

## **ACCUMULATION OF $^{137}\text{Cs}$ IN PLANTS AND PRODUCTIVITY OF MULTI-COMPONENT LEGUME-CEREAL GRASSES ON PEAT-GLEY SOIL WHEN APPLYING MACRO- AND MICROFERTILIZERS**

**N. N. Tsybulka, A. V. Shashko**

### **Summary**

No significant effect of the type of legume component in the legume-cereal grasses on the accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  in hay has been established. On peat-gley soil, phosphoric and potash fertilizers in rates of  $\text{R}_{60}\text{K}_{180}$ , reduce the activity of  $^{137}\text{Cs}$  in the hay of the first mowing by 28–37 %, in the hay of the second mowing – by 23–34 %. Nitrogen fertilizers in a rate of  $\text{N}_{30}$  and together with microelements (Si, B, Mo) contribute to a decrease in the concentration of  $^{137}\text{Cs}$  in herbs by up to 2 times.

The placement of legume-cereal grasses on peat-gley soils has limitations when using hay for meat livestock. When receiving hay of the second mowing without the use of fertilizers, the permissible density of soil contamination does not exceed 7–9  $\text{Ki}/\text{km}^2$ , when applying only phosphorus and potassium in rates of  $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$  – 8–13  $\text{Ki}/\text{km}^2$ . When using  $\text{N}_{30-60}\text{P}_{60}\text{K}_{180}$  with microelements, it is possible to produce normatively pure grass hay with the participation of lyadvenets at a soil contamination density of  $^{137}\text{Cs}$  up to 23–27  $\text{Ki}/\text{km}^2$ , grass hay with the participation of clover – up to 18–20  $\text{Ki}/\text{km}^2$  and grass hay with the participation of galega – up to 16–19  $\text{Ki}/\text{km}^2$ .

The highest productivity was provided by legume-cereal grass mixture with eastern galega, which amounted to 144,4 c/ha of hay or 75,1 c/ha of fodder units and the payback of mineral fertilizers of 13,9 feed units when  $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{180}$  + microelements were applied.

*Поступила 04.11.21*

УДК 631.438:631.8:633.1

## **ВЛИЯНИЕ НОВЫХ ФОРМ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И НАКОПЛЕНИЕ $^{137}\text{Cs}$ ЯРОВЫМИ ЗЕРНОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ НА ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИОНУКЛИДАМИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СВЯЗНОСУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ**

**С. С. Хмелевский, Г. В. Пироговская, В. И. Сороко,  
К. В. Даниленко, А. С. Максимчук, И. Е. Ермолович**

*Институт почвоведения и агрохимии,  
г. Минск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

За период, прошедший после аварии на ЧАЭС наблюдается постепенное уменьшение площади используемых сельскохозяйственных земель с контролируемой минимальной плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  более 1,0  $\text{Ki}/\text{km}^2$  и  $^{90}\text{Sr}$  более 0,15  $\text{Ki}/\text{km}^2$  вследствие естественного распада радионуклидов и перехода

части земель в категорию незагрязненных. Так, если по состоянию на 2012 г. в сельскохозяйственном пользовании в целом по Республике Беларусь находилось более 1 млн. га земель, загрязненных  $^{137}\text{Cs}$  с плотностью 1,0 Ки/км<sup>2</sup> и около 350 тыс. га загрязненных  $^{90}\text{Sr}$  с плотностью 0,15 Ки/км<sup>2</sup> и выше, то уже по состоянию на 01.01.2020 г. в сельскохозяйственном пользовании площади таких земель республике загрязненных  $^{137}\text{Cs}$ , составляют 848,0 тыс. га, а загрязненных  $^{90}\text{Sr}$  – 281,6 тыс. га [1, 2], в том числе по Гомельской и Могилевской областях – загрязненных  $^{137}\text{Cs}$  – 510,6 и 245,8 тыс. га, а загрязненных  $^{90}\text{Sr}$  – 270,8 и 10,2 тыс. га. При этом, в настоящее время по уровню загрязнения радиоцезием преобладают земли с плотностью 1,0–5,0 Ки/км<sup>2</sup>, по уровню загрязнения радиостронцием – земли с плотностью 0,15–0,30 Ки/км<sup>2</sup> [1–3].

На сельскохозяйственных землях, загрязненных радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , важнейшей задачей, наряду с сохранением и повышением плодородия почв и поднятием продуктивности культур, перед аграриями стоит задача получения экологически безопасной сельскохозяйственной продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам по содержанию радионуклидов. К наиболее эффективным мерам, обеспечивающим снижение поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию, в первую очередь относятся агрохимические приемы: известкование, применение минеральных и органических удобрений, мелиорантов и сорбентов (цеолиты, трепел и др.). Все они создают агрохимические барьеры на пути поступления радионуклидов в растения. Однако агрохимические приемы снижения последствий радиоактивного загрязнения почвы имеют и существенный недостаток – они не удаляют из почвы радионуклиды. В результате многочисленных исследований, проведенных после аварии на ЧАЭС отечественными и зарубежными учеными, установлено, что удобрения и известковые мелиоранты оказывают значительное влияние на величину поступления радиоактивных элементов в растения, особенно на почвах с низким уровнем плодородия. Снижение концентрации радионуклидов в урожае достигается за счет улучшения условий питания растений и связанным с этим увеличением их биомассы, а также за счет повышения концентрации в почве обменных катионов, в первую очередь, калия и кальция. При этом происходит усиление антагонизма между ионами радионуклидов и ионами вносимых солей, изменяется доступность для корневых систем радионуклидов, вследствие перевода их в труднодоступные соединения и обменной фиксации в результате реакции радионуклидов с вносимыми удобрениями на поверхности коллоидной мицеллы почвенного поглощающего комплекса [4–20].

Известкование почвы однозначно приводит к уменьшению накопления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в урожае сельскохозяйственных культур за счет снижения кислотности почвы и связывания карбонат-иона с образованием гидрокарбоната. Установлено, что внесение извести в дозе, соответствующей полной гидролитической кислотности, снижает содержание радионуклидов в продукции растениеводства в 1,5–3 раза в зависимости от типа почв и исходной кислотности [4].

Получение высоких урожаев культурных растений невозможно без внесения азотных удобрений, однако известно, что азотные удобрения, особенно физиологически кислые, повышают накопление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  растениями в 1,8 и более раза, а фосфорные и калийные удобрения, наоборот, уменьшают величину накопления радионуклидов. В связи с этим, сбалансированность вносимых доз азота,

фосфора и калия на загрязненных радионуклидами землях, приобретает особую актуальность. Так, существует мнение, основанное на результатах проведенных исследований, что соотношение N:P:K в балансе питания широкого спектра сельскохозяйственных культур, при возделывании на минеральных почвах загрязненных радиоцезием должно соответствовать следующему: 1:1,5:2. То есть, калий в питании растений должен преобладать, тогда будет обеспечено снижение загрязнения урожая  $^{137}\text{Cs}$ . Особенно важно соблюдать такие соотношения на бедных калием почвах. На торфяно-болотных почвах соотношение N:P:K должно быть в пределах 1:1–1,5:2–2,5 [21–23].

Общей тенденцией в мировой практике и нашей стране является увеличение применения на почвах, загрязненных радионуклидами, наряду со стандартными формами удобрений, также комплексных удобрений, с оптимальным соотношением элементов питания под каждую конкретную возделываемую культуру, в том числе медленнодействующих, содержащих микроэлементы и регуляторы роста растений. Равномерность их внесения положительно сказывается как на урожае и качестве возделываемых культур, так и на поступление радионуклидов в продукцию [24–26]. Так, по сообщениям российских ученых, применение комплексных удобрений типа Борофоска и Нитроборофоска, содержащих основные элементы питания и кальций, а также бор, показало высокую эффективность (снижение накопления  $^{137}\text{Cs}$  в урожае до 6,8 раза) на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава [21].

Во ВНИИРАЭ разработаны и испытаны органоминеральные удобрения пролонгированного действия СУПРОДИТ М и ГЕОТОН, положительно влияющие как на урожайность зерновых культур, так и их качество, за счет уменьшения накопления радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  в зерне в 2,0 и 1,25–1,7 раза по сравнению с использованием стандартных удобрений [27, 28].

В Республике Беларусь в последнее десятилетие исследования РУП «Институт почвоведения и агрохимии» были направлены на разработку составов новых форм твердых и жидких комплексных удобрений с различными модифицирующими добавками (микроэлементами и регуляторами роста растений) для основного внесения в почву и некорневых подкормок по вегетирующим растениям основных сельскохозяйственных культур. Агрономическая эффективность их изучалась на почвах разного гранулометрического состава под различными сельскохозяйственными культурами. Перспективные формы удобрений внесены в Государственный реестр средств защиты растений (удобрений), разрешенных для применения в Республике Беларусь [25, 26, 29]. Однако, эффективность их изучалась на почвах, не загрязненных радионуклидами, преимущественно, в Минской, Гродненской и Витебской областях.

И в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС остается актуальной задача получения основной и побочной продукции растениеводства, соответствующей допустимым уровням содержания радионуклидов. Актуальным направлением исследований является изучение влияния новых форм комплексных удобрений с модифицирующими добавками на поступление радионуклидов в растениеводческую продукцию. Эта задача особенно актуальна в условиях изменения климата, как в целом по Республике Беларусь, так и по областям, загрязненным радионуклидами. До настоящего времени исследований по изучению действия новых форм комплексных удобрений с модифицирующими добавками

на переход радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию в Республике Беларусь не проводились.

Таким образом, цель наших исследований – разработать составы и изучить влияние новых форм комплексных удобрений с модифицирующими добавками (микроэлементами и регуляторы роста растений) на накопление радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ) зерновыми культурами в зависимости от их биологических особенностей и метеорологических факторов.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Объекты исследований:* сельскохозяйственные культуры – ячмень, овес, почвы – дерново-подзолистая связносупесчаная.

*Предмет исследований* – комплексные удобрения с модифицирующими добавками (микроэлементами, в том числе в хелатной форме), регуляторами роста растений, ингибиторами нитрификации, связующими), стандартные удобрения (карбамид, аммонизированный суперфосфат, калий хлористый гранулированный).

*Место проведения исследований* – полевые опыты с яровыми зерновыми культурами проводили на дерново-подзолистой связносупесчаной почве в ОАО «Халыч» Ветковского района Гомельской области.

Схема опыта с ячменем и овсом включала 12 и 11 вариантов. Сами схемы приводятся далее в таблицах в главе «Результаты исследований и их обсуждение».

Площадь делянок в опытах составляла 50 м<sup>2</sup> (10×5), повторность – 4-кратная, размещение – рендомизированное. Предшественник – кукуруза.

Агрохимические показатели в пахотном горизонте в полевых опытах с яровыми зерновыми культурами были следующие (2020 и 2021 гг.): с ячменем – содержание гумуса – 2,24 и 1,21 %, pH – 5,78 и 5,54, содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 205 и 283 и K<sub>2</sub>O – 520 и 397 мг/кг почвы, Ca – 854 и 791 и Mg – 258 и 152 мг/кг почвы соответственно; с овсом – содержание гумуса – 2,17 и 1,58 %, pH – 5,23 и 5,70, содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 215 и 324 и K<sub>2</sub>O – 505 и 454 мг/кг почвы, Ca – 780 и 791 и Mg – 204 и 174 мг/кг почвы соответственно. Содержание микроэлементов следующее: содержание Cu (1,0 М HCl) – 2,41–2,77 (среднее) мг/кг почвы, Zn (1,0 М HCl) – 3,24–3,41 (среднее), Mn (1,0 М KCl) – 2,1–2,8 (среднее) мг/кг почвы.

Плотность загрязнения (среднее по полю)  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  Апах дерново-подзолистой связносупесчаной почвы перед закладкой полевых опытов с зерновыми культурами в ОАО «Халыч» Ветковского района составляло (2020 и 2021 гг.): на поле с ячменем  $^{137}\text{Cs}$  – 10,5 и 6,4 Ки/км<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  – 0,30 и 0,19 Ки/км<sup>2</sup> соответственно, на поле с овсом –  $^{137}\text{Cs}$  – 10,8 и 6,3 Ки/км<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  – 0,16 и 0,21 Ки/км<sup>2</sup>.

Полевые опыты были заложены с ячменем сортов Мустанг (2020 г.) и Батяка (2021 г.), а также овсом сорта Лидия (2020–2021 гг.). Оба сорта ячменя ярового и овса внесены в Государственный реестр сортов Республики Беларусь и разрешены для возделывания во всех областях Республики Беларусь.

Полевые исследования проведены, согласно действующих рекомендаций по их проведению при возделывании сельскохозяйственных культур. Все работы по обработке почвы, севу, уходу за посевами выполнены в оптимальные сроки (с учетом метеорологических и гидрологических условий) и в течение одного дня. Агротехника возделываемых культур общепринятая для Республики Беларусь. Уход за посевами (обработка посевов от сорняков, вредителей и болезней) прове-

дена разрешенными препаратами, которые внесены в «Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь» [29–31].

Почвенные образцы отбирались перед закладкой и после уборки полевых опытов из пахотного горизонта почвы, в которых определялись следующие показатели:

- удельная активность радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  (почвенные и растительные образцы) и  $^{90}\text{Sr}$  (почвенные образцы) измерялась по общепринятой методике (МВИ.МН 1181-2011. Методика выполнения измерений объемной и удельной активности  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  на гамма-бета-спектрометре типа МКС-АТ1315, объемной и удельной активности гамма-излучающих радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  на гамма-спектрометре типа EL1309 (МКГ-1309) в пищевых продуктах, питьевой воде, почве, сельскохозяйственном сырье и кормах, продукции лесного хозяйства, других объектах окружающей среды. Утверждено 11.11.2011 г. НПУ «АТОМТЕХ»);

- гумус – по методу И.В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-84);
- обменная кислотность рН (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.

Статистическая обработка результатов исследований проводилась по Б. А. Доспехову с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на персональном компьютере, наименьшая существенная разность рассчитывалась с помощью компьютерной программы Excel [32].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Температура воздуха и количество выпавших атмосферных осадков в период с марта по август (вегетация ячменя и овса) приведены по данным станции метеонаблюдения в г. Гомеле (рис. 1, 2).

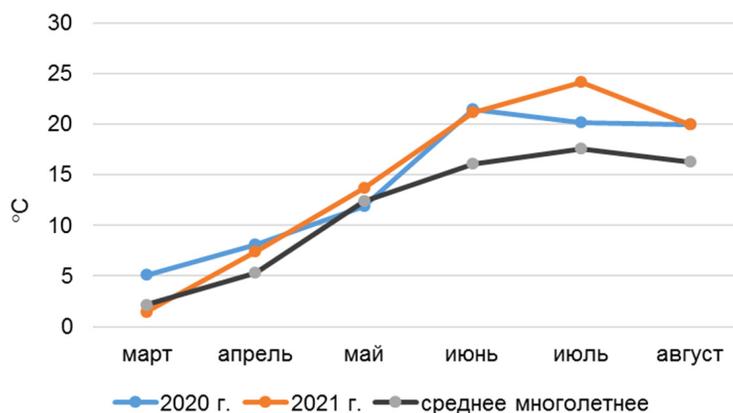


Рис. 1. Температура воздуха во время вегетации яровых зерновых культур

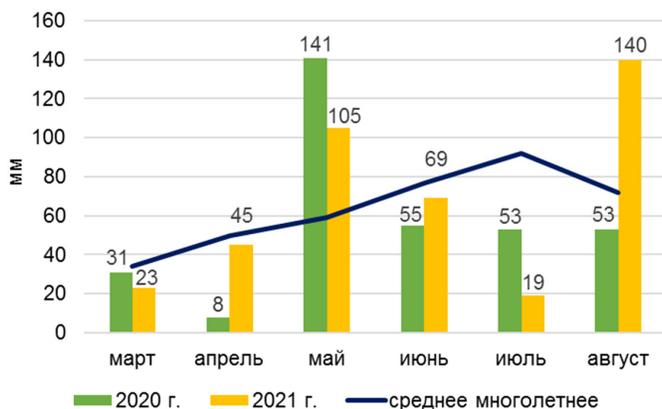


Рис. 2. Количество осадков во время вегетации яровых зерновых культур

Температура воздуха в период вегетации ячменя и овса в 2020–2021 гг. была выше среднемноголетних значений в 1,2–2,3 раза, и лишь в мае приближалась к среднемноголетнему показателю. Выпадение осадков в течение вегетационных периодов при возделывании яровых зерновых (март–июль в 2020 г. и апрель–август в 2021 г.) было неравномерным и отличалось от среднемноголетних значений. В сумме за период вегетации в 2020 г. выпало 288 мм атмосферных осадков, в 2021 г. – 378 мм, при среднемноголетнем 312 мм и 350 мм, соответственно. Гидротермический коэффициент (ГТК) в период с мая по июль 2020 г. (когда температура воздуха была выше 10 °С) составил 1,51, в период с мая по август 2021 г. – 1,37, при среднемноголетнем 1,61. При этом в мае выпало в 2,4 и, соответственно, в 1,8 раза больше осадков, чем среднемноголетнее значение, июнь и июль были засушливыми, а в августе 2021 г. выпало в 1,9 раза больше среднемноголетнего. Вегетационные периоды 2020 г. (май–июль) и 2021 г. (май–август) следует считать, как оптимальные.

Учет урожайности ячменя в условиях 2020 г. на дерново-подзолистой связно-супесчаной почве показал, что наиболее эффективными формами комплексных удобрений в дозе  $N_{60}P_{40}K_{30}$  были: комплексные NPK с Cu и Mn (в хелатной форме с EDTA – импортный препарат, вар. 8); комплексные NPK с Cu и Mn (в хелатной форме с EDTA – отечественный препарат, вар. 9); далее NPK с S (2 %) с CaO (7 %) и MgO (5 %) (вар. 7) и NPK с S (6 %) и C (12 %) (вар. 5). Урожайность зерна ячменя в этих вариантах находилась в пределах от 52,2 до 53,0 ц/га, при урожайности в базовом варианте без добавок ( $N_{60}P_{40}K_{30}$ ) – 49,6 ц/га, на контрольном варианте без удобрений – 41,6 ц/га. Применение разных форм комплексных удобрений с модифицирующими добавками обеспечивало тенденцию или достоверное повышение урожайности зерна ячменя в пределах от 1,5 до 3,4 ц/га по сравнению с базовым вариантом.

Следует отметить, что в варианте 3, где вовсе не применяли калийные удобрения ( $N_{60}P_{40}K_0$ ), так как содержание калия в почве очень высокое, получена урожайность зерна (50,4 ц/га), разница с базовым вариантом (49,6 ц/га) не достоверная. При этом уменьшение дозы фосфора ( $N_{60}P_{20}K_{30}$ ) снижало урожайность зерна (47,5 ц/га) по сравнению с дозой  $N_{60}P_{40}K_{30}$  в базовом варианте. Сравнительная

оценка эффективности комплексных удобрений с добавками отходов дрожжевых производств (регулятор роста растений Ростмомент и отходы дрожжевых производств НПЦ по продовольствию, г. Минск) показала, что включение этих отходов в состав комплексных удобрений обеспечило урожайность зерна 49,8–51,1 ц/га (т.е. урожайность на уровне базового варианта).

Урожайность зерна ячменя на той же почве в условиях 2021 г. изменялась в зависимости от вариантов опыта и находилась в пределах от 38,5 (контроль) ц/га до 42,8–53,1 ц/га (с удобрениями). Применение новых форм комплексных удобрений с различными модифицирующими добавками, внесенными в эквивалентной дозе с базовым вариантом, обеспечило увеличение урожайности зерна на 4,5–9,0 ц/га (вар. 5, 6, 8, 9, 12). Не получено достоверного повышения урожайности зерна ячменя в варианте без внесения калийных удобрений (вар. 3), при снижении дозы фосфорных удобрений до  $P_{20}$  (вар. 4), от NPK с S (2 %), CaO (7 %), MgO (5 %) (вар.7) и удобрений с добавками дрожжевых производств (вар. 10, 11) по сравнению с базовым вариантом (вар. 2) (табл. 1).

Таблица 1

**Урожайность зерна ячменя на дерново-подзолистой связносупесчаной почве  
в ОАО «Хальч» Ветковского района**

| Вариант                                                                           | Урожайность зерна при влажности 14 %, ц/га |         |         | Прибавка, ц/га |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------|---------|----------------|------------|
|                                                                                   | 2020 г.                                    | 2021 г. | среднее | к контролю     | к базовому |
| 1. Контроль без удобрений                                                         | 41,6                                       | 38,5    | 40,1    | –              | –          |
| 2. $N_{60}P_{40}K_{30}$ – базовый                                                 | 49,6                                       | 44,1    | 46,9    | 6,8            | –          |
| 3. $N_{60}P_{40}K_0$                                                              | 50,4                                       | 42,8    | 46,6    | 6,5            | -0,3       |
| 4. $N_{60}P_{20}K_{30}$                                                           | 47,5                                       | 44,6    | 46,1    | 6,0            | -0,9       |
| 5. $N_{60}P_{40}K_{30}$ с S(6 %), C (углерода) (12 %)                             | 52,2                                       | 52,8    | 52,5    | 12,4           | 5,6        |
| 6. $N_{60}P_{40}K_{30}$ с S (2 %) и C (углерода) (12 %)                           | 51,2                                       | 53,1    | 52,2    | 12,1           | 5,3        |
| 7. $N_{60}P_{40}K_{30}$ с S (2 %), CaO (7 %), MgO (5 %)                           | 52,8                                       | 45,0    | 48,9    | 8,8            | 2,0        |
| 8. $N_{60}P_{40}K_{30}$ с Cu и Mn (с EDTA)                                        | 53,0                                       | 49,0    | 51,0    | 10,9           | 4,1        |
| 9. $N_{60}P_{40}K_{30}$ с Cu и Mn (с EDTA на основе растительного масла)          | 52,8                                       | 48,6    | 50,7    | 10,6           | 3,8        |
| 10. $N_{60}P_{40}K_{30}$ с отходами дрожжевых производств (Ростмомент)            | 49,8                                       | 45,4    | 47,6    | 7,5            | 0,7        |
| 11. $N_{60}P_{40}K_{30}$ с отходами дрожжевых производств (НПЦ по продовольствию) | 51,1                                       | 45,1    | 48,1    | 8,0            | 1,2        |
| 12. $N_{50}P_{65}K_{90}$ с Cu и Mn                                                | 51,9                                       | 49,1    | 50,5    | 10,4           | 3,6        |
| НСР <sub>05</sub>                                                                 | 3,18                                       | 4,23    |         | 3,74           |            |

В среднем за два года исследований урожайность в опыте с ячменем находилась в пределах от 40,1 ц/га на контроле до 46,1–52,5 ц/га в вариантах с применением удобрений. Внесение в опыте новых форм удобрений обеспечивало тенденцию или достоверное увеличение урожайности относительно базового варианта (стандартные туки) на 0,7–5,6 ц/га. Наиболее эффективными были комплексные NPK с S (6 %) и C (12 %) (вар. 5), NPK с S (2 %) и C 12 %

(вар. 6), NPK с Cu и Mn (в хелатной форме с EDTA – импортный препарат, вар. 8) и NPK с Cu и Mn (в хелатной форме с EDTA – отечественный препарат, вар. 9), обеспечившие прибавку урожайности 5,6 ц/га, 5,3, 4,1 и 3,8 ц/га соответственно.

Урожайность соломы при стандартной влажности (16 %) находилась в пределах от 71,6 ц/га до 99,0 ц/га (в зависимости от вариантов опыта). Соотношение солома/зерно при уборке ячменя изменялось от 1,46 до 2,05.

Согласно республиканских допустимых уровней (РДУ-99) содержание  $^{137}\text{Cs}$  в сельскохозяйственном сырье и кормах, в том числе для переработки на пищевые цели на перерабатывающих предприятиях составляет: в зерне – 90 Бк/кг, на детское питание – 55 Бк/кг. Для получения различных видов конечной продукции, в том числе, использование зерна на фураж и комбикорм: *содержание  $^{137}\text{Cs}$*  – для молока цельного – 150 Бк/кг, для молока-сырья для переработки на масло – 600 и на мясо, заключительный откорм – 480 Бк/кг, в соломе эти показатели следующие – 330, 900 и 700 Бк/кг [3].

На дерново-подзолистой связносупесчаной почве с плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  – 10,5 Ки/км<sup>2</sup> и  $^{90}\text{Sr}$  – 0,30 Ки/км<sup>2</sup> в условиях 2020 г. содержание  $^{137}\text{Cs}$  в зерне ячменя, в зависимости от вариантов опыта с разными формами удобрений, находилось в пределах от 0,00 до 3,43 Бк/кг и было пригодно как на пищевые цели, так и для использования зерна на фураж и комбикорм. При возделывании ячменя на дерново-подзолистой связносупесчаной почве в условиях 2021 г. с плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  – 6,4 Ки/км<sup>2</sup> и  $^{90}\text{Sr}$  – 0,19 Ки/км<sup>2</sup> содержание  $^{137}\text{Cs}$  в зерне по вариантам опыта изменялось от 3,58 до 6,54 Бк/кг и было значительно ниже РДУ (90 Бк/кг). При внесении в опыте разных форм комплексных удобрений наблюдалось незначительное увеличение содержания  $^{137}\text{Cs}$  в зерне по сравнению с базовым вариантом, за исключением  $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_{30}$  с отходами дрожжевых производств (НПЦ по продовольствию), где этот показатель был ниже базового варианта. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в зерне ячменя по средним данным за 2020–2021 гг. было ниже (на 0,17–2,30 Бк/кг) во всех вариантах с комплексными удобрениями по сравнению с внесением стандартных удобрений (базовый вариант) (табл. 2).

Таблица 2

**Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в зерне ячменя на дерново-подзолистой связносупесчаной почве в ОАО «Хальч» Ветковского района**

| Вариант                                                                    | Содержание радионуклидов, (УА) Бк/кг |              |                   |              |                   |              |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
|                                                                            | 2020 г.                              |              | 2021 г.           |              | среднее           |              |
|                                                                            | $^{137}\text{Cs}$                    | ± к базовому | $^{137}\text{Cs}$ | ± к базовому | $^{137}\text{Cs}$ | ± к базовому |
| 1. Контроль без удобрений                                                  | 0,56                                 | –            | ≤4,22             | –            | 2,39              | –            |
| 2. $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_{30}$ – базовый                     | 3,43                                 | –            | 5,45              | –            | 4,44              | –            |
| 3. $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_0$                                  | 2,27                                 | –1,16        | ≤3,58             | –1,87        | 2,93              | –1,52        |
| 4. $\text{N}_{60}\text{P}_{20}\text{K}_{30}$                               | 0,00                                 | –3,43        | ≤4,28             | –1,17        | 2,14              | –2,30        |
| 5. $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_{30}$ с (6 %)S, (12 %)C (углерода)  | 1,10                                 | –2,33        | 6,26              | 0,81         | 3,68              | –0,76        |
| 6. $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_{30}$ с (2 %)S и (12 %)C (углерода) | 0,21                                 | –3,22        | 5,93              | 0,48         | 3,07              | –1,37        |

| Вариант                                                                                                      | Содержание радионуклидов, (УА) Бк/кг |              |                   |              |                   |              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
|                                                                                                              | 2020 г.                              |              | 2021 г.           |              | среднее           |              |
|                                                                                                              | <sup>137</sup> Cs                    | ± к базовому | <sup>137</sup> Cs | ± к базовому | <sup>137</sup> Cs | ± к базовому |
| 7. N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>30</sub> с (2 %)S, (7 %)CaO, (5 %)MgO                              | 0,50                                 | -2,93        | 6,54              | 1,09         | 3,52              | -0,92        |
| 8. N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>30</sub> с Cu и Mn (с EDTA)                                        | 1,18                                 | -2,25        | 5,77              | 0,32         | 3,48              | -0,97        |
| 9. N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>30</sub> с Cu и Mn (с EDTA на основе растительного масла)          | 0,00                                 | -3,43        | 5,85              | 0,40         | 2,93              | -1,52        |
| 10. N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>30</sub> с отходами дрожжевых производств (Ростмомент)            | 2,75                                 | -0,68        | 5,79              | 0,34         | 4,27              | -0,17        |
| 11. N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>30</sub> с отходами дрожжевых производств (НПЦ по продовольствию) | 0,00                                 | -3,43        | ≤4,05             | -1,40        | 2,03              | -2,42        |
| 12. N <sub>50</sub> P <sub>65</sub> K <sub>90</sub> с Cu и Mn                                                | 2,15                                 | -1,28        | 6,17              | 0,72         | 4,16              | -0,28        |

Содержание <sup>137</sup>Cs в соломе ячменя в годы исследований находилось значительно ниже значений, определенных регламентом, и составляло: <sup>137</sup>Cs – от 0,50 до 11,5 Бк/кг соответственно, данная продукция может также использоваться на любые цели без ограничения.

Содержание элементов питания в зерне ячменя в среднем за 2020–2021 гг. составляло: общего азота – 1,18–1,48 %, фосфора – 0,82–1,18, калия – 0,44–0,59, кальция – 0,014–0,021 и магния – 0,08–0,10 %. При этом выраженного действия от применяемых в опыте удобрений на изменение содержания элементов питания в зерне ячменя, не наблюдалось, за исключением калия, где удобрения достоверно повысили его содержание относительно контрольного варианта на 0,06–0,15 %.

Содержания элементов питания в соломе ячменя составляло: общего азота – 0,57–0,95 %, фосфора – 0,34–0,47, калия – 1,41–2,10, кальция – 0,36–0,46 и магния – 0,11–0,15 %.

В условиях 2020 г. на дерново-подзолистой связносупесчаной почве наблюдалась близкая закономерность по влиянию комплексных удобрений с добавками на урожайность зерна овса. Так, на контроле получена урожайность зерна 42,2 ц/га, в базовом варианте – 51,9 ц/га, с комплексными удобрениями с модифицирующими добавками – 54,1–59,5 ц/га, с прибавкой от новых форм удобрений в размере от 2,2 до 7,6 ц/га. При этом от применения комплексного удобрения с регулятором роста растений Ростмомент не получено прибавки зерна овса по сравнению с базовым вариантом.

Урожайность овса в условиях 2021 г. получена приблизительно на уровне прошлого года: на контроле она составила 46,3 ц/га, в вариантах с удобрениями – от 50,0 до 58,6 ц/га. Эффективными были комплексные удобрения NPK с S (2 %) с CaO (7 %) и MgO (5 %), (вар. 8) с прибавкой зерна 4,9 ц/га, NPK с S (2 %), C (12 %) и NPK с отходами дрожжевых производств (НПЦ по продовольствию) с прибавкой в 5,7 ц/га. Не получено также достоверной прибавки зерна овса от применения комплексного удобрения с регулятором роста растений Ростмомент и другими комплексными удобрениями (вар. 5–7) по сравнению с базовым вариантом (табл. 3).

Таблица 3

**Урожайность зерна овса на дерново-подзолистой связносупесчаной почве  
в ОАО «Хальч» Ветковского района**

| Вариант                                                                                                      | Урожайность зерна при влажности 14 %, ц/га |         |         | Прибавка, ц/га |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------|---------|----------------|------------|
|                                                                                                              | 2020 г.                                    | 2021 г. | среднее | к контролю     | к базовому |
| 1. Контроль без удобрений                                                                                    | 42,2                                       | 46,3    | 44,3    | –              | –          |
| 2. N <sub>70</sub> P <sub>40</sub> K <sub>60</sub>                                                           | 51,9                                       | 50,0    | 51,0    | 6,7            | –          |
| 3. N <sub>50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>30</sub> – базовый                                                 | 51,1                                       | 52,9    | 52,0    | 7,7            | –          |
| 4. N <sub>50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>0</sub>                                                            | 53,4                                       | 50,8    | 52,1    | 7,8            | 0,1        |
| 5. N <sub>50</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub> с S (6 %), C (углерода) (12 %)                            | 54,1                                       | 55,6    | 54,9    | 10,6           | 2,9        |
| 6. N <sub>50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>30</sub> с Cu и Mn (с EDTA)                                        | 59,5                                       | 54,6    | 57,1    | 12,8           | 5,1        |
| 7. N <sub>50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>30</sub> Cu и Mn (с EDTA на основе растительного масла)            | 56,5                                       | 52,6    | 54,6    | 10,3           | 2,6        |
| 8. N <sub>50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>30</sub> с S (2 %) с CaO (7 %) и MgO (5 %)                         | 56,4                                       | 57,8    | 57,1    | 12,8           | 5,1        |
| 9. N <sub>50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>30</sub> с S (2 %), C (12 %)                                       | 56,7                                       | 58,6    | 57,7    | 13,4           | 5,7        |
| 10. N <sub>50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>30</sub> с отходами дрожжевых производств (Ростмомент)            | 52,0                                       | 53,9    | 53,0    | 8,7            | 1,0        |
| 11. N <sub>50</sub> P <sub>20</sub> K <sub>30</sub> с отходами дрожжевых производств (НПЦ по продовольствию) | 55,0                                       | 58,6    | 56,8    | 12,5           | 4,8        |
| НСР <sub>05</sub>                                                                                            | 4,33                                       | 3,50    |         | 3,94           |            |

В среднем за два года исследований урожайность овса при возделывании на дерново-подзолистой связносупесчаной почве составила: на контроле – 44,3 ц/га, в базовом варианте – 52,0, в варианте со стандартными туками без внесения калия – 52,1, с новыми формами комплексных удобрений – 53,0–57,7 ц/га. Применяемые в опыте комплексные удобрения обеспечили тенденцию, а в ряде вариантов достоверное увеличение урожайности зерна на 2,0-6,7 ц/га относительно базового варианта со стандартными удобрениями в эквивалентной дозе. Высокую эффективность показало внесение NPK с S (2 %) и C (12 %), NPK с S (2 %) с CaO (7 %) и MgO (5 %), NPK с Cu и Mn (с EDTA) и NPK с отходами дрожжевых производств (НПЦ по продовольствию), обеспечив прибавку урожая на уровне 5,7 ц/га, 5,1, 5,1 и 4,8 ц/га соответственно.

Урожайность соломы овса при стандартной влажности (16 %) находилась в пределах от 73,4 ц/га до 120,9 ц/га (в зависимости от вариантов опыта). Соотношение солома/зерно при уборке овса было на уровне от 1,27 до 2,45.

При возделывании овса на дерново-подзолистой связносупесчаной почве с плотностью загрязнения <sup>137</sup>Cs – 10,8 Ки/км<sup>2</sup> и <sup>90</sup>Sr – 0,16 Ки/км<sup>2</sup> в условиях 2020 г. содержание <sup>137</sup>Cs в зерне овса находилось в пределах от 0,00 до 3,57 Бк/кг и во всех вариантах опыта было значительно ниже РДУ-99 (0,00-3,57 Бк/кг). В условиях 2021 г. на той же почве с плотностью загрязнения <sup>137</sup>Cs – 6,3 Ки/км<sup>2</sup> и <sup>90</sup>Sr – 0,21 Ки/км<sup>2</sup> содержание <sup>137</sup>Cs в зерне овса, в зависимости от вариантов опыта, находилось в пределах от 3,18 до 7,41 Бк/кг, а в среднем за два года от 2,26 до 4,88 Бк/кг, и зерно было пригодно как на пищевые цели, так и для использования на фураж и комбикорм (табл. 4).

**Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в зерне овса на дерново-подзолистой связносупесчаной почве  
в ОАО «Хальч» Ветковского района**

| Вариант                                                                                                | Содержание радионуклидов, (УА) Бк/кг |            |                   |            |                   |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
|                                                                                                        | 2020 г.                              |            | 2021 г.           |            | среднее           |            |
|                                                                                                        | $^{137}\text{Cs}$                    | ± базовому | $^{137}\text{Cs}$ | ± базовому | $^{137}\text{Cs}$ | ± базовому |
| 1. Контроль без удобрений                                                                              | 0,00                                 | –          | 7,41              | –          | 3,71              | –          |
| 2. $\text{N}_{70}\text{P}_{40}\text{K}_{60}$                                                           | 3,41                                 | –          | 6,34              | –          | 4,88              | –          |
| 3. $\text{N}_{50}\text{P}_{20}\text{K}_{30}$ – базовый                                                 | 0,00                                 | –          | 3,51              | –          | 1,76              | –          |
| 4. $\text{N}_{50}\text{P}_{20}\text{K}_0$                                                              | 0,50                                 | 0,5        | 5,81              | 2,3        | 3,16              | 1,40       |
| 5. $\text{N}_{50}\text{P}_{30}\text{K}_{30}$ с (6 %)S, (12 %)C (углерода)                              | 2,68                                 | 2,68       | 3,18              | -0,33      | 2,93              | 1,17       |
| 6. $\text{N}_{50}\text{P}_{20}\text{K}_{30}$ с Cu и Mn (с EDTA)                                        | 0,00                                 | 0,00       | 4,52              | 1,01       | 2,26              | 0,50       |
| 7. $\text{N}_{50}\text{P}_{20}\text{K}_{30}$ Cu и Mn (с EDTA на основе растительного масла)            | 0,00                                 | 0,00       | 7,02              | 3,51       | 3,51              | 1,75       |
| 8. $\text{N}_{50}\text{P}_{20}\text{K}_{30}$ с S (2 %) с CaO(7 %) и MgO(5 %)                           | 0,00                                 | 0,00       | 6,29              | 2,78       | 3,15              | 1,39       |
| 9. $\text{N}_{50}\text{P}_{20}\text{K}_{30}$ с (2 %)S, (12 %)C                                         | 2,38                                 | 2,38       | 7,38              | 3,87       | 4,88              | 3,12       |
| 10. $\text{N}_{50}\text{P}_{20}\text{K}_{30}$ с отходами дрожжевых производств (Ростмомент)            | 3,57                                 | 3,57       | 5,76              | 2,25       | 4,67              | 2,91       |
| 11. $\text{N}_{50}\text{P}_{20}\text{K}_{30}$ с отходами дрожжевых производств (НПЦ по продовольствию) | 1,82                                 | 1,82       | 4,46              | 0,95       | 3,14              | 1,38       |

В соломе овса содержание  $^{137}\text{Cs}$  в годы исследований находилось также ниже допустимых уровней (0,10–12,4 Бк/кг), и она была пригодна для использования на любые цели без ограничения.

Содержание общего азота в зерне овса на контроле составляло 1,22 %, в вариантах с удобрениями – 1,27–1,38 %, с относительным его увеличением на 0,09–0,16 % по сравнению с контролем. Содержание остальных элементов по вариантам изменялось: фосфора – от 0,32 до 0,40 %, калия – от 0,26 до 0,37, кальция – от 0,09 до 0,10 и магния – от 0,22 до 0,24 %. Что касается содержания элементов питания в соломе овса, то оно изменялось в зависимости от вариантов диапазонах: общий азот – 0,55–1,06 %, фосфор – 0,38–0,93, калий – 3,24–4,39, кальций – 0,036–0,046 и магний – 0,13–0,19 %.

Полученные 2-летние экспериментальные данные по урожайности и показателям качества продукции, содержанию радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ ), не позволяют сделать окончательные выводы о влиянии новых форм комплексных удобрений на вышеуказанные показатели (в том числе и по содержанию  $^{90}\text{Sr}$  в продукции), они будут дополнены в 2022 г. по окончании исследований

## ВЫВОДЫ

Полученные экспериментальные данные в условиях 2020–2021 гг. позволяют сделать следующие выводы.

1. Применение на дерново-подзолистой связносупесчаной почве новых форм комплексных удобрений с модифицирующими добавками обеспечивало тенденцию или достоверное повышение урожайности зерна ячменя в среднем за

два года в пределах от 0,7 до 5,6 ц/га по сравнению с внесением стандартных удобрений (базовый вариант). Наиболее эффективными формами комплексных удобрений в дозе  $N_{60}P_{40}K_{30}$  были комплексные: NPK с S (2–6 %) и С (12 %) (прибавка зерна 5,3–5,6 ц/га), NPK с Cu и Mn (в хелатной форме с EDTA), с прибавкой зерна 3,8–4,1 ц/га. Урожайность зерна ячменя в этих вариантах находилась в пределах от 50,7 до 52,5 ц/га, при урожайности в базовом варианте без добавок ( $N_{60}P_{40}K_{30}$ ) – 46,9 ц/га.

2. При внесении на дерново-подзолистой связносупесчаной почве комплексных удобрений с модифицирующими добавками получена прибавка зерна овса в среднем за 2 года размере от 1,0 до 5,7 ц/га, при урожайности в базовом варианте – 52,0 ц/га. Лучшими удобрениями при возделывании овса были: NPK с S (2 %) и С (12 %) (прибавка зерна 5,7 ц/га), NPK с S (2 %) с CaO (7 %) и MgO (5 %) (прибавка зерна 5,1 ц/га), NPK с Cu и Mn (в хелатной форме с EDTA), с прибавкой 5,1 ц/га, а также NPK с отходами дрожжевых производств НПЦ по продовольствию (прибавка зерна 4,8 ц/га).

3. Содержание  $^{137}Cs$  в зерне ячменя и овса, при внесении разных форм удобрений на дерново-подзолистых связносупесчаных почвах (2020–2021 гг.) с плотностью загрязнения  $^{137}Cs$  – 6,3–10,8 Ки/км<sup>2</sup> и  $^{90}Sr$  – 0,16–0,30 и Ки/км<sup>2</sup>, находилось значительно ниже РДУ-99, и было пригодно как на пищевые цели, так и для использования на фураж и комбикорм, а солома ячменя – для использования на любые цели, без ограничения.

4. Сделать вывод о влиянии комплексных удобрений с модифицирующими добавками на снижение поступления  $^{137}Cs$  в основную и побочную продукцию яровых зерновых культур, при таком низком их содержании в зерне и соломе, по данным двухгодичных исследований не представляется возможным.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 годы / Н. Н. Цыбулько [и др.]; Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС. – Минск: РНИУП «Институт радиологии», 2012. – 121 с.

2. Рекомендации по оптимизации возделывания сельскохозяйственных культур почвенно-радиоэкологический условиях Гомельской и Могилевской областей / Н. Н. Цыбулько [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2021. – 82 с.

3. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы / Н. Н. Цыбулько [и др.]; Национальная академия наук Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 144 с.

4. Радиохимические и химические аспекты снижения последствий радиоактивного загрязнения почв / П. Орлов [и др.] // International Agrocultural Journal. – 2017. – № 2. – С. 42–46.

5. Прудников, П. В. Использование агрономических руд и новых комплексных минеральных удобрений на радиоактивно загрязненных почвах / П. В. Прудников. – Брянск, 2012. – 296 с.

6. Федоркова, М. В. Биологическая подвижность радиоцезия в агроценозе на дерново-подзолистой песчаной почве: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.04; 03.01.01 / М. В. Федоркова; МГУ им. М. В. Ломоносова. – М., 2013. – 26 с.

7. Эффективность новых комплексных удобрений в условиях радиоактивно загрязненных агроценозов / Б. А. Сушеница [и др.] // Агрохимический вестник. – 2011. – № 5. – С. 23–25.

8. Эволюция представлений о подвижности  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва-растение и роли калия в этих процессах / Н. И. Санжарова [и др.] // Агрохимия. – 2014. – № 5. – С. 79–93.

9. Формы нахождения в почвах и динамика накопления  $^{137}\text{Cs}$  в сельскохозяйственных культурах после аварии на Чернобыльской АЭС / Н. И. Санжарова [и др.] // Почвоведение. – 2004. – № 2. – С. 159–164.

10. Влияние новых комплексных органо-минеральных удобрений на продуктивность кукурузы и транслокацию  $^{137}\text{Cs}$  в растения / С. П. Арышева [и др.] // Агрохимия. – 2018. – № 3. – С. 27–35.

11. Справцева Е. В. Агроэкологическая оценка применения средств химизации при возделывании озимой пшеницы на юго-западе России в условиях радиоактивного загрязнения агроландшафтов: дис. ... канд. с-х. наук: 06.01.04 / Е. В. Справцева. – Брянск, 2020. – 184 с.

12. Алексахин, Р. М. Сельскохозяйственная радиоэкология / Р. М. Алексахин, Н. А. Корнев. – М.: Экология, 1992. – 400 с.

13. Алексахин, Р. М. Поведение  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва-растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклидов в урожае / Р. М. Алексахин // Агрохимия. – 1992. – № 10. – С. 123–138.

14. Прудников, П. В. Эффективность агрохимических мероприятий при реабилитации радиоактивно загрязненных территорий / П. В. Прудников // Агрохимический вестник. – 2006. – № 2. – С. 8–10.

15. Tsukada, H. Transfer of  $^{137}\text{Cs}$  and stable Cs from paddy soil to polished rice in Aomori Japan / H. Tsukada, H. Hasegawa Sh Hisamatsu et al / J. Environ. – Radiol. – 2002. – Vol. 59. – P. 351–363.

16. Основные факторы, определяющие поведение радионуклидов в системе почва-растение / Б. С. Пристер [и др.] // Проблемы сельскохозяйственной радиологии. – Вып. 2. – 1992. – С. 108–117.

17. Willey, H. Some effects of nitrogen nutrition on calcium uptake and translocation by species in the Poceal, Asteraceal and Caryophyllid / H. Willey, S. Tang // Environ. Exper. Bot. – 2006. – Vol. 58. – P. 114–122.

18. Оценка влияния длительного применения минеральных удобрений на свойства почв, качество продукции и накопление Cs урожаем зерновых культур / В. К. Кузнецов [и др.] // Агрохимия. – 2017. – № 2. – С. 64–72.

19. Влияние калия и кислотности на состояние  $^{137}\text{Cs}$  в почвах и его накопление проростками ячменя в вегетационном опыте / В. С. Анисимов [и др.] // Почвоведение. – 2002. – № 11. – С. 1323–1332.

20. Эффективность минеральных удобрений на радиоактивно загрязненных территориях / Т. Л. Жигарева [и др.] // Химия в сельском хозяйстве. – 1996. – № 1. – С. 35–38.

21. Реабилитационные мероприятия на сельскохозяйственных угодьях, подвергшихся радиоактивному загрязнению / А. Н. Ратников [и др.] // Известия ТСХА. – 2019. – № 2. – С. 18–34.

22. Роль калия в снижении поступления радиоизотопов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в продукцию кукурузы / А. Д. Наумов [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2012. – № 2. – С. 82–86.

23. Яковец, Л. А. Экологическая оценка загрязнения почвы и сельскохозяйственной продукции по содержанию радионуклидов / Л. А. Яковец // Norwegian Journal of development of the International Science. – 2020. – No 42. – P.18–22.

24. Применение удобрений жидких комплексных с хелатными формами микроэлементов под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / Г. В. Пироговская [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 40 с.

25. Применение новых форм комплексных удобрений под основные сельскохозяйственные культуры: рекомендации / Г. В. Пироговская [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2011. – 48 с.

26. Пироговская, Г. В. Медленнодействующие удобрения / Г. В. Пироговская. – Минск: Белорусский ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии, 2000. – 288 с.

27. Эффективность удобрения пролонгированного действия СУПРОДИТ-М и органо-минерального комплекса ГЕОТОН при возделывании зерновых культур в условиях радиоактивного загрязнения / А. Н. Ратников [и др.] // Вестник аграрной науки. – 2018. – № 4(73). – С. 36–46.

28. Возделывание зерновых культур с использованием удобрения пролонгированного действия СУПРОДИТ-М и органо-минерального комплекса ГЕОТОН на радиоактивно загрязненных почвах / А. Н. Ратников [и др.] // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы: материалы междунар. науч.-практ. конф., Обнинск, 26–28 сентября 2018 г. / ФГБНУ ВНИИРАЭ; редкол.: Н. И. Санжарова [и др.]. – Обнинск, 2018. – С. 341–347.

29. Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь. – Минск: Бизнесофсет, 2017. – 688 с.

30. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: Сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч. практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф. И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 288 с.

31. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сборник науч. мат. / РУП Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земл. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 448 с.

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

**EFFECT OF NEW FORMS OF COMPLEX FERTILIZERS  
ON PRODUCTIVITY AND ACCUMULATION OF  $^{137}\text{Cs}$  IN SPRING  
GRAIN CROPS ON RADIONUCLIDE CONTAMINATED SOD-PODZOIC  
COHERENT LOAMY SOIL**

**S. S. Khmialeusky, H. V. Pirahouskaya, V. I. Saroka, K. V. Danilenka,  
A.S. Maksimchuk, I. E. Yermalovich**

**Summary**

The article presents data on the influence of new forms of complex fertilizers on the productivity (main and by-products), the content of nutrients and the accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  in spring cereals (barley, oats) in the conditions of 2020–2021 on radionuclide-contaminated sod-podzolic cohesive sandy soil. The promising forms of complex fertilizers with modifying additives have been identified that have a positive effect on the productivity of spring grain crops, with the accumulation of radionuclides below the republican permissible levels.

*Поступила 30.11.21*

УДК 633.15:631.8:631.559:636.086.255

**ВЛИЯНИЕ МАКРО-, МИКРОУДОБРЕНИЙ И РЕГУЛЯТОРА  
РОСТА НА ДИНАМИКУ НАКОПЛЕНИЯ СУХОГО ВЕЩЕСТВА,  
УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ КУКУРУЗЫ И ВЫНОС  
ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ С УРОЖАЕМ**

**С. С. Мосур**

*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,  
г. Горки, Беларусь*

**ВВЕДЕНИЕ**

Кукуруза – одна из важнейших кормовых культур. По потенциальной продуктивности и энергетической питательности она превосходит все зернофуражные культуры [1].

В мире кукуруза возделывается главным образом на фуражные цели. Зерно используют для кормления всех видов животных. По кормовым достоинствам оно превосходит все зерновые культуры. В 1 кг зерна кукурузы при 14 %-ной влажности содержится 90–100 г протеина, около 50 г жира, 30 г клетчатки, 10–15 г золы, 670–700 г безазотистых экстрактивных веществ, 1,34 кормовая единица.

Широкое распространение в нашей стране кукуруза получила как силосная культура. Ее питательная ценность зависит от фазы развития растения, изменяется в пределах от 13–15 до 28–30 кормовых единиц на 100 кг силосной массы.