

DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-37

ВЕРТИКАЛЬНАЯ МИГРАЦИЯ SR-90 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТ ПОЧВ

*Н.Н. Рахимова*ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
Российская Федерация, 460018, Оренбург, пр-т Победы, 13

РЕЗЮМЕ. Представлены результаты изучения характера вертикальной миграции стронция-90 в пяти типах почв степных экосистем Оренбургской области, которые позволили разработать методику оценки и прогноза интенсивности вертикальной миграции стронция-90 по почвенному профилю. По результатам исследования определены агрохимические свойства почв, оказывающие доминирующее влияние на миграционную способность стронция-90.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: стронций-90, загрязнения радионуклидами, почва, растение, техногенные выбросы, миграция в почве, содержание в растениях, чернозем, радионуклиды.

Для цитирования: Рахимова Н.Н. Вертикальная миграция SR-90 в зависимости от агрохимических свойств почв. Микроэлементы в медицине. 2024;25(3):90–92. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-37.

ВВЕДЕНИЕ

Стронций-90 – радиоактивный элемент, который поступает в окружающую среду в большей степени за счет ядерных испытаний, отходов и внештатных, аварийных ситуаций АЭС. Попадая на земную поверхность, радионуклид включается в геохимические процессы миграции, через корневую систему попадает в растительность, по пищевым трофическим цепям создает угрозу для здоровья человека.

Ц е л ь и с с л е д о в а н и я – изучить вертикальное распределение стронция-90 в зависимости от агрохимических свойств почв.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование интенсивности вертикальной стронция-90 осуществляли на глубину почвенного профиля 50 см, послойно с шагом 10 см для целинных почв (Рахимова, 2014). В результате проведенного регрессионного анализа получены уравнения регрессии экспоненциального вида, позволяющее оценить динамику профильной миграции Sr-90:

$C(x) = 11,16 \cdot \exp(-0,03 \cdot x)$ – для чернозема обыкновенного;

$C(x) = 11,05 \cdot \exp(0,00 \cdot x)$ – для темно-каштановой почвы;

$C(x) = 15,25 \cdot \exp(-0,130 \cdot x)$ – для чернозема типичного;

$C(x) = 11,79 \cdot \exp(-0,04 \cdot x)$ – для чернозема южного;

$C(x) = 17,24 \cdot \exp(-0,12 \cdot x)$ – для чернозема южного неполноразвитого щебневатого.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Максимальные концентрации стронция-90 для естественных экосистем отмечаются в черноземе южном неполноразвитом щебневатом в слое 0–5 см (18,7 Бк/кг) (Ефремов и др., 2005). Изменения содержания стронция-90 по профилю в пробах темно-каштановой почвы ($\lambda=0$) не наблюдается. Концентрация стронция-90 по почвенному профилю экспоненциально убывает с глубиной в черноземе неполноразвитом щебневатом ($\lambda=0,12$) и черноземе типичном ($\lambda=0,10$). В остальных обследованных типах почв концентрация стронция-90 изменяется незначительно по почвенному профилю для чернозема южного ($\lambda=0,04$) и чернозема обыкновенного ($\lambda=0,03$).

Корреляционные матрицы, характеризующие взаимосвязи свойств почв и содержания радионуклида стронция-90, приведены в табл. 1–5.

Между содержанием стронция-90 и агрохимическими показателями данного чернозема обыкновенного (табл. 1) существует сильная положительная корреляционная связь с содержанием сульфатов

($r = 0,87$), гумуса ($r = 0,77$), валового содержания калия ($r = 0,77$), серы ($r = 0,76$) и отрицательная корреляционная связь стронция-90 с хлором ($r = -0,77$).

Таблица 1. **Корреляционная зависимость между содержанием Sr-90 и агрохимическими показателями чернозема обыкновенного ($p < 0,05$)**

Радионуклид	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	S анион	% солей	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S _{кат}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Sr-90	<u>0,87</u>	-0,58	<u>-0,77</u>	0,41	0,50	-0,49	0,00	0,44	0,67	0,19	0,41	0,66	<u>0,87</u>
Радионуклид	гумус	Cu	Zn	S	F	Cr	Mn	Co	Ni	Pb	Cd	As	Hg
Sr-90	<u>0,76</u>	<u>0,77</u>	-0,52	-0,47	<u>0,76</u>	-0,34	-0,60	0,66	-0,21	-0,22	-0,59	-0,46	0,09

Между содержанием стронция-90 в черноземе типичном и ее агрохимическими показателями (табл. 2). наблюдается сильная положительная корреляционная связь с содержанием катионов магния ($r = 0,76$), валового P₂O₅ ($r = 0,89$) и K₂O ($r = 0,82$), гумуса ($r = 0,91$), цинка ($r = 0,85$), серы ($r = 0,91$), марганца ($r = 0,90$).

Таблица 2. **Корреляционная зависимость между содержанием Sr-90 и агрохимическими показателями чернозема типичного ($p < 0,05$)**

Радионуклид	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	S анион	% солей	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S _{кат}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Sr-90	0,59	0,33	0,26	0,60	0,72	-0,18	-0,30	<u>0,76</u>	0,00	-0,41	0,59	<u>0,89</u>	0,59
Радионуклид	гумус	Cu	Zn	S	F	Cr	Mn	Co	Ni	Pb	Cd	As	Hg
Sr-90	<u>0,82</u>	<u>0,91</u>	0,36	<u>0,85</u>	<u>0,91</u>	-0,26	-0,01	<u>0,90</u>	-0,40	0,12	-0,12	0,10	0,64

Между содержанием стронция-90 и агрохимическими показателями темно-каштановой почвы (табл. 3) корреляционной связи не обнаружено, за исключением таких элементов, как сера ($r = 0,91$), фтор ($r = -0,71$), кобальт ($r = -0,71$), мышьяк ($r = -0,72$).

Таблица 3. **Корреляционная зависимость между содержанием Sr-90 и агрохимическими показателями темно-каштановой почвы ($p < 0,05$)**

Радионуклид	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	S анион	% солей	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S _{кат}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Sr-90	-0,35	-0,68	0,40	-0,54	-0,40	-0,53	-0,37	-0,52	-0,26	0,51	-0,54	-0,37	-0,31
Радионуклид	гумус	Cu	Zn	S	F	Cr	Mn	Co	Ni	Pb	Cd	As	Hg
Sr-90	0,13	-0,47	-0,16	<u>0,91</u>	<u>-0,76</u>	0,09	-0,31	<u>-0,71</u>	-0,29	-0,36	0,26	<u>-0,73</u>	0,37

Анализ зависимости между содержанием Sr-90 и агрохимическими показателями чернозема южного показал (табл. 4), что стронций-90 статистически значимо коррелирует с катионами магния ($r = -0,75$), калия ($r = 0,76$) и суммой катионов S_{кат} ($r = -0,71$).

Таблица 4. **Корреляционная зависимость между содержанием Sr-90 и агрохимическими показателями чернозема южного ($p < 0,05$)**

Радионуклид	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	S анион	% солей	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S _{кат}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Sr-90	-0,064	-0,34	0,16	-0,69	-0,59	0,17	0,29	<u>-0,75</u>	0,76	-0,61	<u>-0,71</u>	0,51	0,69
Радионуклид	гумус	Cu	Zn	S	F	Cr	Mn	Co	Ni	Pb	Cd	As	Hg
Sr-90	0,58	-0,44	-0,20	-0,48	-0,57	-0,21	-0,19	-0,052	-0,57	-0,51	-0,45	-0,19	0,39

Стронций-90 статистически значимо коррелирует с содержанием в почве чернозема южного неполноразвитого щебневатого (табл. 5): сульфатов ($r = 0,93$), карбонатов ($r = -0,73$), суммой анионов

($r = 0,75$) и катионов ($r = 0,75$), катионов калия ($r = 0,96$), валового K_2O ($r = 0,99$) и P_2O_5 ($r = 0,91$), гумуса ($r = 0,87$), а также с содержанием элементов меди ($r = 0,73$), цинка ($r = 0,92$), кобальта ($r = 0,73$) и свинца ($r = 0,84$). Необходимо отметить сходность корреляционных связей стронция-90 с агрохимическими показателями чернозема южного неполноразвитого щебневатого.

Таблица 5. **Корреляционная зависимость между содержанием Sr-90 и агрохимическими показателями чернозема южного неполноразвитого щебневатого ($p < 0,05$)**

Радионуклид	SO_4^{-2}	HCO_3^{-}	Cl^{-}	S анион	% солей	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	$S_{кат}$	P_2O_5	K_2O
Sr-90	<u>0,93</u>	<u>-0,73</u>	0,49	<u>0,75</u>	<u>-0,07</u>	<u>-0,46</u>	0,25	0,58	<u>0,96</u>	<u>-0,47</u>	<u>0,75</u>	<u>0,91</u>	<u>0,99</u>
Радионуклид	гумус	Cu	Zn	S	F	Cr	Mn	Co	Ni	Pb	Cd	As	Hg
Sr-90	<u>0,87</u>	<u>0,73</u>	<u>0,92</u>	<u>-0,32</u>	<u>-0,64</u>	<u>-0,42</u>	0,46	0,73	0,64	<u>0,84</u>	<u>-0,05</u>	<u>-0,48</u>	0,15

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика оценки интенсивности вертикальной миграции стронция-90 по почвенному профилю. Регрессионный анализ позволяет прогнозировать интенсивность миграции стронция-90 посредством заданной его концентрации в верхнем слое почвы. С помощью корреляционного анализа установлены закономерности между агрохимическими свойствами почв и содержанием стронция-90, оказывающие наибольшее влияние на распределение стронция-90 по вертикали. Проведенные комплексные исследования позволяют прогнозировать экологическую обстановку и возможно применять в сельскохозяйственном производстве на территориях, попадающих в категорию риска загрязнения.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Рахимова Н.Н. Изучение миграции радионуклидов Cs-137 и Sr-90 в системе почва –растение. В сб.: Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России. сборник статей XII Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией В.А. Селезнева; И.А. Лушкина. 2014; 68–73. [Rakhimova N.N. The study of migration of Cs-137 radionuclides and Sr-90 in the soil–plant system in the collection: Natural resource potential, ecology and sustainable development of Russian regions. collection of articles of the XII International Scientific and Practical Conference. Under the general editorship of V.A. Seleznev; I.A. Pushkin. 2014; 68–73. (In Russ.)].

Ефремов И.В., Рахимова Н.Н., Янчук Е.Л. Особенности миграции радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в системе почва-растение. Вестник Оренбургского государственного университета, 2005, №. 12: 42-46. [Efremov I.V., Rakhimova N.N., Yanchuk E.L. Migration features of cesium-137 and strontium-90 radionuclides in the soil-plant system. Bulletin of Orenburg State University, 2005, No. 12: 42-46. (In Russ.)]

THE NATURE OF VERTICAL MIGRATION OF Sr-90 DEPENDING ON THE AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOILS

N.N. Rakhimova

Orenburg State University
13 Pobedy Ave., Orenburg, 460000, Russian Federation

ABSTRACT. The article examines the nature of vertical migration of strontium-90 in five types of soils of steppe ecosystems of the Orenburg region. The results obtained made it possible to develop a methodology for assessing and predicting the intensity of vertical migration of strontium-90 along the soil profile, and the physico-chemical characteristics of soils that have the greatest impact on the dynamics of distribution were determined.

KEYWORDS: strontium-90, radionuclide pollution, soil, plant, man-made emissions, migration in soil, content in plants.