

ВЛИЯНИЕ ДЕФЛЯЦИИ НА ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ МИГРАЦИЮ ^{137}Cs НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЛЯХ

В. Б. Цырибко, А. М. Устинова, И. А. Логачёв

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

ВВЕДЕНИЕ

В условиях нарастающих изменений климата одним из потенциально наиболее опасных видов деградации почв в республике становится дефляция, интенсивность которой определяется особенностями климата, рельефа, почвенного и растительного покрова. Она проявляется в виде повседневного эолового переноса на открытых незащищенных растительностью массивах и в виде пыльных бурь. Повседневный процесс протекает под воздействием ветров скоростью 5–8 м/с, а пыльные бури – при сильных ветрах (скорость превышает 10–15 м/с). Большинство пыльных бурь отмечается в теплый период года: весной – 52,2 % от общего количества, летом – 37,8 % и осенью – 9,4,4 % [1].

Дефляция характерна для южной почвенно-экологической провинции Беларуси из-за широкого распространения песчаных и рыхлосупесчаных, а также осушенных органогенных почв. В последнее время в республике отмечено усиление дефляционных процессов, которое обусловлено увеличением повторяемости засух и засушливых явлений, особенно в весенний период, что приводит к ухудшению водного режима почв, пересыханию верхнего корнеобитаемого слоя легких песчаных и супесчаных почв. По данным метеорологических станций с 1966 г. в Полесье зарегистрировано более 350 случаев проявления экстремальной дефляции – пыльных бурь. [2].

Авария на Чернобыльской АЭС, приведшая к загрязнению 23 % территории Республики Беларусь [3], обусловила горизонтальную миграцию вместе с дефляционным материалом изотопов радиоактивных элементов, став причиной появления новых локальных очагов их повышенной концентрации [1, 4].

В работах различных авторов установлено, что интенсивность горизонтальной миграции зависит от характера использования сельскохозяйственных земель. Под однолетними культурами, характеризующимися невысокой почвозащитной способностью, перенос ^{137}Cs выше, чем под многолетними травами, которые хорошо защищают почву от деградации [5–8].

Целью исследования – изучение влияния дефляции на горизонтальную миграцию ^{137}Cs на органогенных и песчаных почвах сельскохозяйственных земель и определение удельной активности почвы в зонах аккумуляции эолового материала.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований являлись дерново-подзолистые песчаные, торфяные и деградированные торфяные почвы.

С целью определения особенностей горизонтальной миграции ^{137}Cs на минеральных и органогенных почвах в 2022–2023 гг. проведены маршрутные исследования на территории Ветковского, Добрушского, Буда-Кошелевского и Житковичского районов Гомельской области, а также в Лунинецком районе Брестской области.

Исследования проводились путем закладки почвенных катен, расположенных по преимущественному направлению розы ветров (с северо-запада на юго-восток).

Отбор почвенных проб производился агрохимическим буром из пахотного горизонта почв через 50 м от центра поля в направлении зоны аккумуляции.

Удельную активность ^{137}Cs определяли на γ - β -спектрометре МКС-АТ1315. Основная относительная погрешность измерений при доверительном интервале $P = 95 \%$ не превышала 15–30 %. Аппаратурная ошибка измерений – не более 15 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На всех изученных почвенных катенах выделены 3 основные зоны влияния дефляционных процессов: аккумуляции (приурочены к древесно-кустарниковой растительности, урезам воды, дорогам, значительным неровностям рельефа), аккумуляции/переноса (на небольшом расстоянии от перечисленных ранее мест и особенностям микрорельефа), зоны переноса (выровненные центральные части полей) (табл. 1).

В зоне переноса на катене № 1 удельная активность пахотного слоя ^{137}Cs была на 42,1–45,7 % ниже по сравнению с зоной основной аккумуляции дефляционного материала (юго-восточная часть поля). В то же время в зоне аккумуляции загрязнение почвы ^{137}Cs было также неравномерным, что связано как с различной интенсивностью воздействия ветра, так и особенностями микрорельефа.

Изучение перераспределения ^{137}Cs на почвенной катене № 2, находящейся преимущественно в зоне аккумуляции, указывает на значительный контраст внутри – в зоне максимальной аккумуляции загрязнение пахотного слоя ^{137}Cs было на 39,9 % выше, чем в зоне частичной аккумуляции/переноса. Разница в удельной активности между северо-западной и юго-восточной частью зоны аккумуляции составляла 21,0 %.

Особенность почвенной катены № 3 в том, что обе зоны аккумуляции приурочены к антропогенным объектам (ограда частной застройки и дорога). Данная катена расположена в зоне преимущественной аккумуляции, поэтому чистой зоны переноса на ней не выделено. Однако разница между максимальной и минимальной плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs достигает 37,9 %.

На луговых землях различия между зонами аккумуляции и переноса ниже примерно в два раза. Наибольшие различия отмечаются на катене № 6, на которой удельная активность пахотного горизонта почвы в зоне переноса на 22,3 % ниже, чем в зоне аккумуляции.

На катене № 5 влияние дефляции на перераспределение ^{137}Cs также установлено – разница достигает 19,5 %, при этом стоит отметить, что максимальное отличие установлено между зонами аккумуляции и переходной от переноса к аккумуляции.

Наиболее показательной катеной на луговых землях является четвертая, на которой разница между различными точками отбора не превышает 10,5 %, что вероятно обусловлено наибольшей продолжительностью нахождения данного массива в категории луговых земель.

Таблица 1

**Влияние дефляционных процессов на горизонтальную миграцию ¹³⁷Cs
на дерново-подзолистых песчаных почвах**

№ катены	Тип земель	№ точки	Зоны влияния дефляции	Удельная активность ¹³⁷ Cs в почве, Бк/кг	Отклонение от зоны максимальной аккумуляции, %
1	Пахотные	1	перенос	391,23	-45,7
		2	перенос	417,00	-42,1
		3	аккумуляция/перенос	598,47	-16,9
		4	аккумуляция/перенос	584,31	-18,9
		5	аккумуляция	719,38	0,0
		6	аккумуляция	656,96	-8,8
2	Пахотные	1	аккумуляция	623,28	-21,0
		2	аккумуляция/перенос	474,45	-39,9
		3	аккумуляция/перенос	603,47	-23,5
		4	аккумуляция/перенос	507,78	-35,7
		5	аккумуляция	794,00	0,0
3	Пахотные	1	аккумуляция	99,72	-15,8
		2	аккумуляция/перенос	73,57	-37,9
		3	аккумуляция	100,05	-15,5
		4	аккумуляция	115,84	0,0
4	Луговые	1	перенос	388,96	-3,0
		2	аккумуляция/перенос	442,55	10,4
		3	аккумуляция/перенос	437,74	9,2
		4	аккумуляция	400,98	0,0
5	Луговые	1	перенос	307,62	-18,1
		2	перенос	316,70	-15,7
		3	аккумуляция/перенос	302,43	-19,5
		4	аккумуляция	323,46	-13,9
		5	аккумуляция	375,56	0,0
6	Луговые	1	перенос	1104,74	-1,7
		2	перенос	873,06	-22,3
		3	перенос	1111,78	-1,0
		4	аккумуляция/перенос	1146,20	2,0
		5	аккумуляция	1276,10	13,6
		6	аккумуляция	1123,45	0,0

Маршрутные исследования были также проведены на органогенных почвах (табл. 2).

**Влияние дефляционных процессов на горизонтальную миграцию ¹³⁷Cs
на органогенных почвах**

№ катены	Тип земель	№ точки	Зоны влияния дефляции	Удельная активность ¹³⁷ Cs в почве, Бк/кг	Отклонение от зоны максимальной аккумуляции, %
7	Пахотные	1	аккумуляция	468,30	-4,1
		2	аккумуляция	437,56	-10,2
		3	перенос	109,17	-77,6
		4	аккумуляция	472,08	-2,0
		5	аккумуляция	479,60	0,0
8	Пахотные	1	аккумуляция	547,65	0,0
		2	аккумуляция/перенос	486,95	-12,5
		3	аккумуляция/перенос	457,74	-17,9
		4	аккумуляция	504,96	-9,0
9	Пахотные	1	аккумуляция	136,95	-22,2
		2	аккумуляция	135,76	-22,2
		3	аккумуляция/перенос	129,35	-27,8
		4	перенос	96,34	-44,4
		5	аккумуляция	175,29	0,0
		6	аккумуляция	182,05	0,0
10	Луговые	1	перенос	215,97	6,2
		2	аккумуляция/перенос	265,95	30,7
		3	аккумуляция/перенос	193,38	4,9
		4	аккумуляция	203,38	0,0
11	Луговые	1	перенос	579,21	17,6
		2	аккумуляция/перенос	440,58	-10,5
		3	аккумуляция/перенос	437,72	-11,1
		4	аккумуляция	582,33	18,3
		5	аккумуляция	492,41	0,0
12	Луговые	1	аккумуляция/перенос	925,22	3,0
		2	аккумуляция/перенос	998,44	11,2
		3	аккумуляция	897,89	0,0

Катена № 7 заложена в Добрушском районе на поле со сложным мозаичным почвенным покровом: представлены торфяно-минеральные, остаточно-торфяные и постторфяные разновидности дегроторфяных почв. В связи с этим, на данной катене отмечается максимальное различие в удельной активности пахотного горизонта почв между зоной переноса и зоной аккумуляции, которое достигает 77,6 %.

Катена № 8 находится в непосредственной близости от катены № 7. Её почвенный покров представлен торфяными почвами, а также абсолютная высота ниже,

что обуславливает более длительный период переувлажнения и, следовательно, существенно уменьшает интенсивность протекания дефляционных процессов. Максимальная разница между значениями удельной активности не превышает 18,0 %.

Катена № 9 расположена на торфяных и торфяно-минеральных почвах, что обуславливает более высокую интенсивность протекания дефляционных процессов: разница в удельной активности почвенных образцов в зоне максимальной аккумуляции и зоне переноса достигает 44,4 %.

Катена № 10 расположена на луговых землях с достаточно сложным почвенным покровом (представлены различные разновидности торфяных и дегроторфяных почв). Особенностью данной катены является наибольшее различие в удельной активности отобранных почвенных образцов (30,7 %). Что, вероятнее всего, объясняется изначально неравномерным выпадением радионуклидов ¹³⁷Cs, поскольку наименьшая активность отмечена в зоне потенциальной максимальной аккумуляции.

На катене № 11, представленной преимущественно торфяными почвами, отмечены разнонаправленные колебания удельной активности верхнего горизонта почвы в независимости от зоны влияния дефляции, что указывает на ключевую роль первоначального распределения выпадения радионуклидов.

Наименьшие отличия установлены на катене № 12 (не более 11,2 %), представленной торфяными почвами различной мощности. Минимальные различия обусловлены как использованием в качестве луговых земель, так и генезисом почв.

Для установления степени влияния дефляции на горизонтальную миграцию ¹³⁷Cs проведено сравнение фактической удельной активности пахотного горизонта катены № 2 в 2015 и 2022 гг., а также прогнозного значения, рассчитанного с помощью программного продукта Radprocalculator [10]. Полученные результаты представлены на рисунке.

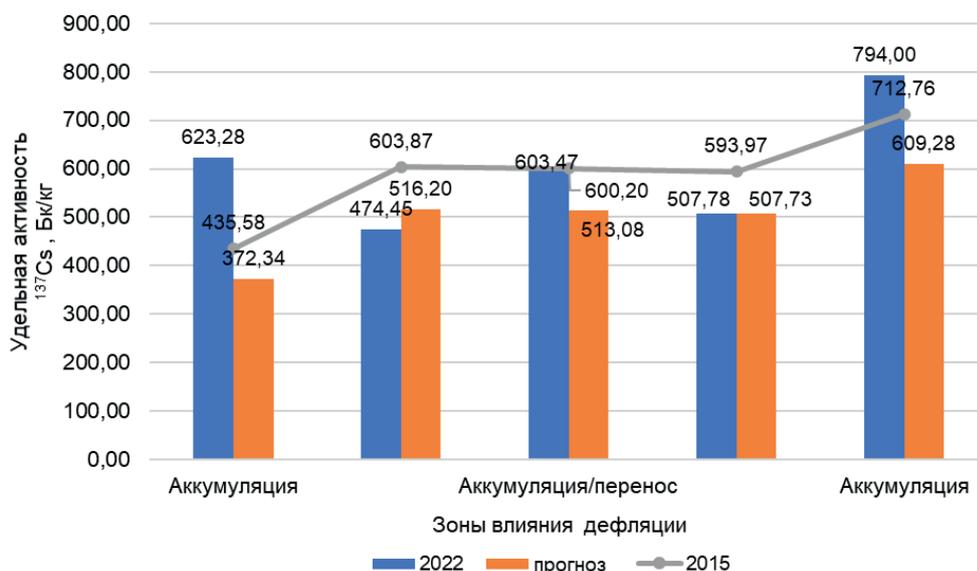


Рис. Сравнение фактической и прогнозной удельной активности ¹³⁷Cs в пахотном горизонте почвы катены № 2, Бк/кг

Сравнение фактических и прогнозных значений показало, что только в одной точке отбора в зоне переходного влияния дефляции (аккумуляции/переноса) фактическое значение сопоставимо с прогнозным. В зонах аккумуляции фактические значения не только выше прогнозных на 184,72–250,94 Бк/кг (35,8–67,4 %), но даже превышают уровень 2015 г., что подтверждает определяющую роль дефляционных процессов в горизонтальной миграции ^{137}Cs и формировании локальных пятен повышенной концентрации радионуклида.

ВЫВОДЫ

Результаты исследований показали, что на легких по гранулометрическому составу и органогенных почвах пахотных земель происходит активная миграция ^{137}Cs с дефляционными процессами. В то же время интенсивность дефляции на луговых землях ниже и изменение удельной активности почвы обуславливается преимущественно первоначальным выпадением радионуклида. На пахотных землях вдоль естественных и антропогенных преград формируются зоны аккумуляции эолового материала с повышенным содержанием в нем ^{137}Cs . На песчаных почвах разница в удельной активности пахотного горизонта между зоной переноса и аккумуляции достигает на пахотных землях 45,7 %, а на луговых – 22,3 %.

Степень подверженности дефляции находится в тесной взаимосвязи с уровнем деградации органогенных почв. На торфяных и торфяно-минеральных почвах разница в удельной активности ^{137}Cs между зоной переноса и аккумуляции на пахотных землях составляет до 37,5 %, на луговых – 18,3 %, а на остаточно-торфяных и постторфяных почвах – достигает величин более 75,0 % и 30,7 % соответственно на пахотных и луговых землях.

Характер землепользования играет определяющую роль в интенсивности горизонтальной миграции ^{137}Cs с дефляционными процессами. Изменения удельной активности на луговых землях более, чем в два раза ниже, чем на пахотных. На пахотных землях зоны максимальной аккумуляции радионуклидов соответствуют юго-восточным участкам полей, что обусловлено преобладающими направлениями ветра. На органогенных почвах ключевую роль играет водный режим, при избыточном увлажнении интенсивность дефляции минимальна, как и миграция радионуклида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уплыў дэфляцыйных працэсаў на перапамеркаванні ^{137}Cs на ворных землях / В. Б. Цырыбка [і інш.] // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 2(71). – С. 34–43.
2. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др]; под общ. ред В. В. Лапа., А. Ф.Черныша; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 170 с.
3. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси; под. ред. Ю. А. Израэля, И. М. Богдевича. – М.: Фонд «Инфосфера – НИА – Природа»; Минск: Белкартография, 2009. – 140 с.
4. Цырибко, В. Б. Перераспределение ^{137}Cs дефляционными процессами / В. Б. Цырибко, А. М. Устинова, Н. Н. Цыбулько // Природнае асяроддзе

Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця: зб. навук. прац VIII Міжнароднай канферэнцыі «Прыроднае асяроддзе Палесся і навукова-практычныя аспекты рэсурсакарыстання», Брэст, 12–14 верасня 2018 г. / Палескі аграрна-экалагічны інстытут НАН Беларусі; рэдкал. М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Брэст: Альтэрнатыва, 2018. – Вып. 11. – 300 с. – С. 103-105.

5. Dolgilevich, M. I. Wind erosion as a factor of radionuclide contamination of North Ukrainian landscapes / M. I. Dolgilevich // E.S.S.C. Newsletter 2. – 1996. – P. 16–18.

6. Агроэкалагічная ацэнка і групуіроўка дефляцыйна-небяспечных зямель агроландшафтоў Беларускага Полесся: зборнік навуковых твораў / А. Ф. Чэрныш, Н. Н. Цыбулько, Л. А. Тишук // Почвоведение и агрохимия. – 1998. – Вып. 30. – С. 23–32.

7. Цыбулько, Н. Н. Дефляцыя почв і горизонтальны перенос ^{137}Cs / Н. Н. Цыбулько // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2006. – Т. 46. – № 1. – С. 96–102.

8. Чэрныш, А. Ф. Міграцыя і акумуляцыя радыёнуклідаў у эродзіраваных агроландшафтах Беларускага Полесся / А. Ф. Чэрныш, В. С. Аношко // Вестник БГУ. Сер. Химия. Биология. География. – 2006. – № 1. – С. 98–102.

9. Анисимов, В. С. Вертикальная миграция ^{137}Cs чернобыльских выпадений в различных ландшафтах / В. С. Анисимов, В. К. Кузнецов, А. И. Санжаров // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2021. – Т. 61. – № 3. – С. 286–300.

10. Прогнозаванне змянення удельнай актывнасці радыоактыўных элементаў [Электронны рэсурс] // Інтэрнет-партал аб прагназаванні радыоактыўнасці. – Режим доступа: <http://www.radprocalculator.com/Decay.aspx>. – Дата доступа: 22.03.2024.

INFLUENCE OF DEFLATION ON THE HORIZONTAL MIGRATION OF ^{137}Cs ON AGRICULTURAL LANDS

V. B. Tsyrybka, H. M. Ustsinava, I. A. Lahachou

Summary

The data on changes in the specific activity of ^{137}Cs in the upper soil horizon as a result of deflationary processes are presented in the article. It has been established that the nature of land use plays a key role in the intensity of horizontal migration of ^{137}Cs during deflationary processes. Changes in specific activity on meadow lands are more than two times lower than on arable lands.

On arable lands along natural and anthropogenic barriers, zones of accumulation of deflationary (induced) material with an increased radionuclide content are formed. On sandy soils, the difference in the specific activity of the arable horizon between the transfer and accumulation zones reaches 45,7 % on arable lands, and 22,3 % on meadow lands.

The degree of susceptibility to deflationary processes is closely related to the level of degradation of peat soils. On peat and peat-mineral soils, the difference in the specific activity of ^{137}Cs between the zone of transfer and accumulation on arable lands is up to 37,5 %, on meadow soils – 18,3 %, and on residual peat and post-peat soils – reaches 77,6 % and 30,7 %, respectively, on arable and meadow lands.

Поступила 22.04.24