2) + $N_{40}$ (в подкормку)	12,4	12,1	202	14,0		168
НСР <sub>05</sub>	0,84	1,40	18,2	1,04	–	15,9

### Выводы

1. Разработано новое комплексное NPK-удобрение (марка 16-10-16) на основе конверсионных щелоков производства сульфата калия и аммофоса.

2. Определена агрохимическая эффективность комплексного NPK-удобрения при возделывании овощных культур (моркови, капусты, лука) на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве. Исследована в полевых опытах эффективность комплексного удобрения марки 16-10-16 при внесении в эквивалентных дозах со стандартными удобрениями (карбамид, аммофос, хлористый калий – эталон) под морковь, лук и капусту. В среднем за два года урожайность овощных культур и качество продукции (содержание нитратов и растворимых сахаров) были на уровне эталона или несколько выше. Содержание золы и клетчатки в варианте с комплексным удобрением марки 16-10-16 и эталоном было в одинаковых пределах, а содержание растворимых сухих веществ снизилось на 0,7 %.

3. Комплексное NPK-удобрение марки 16-10-16, полученное на основе конверсионных щелоков производства сульфата калия и аммофоса, рекомендовано для государственной регистрации в Республике Беларусь для основного внесения в почву для предприятий агропромышленного комплекса и розничной продажи населению при возделывании овощных культур.

4. Использование безотходной технологии получения бесхлорных удобрений (сульфата калия) и утилизация жидких отходов (конверсионных щелоков производства сульфата калия) позволяет получить дополнительную продукцию (различных марок комплексных удобрений на их основе, в том числе и марки 16-10-16), что способствует увеличению выхода ценной растениеводческой продукции.

## Список использованных источников

1. Петербургский, А.В. Формы калия в почве при многолетнем применении удобрений / А.В. Петербургский, Ф.В. Янишевский // Изв. Тимирязев. с.-х. акад. – 1963. – №6. – С. 113–124.
2. Доспехов, Б.А. Действие 63-летнего применения удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы / Б.А. Доспехов // Доклады советских участников конгресса : VIII междунар. конгр. по минер. удобрениям / редкол.: А.М. Артюшин [и др.]. – М., 1976. – Ч. 1. – С. 207–215.
3. Никитишен, В.И. Агрохимические основы эффективного применения удобрений в интенсивном земледелии / В.И. Никитишен ; Акад. наук СССР, Ин-т почвоведения и фотосинтеза ; отв. ред. А.В. Петербургский. – М. : Наука, 1984. – 214 с.
4. Никитишен, В.И. Плодородие почвы и устойчивость функционирования агроэкосистемы / В.И. Никитишен ; Рос. акад. наук, Ин-т физ.-хим. и биол. проблем почвоведения. – М. : Наука, 2002. – 257 с.
5. Никитишен, В.И. Питание растений и удобрение агроэкосистем в условиях ополей Центральной России / В.И. Никитишен ; Рос. акад. наук, Ин-т физ.-хим. и биол. проблем почвоведения. – М. : Наука, 2012. – 484 с.
6. Экологические проблемы применения удобрений / В.Н. Кудеяров [и др.] ; Акад. наук СССР, Ин-т почвоведения и фотосинтеза ; отв. ред. В.А. Ковда. – М. : Наука, 1984. – 213 с.
7. Булаткин, Г.А. Эколого-энергетические аспекты продуктивности агроценозов / Г.А. Булаткин ; Науч. центр биол. исслед., Ин-т почвоведения и фотосинтеза. – Пушкино : [б. и.], 1986. – 209 с.
8. Пироговская, Г.В. Поступление, потери элементов питания растений в системе «атмосферные осадки – почва – удобрение – растение» / Г.В. Пироговская ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск : Беларус. навука, 2018. – 227 с.
9. Физико-химические свойства карбамидсодержащих азотно-фосфорно-калийных удобрений, кондиционированных солями магния / К.Г. Горбовский [и др.] // Хим. технология. – 2014. – Т. 15, №2. – С. 70–74.
10. Физико-химические свойства комплексных сбалансированных марок НРК-удобрений с использованием карбамида / К.Г. Горбовский [и др.] // Хим. пром-сть сегодня. – 2013. – №6. – С. 12–19.
11. Пироговская, Г.В. Влияние минеральных удобрений с добавками микроэлементов и регуляторов роста растений на урожайность и качество сельскохозяйственной продукции / Г.В. Пироговская // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – №2. – С. 177–191.
12. Коростылев, С.А. Влияние новых марок сложных минеральных удобрений типа НРК 21:1:21, 17:1:28, 19:4:19, 20:4:20, выпускаемых ОАО «Невнинномысский Азот», на урожайность зеленой массы кукурузы на силос на черноземе выщелоченном / С.А. Коростылев, Н.В. Громова, Ю.И. Гречишкينا // Современные ресурсосберегающие инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Северо-Кавказском федеральном округе : 77-я ежегод. науч.-практ. конф., Ставрополь, 23–25 апр. 2013 г. / Ставроп. гос. аграр. ун-т. – Ставрополь, 2013. – С. 54–57.
13. О преимуществах и эффективности применения комплексного минерального удобрения НРК = 14–14–23 / Н.И. Аканова [и др.] // Нива Поволжья. – 2017. – №4 (45). – С. 2–10.
14. Эффективность микроэлементных удобрений в условиях Курской области / В.И. Лазарев [и др.] ; Кур. гос. с.-х. акад. им. И.И. Иванова ; под ред. В.И. Лазарева. – Курск : Кур. гос. с.-х. акад., 2013. – 139 с.
15. Пироговская, Г. Экономическая эффективность применения комплексных удобрений с модифицирующими добавками в технологии возделывания моркови / Г. Пироговская, Д. Мысливец // Аграр. экономика. – 2013. – №11. – С. 40–48.
16. Разработка, производство и применение комплексных удобрений в сельском хозяйстве Республики Беларусь / Г.В. Пироговская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – №1 (60). – С. 87–107.

## References

1. Peterburskii A. V., Yanishevskii F. V. Forms of potassium in soil under the conditions of a long-term fertilizer application. *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [News of the Timiryazev Agricultural Academy], 1963, no. 6, pp. 113–124 (in Russian).
2. Dospikhov B. A. The action of the 63-year application of fertilizers on the fertility of sod-podzolic soil. *Doklady sovetskikh uchastnikov kongressa: VIII mezhdunarodnyi kongress po mineral'nyim udobreniyam* [Reports of the Soviet Congress Participants: the VIII International congress on mineral fertilizers]. Moscow, 1976, pt. 1, pp. 207–215 (in Russian).
3. Nikitishen V. I. *Agrochemical bases for the effective use of fertilizers in intensive agriculture*. Moscow, Nauka Publ., 1984. 214 p. (in Russian).
4. Nikitishen V. I. *Soil fertility and sustainable functioning of agro-ecosystem*. Moscow, Nauka Publ., 2002. 257 p. (in Russian).
5. Nikitishen V. I. *Plant nutrition and fertilizing of agro-ecosystems in the conditions of high plains of Central Russia*. Moscow, Nauka Publ., 2012. 484 p. (in Russian).
6. Kudayarov V. N., Bashkin V. N., Kudeyarova A. Yu., Bochkarev A. N. *Ecological problems of fertilizer application*. Moscow, Nauka Publ., 1984. 213 p. (in Russian).
7. Bulatkin G. A. *Ecological and energy aspects of the productivity of agroecosystems*. Pushchino, 1986. 209 p. (in Russian).
8. Pirogovskaya G. V. *Applying, loss of plant nutrients in the system "precipitation - soil - fertilizer - plant"*. Minsk, Belaruskaya nauka Publ., 2018. 227 p. (in Russian).
9. Gorbovskii K. G., Norov A. M., Malyavin A. S., Mikhailichenko A. I. Physical and chemical properties of urea-containing nitrogen-phosphorus-potassium fertilizers conditioned with magnesium salts. *Khimicheskaya tekhnologiya*, 2014, vol. 15, no. 2, pp. 70–74 (in Russian).

10. Gorbovskii K. G., Norov A. M., Malyavin A. S., Mikhailichenko A. I. Physical and chemical properties of complex balanced brands of NPK-fertilizers using urea. *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya* = *Chemical Industry Today*, 2013, no. 6, pp. 12–19 (in Russian).

11. Pirogovskaya G. V. The effect of mineral fertilizers with the addition of trace elements and plant growth regulators on the yield and quality of agricultural products. *Pochvovedenie i agrokimiya* [Soil Science and Agrochemistry], 2013, no. 2, pp. 177–191 (in Russian).

12. Korostylev S. A., Gromova N. V., Grechishkina Yu. I. The impact of new brands of complex mineral fertilizers like NPK 21:1:21, 17:1:28, 19:4:19, 20:4:20, produced by “Nevynomyssky Azot”, on the yield of green mass of corn for silage on leached chernozem. *Sovremennye resursosberegayushchie innovatsionnye tekhnologii vozdeystviya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v Severo-Kavkazskom federal'nom okruge: 77-ya ezhгодnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Stavropol', 23–25 aprelya 2013 g.* [Modern resource-saving innovative technologies of cultivation of agricultural crops in the Northern Caucasus federal area: the 77th annual scientific and practical conference, Stavropol, April 23–25, 2013]. Stavropol, 2013, pp. 54–57 (in Russian).

13. Akanova N. I., Sychev V. G., Vizirskaya M. M., Andreev A. A. On the benefits and effectiveness of using complex mineral fertilizer NPK=14-14-23. *Niva Povolzh'ya* = *Volga Region Farmland*, 2017, no. 4 (45), pp. 2–10 (in Russian).

14. Lazarev V. I., Aidiev A. Ya., Zolotareva I. A., Stifeev A. I., Shershneva O. M. *The efficiency of micronutrient fertilizers in the conditions of the Kursk region*. Kursk, Kursk State Agricultural Academy, 2013. 139 p. (in Russian).

15. Pirogovskaya G., Myslivets D. The economic efficiency of use of complex fertilizers with modifying additives in the technology of cultivation of carrots. *Agrarnaya ekonomika* = *Agrarian Economics*, 2013, no. 11, pp. 40–48 (in Russian).

16. Pirogovskaya G. V., Lapa V. V., Chernyakov D. V., Ermakovich N. N. Development, production and use of complex fertilizers in the agricultural sector of the Republic of Belarus. *Pochvovedenie i agrokimiya* [Soil Science and Agrochemistry], 2018, no. 1 (60), pp. 87–107 (in Russian).

### Информация об авторах

*Прушак Виктор Яковлевич* – доктор технических наук, профессор, директор, Солигорский институт проблем ресурсосбережения с опытным производством (ул. Козлова, 69, 223710, Солигорск, Республика Беларусь). E-mail: ipr@sipr.by.

*Пироговская Галина Владимировна* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. лабораторией новых форм удобрений и мелиорантов, Институт почвоведения и агрохимии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Казинца, 90, 220108, Минск, Республика Беларусь). E-mail: brissa\_pir@mail.ru.

*Лапа Виталий Витальевич* – академик НАН Беларуси, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор, Институт почвоведения и агрохимии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Казинца, 90, 220108, Минск, Республика Беларусь). E-mail: brissagro@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7036-0568>

*Островский Леонид Кайтанович* – кандидат технических наук, доцент, зав. лабораторией комплексных удобрений, Институт общей и неорганической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, д. 9, кор. 1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: ostrov@igic.bas-net.by.

*Шевчук Вячеслав Владимирович* – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор химических наук, доцент, зав. отделом минеральных удобрений, Институт общей и неорганической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, д. 9, кор. 1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: Shevchukslava@rambler.ru.

*Мысливец Дмитрий Генрихович* – кандидат сельскохозяйственных наук, главный агроном, фермерское хозяйство «Горизонт» (ул. Советская, 142, 231605, Мосты, Гродненская область, Республика Беларусь). E-mail: horizontmosty@mail.ru

### Information about the authors

*Prushak Viktor Ya.* - D.Sc. (Engineering), Professor. Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production (69 Kozlova Str., 223710 Soligorsk, Republic of Belarus). E-mail: ipr@sipr.by.

*Pirahouskaya Halina V.* - D.Sc. (Agriculture), Professor. The Institute for Soil Science and Agrochemistry, the National Academy of Sciences of Belarus (90 Kazintsa Str., 220108 Minsk, Republic of Belarus). E-mail: brissa\_pir@mail.ru.

*Lapa Vitaliy V.* - Academician of NAS of Belarus, D.Sc. (Agriculture), Professor. The Institute for Soil Science and Agrochemistry, the National Academy of Sciences of Belarus (90 Kazintsa Str., 220108 Minsk, Republic of Belarus). E-mail: brissagro@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7036-0568>

*Ostrovskiy Leonid K.* - Ph.D. (Engineering), Assistant Professor. The Institute of General and Inorganic Chemistry of National Academy of Sciences of Belarus (9/1 Sarganova Str., 220108 Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ostrov@igic.bas-net.by.

*Shevchuk Vyacheslav V.* - Corresponding Member of NAS of Belarus, D.Sc. (Chemistry), Assistant Professor. The Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1 Sarganova Str., 220108 Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Shevchukslava@rambler.ru.

*Myslivets Dmitry G.* - Ph.D. (Agriculture). Farm “Gorizont” (142 Sovetskaya Str., 231605 Mosty, Grodno region, Republic of Belarus). E-mail: horizontmosty@mail.ru.