

## Техногенное загрязнение луговых экосистем поймы р. Сож Гомельской области спустя 30 лет после катастрофы на ЧАЭС

Николай Дайнеко, Сергей Тимофеев

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины

Наибольшая удельная активность почв по цезию-137 и по стронцию-90 отмечена в ассоциации *Caricetum gracilis* 4500 Бк/кг и 36,3 Бк/кг соответственно. Наибольшее содержание радиоцезия было в кислотной вытяжке. В трех ассоциациях удельная активность надземной фитомассы по <sup>137</sup>Cs превышала норму в 1300 Бк/кг. Коэффициент накопления (КН) <sup>90</sup>Sr фитомассой был в 5 – 15 раз выше, чем КН <sup>137</sup>Cs. Наибольшие КН тяжелых металлов в надземной фитомассе наблюдались по меди, цинку, марганцу, железу. Выявлены ассоциации с высоким запасом надземной фитомассы – *Caricetum gracilis* – 32,8 ц/га сух. мас., *Phalaridetum arundinaceae* – 31,9 ц/га сух. мас.

Техногенное загрязнение, цезий, стронций, тяжелые металлы

### Введение

Гомельская область отличается наличием большого количества естественных лугов и пастбищ, располагающихся на пойменных лугах, они занимают около 25 % от кормовых угодий.

Проблеме техногенного загрязнения окружающей среды уделяется особое внимание. В связи с этим необходим контроль за содержанием загрязнителей в объектах окружающей среды и изучение закономерностей поведения токсикантов в системе «почва – растение – продукция животноводства» (Головатый С.Е., 2009; Перечень ..., 2004). В результате катастрофы на ЧАЭС произошло радиоактивное загрязнение лугов различных типов – суходольных, пойменных и заболоченных. Луговые угодья отличаются наибольшей способностью аккумулировать <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr, особенно, осоковые фитоценозы, приуроченные к постоянно переувлажненным дерновым и торфяно-болотным типам почв, накапливают <sup>137</sup>Cs в 5 – 100 раз больше, чем злаковые фитоценозы (Подоляк А.Г., 2001). По данным российских исследователей видовые различия по накоплению <sup>137</sup>Cs в пределах одной луговой экосистемы достигают 14 – 30 раз. Максимальные величины перехода этого радионуклида характерны для низинных и пойменных лугов, что свидетельствует о преобладании влияния гидрологического режима на биологическую подвижность радионуклидов в луговых экосистемах (Алексахин Р.М., 2001).

Основными источниками антропогенного поступления тяжелых металлов в окружающую среду являются тепловые электростанции, металлургические предприятия, транспорт, химические средства защиты сельскохозяйственных культур от болезней и вредителей, сжигание нефти и различных отходов, производство стекла, удобрений, цемента и пр. (Добровольский, 1983). Мониторинг накопления радионуклидов и тяжелых металлов луговой растительностью является одним из важнейших инструментов контроля процессов техногенного воздействия на окружающую среду.

Объектами исследований служили луговые экосистемы поймы р. Сож Гомельской области. Ниже приводятся выделенные нами луговые ассоциации: 1 – *Agrostietum vulgaris*; 2 – *Poo-Festucetum pratensis*; 3 –

*Calamagrostietum epigeii*; 4 – *Caricetum gracilis* (Добрушский район); 5 – *Deschampsietum cespitosae*; 6 – *Базальное сообщество Trifolium repens*; 7 – *Caricetum gracilis*; 8 – *Junco-Deschampsietum cespitosae*; 9 – *Poo-Festucetum pratensis*; 10 – *Caricetum gracilis*; 11 – *Phalaridetum arundinaceae* (Ветковский район); 12 – *Deschampsietum cespitosae*; 13 – *Poetum angustifolia*; 14 – *Agrostio vinealis – Calamagrostietum epigeios*; 15 – *Caricetum gracilis*; 16 – *Poo – Festucetum pratensis* (Чечерский район).

Целью исследований являлась оценка состояния техногенного загрязнения радионуклидами и тяжелыми металлами луговых экосистем спустя более 30 лет после катастрофы на ЧАЭС.

### Методы исследований

Флористический состав изучали по методу А. А. Корчагина (1964) одновременно с геоботаническим описанием луговых сообществ по традиционной методике (Ярошенко, 1961; Корчагин, 1964; Карамышева, 1967; Александрова, 1969; Раменский, 1971; Миркин и др. 1978).

Классификация луговой растительности выполнена по методу Braun-Blanquet J. (1964). Определение содержания <sup>137</sup>Cs в почвенных и растительных образцах производили на гамма-спектрометрическом комплексе Tennelec по МВИ. МН 3421-2010, радиохимическое выделение <sup>90</sup>Sr проводили по МВИ. МН 1932-2003 с радиометрическим окончанием на аттестованном α-β счетчике Canberra-2400. Основная относительная погрешность измерений при доверительном интервале P = 95 % не превышала 15 – 30 % . Для определения подвижности радиоцезия в почве применяли метод последовательного экстрагирования (Павлоцкая, 1974).

Оценку радиоактивного загрязнения растений и возможности их безопасного использования давали путем сопоставления полученных результатов с нормативным показателем Республиканского допустимого уровня содержания <sup>137</sup>Cs в кормах, равным 1300 Бк/кг, а по <sup>90</sup>Sr – 260 Бк/кг (Рекомендации..., 2013).

Содержание тяжелых металлов (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) в пробах почвы и образцах растений

определялось на атомно-абсорбционном спектрометре SOLAAR M6 в Институте радиологии НАН РБ.

Латинские названия видов сосудистых растений даны по «Определителю...» (1999).

## Результаты

Анализ удельной активности 16 луговых объектов показал, что наибольшая величина цезия-137 отмечена в почве ассоциации *Caricetum gracilis* четвертого объекта и составила 4500 Бк/кг. Распространение цезия по горизонтам выявило, что в слое 10 – 20 см отмечена удельная активность  $1954 \pm 246$  Бк/кг, что составляет 43,9 % от удельной активности в горизонте (0 – 10) см. В слое (20 – 30) см удельная активность была (250  $\pm$  34) Бк/кг (5,6 % от слоя 0 – 10 см).

Результаты исследований подвижности радиоцезия в почве выявили существенные различия по концентрации в используемых растворителях. Содержание в водной вытяжке варьировало от 0,4 до 5,5 Бк. Обработка методом регрессионного анализа показала незначительную взаимосвязь между общим содержанием радионуклида в почве и переходом в водную фазу. Величина R квадрата составила 0,184. Переход радиоцезия в ацетатно-аммонийную вытяжку составил от 0,3 до 2,8 Бк. Величина R квадрата для системы почва – вытяжка составила 0,38. При концентрации 1 М соляной кислоты содержание радионуклида составило (0,4 – 4,2) Бк. Обработка методом регрессии показала величину R квадрата 0,50. А при использовании 6 М соляной кислоты – от 2,4 до 88,2 Бк. Обработка методом регрессии показала величину R квадрата 0,82. В данном случае выявлена зависимость между содержанием радиоцезия в почве и размерами перехода в кислотный раствор.

Наибольшая удельная активность почв по стронцию-90 также отмечена в четвертом объекте – 35,9 Бк/кг и в восьмом – 23,6 Бк/кг. Минимальное содержание стронция-90 было в пятом объекте – 1,4 Бк/кг, что в 25,6 раза меньше, чем в четвертом и в 16,8 раза, чем в восьмом.

Удельная активность надземной фитомассы изучаемых ассоциаций, в основном, не превышала предельного содержания  $^{137}\text{Cs}$  – 1300 Бк/кг. Исключение составили ассоциации *Caricetum gracilis* – 1618 Бк/кг, *Poo-Festucetum pratensis* – 1346 Бк/кг и *Deschampsietum cespitosae* – 1380 Бк/кг. В надземной фитомассе из 16 луговых ассоциаций в 9 удельная активность не превышала 200 Бк/кг, в одной – до 400 Бк/кг, в одной до 1000 Бк/кг, в двух до 1200 Бк/кг и в трех ассоциациях – свыше 1300 Бк/кг.

Удельная активность надземной фитомассы по стронцию-90 не превышала допустимого уровня – 260 Бк/кг. По сравнению с другими ассоциациями накоплением стронция-90 отличалась *Junco-Deschampsietum cespitosae* – 53,7 Бк/кг. По содержанию стронция-90 также выделяется ряд ассоциаций. Так в 10 ассоциациях удельная активность по стронцию-90 не превышала 10 Бк/кг, в одной – до 30 Бк/кг, в трех – 40 Бк/кг и в одной свыше 50 Бк/кг.

Коэффициенты накопления цезия-137 надземной фитомассой луговых ассоциаций отличались

невысоким уровнем по сравнению с коэффициентами накопления стронция-90. Разница между ними составляла от 5 до 15 раз. Наиболее высокий КН стронция-90 отмечался в ассоциации *Phalaridetum arundinaceae* – 13,85 (рисунок 1).

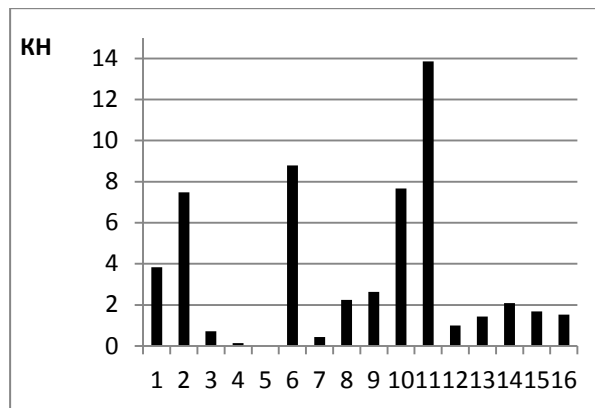


Рис 1. Коэффициент накопления (КН)  $^{90}\text{Sr}$  надземной фитомассой луговых ассоциаций

Fig. 1. - Accumulation coefficient of  $^{90}\text{Sr}$  by aboveground plant mass in meadow associations

- 1 – *Agrostietum vulgaris*; 2 – *Poo-Festucetum pratensis*;
- 3 – *Calamagrostietum epigeii*; 4 – *Caricetum gracilis*;
- 5 – *Deschampsietum cespitosae*; 6 – Базальное сообщество *Trifolium repens*; 7 – *Caricetum gracilis*;
- 8 – *Junco-Deschampsietum cespitosae*; 9 – *Poo-Festucetum pratensis*;
- 10 – *Caricetum gracilis*; 11 – *Phalaridetum arundinaceae*;
- 12 – *Deschampsietum cespitosae*; 13 – *Poetum angustifolia*;
- 14 – *Agrostio vinealis* – *Calamagrostietum epigeios*;
- 15 – *Caricetum gracilis*; 16 – *Poo – Festucetum pratensis*.

Результаты химического анализа на содержание тяжелых металлов в почве изучаемых 16 луговых экосистем выявили их амплитуду варьирования. Так, максимум содержания железа 314 мг/кг в абс.-сух. сост. отмечен в 9-ом объекте, а минимум – в 4-ом – 27 мг/кг; марганца в 13-ом объекте максимум – 175 мг/кг, минимум – 22 мг/кг а 1-ом объекте; цинка – максимум в 4-ом объекте – 4 мг/кг, минимум – в 16-ом объекте – 0,70 мг/кг; свинца – максимум в 4-ом объекте 4,5 мг/кг, минимум в 16-ом объекте – 0,2 мг/кг; меди – максимум в 4-ом объекте – 2,6 мг/кг, минимум – 0,14 мг/кг; никеля максимум в 4-ом объекте – 4,6 мг/кг, минимум – 0,24 мг/кг в 1-ом объекте; кобальта – максимум в 4-ом объекте – 0,6 мг/кг, минимум – в 16-ом объекте – 0,28 мг/кг; хрома – максимум в 4-ом объекте – 0,4 мг/кг, минимум – в 16-ом объекте 0,02 мг/кг; кадмия – максимум – 0,16 мг/кг в 4-ом объекте, минимум – 0,007 мг/кг в 1 – 3 объектах.

Результаты анализов не выявили превышений значений предельно допустимой концентрации (ПДК) для почвы. С увеличением содержания тяжелого металла в почве растет вариабельность данного показателя. Наибольшая амплитуда варьирования выявлена для марганца, железа, свинца, меди и цинка. В почвенных пробах из 1 – 4 экосистем выявлено варьирование других элементов. Это кадмий, никель, свинец и медь. В немалой степени это может быть связано с особенностями почвенного покрова пойменного луга, которая была представлена песчаными почвами. Таким образом, наибольшим

содержанием в почве характеризуются железо, марганец, цинк и свинец. Никель, кобальт, хром, кадмий содержатся в почвах в гораздо меньших количествах.

Максимальное и минимальное содержание тяжелых металлов в наземной фитомассе изучаемых луговых экосистем было следующим. Так, максимум марганца наблюдался в 1-ом объекте – 475 мг/кг, а минимум – в 14-ом объекте – 43 мг/кг; железа – максимум в 1-ом объекте – 324 мг/кг, минимум – в 13-ом объекте – 16 мг/кг; цинка – максимум в 8-ом объекте – 55 мг/кг, минимум – в 6-ом – 12 мг/кг; меди – максимум в 8-ом объекте – 9,9 мг/кг, минимум – в 4-ом объекте – 3,4 мг/кг; никеля – максимум в 15-ом объекте – 0,86 мг/кг, а минимум в 1 – 4 объектах – 0,18 мг/кг. Содержание кобальта, хрома, кадмия, свинца отличалось невысокими значениями по сравнению с предыдущими элементами, и практически все объекты имели одинаковое значение, совпадали максимум и минимум содержания.

По содержанию тяжелых металлов в наземной фитомассе их можно расположить в порядке убывания в следующий ряд: Mn, Fe, Zn, Cu, Ni, Pb, Co, Cd, Cr.

Определение содержания тяжелых металлов в почве и растениях позволило определить значения коэффициентов накопления или КН. Размерность – Бк/кг : Бк/кг. В порядке убывания КН элементы можно расположить в следующем порядке – Cu – 8,06; Zn – 8,01; Mn – 4,9; Fe – 0,88; Ni – 0,465; Cd – 0,143; Cr – 0,088; Co – 0,054; Pb – 0,023 (рисунок 2).

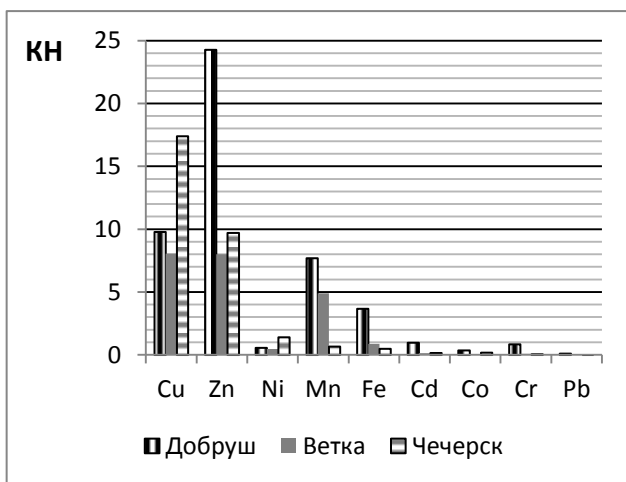


Рис 2. Средний коэффициент накопления тяжелых металлов фитомассой луговых ассоциаций

Fig. 2. Average accumulation coefficient of heavy metals by plant mass in meadow associations

Изучение запаса наземной фитомассы выявило ассоциации, как с наибольшим, так и с наименьшим ее запасом. Наиболее высокий запас наземной фитомассы луговых экосистем отмечен в ассоциациях *Caricetum gracilis* – 32,8 ц/га сух. мас. и *Phalaridetum arundinaceae* – 31,9 ц/га сух. мас., а минимальный – базальном сообществе *Trifolium repens* – 9,4 ц/га сух. массы.

## Обсуждение

Удельная активность радиоактивного загрязнения луговых экосистем р. Сож варьирует в широких пределах, то есть имеет место существенная пестрота по количеству выпавших радионуклидов на единицу площади. Этот фактор не поддается быстрой оптимизации. Поэтому можно лишь констатировать эти значения. По-другому, можно рассматривать вопрос о загрязнении наземной фитомассы. Обычно, в преобладающем большинстве работ, рассматривают радиоактивное загрязнение или злакового травостоя, или злаково-бобового травостоя, или естественного травостоя, или отдельных видов трав. Это является не совсем корректным подходом.

В. Сукачев (1928) отмечал, что растительный покров складывается из целого ряда определенных группировок растений. Эти группировки и получили ныне название растительных сообществ. Среди растений наблюдается различие во времени преимущественного потребления тех или иных элементов из почвы, чем достигается уменьшение взаимной конкуренции и также более полное использование почвенных условий. Таким образом, они будут влиять друг на друга находиться во взаимоотношениях с условиями местообитания, порождая внутри своей заросли особые, как климатические, так и почвенные условия.

Отсюда можно предположить, что растительные ассоциации не могут повлиять на количество и формы радионуклидов, находящихся в почве. Это лишь вопрос времени, то есть полураспада. Фитореабилитация сельскохозяйственных угодий практически нигде не применяется именно по этим причинам. С другой стороны, прогноз уровней радиоактивного загрязнения наземной фитомассы с учетом исследования существующих растительных сообществ будет являться корректным. В результате исследований были выявлены существенные различия по накоплению радионуклидов травостоем изучаемых ассоциаций. Необходимо отметить существование до сих пор значительных различий по величинам КН для радиоцезия и радиостронция. Это означает уменьшение биологической доступности первого и не изменение, по крайней мере, доступности второго радионуклида.

Как уже отмечалось, растительные ассоциации, это совокупность группировок растений, вследствие этого имеет место существенные различия и по накоплению тяжелых металлов, и по продуктивности между сообществами.

## Выводы

1. Удельная активность почв по цезию-137 имела широкий диапазон от 200 до 4500 Бк/кг, а по стронцию-90 от 1,3 Бк/кг до 36,3 Бк/кг.

2. Содержание радиоцезия в водной вытяжке почв варьировало от 0,4 до 5,5 Бк, в ацетатно-аммонийной – от 0,3 до 2,8 Бк, в кислотной 1М HCl – 0,4 – 4,2 Бк, в 6М HCl вытяжке – от 2,4 до 88,2 Бк.

3. Удельная активность надземной фитомассы изучаемых ассоциаций по цезию-137 в основном не превышала предельно допустимого содержания радиоцезия – 1300 Бк/кг, за исключением трех ассоциаций: *Caricetum gracilis*, *Poo-Festucetum pratensis*, *Deschampsietum cespitosae*.

4. Удельная активность надземной фитомассы изучаемых ассоциаций по стронцию-90 не превышала допустимого уровня – 260 Бк/кг.

5. Коэффициенты накопления цезия-137 надземной фитомассой луговых ассоциаций отличались невысоким уровнем по сравнению с коэффициентами накопления стронция-90.

6. Наибольшим содержанием в почве характеризуются железо, марганец, цинк и свинец. Никель, кобальт, хром, кадмий содержатся в почвах в гораздо меньших количествах.

7. Содержание тяжелых металлов в почве не превышало ПДК.

8. Наиболее высокий запас надземной фитомассы луговых экосистем отмечен в ассоциациях *Caricetum gracilis* – 32,8 ц/га сух. мас. и *Phalaridetum arundinaceae* – 31,9 ц/га сух. мас.

#### Литература

1. BRAUN-BLANQUET J. Pflanzensociologie, Wien : Springer, Verlag, 1951, 631 p.
2. АЛЕКСАНДРОВА, В. Д. Классификация растительности. Л. : Наука, 1969. – 273 с.
3. АЛЕКСАХИН Р.М., ФЕСЕНКО С.В., САНЖАРОВА Н.И. Основные итоги работ в области сельскохозяйственной радиологии по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в 1986-2001 гг. (к 15-й годовщине аварии) / *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2001, Т. 41. вып. 3, с. 313 – 325.
4. ГОЛОВАТЫЙ С. Е. Тяжелые металлы в агроэкосистемах. Минск: Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, 2002/3. Государственный земельный кадастр Республики Беларусь (по состоянию на 1 января 2009 г.). Минск, 2009.
5. ДОБРОВОЛЬСКИЙ В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М.: Наука, 1983, 272 с.
6. КАРАМЫШЕВА З.В. Опыт обработки описаний пробных участков степных сообществ методом Браун-Бланке / *Бот. журн.*, 1967, Т. 52, № 8. с.1132 – 1145.
7. КОРЧАГИН А. А. Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения / *Полевая геоботаника* : сб. науч. ст. Л. : Наука, 1964, Т. 3, С. 39.
8. МВИ. МН 3421-2010 «Методика выполнения измерений объемной и удельной активности гамма-излучающих радионуклидов на гамма-спектрометрах с полупроводниковыми детекторами».
9. МВИ. МН 1932-2003 «Методика радиохимического определения удельной активности <sup>90</sup>Sr в почвах и растениях без разделения в системе стронций-кальций».
10. МИРКИН Б.М., РОЗЕНБЕРГ Г. С. Фитоценология. Принципы и методы, М. : Наука, 1978, 212 с.
11. Определитель высших растений Беларуси / под ред. В. И. ПАРФЕНОВА, Мн.: Дизайн ПРО, 1999, 472 с.
12. ПАВЛОЦКАЯ Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах, М.: Атомиздат, 1974, 216 с.
13. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004 / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Минск, 2004.
14. ПОДОЛЯК А.Г., ПЕРСИКОВА Т.Ф. Влияние условий питания на размеры перехода <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в урожай злаковых трав заболоченного луга / *Современные проблемы использования почв и повышения эффективности удобрений: материалы междунар. научно-практич. конф.*, Горки, 24 – 26 октября 2001 г. / Мин. сельского х-ва РБ, БГСХА, Горки, 2001, Т. 2, с. 147 – 150.
15. РАМЕНСКИЙ Л. Г. Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова, Л. : Наука, 1971, 334 с.
16. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2011–2015 гг. / В. С. АВЕРИН [и др.]; под общ. ред. д. б. н. В. С. Аверина, Гомель: Полеспечать, 2013, 95 с.
17. ЯРОШЕНКО П.Д. Геоботаника. Основные понятия, направления и методы, М. – Л. : Наука, 1961, 476 с.
18. СУКАЧЕВ В. Растительные сообщества (Введение в фитосоциологию). Четвертое дополненное издание. Книга Л., М., 1928. – 232 с.

Николай Дайнеко, Сергей Тимофеев

#### Technological contamination of meadow ecosystems in the floodplain of the Sozh river (Gomel region) 30 years after the Chernobyl disaster

##### Summary

The highest specific soil activity for cesium-137 and strontium-90 was recorded in the *Caricetum gracilis* association and appeared to be 4500 Bq / kg and 36.3 Bq / kg, respectively. The highest cesium content was in acidic extract. The <sup>137</sup>Cs specific activity of the aboveground plant mass exceeded the normal value of 1300 Bq / kg in three associations. The accumulation coefficient (AC) of <sup>90</sup>Sr by phytomass was 5 to 15 times higher than AC of <sup>137</sup>Cs. The greatest AC of heavy metals in the aboveground plant mass was observed for copper, zinc, manganese, and iron. Associations with a high stock of the aboveground plant mass have been identified, namely *Caricetum gracilis* - 36 c / ha, *Phalaridetum arundinaceae* - 32.8 c / ha.

*Man-made pollution, cesium, strontium, heavy metals.*

Получено в марте 2018 г., подписано в печать в апреле 2018 г.

**Николай ДАЙНЕКО.** Кандидат биологических наук, заведующий кафедрой ботаники и физиологии растений учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины». Адрес: ул. Советская, 104, Гомель, 246019, Республика Беларусь. Тел. 375-232-57-89-05, адрес эл. почты: [Dajneko@gsu.by](mailto:Dajneko@gsu.by)

**Mikolai DAYNEKO,** Cand. Sc., associate professor, head of the department, F. Skorina Gomel State University. Address: Sovetskaya St., 104, Gomel, 246019, Republic of Belarus. Tel (+375 232) 57 89 05, e-mail: [Dajneko@gsu.by](mailto:Dajneko@gsu.by)

**Сергей ТИМОФЕЕВ.** Кандидат сельскохозяйственных наук, доцент учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины». Адрес: ул. Советская, 104, Гомель, 246019, Республика Беларусь. Тел. 375-232-57-89-05, адрес эл. почты [Sertimo@gsu.by](mailto:Sertimo@gsu.by)

**Siarhei TSIMAFYEYEU,** the candidate of agricultural Sciences, associate professor, F. Skorina Gomel State University. Address: Sovetskaya St., 104, Gomel, 246019, Republic of Belarus. Tel (+375 232) 57 89 05, e-mail: [Sertimo@gsu.by](mailto:Sertimo@gsu.by)