

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-1-30-39>

УДК 631.4: 504.53: 539.16

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ РАДИОАКТИВНО-ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ МЕТОДОМ ВСПАШКИ ПОЧВЫ

<sup>1)</sup> Паницкий А.В., <sup>1)</sup> Тулебаева Т.Н., <sup>1)</sup> Кундузбаева А.Е.,  
<sup>1)</sup> Ларионова Н.В., <sup>1)</sup> Кабдыракова А.М., <sup>2)</sup> Султанова Б.М.

<sup>1)</sup> Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

<sup>2)</sup> Институт ботаники и фитоинтродукции МОН РК, Алматы, Казахстан

В работе приводятся результаты оценки эффективности проведения рекультивации радиоактивно-загрязненной территории методом вспашки почв. Проведена оценка эффективности трех технологий обработки почвы. Исследования показали эффективность вспашки почвы с точки зрения снижения поверхностного загрязнения территории. Уровни МЭД и плотности потока  $\beta$ -частиц после перепашки участков исследования в среднем снизились на 56 % и 87 % соответственно. Отмечено перемещение радионуклидов с верхних слоев почвы в нижележащие горизонты. Максимумы удельных активностей на некоторых участках исследования встречаются в почвенных слоях 20–25 см. Установлено изменение гранулометрического состава почв участков рекультивации и содержания гумуса, что может говорить, как о наличии дефляционных процессов, так и о перемещении илистых фракций и гумуса вглубь почвы под действием гравитации и осадков. Также рассмотрен вынос радионуклидов растениями на дневную поверхность почвы и влияние типа корневой системы растений на этот процесс и дана оценка влияния выбранных технологий рекультивации на процесс зарастания участков рекультивации растительностью. В целом установлено, что наиболее предпочтительной технологией является перепашка почвы на глубину 30 см с оборотом пласта на 180° с последующим засеванием степной растительностью.

**Ключевые слова:** рекультивация, радионуклиды, дефляция почвы.

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы проведена большая работа по уточнению границ распространения радионуклидного загрязнения на радиационно-опасных объектах Семипалатинского испытательного полигона (СИП). В результате применения современных методов крупномасштабной пешеходной гамма спектрометрии достаточно четко локализованы участки, представляющие опасность для населения и требующие проведения мероприятий, ограничивающих воздействие таких участков на окружающую среду и человека. Рекультивация радиационно-загрязненных земель территории СИП может быть осуществлена различными способами, выбор которых, прежде всего, зависит от природных условий конкретного участка и уровней радионуклидного загрязнения. Ввиду наличия достаточно больших площадей, имеющих высокие уровни содержания радионуклидов в почве, полностью изъять объемы загрязненной почвы не представляется возможным, так как это не всегда экономически целесообразно. К тому же возникает другая проблема – хранение изъятых почв. Поэтому на землях СИП (площадка «Опытное поле», следы от экскавационных ядерных взрывов («Атомное озеро», «Телькем»), где загрязнение почв распространено на значительных площадях, возможно применение рекультивации – глубокой вспашки с оборотом пласта, хорошо зарекомендовавшей себя на чернобыльских выпадениях [1, 2]. Такой способ реабилитации почв применим на этих участках еще и потому, что они представляют собой пологие выравненные поверхности с мощностью покровных рыхлых отложений до 2–3 м и более. Поэтому, несмотря на щебнистость

почв, перепашка этих территорий возможна. При этом необходимо заметить, что почвенный покров большей части территории СИП отличается хрупкостью поверхностной корочки. Поэтому любое антропогенное вмешательство в почвы этого региона может привести к усилению его развеемости и дефляции.

Настоящие исследования направлены на то, чтобы дать оценку эффективности проведения рекультивации методом вспашки почвы и оценить возможные последствия такой рекультивации. Статья подготовлена в рамках выполнения Проекта грантового финансирования АР08856225 «Разработка технологии ремедиации радиоактивно-загрязненных территорий Семипалатинского испытательного полигона»

### 1 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### 1.1 Выбор участков исследования

Для проведения исследований выбрано два участка, имеющих различные почвенные характеристики. Первый расположен на светло-каштановых почвах в районе испытательной площадки «Опытное поле» на территории экспериментальной площадки «П-2», где проводились ядерные испытания малой мощности (рисунок 1, а). Данный участок характеризуется светлокаштановыми почвами с высоким содержанием техногенных трансурановых радионуклидов. Второй участок расположен на солончаке в районе озера Жаксытуз, где также отмечается присутствие радионуклидов в почвенном покрове (рисунок 1, б).

По ботанико-географическому районированию [3] растительный покров территории в районе площадки «П-2» «Опытного поля» относится к сухим ксерофитноразнотравно-дерновиннозлаковым степям на светло-каштановых почвах.

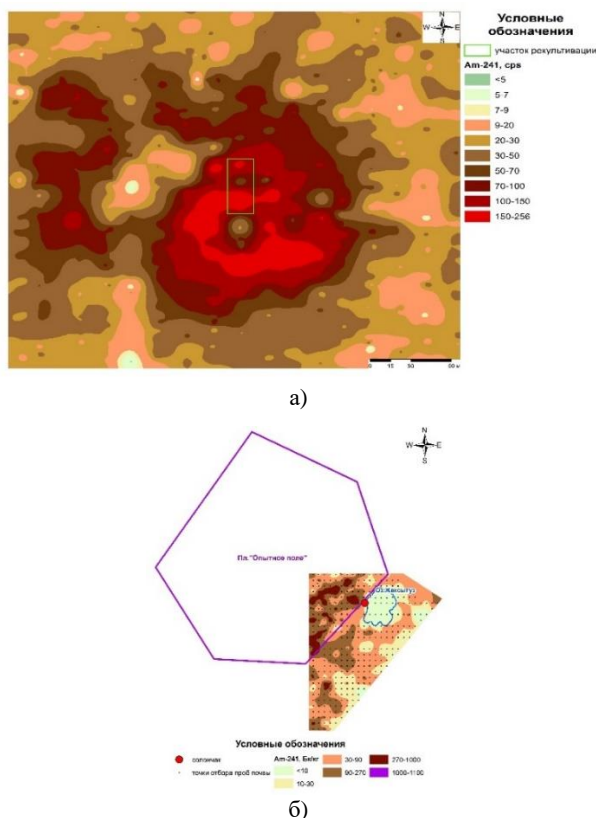


Рисунок 1. Территория заложения участков исследования

Доминантами растительного покрова являются дерновинные злаки: *Stipa capillata* или *Festuca valesiaca*. На территории в районе озера Жаксытуз формируется ряд сообществ, представленных *Halocnemum strobilaceum*, *Kalidium shrenkianum*, *Suaeda physophora*, *Nitraria sibirica*, *Anabasis salsa*, *Halimione verrucifera*, *Aeluropus litoralis*, *Artemisia schrenkiana*, *Limonium suffruticosum*, *L.gmelinii*, *Saussurea amara*, *Puccinellia dolicholepis*, *Achnatherum splendens*, *Leymus angustus*, *Atriplex cana*, *Camphorosma monspeliaca*, *Artemisia pauciflora*, *Artemisia gracilescens*, *Kochia prostrata*, *Artemisia gracilescens*, *Stipa sareptana*, *Festuca valesiaca*, *Psathyrostachys juncea*.

## 1.2 Рекультивация ключевых участков

### 1.2.1 Выбор технологии рекультивации

На основании почвенных характеристик участка проведения исследований и на основании данных о распределении техногенных радионуклидов в почвенном профиле района исследования [4, 5] рекомендован полный оборот пласта не менее чем на 30 см. Учитывая метеорологические характеристики территории площадки «Опытное поле», где скорость порывов ветра может достигать 17 м/с, можно ожидать усиления дефляции почвенного покрова после вспашки. Поэтому решено оценить эффективность трех возможных технологий рекультивации:

1. Перепахка почвы на глубину 30 см с оборотом пласта на 180° с последующей отсыпкой грунта щебнем;

2. Перепахка почвы на глубину 30 см с оборотом пласта на 180° с последующим засеиванием степной растительностью;

3. Перепахка почвы на глубину 30 см с оборотом пласта на 180°.

Для засеивания участков выбрано растение – житняк (*Agropyron cristatum*), которое является зерновым злаком, отрастающим ежегодно с корня и считается наиболее морозоустойчивым и засухоустойчивым растением, переносящим засоленность почвы.

### 1.2.2 Рекультивация участков исследования

На светло-каштановых почвах площадки «П-2» заложено 3 участка (У-1, У-2 и У-3) 16х15 м согласно выбранным технологиям рекультивации (рисунок 2). Также заложено 2 участка (У-4 и У-5) на солончаке оз. Жаксытуз. Для оценки эффективности снижения радиометрических показателей на заложённых участках проведена пешеходная γ-, β-радиометрическая съёмка с сеткой 2х2 м (216 точек). На каждом участке выполнено описание рельефа и растительного покрова; отобрано по 1 пробе надземной части растений на радионуклидный анализ (5 проб); заложено по одному почвенному разрезу с послойным (по 5 см) отбором образцов почвы до 50 см (50 проб). После проведения указанных мероприятий произведена перепахка почвы всех участков на глубину 30 см с оборотом пласта на 180°. Перепахка произведена трактором ДТ-75, оснащённым навесным трехкорпусным плугом ПЛН-3 с бороной зубовой тяжелой БЗТ-1. После перепахки, для определения степени заглубления радионуклидов, на каждом участке проведен послойный отбор образцов почвы с центральных почвенных разрезов через 5 см до глубины 30 см для проведения радионуклидных анализов. Для оценки эффективности различных технологий предотвращения ветровой эрозии проведена отсыпка щебнем участков У-2 на П-2 и У-4 на солончаке оз. Жаксытуз. Всего отсыпано 200 м<sup>2</sup>. Проведен засев семенами житняка участка У-3 на П-2 (100 м<sup>2</sup>) из расчета 14 кг семян на 1 га.

### 1.2.3 Оценка выноса радионуклидов растениями

В течение 3-х лет после рекультивации участков с каждого КУ проводился отбор проб растительности для определения возможного выноса радионуклидов. Средняя проба растительности с каждого участка формировалась из 5 точек (рисунок 2). В каждой точке скашивалось по 1 м<sup>2</sup> растительности. На ключевых участках озера Жаксытуз (на солончаках) в первый год после рекультивации растения не отбирались, ввиду медленного восстановления растительного покрова. Для оценки влияния типа корневой системы на возможный вынос радионуклидов, из почвы на участке У-1 на 2 и 3 год после рекультивации дополнительно проведен отбор проб 2 видов растений с разным типом корневой системы. Рассматривалось 2 вида – житняк (*Agropyron cristatum*), имеющий мочковатую корневую систему и полынь шелковистая (*Artemisia sericea*), имеющая стержневую корневую

систему. Оба вида растений скашивались с одного участка площадью 1 м<sup>2</sup>.

#### 1.2.4 Оценка наличия дефляционных процессов

Для наблюдения за процессами дефляции сразу после проведения рекультивации на каждом участке заложено по 5 точек. С каждой точки отобраны образцы почвы по 5 см на глубину 15 см для проведения физико-химических исследований (гранулометрический состав и содержание гумуса). Через 2 года после рекультивации в точках мониторинга за процессами дефляции проведен повторный отбор образцы почвы по 5 см на глубину 15 см для проведения физико-химических исследований.

#### 1.2.5 Оценка процессов зарастания участков рекультивации растительностью

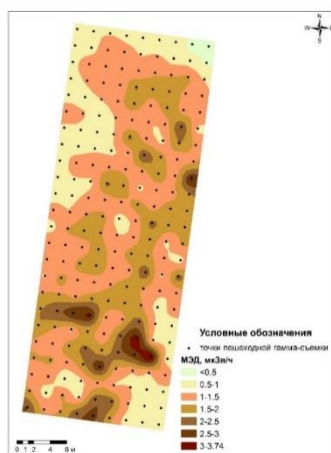
Для изучения восстановления зональной степной и интразональной галофитной растительности на участках рекультивации площадки «Опытное поле» на протяжении 4-х лет проведен мониторинг естественного зарастания степной растительности в трех

вариантах опытов и естественного зарастания галофитной растительности в двух вариантах опытов на восточном склоне солончаковой впадины (сора) Жаксытуз. Изучение формирующегося растительного покрова проводилось стандартными геоботаническими методами [6, 7]. Распределение флороненотипов приведено по Р. В. Камелину [8], деление на жизненные формы основывались на работах И.Г. Серебрякова [9], экоморфы – на работах Б.А.Быкова [10].

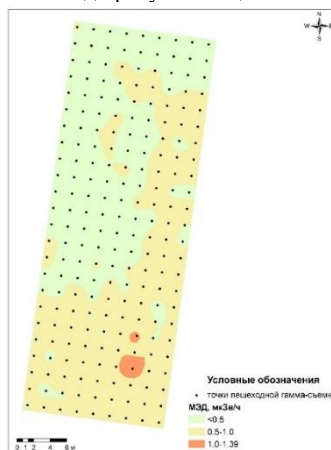
## 2 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### 2.1 Оценка эффективности снижения значений радиометрических параметров на участке рекультивации

Результаты радиометрической  $\gamma$ -,  $\beta$ -съемки, проведенной до распашки ключевых участков рекультивации и после (на П-2), представлены на схеме распределения этих интегральных показателей (рисунки 2–4).

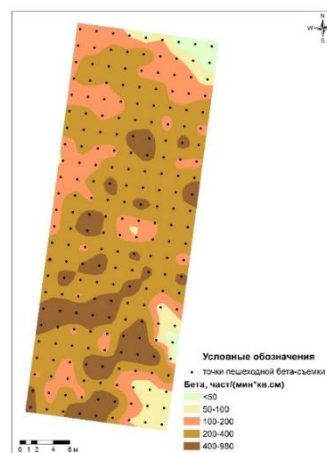


до рекультивации

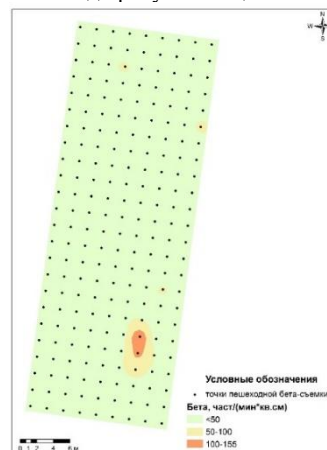


после рекультивации

Рисунок 2. Характер распределения МЭД на территории рекультивации до проведения рекультивации методом вспашки и после



до рекультивации



после рекультивации

Рисунок 3. Характер распределения плотности потока  $\beta$ -частиц на территории рекультивации до проведения рекультивации методом вспашки и после

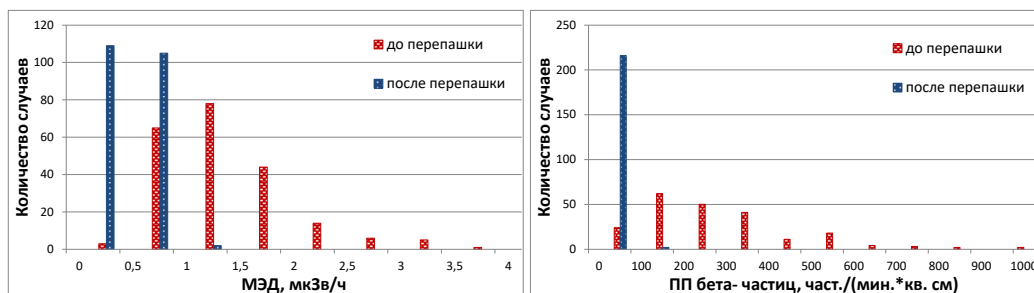


Рисунок 4. Значения радиационных параметров на участке рекультивации до перепашки на 30 см и после

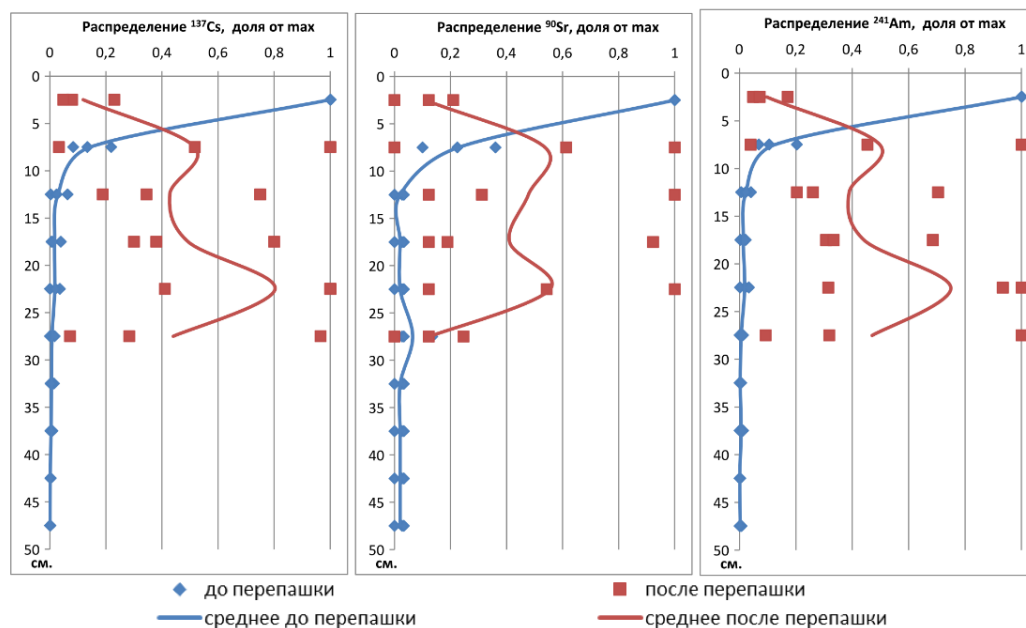


Рисунок 5. Характер распределения радионуклидов в почве до и после перепашки на 30 см с оборотом пласта, доля от максимального значения (среднее на основании данных по 3-м участкам на П-2)

Анализ результатов измерений МЭД показал, что до перепашки значения МЭД изменялись в относительно широком диапазоне значений – от 0,3 мкЗв/ч до 3,7 мкЗв/ч. После перепашки максимальное значение МЭД снизилось в 5 раз и значительно сузился диапазон значений – от 0,3 мкЗв/ч до 1,4 мкЗв/ч (рисунок 2).

Анализ полученных результатов измерений плотности потока  $\beta$ -частиц как и в случае с МЭД показал, что до проведения рекультивационных работ эти радиометрические показатели изменялись в относительно широком диапазоне значений – от 980 частиц/(мин $\times$ см<sup>2</sup>) до 26 частиц/(мин $\times$ см<sup>2</sup>). После перепашки участков максимальное значение плотности потока  $\beta$ -частиц снизились в 6 раз. Диапазон значений также и существенно сузился – от 160 частиц/(мин $\times$ см<sup>2</sup>) до <10 частиц/(мин $\times$ см<sup>2</sup>) (рисунок 3).

## 2.2 Оценка эффективности снижения удельной активности радионуклидов в верхнем (контактном) слое почвы

На рисунке 5 представлен характер распределения радионуклидов в почве до и после перепашки на 30 см с оборотом пласта на 180°. Графики хорошо от-

ражают изменение характера загрязнения почвенного покрова до и после перепашки участков. Видно, что до проведения рекультивационных работ исследуемые радионуклиды находились в верхних почвенных горизонтах 0–5, 5–10 см (рисунок 5). После проведения перепашки на 30 см характер распределения радионуклидов в 30-сантиметровом слое почвы сильно изменился.

В целом для всех радионуклидов отмечается резкое снижение удельной активности в верхнем слое 0–5 см. На участке 1 для <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am максимум сместился в слой 5–10 см. Для <sup>90</sup>Sr максимальное значение удельной активности отмечается в слое 10–15 см. Аналогичный характер распределения радионуклидов в почве отмечается и на других участках рекультивации, имеющих высокие удельные активности. Однако максимум содержания радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am на участке У-2 приходится на два слоя 20–25 и 25–30. Для <sup>90</sup>Sr максимальное значение удельной активности отмечается в слое 5–10 см. Максимум всех исследуемых радионуклидов на участке У-3 приходится на слой 20–25 см.



### 2.3 Оценка наличия дефляционных процессов в почвенном покрове ключевых участков

Степень дефлированности почв определяется по изменениям физических и химических свойств, а в первую очередь, по количеству утерянного гумуса и частиц физической глины [11]. Поэтому проведено определение именно этих параметров. Ниже приведены результаты определения общего содержания гумуса (таблица 1) и гранулометрического состава (рисунок 6) в почвах участков исследования сразу после вспашки участков и через 2 года после проведения вспашки.

Результаты анализа показали, что в наблюдаемый период времени (2 года после рекультивации) на всех ключевых участках произошло увеличение песчаной фракции и уменьшение илистой и пылевой фракции почвы. Наблюдается потеря гумуса в верхнем горизонте участков У-1, У-2 и У-3. Однако говорить о наличии процесса развеемости пока рано, так как изменения отмечаются не только в верхних горизонтах, но и в нижних. Возможно, это связано с гравитационным перемещением илстых мелкодисперсных фракций вглубь почвенного покрова с осадками. Выбранная методика исследования не позволила проследить изменение гранулометрического состава в почвенных горизонтах, расположенных ниже 15 см.

Визуальный осмотр участков показал признаки формирования щебнистого панциря, который в дальнейшем будет способствовать предотвращению ветровой эрозии.

Таблица 1. Общее содержание гумуса в почве участков на разных этапах исследования

Точка отбора	Вид обработки	Глубина, см	Общее содержание гумуса, %	
			после вспашки	через 2 года после вспашки
У-1 т. 1/1	отсев житняком	0-5	3,7±0,6	1,8±0,7
		5-10	3,4±0,7	2,1±1,1
		10-15	3,4±0,6	3,0±2,1
У-2 т. 2/1	отсыпка щебнем	0-5	3,1±0,5	2,0±0,4
		5-10	3,9±1	2,6±0,9
		10-15	3,6±0,7	2,3±0,3
У-3 т. 3/1	без обработки	0-5	3,0±0,3	2,4±0,9
		5-10	3,4±1,1	2,4±0,5
		10-15	3,1±0,3	2,5±0,9
У-4 т. 4/1 (солончак)	отсыпка щебнем	0-5	1,5±0,5	2,0±0,8
		5-10	1,7±0,5	1,5±0,7
		10-15	1,4±0,5	1,5±0,9
У-5 т. 5/1 (солончак)	без обработки	0-5	1,3±0,5	1,2±0,4
		5-10	1,3±0,5	1,7±1,0
		10-15	1,4±0,4	1,4±0,7

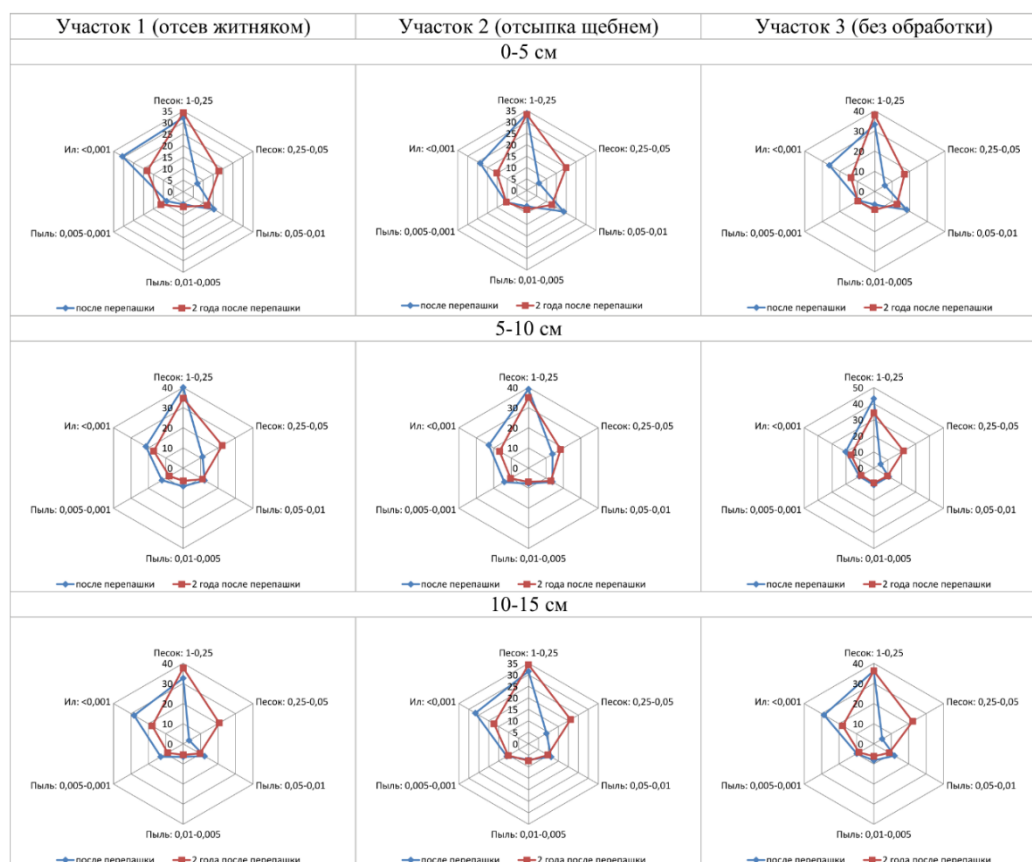


Рисунок 6. Изменение гранулометрического состава почв участков исследования через 2 года после проведения вспашки, %

## 2.4 Оценка выноса радионуклидов на дневную поверхность растениями

Полученные данные об удельной активности радионуклидов в растительности исследуемых участков до перепахки, через 1 год, через 2 года и через 3 года показывают, что в среднем, удельная активность радионуклидов в растениях, на всех участках, расположенных на П-2, в первый год после перепахки снизилась, но поступление в растения продолжается (таблица 2).

В целом, отмечается увеличение удельной активности радионуклидов на всех участках в 3-й год после проведения рекультивации участков. Исключение составляет участок У-2, отсыпанный щебнем, где увеличение удельной активности радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  практически не происходит. Особенно заметно на всех участках увеличение удельной активности радионуклидов  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Такое резкое увеличение удельной активности радионуклидов на третий год после перепахки участков может быть связано с тем, что корневая система растений достигла заглубленных радионуклидов.

Следует обратить внимание, что удельная активность радионуклидов в растениях на 3-й год исследований гораздо выше, чем до проведения рекультивации. Это может быть связано с тем, что до перепахки, радионуклиды находились в верхнем слое – 0–5 см, а основная масса корней расположена в слое 0–25 см. После перепахки произошло перемещение радионуклидов вглубь почвенной толщи, и соответственно увеличение площади, контактируемой поверхности корней с загрязненной почвой.

В таблице 3 приведена удельная активность в растениях с разной корневой системой, отобранных с

одного участка площадью 1 м<sup>2</sup>. Рассматривалось 2 вида – житняк (*Agropyron cristatum*), имеющий мочковатую корневую систему и полынь шелковистая (*Artemisia sericea*), имеющая стержневую корневую систему. Оба вида растений скашивались во второй и третий год после перепахки с одного участка площадью 1 м<sup>2</sup> на участке У-1. Точки отбора на участке закладывались по наличию обоих видов в пределах 1-го м<sup>2</sup>. Поэтому место отбора на второй и третий год могут не совпадать. Таким образом, здесь сравнение можно проводить только между данными видами, без учета динамики.

При сравнении растений со стержневой и мочковатой корневой системой видно, что тип корневой системы оказывает неоднозначное влияние на переход радионуклидов (таблица 3). Так удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в растительности с мочковатой корневой системой выше, чем в растениях со стержневой корневой системой. Если для  $^{90}\text{Sr}$  удельные активности отличаются незначительно, то значения для  $^{137}\text{Cs}$  отличаются практически в 2 раза. Удельная активность  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$  в растительности с мочковатой корневой системой напротив, гораздо ниже, чем в растениях со стержневой корневой системой. При этом эта тенденция просматривалась на 2-й и 3-й год исследований. Так для  $^{239+240}\text{Pu}$  на 2-й и 3-й год исследований эта разница составляла 2,6 и 3,7 раза соответственно. Для  $^{241}\text{Am}$  на 2-й и 3-й год исследований эта разница составляла 1,6 и 3,4 раза соответственно. Учитывая, что территория проведения исследований имеет загрязнение, преимущественно трансурановыми радионуклидами, то здесь предпочтительней будет формировать растительный покров, имеющий мочковатую корневую систему.

Таблица 2. Удельная активность радионуклидов в растительности ключевых участков на разных этапах зарастания

Точка отбора	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг							
	$^{241}\text{Am}$				$^{137}\text{Cs}$			
	до вспашки	1 год после вспашки	2 года после вспашки	3 года после вспашки	до вспашки	1 год после вспашки	2 года после вспашки	3 года после вспашки
П-2, У-1	13±3	3,5±0,7	3,2±0,6	27±5	3,5±0,6	1,0±0,2	0,9±0,2	110±20
П-2, У-2	4,3±0,9	3,9±0,8	3,3±0,7	3,1±0,6	9,4±1,9	1,6±0,3	1,4±0,3	0,3±0,06
П-2, У-3	7,1±1,4	3,9±0,8	26±5	6,1±1,2	2,4±0,5	0,4±0,08	2,1±0,4	30±6
	$^{239+240}\text{Pu}$				$^{90}\text{Sr}$			
	до вспашки	1 год после вспашки	2 года после вспашки	3 года после вспашки	до вспашки	1 год после вспашки	2 года после вспашки	3 года после вспашки
П-2, У-1	160±20	65±6,3	110±10	800 ± 40	7,6±1,1	6,2±0,9	8,9±2	980±150
П-2, У-2	180±20	12±1,1	32±4	51 ± 6	11±2	25±4	8,5±2	540±80
П-2, У-3	26±2	120±11	94±19	200 ± 20	5,1±0,8	45±7	13±2	400±60

\* в 2012 г. растения отобраны до перепахки

Таблица 3. Удельная активность радионуклидов в растениях с разной корневой системой

Точка отбора	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг							
	$^{241}\text{Am}$		$^{137}\text{Cs}$		$^{239+240}\text{Pu}$		$^{90}\text{Sr}$	
	2-й год	3-й год	2-й год	3-й год	2-й год	3-й год	2-й год	3-й год
( <i>Agropyron cristatum</i> )	1,5±0,3	7±1,4	1,1±0,2	1,5±0,3	27±3	130 ± 10	9,4±2	1200±200
( <i>Artemisia sericea</i> )	2,4±0,5	24±5	1,2±0,2	0,6±0,12	74±16	480 ± 30	8,5±2	710±110

## 2.5 Оценка процессов зарастания участков рекультивации растительностью

При естественном зарастании во всех пяти опытах в сукцессии участвуют виды трех флороценофитов – степного, сорного и галофитного, но на участке с зональной степной растительностью поселяются сорные и степные виды, а на участке с интразональной галофитной растительностью сорные и галофитные. Единичные растения других флороценофитов исчезают.

Жизненные формы выявленных видов распределены на следующие группы: кустарники, кустарнички, полукустарнички, многолетние и однолетние травы, рыхлодерновинные и плотнодерновинные злаки. Среди экоморф по отношению к влаге выявлены группы мезофитов, ксеромезофитов, мезоксерофитов, ксерофитов. Экоморфы по устойчивости к засолению разделены на две группы – гликофитов и галофитов.

Наиболее перспективным методом реставрации степей оказался подсев житняка. В первый год развивается бурьянистая однолетниковая стадия сукцессионного процесса восстановления естественной растительности [123]. На участке У-1 в первый год наблюдения зарегистрировано четыре сорных однолетника и по два растения степного флороценофита. Это *Atriplex nitens*, *Bassia sedoides*, *Climacoptera lanata*, *Climacoptera obtusifolia*, *Suaeda prostrata*. Появление степных видов в первый год исследования может объясняться неполным переворотом пласта в некоторых местах на этом участке. На участке с отсыпкой щебня (У-2) появилось четыре сорных однолетника – *Artemisia scoparia*, *Ceratocarpus utriculosus*, *Kochia scoparia*, *Panderia turkestanica*, а на участке с подсевом житняка (У-3) пять сорных однолетников – *Amaranthus albus*, *Artemisia scoparia*, *Artemisia sericea*, *Ceratocarpus utriculosus*, *Linaria altaica*.

После распашки улучшается аэрация и гидрологический режим почвы, поэтому в растительном покрове залежей высота растений в первый год значительно выше, по сравнению с зональными. Разница в высоте с сорными видами может превышать 40–50 см.

Во второй и третий годы видовое разнообразие на участках неустойчивое, сохраняются сорные однолетние виды, но появляются единичные сорные многолетние корнеотпрысковые и корневищные растения, и отмечается внедрение единичных видов степного флороценофита, таких как *Artemisia sericea*, *Stipa capillata* и др.

При восстановлении растительности самым заметным является изменение общего проективного покрытия растительности. Так, на участке У-1, засеянном житняком проективное покрытие на 3 год зарастания составило 40–50%, на 5 год – 60–70%. На участке У-2, отсыпанном щебнем проективное покрытие составило 30–40% в 3 год зарастания и 40–50% на 5 год зарастания. На участке У-3, без допол-

нительной обработки проективное покрытие составило 20–20% в 3 год зарастания и 40–42% на 5 год зарастания. Экопическая неоднородность (подсып щебня, подсев житняка) сказывается на процессе становления растительности – этапы восстановительной сукцессии и создание устойчивой фитосреды имеют разную длительность. На участке с рассыпанным щебнем (У-2) постепенно начинают преобладать полукустарничковые полинные группировки. На участке с подсевом житняка (У-3) быстрее формируются растительные сообщества с доминированием одного или нескольких дерновинных злаков. Так, к примеру, на участке без проведения дополнительной обработки отмечено 13 степных видов растений, на участке, отсыпанном щебнем – 8 степных видов растений, а на участке, засеянном житняком, наблюдается уже 22 степных вида растений.

При восстановлении интразональной галофитной растительности на склоне сора Жаксытуз в видовом составе формирующихся ценозов участвуют сорные и галофитные виды. Здесь выделены однолетниковая, однолетниково-полукустарничковая, полукустарничково-кустарничковая стадии. Смыкание и усложнение пространственной структуры, формирование устойчивой фитосреды, скорость и направленность сукцессионных процессов отличается на экопически гетерогенных участках. Разновременность заселения свободных территорий, имеющих один стартовый возраст приводит к разной длительности восстановления и формирования финальных сообществ. Постепенно происходит усложнение вертикальной и горизонтальной структуры формирующихся ценозов.

Таким образом, исходя из приведенных данных, можно утверждать, что наиболее эффективной технологией для быстрого становления растительности и создания устойчивой фитосреды на участках рекультивации является технология, предусматривающая подсев степных трав.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования показали, что после оборота пласта почвы на глубину 30 см, за счет перемещения радионуклидов с верхних слоев почвы в низ лежащие горизонты, значения МЭД в среднем снизились на 56%, плотности потока  $\beta$ -частиц – на 86,5%. Максимумы удельных активностей радионуклидов на некоторых участках исследования встречаются в почвенных слоях 20–25 см. Таким образом, выбранная технология вспашки является достаточно эффективной с точки зрения снижения поверхностного загрязнения почвы.

Установлено изменение гранулометрического состава почв участков рекультивации и содержания гумуса. Установленные изменения могут быть следствием потери илстых фракций и гумуса в результате действия ветра, так и перемещения илстых фракций и гумуса вглубь почвы под действием гравитации и осадков.

Исследования показали, что, несмотря на снижение поверхностного загрязнения почвы, наблюдается вынос радионуклидов с растительностью на дневную поверхность почв. При этом отмечается резкое увеличение выноса радионуклидов на 3-й года исследований. Это может быть связано с тем, что корневая система растений достигла заглубленных радионуклидов. Однозначного влияния типа корневой системы на переход радионуклидов в растения не выявлено. Так удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в растительности с мочковатой корневой системой выше, чем в растениях со стержневатой корневой системой. Если для  $^{90}\text{Sr}$  удельные активности отличаются не значительно, то значения для  $^{137}\text{Cs}$  отличаются практически в 2 и 3 раза. Удельная активность  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$  в растительности с мочковатой корневой системой напротив, гораздо ниже, чем в растениях со стержневатой корневой системой. При этом эта тенденция просматривалась на 3-й и 4-й год исследований. Так для  $^{239+240}\text{Pu}$  эта разница составляла 2,6 и 3,7 раза соответственно. Для  $^{241}\text{Am}$  эта разница составляла 1,6 и 3,4 раза соответственно. Учитывая, что участки рекультивации загрязнены преимущественно трансурановыми радионуклидами, технология, включающая отсев житняком является наиболее предпочтительной, так как при этом достаточно быстро происходит формирование именно степной растительности, что предотвращает зарастание сорными видами, имеющими преимущественно стержневатую корневую систему.

Из-за перепашки участков рекультивации улучшается аэрация и гидрологический режим почвы, что в свою очередь приводит к быстрому зарастанию рекультивируемых участков. Однако скорость формирования именно степной растительности, характерной для степных территорий, зависит от выбранной технологии рекультивации. Так на участке, отсыпанном щебнем, постепенно начинают преобладать полкустарничковые полинные группировки. На участке с подсевом житняка (У-3) быстрее формируются растительные сообщества с доминированием одного или нескольких дерновинных злаков. К примеру, на участке без проведения дополнительной обработки отмечено 13 степных видов растений, на участке, отсыпанном щебнем – 8 степных видов растений, а на участке, засеянном житняком, наблюдается уже 22 степных вида растений. При подсеве житняка быстрее происходит и формирование общего проективного покрытия. Так, на участке, засеянном житняком, проективное покрытие на 3 год зарастания составило 40–50%, на 5 год – 60–70%. На участке У-2, отсыпанном щебнем проективное покрытие составило 30–40% в 3 год зарастания и 40–50 % на 5 год зарастания. На участке без дополнительной обработки почвы проективное покрытие составило 20–25% в 3 год зарастания и 40–42% на 5 год зарастания.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что наиболее предпочтительной технологией рекультивации участков загрязне-

ния техногенными радионуклидами в условиях степной зоны Семипалатинского испытательного полигона является перепашка почвы на глубину 30 см с оборотом пласта на  $180^\circ$  с последующим засеванием степной растительностью. При этом, необходимо учитывать исходную удельную активность радионуклидов в верхнем слое почвы и планируемый вид использования территории после рекультивации, поскольку при высоких исходных значениях удельной активности радионуклидов в верхнем слое почвы несомненно произойдет снижение поверхностного загрязнения после вспашки, но может наблюдаться увеличение объемов почвы с удельной активностью радионуклидов на уровне радиоактивных отходов в нижних слоях пахотной толщи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. IAEA TECDOC 745 Руководство по применению контрмер в сельском хозяйстве в случае аварийного выброса в окружающую среду, МАГАТЭ, Австрия, 1994, С. 31.
2. Желязко В.И. Мелиорация, рекультивация и охрана земель / В. И. Желязко, Т. Д. Лагун. – Горки: БГСХА, 2016. – 276 с.: пособие ил. ISBN 978-985-467-617-3.
3. Карамышева З.В. Ботаническая география степной части Центрального Казахстана / З.В. Карамышева, Е.И. Рачковская // Л.: Наука, 1973. – 277с.
4. Отчет о научно-технической деятельности Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, выполненный в рамках мероприятия 0346 «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» за 2010–2011 годы: ИРБЭ НЯЦ РК; рук. Лукашенко С.Н. – Курчатов, 2011. – 98 с. Отчет НТЦ, 2011.
5. Паницкий А.В. Особенности вертикального распределения радионуклидов в почвах условно-чистой территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона / А.В. Паницкий, С.Н. Лукашенко, Р.Ю. Магашева // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2016. – Том 56. – № 6. – С. 623–638.
6. Полевая геоботаника. – М.- Л.: Наука, 1959–1976, в 5 томах. Т. 1 – 498 с., Т. 2 – 500 с., Т. 3 – 530 с., Т. 4 – 336 с., Т. 5 – 320 с.
7. Методология оценки состояния и картографирования экосистем в экстремальных условиях. – Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1993. – 202 с.
8. Камелин Р.В. Флороценоотипы растительности Монгольской Народной Республики // Ботанический журнал. Т. 72. № 12. С. 1580–1594.
9. Серебряков И.Г. Жизненные формы высших растений и их изучение // Полевая геоботаника. – М.- Л., 1964. Т. 3. С. 146–205.
10. Быков Б.А. Доминанты растительного покрова Советского Союза // Алма-Ата. Наука. 1960–1965. В 3 томах. Т. 1 – 314 с., Т. 2 – 435 с., Т. 3 – 461 с.
11. Джанпеисов Р.Д. Влияние эрозии и дефляции на структуру почвенного покрова полупустынь и пустынь Казахстана / Джанпеисов Р.Д., Зонов Г.В., Смагулов Т. // Изд.Наука., Алма-Ата, 1990, С. 28.
12. Султанова Б.М. Восстановление антропогенно нарушенной степной растительности Казахстана // Материалы конф. «Развитие геоботаники: история и современность. Санкт-Петербург. 2011. С. 113–114.



## REFERENCES

1. IAEA TECDOC 745 Rukovodstvo po primeneniyu kontrmer v sel'skom khozyaystve v sluchae avariynogo vybrosa v okruzhayushchuyu sredyu, MAGATE, Avstriya, 1994, P. 31.
2. Zhelyazko V.I. Melioratsiya, rekul'tivatsiya i okhrana zemel' / V. I. Zhelyazko, T. D. Lagun. – Gorki: BGSKhA, 2016. – 276 p.: posobie il. ISBN 978-985-467-617-3.
3. Karamysheva Z.V. Botanicheskaya geografiya stepnoy chasti Tsentral'nogo Kazakhstana / Z.V. Karamysheva, E.I. Rachkovskaya // Leningrad: Nauka, 1973. – 277p.
4. Otchet o nauchno-tehnicheskoy deyatel'nosti Instituta radiatsionnoy bezopasnosti i ekologii NYaTs RK, vypolnennyy v ramkakh meropriyatiya 0346 "Razvitie atomnoy energetiki v Respublike Kazakhstan" za 2010–2011 gody: IRBE NYaTs RK; ruk. Lukashenko S.N. – Kurchatov, 2011. – 98 p. Otchet NTP, 2011.
5. Panitskiy A.V. Osobennosti vertikal'nogo raspredeleniya radionuklidov v pochvakh uslovno-chistoy territorii byvshego Semipalatinskogo ispytatel'nogo poligona / A.V. Panitskiy, S.N. Lukashenko, R.Yu. Magasheva // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. – 2016. – Vol. 56. – No. 6. – P. 623–638.
6. Polevaya geobotanika. – M.- L.: Nauka, 1959–1976, in 5 volumes. Vol. 1 – 498 p., Vol. 2 – 500 p., Vol. 3 – 530 p., Vol. 4 – 336 p., Vol. 5 – 320 p.
7. Metodologiya otsenki sostoyaniya i kartografirovaniya ekosistem v ekstremal'nykh usloviyakh. – Pushchino: ONTI PNTs RAN, 1993. – 202 p.
8. Kamelin R.V. Florotsenotipy rastitel'nosti Mongol'skoy Narodnoy Respubliki // Botanicheskiy zhurnal. Vol. 72. No. 12. P. 1580–1594.
9. Serebryakov I.G. Zhiznennyye formy vysshikh rasteniy i ikh izuchenie // Polevaya geobotanika. – Moscow – Leningrad, 1964. Vol. 3. P. 146–205.
10. Bykov B.A. Dominanty rastitel'nogo pokrova Sovetskogo Soyuzha // Alma-Ata. Nauka. 1960–1965. in 3 volumes. V. 1 – 314 p., Vol. 2 – 435 p., Vol. 3 – 461 p.
11. Dzhanpeisov R.D. Vliyaniye erozii i deflyatsii na strukturu pochvennogo pokrova polupustyn' i pustyn' Kazakhstana / Dzhanpeisov R.D., Zonov G.V., Smagulov T. // Izd. Nauka, Alma-Ata, 1990, P. 28.
12. Sultanova B.M. Vosstanovlenie antropogenno narushennoy stepnoy rastitel'nosti Kazakhstana // Materialy konf. "Razvitie geobotaniki: istoriya i sovremennost". – Sankt-Peterburg, 2011. P. 113-114.

## ТОПЫРАҚТЫ ЖЫРТУ ТӘСІЛІМЕН РАДИОАКТИВТІ-ЛАСТАНҒАН АУМАҚҚА РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЖАСАУДЫҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

<sup>1)</sup> А.В. Паницкий, <sup>1)</sup> Т.Н. Тулебаева, <sup>1)</sup> А.Е. Құндызбаева,  
<sup>1)</sup> Н.В. Ларионова, <sup>1)</sup> А.М. Қабдырақова, <sup>2)</sup> Б.М. Сұлтанова

<sup>1)</sup> «ҚР ҰАО» РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Кurchatov, Қазақстан  
<sup>2)</sup> ҚР БҒМ Ботаника және фитоинтродукция институты, Алматы, Қазақстан

Бұл жұмыста, жерді жырту тәсілімен радиоактивті-ластанған аумаққа рекультивациялау жұмыстарын жүргізу тиімділігін бағалау нәтижелері келтірілген. Топырақты өңдеудің үш технологиясының тиімділігін бағалау жұмыстары жүргізілді. Аумақтың беткі қабатының ластануының төмендеуі тұрғысынан алғанда зерттеулер жерді жыртудың тиімділігін көрсетті. ЭДҚ деңгейі мен  $\beta$  –бөлшек ағымының тығыздығы зерттеу телімдерін жыртқан соң орташа алғанда 56% және 87% төмендегенін көрсетті. Топырақтың беткі қабатындағы радионуклидтердің төмен жатқан көкжиекке жылыстауы байқалды. Кейбір зерттеу телімдеріндегі тиесілі белсенділіктің максимумдары топырақ қабатының 20–25 см қатпарында кездеседі. Гумустың құрамы мен рекультивацияланған телімдердің топырағындағы механикалық құрамның өзгергені анықталды, бұл дефляциялық процестердің орын алуы жайлы, сонымен қатар тұнбалы фракциялар мен гумустың топырақтың тереңдігіне гравитация және жауын-шашындардың әсерінен жылыстауы орын алғанын көрсетеді. Сонымен бірге топырақтың күндізгі қабатына өсімдіктердің радионуклидтерді шығаруы мен осы процеске өсімдіктердің тамыр жүйесі типінің әсер етуі қарастырылды және таңдап алынған рекультивациялау технологиясының рекультивацияланған телімде өсімдіктердің қаулап өсу процесіне әсері бағаланды. Жалпы алғанда, кейіннен далалық өсімдіктердің тұқымын 180° сеуіп қатпарды айналдыра отырып 30 см тереңдікте топырақты жырту технологиясы оңтайлылау болып табылады.

**Түйін сөздер:** рекультивация, радионуклидтер, топырақтың дефляциясы.

## ASSESSING EFFICIENCY OF REMEDIATION IN A RADIOACTIVELY CONTAMINATED TERRITORY BY PLOUGHING SOIL

<sup>1)</sup> A.V. Panitskiy, <sup>1)</sup> T.N. Tulebaeva, <sup>1)</sup> A.E. Kunduzbayeva,  
<sup>1)</sup> N.V. Larionova, <sup>1)</sup> A.M. Kabdyrakova, <sup>2)</sup> B.M. Sultanova

<sup>1)</sup> Branch "Institute of Radiation Safety and Ecology" of RSE "NNC RK", Kurchatov, Kazakhstan  
<sup>2)</sup> Institute of Botany and Phytointroduction MES RK, Almaty, Kazakhstan

The paper provides results of assessed remediation efficiency in a radioactively contaminated territory by ploughing soil. Efficiency assessment of three soil cultivation technologies was made. Research has shown efficiency in ploughing soil

in terms of reduced surface contamination of the territory. EDR levels and levels of  $\beta$ -particle flux density after reploughing of research spots, on the average, have been reduced by 56% and 87% respectively. Radionuclide transfer from the topsoil to underlying horizons can be observed. Maximum activity concentrations at some research spots can be found in soil layers of 20–25 cm. A change in the soil texture is found at remediated spots and in humus content which may point to both deflationary processes and moving silt fractions and humus into the soil depth under gravity and affected by precipitation. The paper also considers the issue of radionuclide carry-away by plants onto the soil daylight surface and the impact by the type of plant root system on this process; an assessment is given to the effect by remediation technologies selected on the process of remediated spots overgrowing with vegetation. On the whole, it is found that soil ploughing to a depth of 30 cm is the most preferable technology with a backset of 180° followed by sowing with steppe vegetation

**Keywords:** *remediation, radionuclides, soil drifting.*