

## ПОЛУЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В РАЙОНАХ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Ольга Владимировна Бондарчук<sup>1</sup>

Юрий Иванович Житин<sup>1</sup>

Ольга Анатольевна Ткачева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

<sup>2</sup>Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)  
Министерства обороны Российской Федерации

Улучшение качества урожая, получаемого в условиях радиоактивного загрязнения, является актуальной задачей сельскохозяйственной науки, так как основными способами обеспечить экологическую безопасность продуктов питания являются агрохимические, агротехнические и мелиоративные мероприятия. В 2016–2018 гг. в К(Ф)Х «Палихов А.А.» Хохольского района, ОАО «Павловск неруд» и СХА «Дружба» Павловского района Воронежской области проводились исследования мощности полевой эквивалентной дозы, токсичности сельскохозяйственной продукции, а также анализ мероприятий, способствующих снижению радиационной нагрузки на население. На территориях сельскохозяйственных предприятий (СХП) Хохольского района значения мощности гамма-фона колебались в естественных для данной местности пределах 0,1–0,2 мкЗв/ч, что объясняется слабым уровнем плотности поверхностного загрязнения, а также проводимыми в хозяйствах агрохимическими мероприятиями, которые снижают радиационную нагрузку. Однако в непосредственной близости к карьере ОАО «Павловск неруд» радиационный фон повышен в 1,3–1,5 раза. В Хохольском районе плотность поверхностного загрязнения цезием находится в пределах 0,62–1,66 Ки/км<sup>2</sup>. Продуктивность агроценозов, а также качество продукции в К(Ф)Х «Палихов А.А.» Хохольского района не зависит от наличия в хозяйстве радиоактивного загрязнения 1-го (низкого) уровня. Наиболее действенными мероприятиями, позволяющими уменьшить мобильность цезия и стронция в черноземных кислых почвах, являются известкование, внесение калийных и органических удобрений. В СХП Павловского района, находящихся на разном удалении от карьера по добыче гранита, не обнаружено зависимости урожайности и качества продукции от расстояния до карьера. Активность зерновой пробы, полученной в СХА «Дружба», составила  $2,9 \pm 1,2$  Бк/кг, что не превышает предельно допустимых уровней активности (70 Бк/кг).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: калийные удобрения, известкование, радиоактивное загрязнение, радиоизотопы, доза облучения, содержание <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в продовольственном сырье.

## OBTAINING OF ENVIRONMENTALLY SAFE AGRICULTURAL PRODUCTS IN RADIOACTIVELY CONTAMINATED AREAS IN VORONEZH OBLAST

Olga V. Bondarchuk<sup>1</sup>

Yuriy I. Zhitin<sup>1</sup>

Olga A. Tkacheva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

<sup>2</sup>Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky  
and Y.A. Gagarin Air Force Academy (Voronezh),  
the Ministry of Defence of the Russian Federation

Improving the quality of crops obtained in the conditions of radioactive contamination is an urgent task for agricultural science, since the main ways to ensure the environmental safety of food are agrochemical, agrotechnical and melioration measures. In 2016-2018 the authors performed a research in the K(F)KH Palikhov A.A. in Khokholsky

district, OAO Pavlovsk Nerud and the Druzhba agricultural artel in Pavlovsky district of Voronezh Oblast. This research included the investigation of field dose equivalent and toxicity of agricultural products, as well as the analysis of measures contributing to the reduction of population radiation exposure. In the territories of agricultural enterprises (AEs) of Khokholsky district the gamma-ray background dose values were within the range of 0.1–0.2  $\mu\text{Sv/h}$  natural for this area, which is explained by the low level of density of surface contamination, as well as by agrochemical measures taken at farms to reduce the radiation exposure. However, in the direct neighborhood of the quarry of OAO Pavlovsk Nerud the radiation background was 1.3–1.5 times higher. In Khokholsky district the density of surface contamination with cesium was within the range of 0.62–1.66  $\text{Ci}/\text{km}^2$ . The productivity of agrocenoses, as well as the quality of products in the K(F)KH Palikhov A.A. in Khokholsky district does not depend on the presence of low level 1 radioactive contamination in the farm. The most efficient measures to reduce the mobility of cesium and strontium in acid black soils are liming and applying potash and organic fertilizers. In the AEs of Pavlovsky district located at different distances from the granite quarry there was no dependence of the yield and product quality from the distance to the quarry. The specific activity of grain sample obtained in the Druzhba agricultural artel was  $2.9 \pm 1.2 \text{ Bq/kg}$ , which does not exceed the maximum permissible activity levels (70  $\text{Bq/kg}$ ).

KEYWORDS: potash fertilizers, liming, radioactive contamination, radioisotopes, radiation dose,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  content in food raw materials.

### **В**ведение

Улучшение качества урожая, получаемого в условиях повышенной радиационной нагрузки, является актуальной задачей сельскохозяйственной науки, так как основными способами обеспечить экологическую безопасность продуктов питания являются агрохимические, агротехнические и мелиоративные мероприятия.

Проблема радиоактивного загрязнения в Воронежской области возникла более 30 лет назад в связи с аварией на Чернобыльской АЭС. Несмотря на значительную удаленность границ области (более 600 км) от эпицентра аварии, в компонентах экосистем было зафиксировано появление техногенных радионуклидов –  $^{127}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  [11, 13].

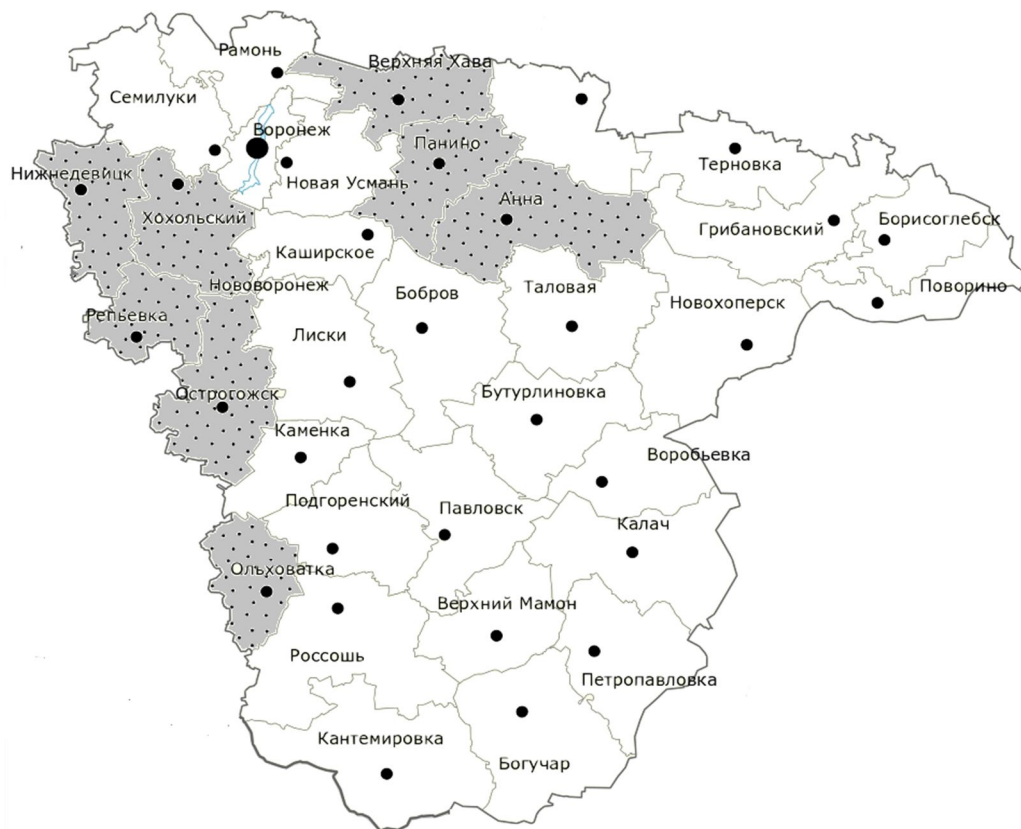
Тридцатилетний период, прошедший после Чернобыльской катастрофы, позволяет оценить долговременные последствия крупномасштабной радиационной аварии.

Вопрос о целесообразности ведения сельскохозяйственного производства на загрязненных землях является чрезвычайно актуальным, поскольку плотность населения, проживающего в загрязненных районах, высока – 40–44 чел./ $\text{km}^2$ , при этом качество пахотных земель в Центральном-Черноземном регионе наивысшее.

На представленной на рисунке карте Воронежской области заштрихованы районы, отнесенные к зонам радиоактивного загрязнения вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. В населенных пунктах Воронежской области, отнесенных к зоне радиоактивного загрязнения в Аннинском, Верхнехавском, Нижнедевицком, Ольховатском, Острогжском, Панинском, Репьевском и Хохольском районах, плотность радиоактивного загрязнения составляет 1–5  $\text{Ки}/\text{km}^2$ .

Кроме отмеченных восьми радиоактивно загрязненных районов в Павловском районе Воронежской области функционирует предприятие ОАО «Павловск неруд», чей производственный цикл связан с добычей, производством и реализацией гранитного щебня. Гранит в карьерах для добычи полезных ископаемых – это твердая монолитная скала, искусственно взрываема для получения глыб гранита, которые затем дробятся и просеиваются с целью деления на фракции. Природный гранит содержит естественные радионуклиды, и при его добыче неизбежны рассеивание нуклидов в окружающей среде, загрязнение почвенного покрова и биоты, а также миграция по трофическим цепям к человеку [1, 2, 15].

С учетом вышеизложенного целью представленной исследовательской работы являлась оценка радиоэкологической обстановки в экосистемах, прилегающих к карьерам ОАО «Павловск неруд», а также в агроэкосистемах К(Ф)Х «Палихов А.А.» Хохольского района, так как эти районы включены в перечень населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС [10].



**Карта Воронежской области, на которой заштрихованы районы, отнесенные к зонам радиоактивного загрязнения вследствие аварии на Чернобыльской АЭС (плотность загрязнения составляет 1–5 Ки/км<sup>2</sup>)**

В круг задач проведенного исследования входили оценка мощности полевой эквивалентной дозы на выбранных территориях, общей токсичности и качества сельскохозяйственной продукции, произведенной в хозяйствах, а также анализ мероприятий, способствующих снижению радиационной нагрузки.

#### **Материалы и методы**

Исследования радиозэкологической ситуации велись в 2016–2018 гг. в К(Ф)Х «Палихов А.А.» Хохольского района и СХА «Дружба» Павловского района Воронежской области.

Измерения мощности полевой эквивалентной дозы гамма-излучения осуществлялись с помощью комбинированного дозиметра РКСБ-104 «Радиян».

Общую токсичность продукции зерновой пробы определяли биотестированием. В качестве биотеста использовали семена редиса и кресс-салата, которые чувствительны на внесение пестицидов и тяжелых металлов [5].

#### **Результаты и их обсуждение**

Оценка последствий от техногенной аварии проводилась систематически и комплексно испытательным лабораторным центром ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области», данные исследований использовались для составления радиационно-гигиенического паспорта Воронежской области, а также базы данных «РегБД36», разработанной ФБУН «Санкт-Петербургский НИИ радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» [9].

По данным ретроспективного анализа за 1986–2014 гг., в 79 населенных пунктах, которые были в зоне радиоактивного загрязнения, почти все показатели радиоактивного загрязнения снизились. Территориальные значения среднегодовой дозы груп-

пы населения уменьшились в 55,9 раза (с 7,63 до 0,14 мЗв/год), среднее значение радиационного фона по области составляет 0,11 мкЗв/час, что укладывается в интервал естественных фоновых колебаний. Среднемесячные и максимальные суточные значения концентрации радиоактивных веществ в приземном слое не превышают критических значений [3, 6, 9].

Санитарно-гигиенический подход к оценке состояния окружающей среды основан на соблюдении принципа: безопасность среды для человека гарантирует и общую экологическую безопасность для существования других видов. Однако далеко не все параметры окружающей среды допустимо нормировать исходя из этого принципа. Например, при загрязнении почвы тяжелыми металлами наиболее чувствительными организмами в микробном сообществе становятся азотфиксаторы, бактерии рода *Bacillus*, а доминировать начинают устойчивые виды микромицетов: псевдомонады, стрептомицеты и многие виды целлюлозоразлагающих микроорганизмов. Различную чувствительность к тяжелым металлам проявляют и почвенные простейшие (раковинные амебы и др.), водоросли [4].

Экологическое нормирование оценивает безопасность среды обитания по наиболее чувствительному к данному фактору нагрузке виду, что позволяет сохранить все видовое разнообразие на участке.

Экологический подход к обеспечению радиационной защиты населения состоит в том, что, обеспечивая безопасную среду обитания для наиболее чувствительной к поражающему фактору популяции, мы создаем благоприятные условия и для всех остальных популяций в биоценозе. Чем выше уровень организации вида, тем меньше резистентных механизмов по отношению к поражению от радиации. Наиболее чувствительным и уязвимым видом, таким образом, является человек. Согласно постулату Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) безопасность от поражающих радиационных факторов для любой экологической системы в целом гарантирована, если обеспечен уровень защиты всех людей.

Максимальный показатель средней эффективной дозы по Российской Федерации составляет 3,789 мЗв/год, а в Воронежской области – и 3,309 мЗв/год. За 2010–2016 гг. средняя годовая эффективная доза на жителя Воронежской области за счет всех источников ионизирующего излучения составляла от 2,980 до 3,309 мЗв, что не превышает предельно допустимой дозы 5 мЗв согласно Нормам радиационной безопасности НРБ-99/2009 [9].

Радиационная обстановка на территории исследуемых хозяйств формируется в результате воздействия естественных (природных) и искусственных источников радиации, которые вносят свой вклад в радиационный фон [12].

Радиационный фон отслеживался на протяжении 3 лет в разных точках территории К(Ф)Х «Палихов А.А.» и СХА «Дружба», агроценозы и селитебная зона которой расположены на расстоянии 30–40 км от карьеров «Павловск неруд» (табл.1).

**Таблица 1. Оценка радиационного фона на территории К(Ф)Х «Палихов А.А.» и СХА «Дружба»**

Варианты в К(Ф)Х «Палихов А.А.»	Мощность экспозиционной дозы, мкЗв/час	Варианты в СХА «Дружба»	Мощность экспозиционной дозы, мкЗв/час
Селитебная зона	0,15	45 км от карьера	0,15
Ток	0,18	40 км от карьера	0,17
Поле № 2 озимой пшеницы	0,13	30 км селитебная зона	0,18
АЗС	0,14	Вблизи карьера	0,30

В непосредственной близости к карьере радиационный фон повышен в 1,3–1,5 раза по следующим причинам.

1. В некоторых природных минералах содержится уран. Наивысшее содержание среди горных пород имеют первичные вулканические породы (гранит) и некоторые осадочные породы, образовавшиеся благодаря разрушению первичных пород и выщелачиванию из них урана.

2. Из горных пород по трещинам с газовой фазой и с водой к поверхности Земли эманурует радиоактивный газ радон. Скорость переноса  $^{222}\text{Rn}$  из земной поверхности и его концентрация в приземном слое воздуха зависят от многих факторов, например от содержания урана в материнских породах [7, 14].

На всех остальных исследуемых участках значения мощности гамма-фона колебались в естественных для данной местности пределах 0,1–0,2 мкЗв/ч, что объясняется слабым уровнем плотности поверхностного загрязнения, а также проводимыми в хозяйствах профилактическими мероприятиями, которые снижают радиационную нагрузку.

В структуре коллективной дозы населения основную долю нагрузки жители получают от природных источников (75%), от медицинских исследований (23%), техногенно измененного фона (2%).

Защита от внешнего облучения осуществляется традиционно по четырем направлениям:

- увеличение расстояния от источника излучения;
- экранирование объекта поглощающими материалами;
- сокращение времени облучения;
- полноценное питание населения, увеличивающее резистентность организма по отношению к радиотоксинам.

Защиту от внутреннего облучения обеспечивает комплекс мер, снижающих перемещение радионуклидов из почвы в трофические цепи. Внутреннее облучение организма возникает в случае попадания радионуклидов с пищей, водой или воздухом в легкие или внутренние органы по пищевым цепям или с дыханием.

Предельная эквивалентная доза, полученная от техногенных источников, для населения группы В составляет 1 мЗв/год. Расчет дозы внешнего облучения от загрязнения почвы оценивают по следующей формуле:

$$D_{\text{внеш}} (\text{мЗв/год}) \approx 0,1 \cdot a_s (\text{Ки/км}^2),$$

где  $a_s$  – средняя плотность загрязнения территории  $^{137}\text{Cs}$  [7, 8, 16].

В Хохольском районе плотность поверхностного загрязнения цезием колеблется в пределах 0,62–1,66 Ки/км<sup>2</sup>.

Таким образом, вклад внешнего облучения, обусловленного поверхностным загрязнением, в общую дозу, получаемую местным населением, незначителен, так как не превышает 0,06–0,17 мЗв/год (1–3%). Поэтому можно заключить, что в условиях слабого радиоактивного загрязнения фактором, определяющим вредный эффект, является инкорпорированные в сельскохозяйственную продукцию радионуклиды  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

На этапе перехода радионуклидов из почвы в растения (продовольственные или кормовые культуры) рекомендуется проведение ряда агротехнических, агрохимических и мелиоративных мероприятий, позволяющих уменьшить мобильность цезия и стронция. Особенно действенными для черноземных кислых почв является внесение калийных и органических удобрений, а также проведение известкования.

В таблице 2 изложены почвенные показатели участков в К(Ф)Х «Палихов А.А.», на которых проводились профилактические мероприятия по снижению миграции цезия и стронция в продукцию.

**Таблица 2. Агрохимические показатели почвы опытных участков**

№ поля	Гумус, %	Гидролизуемый азот, мг/кг	Подвижный фосфор, мг/кг	Обменный калий, мг/кг	Сумма обменных оснований, мг-экв./100 г	Гидролитическая кислотность, мг-экв./100 г	pH <sub>сол</sub>
1	5,3	65,1	115	186	33,0	4,33	5,39
2	5,3	63,2	117	189	34,6	4,28	5,39
3	5,2	60,5	108	178	34,8	4,36	5,31
4	5,3	62,9	113	184	34,1	4,32	5,36
5	4,2	60,4	86	169	33,4	2,76	5,87
6	5,1	61,3	141	237	29,0	4,61	4,63
7	5,7	60,6	169	200	28,5	3,48	4,75
8	5,4	64,1	138	184	28,5	2,07	6,02
9	5,0	65,7	137	188	29,0	4,32	5,64
10	4,3	61,1	153	182	32,0	5,25	5,72
11	4,7	64,2	143	173	29,5	5,48	5,60
12	5,0	63,2	145	226	26,5	3,71	5,92
13	4,5	60,9	163	174	28,5	2,02	6,18
14	4,3	64,8	152	162	24,5	2,74	5,32
15	5,3	60,5	136	177	27,5	3,96	4,98
16	5,1	61,7	156	163	29,5	4,52	5,50
17	5,7	61,5	149	158	30,0	4,32	4,47
18	4,6	60,6	122	156	31,0	4,05	3,89
19	5,1	63,3	100	175	29,0	5,85	4,09
20	5,2	61,9	167	169	29,0	2,86	4,10

При внесении калийных удобрений в почву повышается концентрация ионов калия, что создает конкурентные условия для поглощения растениями цезия – элемента антагониста калия. Аналогичная ситуация происходит и при известковании: стронций усваивается растениями в 20 раз меньше с увеличением концентрации ионов кальция. Кроме того, нейтрализация почвы в процессе известкования приводит к снижению растворимости ионов стронция и, следовательно, к уменьшению перехода в растения. Внесение органических удобрений способствует росту биомассы, повышению урожайности, что снижает удельную активность цезия и стронция в продукции.

Для снижения поступления радионуклидов в продукцию животноводства используются следующие способы:

- изменение режима содержания животных;
- рациональное использование кормов и кормовых добавок, в том числе использование чистых кормов, включение в рацион растений, в наименьшей степени накапливающих радионуклиды: зерно злаковых, клубни картофеля, кормовой свеклы, предубойное кормление чистыми кормами, кормление обогащенными кальцием кормами: добавки мела, извести, фосфата кальция, добавки в корма цеолитов, комплексонов, сульфата бария, альгинатов (из морских водорослей).

Если удлинить производственно-трофическую цепь за счет нескольких производственных звеньев переработки продукции, то в конечном продукте потребления количество радионуклидов сокращается. Приемы переработки продукции растениеводства и животноводства позволяют в несколько раз снизить содержание цезия и стронция [16].

Продуктивность агроценозов, а также качество продукции в К(Ф)Х «Палихов А.А.» не зависят от наличия в хозяйстве радиоактивного загрязнения 1-го (низкого) уровня (табл. 3).

**Таблица 3. Урожайность сельскохозяйственных культур в К(Ф)Х «Палихов А.А.»**

Культура	Урожайность, ц/га		
	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Озимая пшеница	55,6	53,9	58,1
Ячмень	45,5	42,7	44,4
Подсолнечник	27,3	29,1	20,2
Кукуруза	55,8	58,6	60,4
Лен	–	–	12,8

В СХП Павловского района, находящихся на разном удалении от карьера по добыче гранита, не обнаружено зависимости урожайности и качества продукции от расстояния до карьера (табл. 4).

**Таблица 4. Анализ урожайности хозяйств Павловского района в зависимости от удаленности от карьера**

Наименование хозяйства	Удаленность от карьера, км	Урожайность подсолнечника, ц/га	Урожайность зерновых, ц/га
ОАО «Мир»	1,9	16,9	14,0
ЗАО «Славяне»	2,5	19,5	16,1
ЗАО «Павловская МТС»	2,8	25,4	31,0
ЗАО «Агрофирма Павловская нива»	3,7	35,4	27,5
ООО «Агрофирма Тихий Дон»	4,3	17,3	23,0
ООО «Павловскивест»	4,8	27,7	27,5
ЗАО «Павловскрыбхоз»	5,5	24,6	40,8
СХА «Рассвет»	25	21,6	31,5
СХА племзавод «Дружба»	30	15,3	24,9
ООО «Нива»	33	15,1	25,9
ЗАО «Родина»	34	40,1	28,0
ЗАО «Заря»	39	24,6	22,8
ООО «Воронцовское»	48	20,3	21,7
Всего по СХП	–	26,3	26,4

Эффективность хозяйственной деятельности зависит от различных факторов – качества пахотных земель, соблюдения севооборотов, организации работ и т. п. Продукция всех предприятий сертифицирована, образцы зерновой продукции СХА «Дружба» были проанализированы ФГБУ ГЦАС «Воронежский» на содержание радионукли-

дов. Удельная активность зерновой пробы составила  $2,9 \pm 1,2$  Бк/кг, что не превышает предельно допустимых уровней активности по СанПиН 2.3.2.1078-01 (70 Бк/кг) [3, 13].

Для выбора оптимальных технологий производства сельскохозяйственной продукции в сложных неоднозначных исходных условиях рекомендуется составлять прогнозную оценку радионуклидного загрязнения конечного продукта. Также желательно производить расчет прогнозируемого уровня облучения населения, проживающего на загрязненной территории, потребляющего местную сельскохозяйственную продукцию. Прогноз и расчет радиационной нагрузки осуществляют по методикам, предложенным А.Д. Фокиным с соавт. (2011) [16].

Чтобы оценить влияние мероприятий по снижению перехода загрязнений в сельскохозяйственную продукцию, была проанализирована общая токсичность биомассы растений, выращенных на загрязненной территории в К(Ф)Х «Палихов А.А.» и на незагрязненной – в УНТЦ «Агротехнология» Воронежского ГАУ (табл. 5). Метод биотестирования позволяет оценить суммарную токсичность продукции, обусловленную как радиоактивным загрязнением, так и применением средств химизации.

Согласно эксперименту разница в токсичности продукции составляет 5–7%, что меньше существенной разницы для метода биотестирования.

**Таблица 5. Оценка общей токсичности продукции**

Культура	Вариант	Биотест с редисом – длина корня, мм	Биотест с кресс-салатом – длина корня, мм
Пшеница яровая, сорт Дарья	Контроль – УНТЦ «Агротехнология»	25	13
	К(Ф)Х «Палихов А.А.»	26	12
Ячмень яровой, сорт Вакула (элита)	Контроль – УНТЦ «Агротехнология»	21	15
	К(Ф)Х «Палихов А.А.»	23	17

Лабораторные исследования проб основных пищевых продуктов (молоко, картофель, мясо), питьевой воды, воды открытых водоемов показали, что превышения допустимых норм содержания в них радионуклидов нет, в том числе в населенных пунктах, имеющих статус загрязненных после аварии на Чернобыльской АЭС.

#### **Выводы**

1. Экологический подход к обеспечению радиационной защиты населения состоит в том, что, организовав безопасную среду обитания для наиболее чувствительной к поражающему фактору популяции, мы создаем благоприятные условия и для всех остальных популяций в биоценозе.

2. На исследуемых участках в К(Ф)Х «Палихов А.А.» и СХА «Дружба» Хохольского и Павловского районов Воронежской области значения мощности гамма-фона колебались в естественных для данной местности пределах 0,1–0,2 мкЗв/ч, что объясняется слабым уровнем плотности поверхностного загрязнения, а также проводимыми в хозяйствах агрохимическими мероприятиями, которые снижают радиационную нагрузку.

3. В непосредственной близости к карьере ОАО «Павловск неруд» радиационный фон повышен в 1,3–1,5 раза, так как в вулканических породах (гранит) и осадочных породах содержится уран, который из них выщелачивается. Кроме того, из горных



пород по трещинам с газовой фазой и водой к поверхности Земли эманурует радиоактивный газ радон.

4. В структуре коллективной дозы населения основную долю нагрузки жители получают от природных источников (75%), от медицинских исследований (23%), техногенно измененного фона (2%).

5. Продуктивность агроценозов, а также качество продукции в К(Ф)Х «Палихов А.А.» не зависят от наличия в хозяйстве радиоактивного загрязнения 1-го (низкого) уровня. В СХП Павловского района, находящихся на разном удалении от карьера по добыче гранита, не обнаружено зависимости урожайности и качества продукции от расстояния до карьера. Активность зерновой пробы составила  $2,9 \pm 1,2$  Бк/кг, что не превышает предельно допустимых уровней активности по СанПиН 2.3.2.1078-01 (70 Бк/кг).

6. При внесении калийных удобрений повышается концентрация ионов калия, что создает конкурентные условия для поглощения растениями цезия – элемента антагониста калия. Аналогичная ситуация происходит и при известковании: стронций усваивается растениями в 20 раз меньше с увеличением концентрации ионов кальция. Внесение органических удобрений способствует росту биомассы, повышению урожайности, что снижает удельную активность цезия и стронция в продукции.

---

### Библиографический список

1. Бекман И.Н. Радиоэкология и экологическая радиохимия : учебник для бакалавриата и магистратуры / И.Н. Бекман. – 2-е изд., исправ. и доп. – Москва : Изд-во Юрайт, 2016. – 409 с.
2. Бондарчук О.В. Способы предотвращения поступления радионуклидов в организмы / О.В. Бондарчук, И.А. Манаенкова // Агропромышленный комплекс на рубеже веков : матер. международной. науч.-практ. конф., посвященной 85-летию агроинженерного факультета. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2015. – Ч. II. – С. 289–294.
3. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.1078-01. – Москва : ФГУП «ИнтерСЭН», 2002. – С. 244–245.
4. Житин Ю.И. Сельскохозяйственная экология : учеб. пособие для подготовки бакалавров по направлению 110100 «Агрохимия и агропочвоведение» / Ю.И. Житин, Н.В. Стекольников, Л.В. Проколова ; под ред. Ю.И. Житина. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2013. – 259 с.

5. Кольцова О.М. Практикум по теоретическим основам прогрессивных технологий : учеб. пособие / О.М. Кольцова, О.В. Бондарчук. – Воронеж : ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2007. – 132 с.
6. Лурье А.А. Радиоэкология леса: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 250100 «Лесное дело» специальности 250201 «Лесное хозяйство» / А.А. Лурье. – Москва : Изд-во РГАУ – МСХА, 2010. – 157 с.
7. Лурье А.А. Об определении в почвах малых и ультрамалых содержаний  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$ -спектрометрическим методом с использованием сцинтилляционного детектора / А.А. Лурье, Е.Б. Таллер, С.П. Торшин // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 4. – С. 5–17.
8. Мажайский Ю.А. Особенности естественной радиоактивности почв и пород Рязанского региона / Ю.А. Мажайский, С.А. Тобратов // Агротехнический вестник. – 2009. – № 2. – С. 8–12.
9. Последствия радиационного загрязнения территории Воронежской области по истечении тридцати лет после аварии на Чернобыльской АЭС / Ю.И. Степкин, М.К. Кузьмичев, О.В. Клепиков, В.И. Попов // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология, 2017. – № 1. – С. 108–112.
10. Постановление Правительства РФ от 18 декабря 1997 г. № 1582 «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/176600/> (дата обращения: 17.11.2018).
11. Поступление в растения  $\{^{137}\text{Cs}$  и  $\{^{90}\text{Sr}$  с поверхности почвенных агрегатов и из внутривидового пространства / А.Д. Фокин и др. // Почвоведение. – 2014. – № 12. – С. 1416–1425.
12. Радиоэкологические аспекты реабилитации сельскохозяйственных угодий после аварий на Чернобыльской АЭС и на АЭС «Фукусима-1» / А.Н. Ратников и др. // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2015. – № 2. – С. 21–24.
13. Сычев В.Г. Радиационная обстановка на полях сельскохозяйственных угодий, прилегающих к атомным электростанциям / В.Г. Сычев, М.И. Лунев, П.М. Орлов // Плодородие. – 2014. – № 4 (79). – С. 31–33.
14. Тепляков Б.И. Сельскохозяйственная радиология / Б.И. Тепляков. – Новосибирск : Изд-во НГАУ, 2013. – 230 с.
15. Торшин С.П. Научно-образовательные школы агрохимии, биохимии и радиологии в Российском государственном аграрном университете – МСХА имени К.А. Тимирязева / С.П. Торшин, В.В. Кидин, Н.Н. Новиков // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 2. – С. 123–139.
16. Фокин А.Д. Сельскохозяйственная радиология : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлениям «Агрохимия и агропочвоведение», «Агрономия», «Садоводство», «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции» / А.Д. Фокин, А.А. Лурье, С.П. Торшин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар : Лань, 2011. – 415 с.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Ольга Владимировна Бондарчук – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: [bondarchuk2910@mail.ru](mailto:bondarchuk2910@mail.ru).

Юрий Иванович Житин – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: [agrohimi@agrochem.vsau.ru](mailto:agrohimi@agrochem.vsau.ru).

Ольга Анатольевна Ткачева – кандидат технических наук, преподаватель кафедры физики и химии, ФГКВБОУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: [tkacheva--olga@mail.ru](mailto:tkacheva--olga@mail.ru).

Дата поступления в редакцию 06.02.2019

Дата принятия к печати 03.03.2019

### AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Olga V. Bondarchuk, Candidate of Agricultural Sciences, Docent, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: [bondarchuk2910@mail.ru](mailto:bondarchuk2910@mail.ru).

Yuriy I. Zhitin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: [agrohimi@agrochem.vsau.ru](mailto:agrohimi@agrochem.vsau.ru).

Olga A. Tkacheva, Candidate of Engineering Sciences, Lecturer, the Dep. of Physics and Chemistry, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: [tkacheva--olga@mail.ru](mailto:tkacheva--olga@mail.ru).

Received February 06, 2019

Accepted March 03, 2019