

**Игорь Александрович Бобренко**

Омский государственный университет им. П.А. Столыпина, заведующий кафедрой агрохимии и почвоведения, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Россия, Омск, e-mail: ia.bobrenko@omgau.org

**Олег Анатольевич Матвейчик**

Омский государственный университет им. П.А. Столыпина, ассистент кафедры агрохимии и почвоведения, Россия, Омск, e-mail: Matvei4ik\_oleg@mail.ru

**Елена Геннадиевна Бобренко**

Омский государственный университет им. П.А. Столыпина, доцент кафедры экологии, природопользования и биологии, кандидат сельскохозяйственных наук, Россия, Омск, e-mail: eg.bobrenko@omgau.org

**СОДЕРЖАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ  
ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

*Цель исследования – выявить уровень и закономерности изменения содержания радионуклидов в пахотных почвах и продукции растениеводства в лесостепи Омской области. Исследование основано на результатах мониторинга 1994–2018 гг. на реперных участках. Также использовались архивные материалы радиологического обследования, проведенного ЦАС «Омский». Определение радионуклидов в почвах сельскохозяйственных угодий и продуктах растениеводства проводили согласно общепринятым методикам. Объектами являлись культурные растения и почвы: чернозем обыкновенный; лугово-черноземная почва; солонец лугово-черноземный глубокий. В результате радиологического обследования пахотного горизонта почв лесостепной зоны Омской области 1994–2018 гг. определено содержание радионуклидов и сделана оценка, для этого проводилось сравнение со средними значениями по Омской области и РФ. К самым важным из них для определения характера загрязнения относятся  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , которые по-разному накапливаются. Ионный обмен является основным механизмом закрепления  $^{90}\text{Sr}$  в почве, а для  $^{137}\text{Cs}$  – также обменный либо по типу ионообменной сорбции на внутренней поверхности частиц почвы. Содержание  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  в почвах не превышало среднее по РФ;  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  превышало среднее и по региону, и по РФ. Концентрация  $^{90}\text{Sr}$  в растениях составила 1,1–2,9;  $^{137}\text{Cs}$  – 5,6–15,4 Бк/кг. Коэффициенты накопления радионуклидов растениями ( $^{90}\text{Sr}$  – от 0,54 до 2,1;  $^{137}\text{Cs}$  – от 0,47 до 1,64) соответствуют слабому уровню, сельскохозяйственная продукция не аккумулирует их в опасных количествах. Таким образом, учитывая низкое содержание радионуклидов в почве и продукции растениеводства, радиационную обстановку в лесостепной зоне Омской области можно считать безопасной.*

**Ключевые слова:** радионуклид, содержание, почва, обследование, продукция.

**Igor A. Bobrenko**

Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, head of the chair of agrochemistry and soil science, doctor of agricultural sciences, associate professor, Russia, Omsk, e-mail: ia.bobrenko@omgau.org

**Oleg A. Matveychik**

Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, assistant of the chair of agrochemistry and soil science, Russia, Omsk, e-mail: Matvei4ik\_oleg@mail.ru

**Elena G. Bobrenko**

Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, associate professor of the chair of ecology, environmental management and biology, candidate of agricultural sciences, Russia, Omsk, e-mail: eg.bobrenko@omgau.org

## RADIONUCLIDE CONTENT IN THE SOILS AND PLANTS OF THE FOREST-STEPPE OF WESTERN SIBERIA

*The purpose of the research was to identify the level and patterns of the changes in the content of radionuclides in arable soils and crop production in the forest-steppe of Omsk Region. The research was based on the results of monitoring in 1994–2018 on reference sites. Also archival materials of radiological examination conducted by CAS "Omsk" were used. The noticing of presence of radionuclides in the soils of agricultural grounds and products of plant growing was carried out according to the standard techniques. The objects of the research were cultivated plants and soils: ordinary chernozem; meadow-chernozem soil; solonets meadow-chernozem deep. As a result of radiological inspection of arable horizon of soils of the forest-steppe zone of Omsk Region in 1994–2018 noticed the content of radionuclides and the assessment was made, the comparison with average values across Omsk Region and the Russian Federation was carried out for this purpose. The most important of them for the determination of the nature of pollution were differently accumulated  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$ . Ionic exchange was the main mechanism of fixing  $^{90}\text{Sr}$  in the soil, and for  $^{137}\text{Cs}$  was also the exchange or as ion-exchange sorption on an internal surface of particles of the soil. The content of  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  in the soils did not exceed the average for the Russian Federation;  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$  exceeded the average for the region and for the Russian Federation. The concentration of  $^{90}\text{Sr}$  in the plants made 1.1 and 2.9,  $^{137}\text{Cs}$  of 5.6–15.4 Bq/kg. The coefficients of accumulation of radionuclides by plants ( $^{90}\text{Sr}$  – from 0.54 to 2.1,  $^{137}\text{Cs}$  – from 0.47 to 1.64) corresponded to a weak level, and agricultural products did not accumulate them in dangerous quantities. Thus, given the low content of radionuclides in the soil and in crop production, the radiation situation in the forest-steppe zone of Omsk Region can be considered safe.*

**Keywords:** radionuclide, content, soil, survey, products.

**Введение.** В Омской области нет атомных электростанций, здесь не присутствуют предприятия ядерной энергетики и не проводились ядерные испытания. Но регион расположен вблизи территорий, которые используют или под ядерные полигоны, или для захоронения атомных отходов. В связи с этим может происходить перенос радионуклидов разными путями и способствовать загрязнению ими почв и продукции [1, 2].

Накопление радионуклидов продукцией сельского хозяйства зависит от биологических особенностей растений и свойств почв. Так, в значительно больших количествах радионуклиды поступают и накапливаются в растениях при возделывании на почвах, имеющих кислую реакцию почвенного раствора. Для своевременного реагирования на возможные проблемы проводится мониторинг [3, 4].

**Цель исследования:** выявить уровень и закономерности изменения содержания радионуклидов в пахотных почвах и продукции растениеводства в лесостепи Омской области.

**Материалы и методы исследования.** Исследование проведено в 1994–2018 гг. на реперных участках лесостепи Омской области, объектами являлись культурные растения и почвы. Также в работе использовались архивные материалы радиологического обследования, проведенного ЦАС «Омский». Определение радионуклидов в почвах сельскохозяйственных угодий и продуктах растениеводства проводили согласно общепринятым методикам [5, 6].

**Результаты исследования.** В результате радиологического обследования пахотного горизонта почв лесостепной зоны Омской области 1994–2018 гг. определено содержание радио-

нуклидов и проведена оценка, для этого проводилось сравнение со средними значениями по Омской области и РФ. К самым важным из них для определения характера загрязнения относятся  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , которые по-разному накапливаются. Ионный обмен является основным механизмом закрепления  $^{90}\text{Sr}$  в почве, а для  $^{137}\text{Cs}$

– также обменный либо по типу ионообменной сорбции на внутренней поверхности частиц почвы [7].

Концентрация  $^{90}\text{Sr}$  в пахотных почвах лесостепной зоны за все годы исследования превышала средние показатели по Омской области, но была меньше среднероссийских (рис. 1).

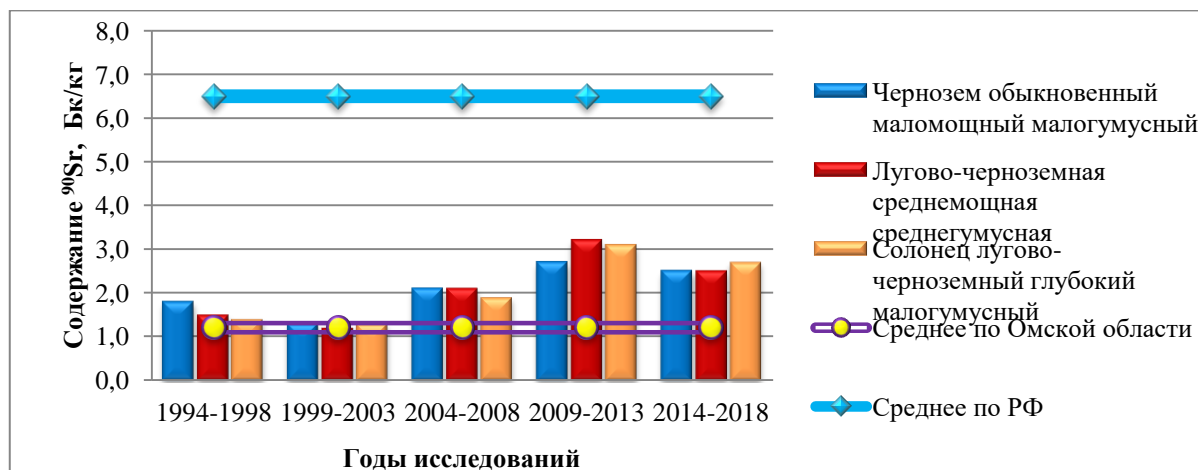


Рис. 1. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  в почвах лесостепи (1994–2018 гг.)

Полученные экспериментальные данные выявили, что количество  $^{137}\text{Cs}$  в пахотных почвах лесостепной зоны практически во все годы исследования не превышает средние величины по

Омской области и не выходит своими значениями за пределы показателей, средних по РФ (рис. 2).

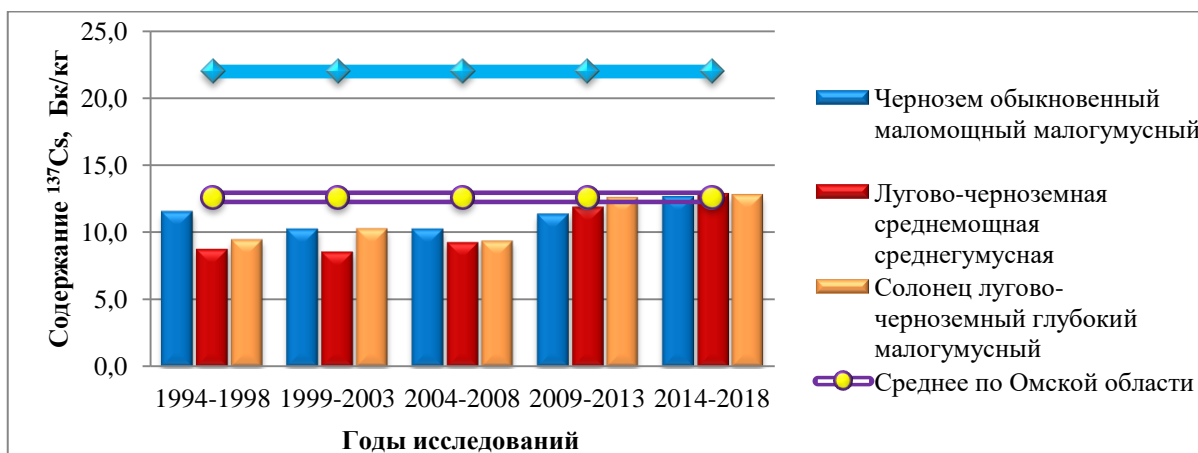


Рис. 2. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в почвах лесостепи (1994–2018 гг.)

Среднее содержание естественного радионуклида  $^{40}\text{K}$  в пахотном горизонте чернозема обыкновенного составляет 475 Бк/кг почвы, лугово-черноземной – 513 и солонца лугово-черноземного глубокого – 472 Бк/кг. Эти значения меньше средних по РФ и больше средних

по региону, что связано с высоким содержанием элемента в почвах зоны. В окружающей среде радиоактивный изотоп  $^{40}\text{K}$  составляет 0,012 % от общего количества калия. Отсюда чем больше концентрация в почвах стабильного калия, тем больше в них содержится калия радиоак-

тивного, и почвы лесостепной зоны, обладающие высоким содержанием калия, имеют высокий уровень  $^{40}\text{K}$  и превышают региональный

уровень [2]. Но только лугово-черноземная почва имеет содержание  $^{40}\text{K}$  в пахотном горизонте почв, близкое к среднероссийскому.

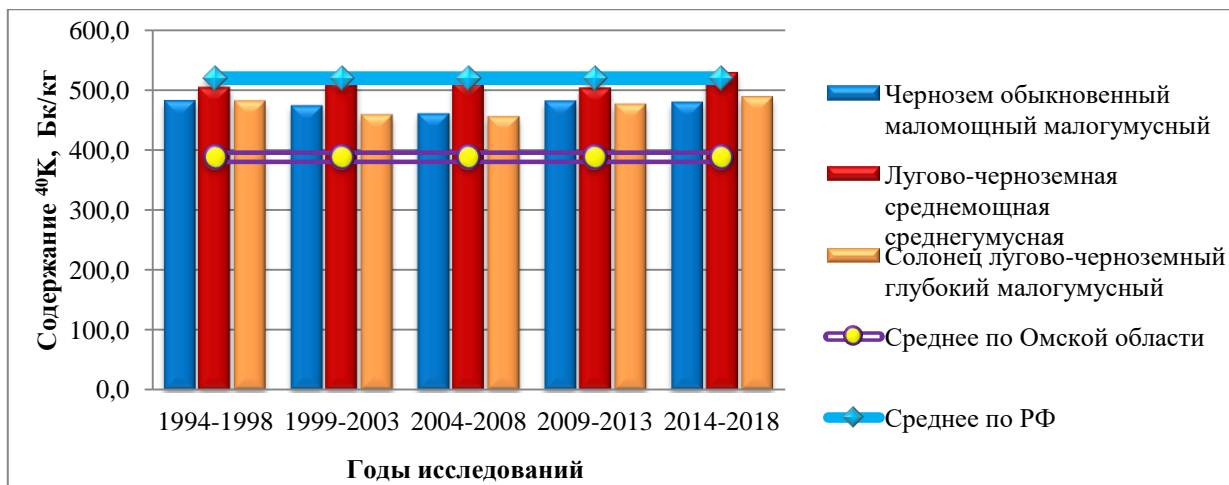


Рис. 3. Содержание  $^{40}\text{K}$  в почвах лесостепи (1994–2018 гг.)

Еще один естественный радионуклид  $^{232}\text{Th}$  во всех исследуемых почвах лесостепи превышал в почве среднее значение по Омской области и России (рис. 4). В природных условиях торий представлен окислами, силикатами, фосфатами, карбонатами, фторидами. Известно несколько десятков минералов тория, главными из которых являются монацит, торит, уратоторит, торианит. Почти все минералы тория содержат и уран. Удельная активность тория

очень низкая, в связи с чем он мало актуален при изучении уровня радиоактивности окружающей среды [8, 9].

Содержание  $^{226}\text{Ra}$  в пахотных почвах лесостепи, как и тория, за все годы исследования превышало среднее значение по Омской области и России (рис. 5). Радий содержится практически во всех объектах окружающей среды. Можно предположить, что эти превышения связаны со спецификой почвообразующих пород.

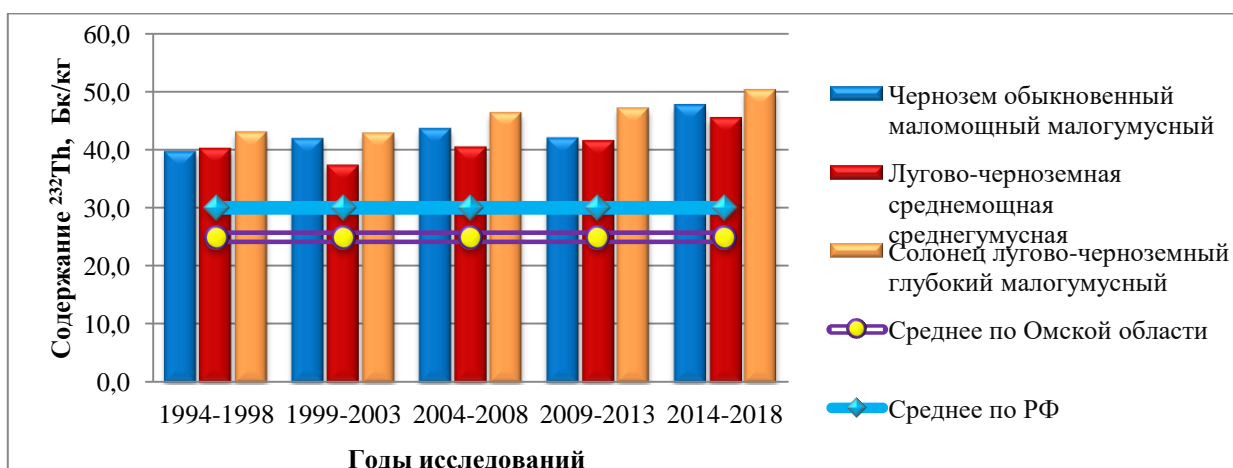


Рис. 4. Содержание  $^{232}\text{Th}$  в почвах лесостепи Омской области (1994–2018 гг.)

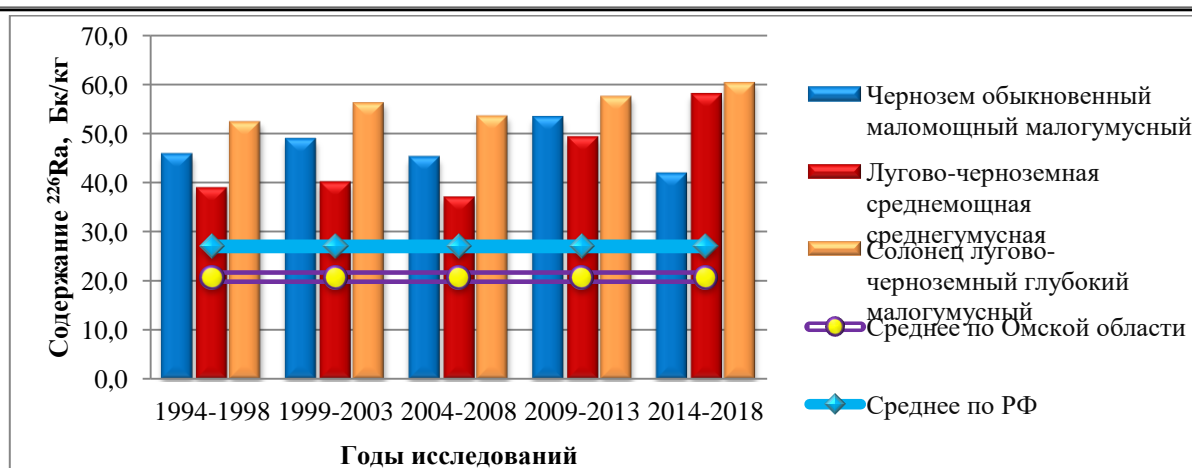


Рис. 5. Содержание  $^{226}\text{Ra}$  в почвах лесостепи Омской области (1994–2018 гг.)

Для изучения особенностей содержания радионуклидов в почве исследованы их пробы с различной глубины отбора (табл. 1). Можно отметить, что зависимости концентрации  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  от горизонта нет,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  изменяется разнонаправленно. Количество  $^{40}\text{K}$  максималь-

ное в слое 20–80 см у всех типов почв, именно в этом слое наблюдается наибольшее содержание калийсодержащих минералов [10, 11].

Полученная продукция проанализирована на содержание  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  (табл. 2).

Таблица 1

Радиологические показатели метрового слоя почв лесостепной зоны Омской области

Почва	Глубина отбора, см	Радионуклид, Бк/кг почвы				
		искусственный		естественный		
		$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$
Чернозем обыкновенный маломощный малогумусный	0–20	2,4	12,6	479	45,2	43,3
	20–40	2,4	12,3	645	31,8	52,0
	40–60	2,5	12,6	626	30,8	58,6
	60–80	2,5	12,4	768	35,0	54,7
	80–100	2,4	12,3	514	69,6	66,5
Лугово-черноземная среднеспонная среднегумусная	0–20	2,4	13,0	531	55,3	54,3
	20–40	2,3	12,5	497	85,0	45,6
	40–60	2,4	12,5	797	34,9	53,4
	60–80	2,3	16,3	458	63,1	57,1
	80–100	2,4	12,5	524	71,2	50,8
Солонец лугово-черноземный глубокий малогумусный	0–20	2,3	12,9	502	61,2	48,4
	20–40	2,4	12,7	724	34,6	41,9
	40–60	2,3	12,8	472	85,5	50,2
	60–80	2,3	12,7	491	80,3	38,9
	80–100	2,4	12,6	346	76,4	46,5

Содержание  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в растениях лесостепи, Бк/кг (среднее 1994–2018 гг.)

Культура	Продукция	$^{90}\text{Sr}$		$^{137}\text{Cs}$	
		миним.	макс.	миним.	макс.
Чернозем обыкновенный					
Пшеница яровая	Зерно	1,5	2,3	5,6	11,8
	Солома	1,1	2,7	6,5	15,4
Ячмень яровой	Зерно	1,3	2,5	6,8	11,9
	Солома	1,1	2,4	6,2	12,0
Овес	Зерно	2,4	2,5	7,1	12,6
	Солома	2,0	2,4	6,9	12,0
Кукуруза	Зеленая масса	2,9	2,9	12,6	12,6
Кострец безостый	Сено	1,7	2,2	7,9	8,30
Лугово-черноземная почва					
Пшеница яровая	Зерно	2,0	2,1	10,2	10,8
	Солома	2,2	2,3	11,1	12,6
Ячмень яровой	Зерно	1,2	1,2	13,6	13,6
	Солома	1,5	1,5	14,1	14,1
Овес	Зерно	1,8	2,3	9,8	11,8
	Солома	1,7	2,3	10,1	14,9
Кукуруза	Зеленая масса	2,4	2,4	12,2	12,4
Картофель	Клубни	1,8	1,9	9,9	11,4
Люцерна	Зеленая масса	1,6	2,7	6,7	12,6
Кострец безостый	Сено	1,1	2,6	8,6	11,2
Солонец лугово-черноземный					
Пшеница яровая	Зерно	1,7	2,5	8,1	12,2
	Солома	1,9	2,4	8,3	12,0
Ячмень яровой	Зерно	1,7	1,7	7,1	7,10
	Солома	1,9	1,9	6,4	6,4
Овес	Зерно	1,9	2,4	8,9	11,8
	Солома	2,0	2,3	9,8	12,4
Подсолнечник	Зеленая масса	1,2	2,1	7,8	9,90
Кукуруза		1,8	1,9	9,4	9,50
Люцерна		2,3	3,2	11,6	12,7

Содержание  $^{90}\text{Sr}$  в растениях составило:

- на черноземе обыкновенном маломощном малогумусном – от 1,1 до 2,9 Бк/кг;
- на лугово-черноземной среднетощной среднетугумусной почве – от 1,1 до 2,7 Бк/кг;
- на солонце лугово-черноземном глубоком малогумусном – от 1,6 до 2,7 Бк/кг (ПДК – от 50 до 140 Бк/кг).

Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в продукции растениеводства составило:

- на черноземе обыкновенном маломощном малогумусном – от 5,6 до 15,4 Бк/кг;

– на лугово-черноземной среднетощной среднетугумусной почве – от 6,7 до 14,9 Бк/кг;

- на солонце лугово-черноземном глубоком малогумусном – от 6,4 до 12,7 Бк/кг (ПДК – от 80 до 320 Бк/кг).

Содержание искусственных радионуклидов в сельскохозяйственной продукции не зависит от почвы, на которой была получена. Их концентрация не превысила ПДК. Основываясь на полученных данных, были определены коэффициенты накопления искусственных радионуклидов в растениях (табл. 3).

**Среднестатистический коэффициент накопления искусственных радионуклидов  
в растениях, выращенных на пахотных почвах реперных участков  
лесостепной зоны Омской области (среднее 1994–2018 гг.)**

Культура	Продукция	<sup>90</sup> Sr		<sup>137</sup> Cs	
		миним.	макс.	миним.	макс.
<b>Чернозем обыкновенный маломощный малогумусный</b>					
Пшеница яровая	Зерно	0,76	1,58	0,47	1,05
	Солома	0,78	1,50	0,55	1,27
Ячмень яровой	Зерно	0,67	1,24	0,60	1,01
	Солома	0,70	1,00	0,55	1,17
Овес	Зерно	0,74	1,14	1,02	1,03
	Солома	0,71	0,95	0,97	1,00
Кукуруза	Зеленая масса	1,16	1,16	1,03	1,03
Кострец безостый	Сено	1,11	1,83	0,64	0,77
<b>Лугово-черноземная среднеспособная среднегумусная</b>					
Пшеница яровая	Зерно	1,40	1,54	1,10	1,29
	Солома	1,53	1,69	1,32	1,35
Ячмень яровой	Зерно	0,75	0,75	1,58	1,58
	Солома	0,94	0,94	1,64	1,64
Овес	Зерно	0,82	1,06	0,91	1,20
	Солома	0,82	1,00	1,16	1,23
Кукуруза	Зеленая масса	1,04	1,04	0,94	1,01
Картофель	Клубни	1,13	1,27	1,03	1,56
Люцерна	Зеленая масса	0,54	1,13	0,61	1,03
Кострец безостый	Сено	0,90	1,29	0,91	1,22
<b>Солонец лугово-черноземный глубокий малогумусный</b>					
Пшеница яровая	Зерно	0,74	1,90	0,74	1,11
	Солома	0,61	2,10	0,79	1,24
Ячмень яровой	Зерно	1,55	1,55	0,69	0,69
	Солома	1,73	1,73	0,62	0,62
Овес	Зерно	0,62	1,06	0,85	1,03
	Солома	0,59	1,11	0,89	1,14
Подсолнечник	Зеленая масса	1,00	1,31	0,71	1,14
Кукуруза		0,90	1,27	0,96	1,11
Люцерна		0,81	1,33	0,95	1,02

Величина коэффициента накопления  $K_n$  показывает возможный уровень накопления радионуклида в растениях в зависимости от его содержания в почве [12].  $K_n$  <sup>90</sup>Sr растениями, выращенными на исследуемых типах почв, изменялся в пределах:

- в черноземе обыкновенном маломощном малогумусном – от 0,67 до 1,83;
- в лугово-черноземной среднеспособной среднегумусной почве – от 0,54 до 1,69;
- в солонце лугово-черноземном глубоком малогумусном – от 0,59 до 2,1.

Коэффициент накопления <sup>137</sup>Cs:

– в черноземе обыкновенном маломощном малогумусном – от 0,47 до 1,27;

– в лугово-черноземной среднеспособной среднегумусной почве – от 0,61 до 1,64;

– в солонце лугово-черноземном глубоком малогумусном – от 0,62 до 1,24.

В целом в растениях, выращенных на данных почвах согласно градации, слабое накопление <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs ( $K_n$  – от 1,0–10,0) или аккумуляция радионуклидов отсутствует ( $K_n$  – от 0,1–1,0).

**Заключение.** В результате исследования установлено, что в лесостепной зоне Омской области радиационную ситуацию можно считать

безопасной. Содержание  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  в почвах не превышало среднее по России;  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  превышало среднее по региону и РФ, но их влияние на общий фон невелико.

Коэффициенты накопления радионуклидов растениями соответствуют слабому уровню, сельскохозяйственная продукция не аккумулирует их в опасных количествах.

### Литература

1. Красницкий В.М., Бобренко И.А., Шмидт А.Г. и др. Агроэкологический мониторинг почв на правом берегу Иртыша лесостепной зоны Омской области // Плодородие. 2016. № 3. С. 33–36.
2. Красницкий В.М. Агроэкоотоксикологическая оценка агроценозов. Омск: Изд-во ОмГАУ, 2001. 68 с.
3. Черных Н.А., Овчаренко М.М. Тяжелые металлы и радионуклиды в биогеноценозах. М.: Агроконсалт, 2002. 197 с.
4. Красницкий В.М., Бобренко И.А., Пыхтарева Е.Г. и др. Качество кормовых культур региона (на примере Омской области). Омск: ЛИТЕРА, 2017. 72 с.
5. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: Росинформагротех, 2003. 240 с.
6. Сборник методик по определению радионуклидов в почвах сельскохозяйственных угодий и продуктах растениеводства. М.: Агропрогресс, 2000. 156 с.
7. Алексахин Р.М. Ядерная энергия и биосфера. М.: Энергоатомиздат, 2009. 144 с.
8. Баяров Л.И. Курс лекций по сельскохозяйственной радиологии: учеб. пособие. Краснодар: Изд-во КубГАУ, 2009. 112 с.
9. Сахаров В.К. Радиоэкология. М.: Изд-во МИФИ, 2010. 185 с.
10. Soil and ecological evaluation of agrochernozems of Siberia / A.A. Shpedt, Yu.V. Aksenova, M.R. Shayakhmetov, etc. // International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies. 2019. Vol. 10. №.3. pp. 309–318.
11. Shpedt A.A., Aksenova Y.V. Soil Exhaustion Criteria for Central Siberia // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 2018. V. 10(4). pp. 870–873.
12. Пивоваров Ю.П. и др. Радиационная экология: учеб. пособие. М.: Академия, 2004. 240 с.

### Literatura

1. Krasnickij V.M., Bobrenko I.A., Shmidt A.G. i dr. Agrojekologičeskij monitoring pochv na pravom beregu Irtysha lesostepnoj zony Omskoj oblasti // Plodorodie. 2016. № 3. S. 33–36.
2. Krasnickij V.M. Agrojekotoksikologičeskaja ocenka agrocenozov. Omsk: OmGAU, 2001. 68 s.
3. Chernyh N.A., Ovcharenko M.M. Tjzhelye metally i radionuklidy v biogenocenozah. M.: Agrokonsalt, 2002. 197 s.
4. Krasnickij V.M., Bobrenko I.A., Pyhtareva E.G. i dr. Kachestvo kormovyh kul'tur regiona (na primere Omskoj oblasti). Omsk: LITERA, 2017. 72 s.
5. Metodicheskie ukazaniya po provedeniju kompleksnogo monitoringa plodorodija pochv zemel' sel'skohozjajstvennogo naznachenija. M.: Rosinfor-magroteh, 2003. 240 s.
6. Sbornik metodik po opredeleniju radionuklidov v pochvah sel'sko-hozjajstvennyh ugodij i produktah rastenievodstva. M.: Agroproggress, 2000. 156 s.
7. Aleksahin R.M. Jadernaja jenergija i biosfera. M.: Jenergoatomizdat, 2009. 144 s.
8. Bajurov L.I. Kurs lekcij po sel'skohozjajstvennoj radiologii: ucheb. posobie. Krasnodar: Izd-vo KubGAU, 2009. 112 s.
9. Saharov V.K. Radiojekologija. M.: Izd-vo MIFI, 2010. 185 s.
10. Soil and ecological evaluation of agrochernozems of Siberia / A.A. Shpedt, Yu.V. Aksenova, M.R. Shayakhmetov, etc. // International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies. 2019. Vol. 10. №.3. pp. 309–318.
11. Shpedt A.A., Aksenova Y.V. Soil Exhaustion Criteria for Central Siberia // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 2018. V. 10(4). rr. 870–873.
12. Pivovarov Ju.P. i dr. Radiacionnaja jekologija: ucheb. posobie. M.: Akademija, 2004. 240 s.