

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2024-4-101-107>

УДК 575.224.23: 633.274:539.16 (574.41)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАДИОНУКЛИДНОГО И ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВЕЙНИКА НАЗЕМНОГО (*CALAMAGROSTIS EPIGEJOS*)

К. С. Минкенова*, Н. К. Нургайсинова, Н. В. Ларионова, М. Т. Дюсембаева, Л. А. Немытова

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатова, Казахстан

* E-mail для контактов: minkanova@nnc.kz

В статье представлены результаты исследования влияния радионуклидного и химического загрязнения на цитогенетические показатели вейника (*Calamagrostis epigëjos*) произрастающего на горном массиве Дегелен Семипалатинского испытательного полигона. Выявлено комбинированное влияние ионизирующего излучения и концентрации химических элементов в растениях. При увеличении дозы облучения от $5,0 \cdot 10^{-6}$ до $2,5 \cdot 10^{-5}$ Гр/ч наблюдается незначительные изменения – увеличение частоты аберрантных клеток меристемных корешков проростков семян вейника (*Calamagrostis epigëjos*), однако все изменения находятся в пределах погрешности. Достаточно четкая зависимость изменения частоты аберрантных клеток от концентрации элементов отмечается только для Cd и Sr. Определенная тенденция изменения частоты аберрантных клеток отмечается при увеличении содержания Mn. Остальные элементы при имеющихся уровнях концентрации в растениях не оказывают значимого влияния на их цитогенетические показатели. В целом, максимальная частота аберрантных клеток составляет порядка 8,8%. При этом, у растений выявлены хромосомные, хроматидные и геномные типы хромосомных нарушений.

Ключевые слова: Семипалатинский испытательный полигон (СИП), радионуклиды, токсичные элементы, растения, хромосомные aberrации.

ВВЕДЕНИЕ

Степень негативного воздействия на природную среду резко возрастает, если в ней одновременно присутствуют несколько загрязняющих веществ разного генезиса. Проведенные исследования показали, что помимо радиоактивных загрязнений на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) существуют участки с высоким содержанием токсичных элементов, которые являются канцерогенами, а также вызывают генные мутации и изменения на клеточном уровне, аналогично ионизирующему излучению. Испытания ядерного оружия, проведенные в штольнях горного массива Дегелен с 1961 по 1989 год, привели к радиационному загрязнению окружающей среды [1]. Одним из наиболее загрязненных участков в пределах горного массива «Дегелен» является экосистема водотока из штольни № 504, которая расположена долине ручья Карабулак. Припортовая площадка этой штольни характеризуется высоким содержанием ряда элементов и радионуклидов [2]. Удельные активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениях, произрастающих в данной экосистеме, лежат в диапазоне $n \cdot 10^3$ – $n \cdot 10^4$ Бк/кг [3]. Концентрация химических элементов в растениях, произрастающих в районе штольни № 504, отражает элементный состав почвы. На данном участке выявлены повышенные содержания таких элементов, как Be, Mn, Cu, Zn, Mo, Cd, Cs, Pb и U, превышающие показатель кларка литосферы [4]. По данным авторов [5] повы-

шенные концентрации редкоземельных элементов в почве в районе штольни № 504 связаны с выносом тяжелых металлов с водами водотока данной штольни. В связи с вышеизложенным, экосистема водотока из штольни № 504 представляет интерес с точки зрения оценки возможного влияния радиационных и химических факторов на популяции растений, произрастающих в данной экосистеме.

Таким образом целью исследований являлась оценка влияния радионуклидного и химического загрязнения на цитогенетические показатели растений, на примере одного из доминантных видов, произрастающих в этой экосистеме – вейника (*Calamagrostis epigëjos*).

1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Отбор проб

Отбор проб проведен в 10 точках, расстояние между которыми вдоль русла водотока составило 50 м, согласно представленной схеме (рисунок 1). Каждая исследовательская точка представляла собой участок площадью 1 м². В качестве опытного растения выбран вейник (*Calamagrostis epigëjos*).

Для цитогенетических исследований отобраны семена растения с каждой исследовательской точки. Остальная надземная часть растений с 1 м² отбиралась методом укоса для радионуклидного и элементного анализов.

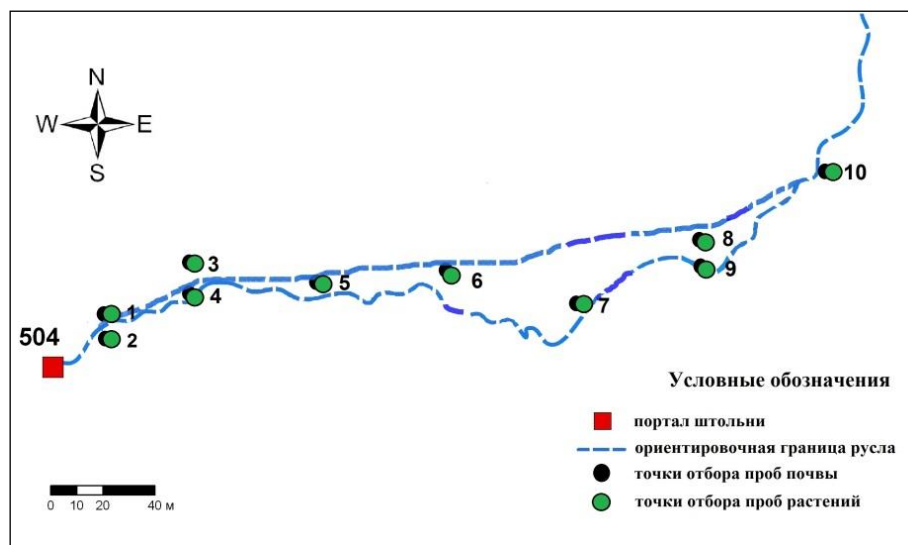


Рисунок 1. Схема точек отбора образцов

1.2. Определение содержания радионуклидов в растениях

Пробы растений промывались проточной, затем дистиллированной водой, измельчались, высушались при температуре 105 °С в сушильном шкафу Binder (Германия), затем перемалывали до состояния травяной муки с использованием лабораторной мельницы ИКА (Германия). После измельчения пробы озолялись в муфельной печи Nabertherm (Uthvfybz). Температура озонения проб растительного происхождения для определения ^{137}Cs составляла 400 °С, ^{90}Sr , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ – 500 °С.

Определение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am проводили на γ -спектрометре Canberra (США) с германиевым детектором (BE 2020) [6]. Измерения проводили в соответствии с методикой выполнения измерений на γ -спектрометре. Определение радионуклида ^{90}Sr в пробах растений проводили на β -спектрометре «Прогресс» в сухой навеске [7]. Изотопы $^{239+240}\text{Pu}$ определяли после предварительного радиохимического выделения, с последующим измерением на альфа-спектрометре Canberra, мод. 7401. (США) [8]. Предел обнаружения по ^{137}Cs составлял 1 Бк/кг, ^{241}Am – 0,02 Бк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – 0,1 Бк/кг, ^{90}Sr – 100 Бк/кг. Погрешность измерений для ^{137}Cs и ^{241}Am в основном не превышала 10–20%, ^{90}Sr – 15–25%, $^{239+240}\text{Pu}$ – 30%.

1.3. Определение содержания тяжелых металлов в растениях

Подготовка проб растений к элементному анализу проводили методом автоклавного разложения согласно рабочей инструкции [9]. Определение концентраций элементов проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе «Elan 9000» фирмы «Perkin Elmer SCIEX» [10].

1.4. Расчет дозы

Методология оценки дозы облучения биоты дос-

таточно подробно изложена в публикации МКРЗ № 108 [11]. Выделяются несколько видов организмов, проживающих в воде, в земле и над землей. В нашем случае интерес представляет дикорастущая трава и злаки.

Мощность дозы внутреннего или внешнего облучения наземных растений рассчитана как произведение удельной активности радионуклида в растении на соответствующий дозовый коэффициент [11],

$$D = A \cdot DCC,$$

где A – удельная активность сырой пробы растения или удельная активность подстилающей почвы (Бк/кг); DCC – дозовый коэффициент внутреннего или внешнего облучения (мкГр·кг/ч/Бк).

1.5. Цитогенетическое исследование растительных образцов

Воздушно-сухие семена растений раскладывали на влажную фильтровальную бумагу в чашках Петри. Проращивание семян проводилось в термостате MIR-253 при температуре 18–25 °С. Проросшие семена, у которых главный корешок имел длину не менее длины семени, фиксировали в фиксаторе Кларка.

Для приготовления «давленных» препаратов проводилась мацерация растительной ткани, затем корешки помещались в краситель. В качестве красителя растительной ткани использовался специально приготовленный ацетоорсеин. Цитогенетический анализ проводился с использованием микроскопа Axio Imager M2 при увеличении объектива $\times 100$ (масляная иммерсия) $\times 40$ и $\times 10$.

В ходе цитогенетических исследований проводился анализ частоты хромосомных aberrаций в апикальной меристеме корешков прорастающих семян вейника (*Calamagrostis epigjos*). При анализе учитывались такие аномалии как мосты, фрагменты, отстающие хромосомы и митотические аномалии. В процессе лабораторных исследований руководствова-

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАДИОНУКЛИДНОГО И ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ
ВЕЙНИКА НАЗЕМНОГО (*CALAMAGROSTIS EPIGEJOS*)**

лись, методикой проведения цитогенетического анализа хромосом в первом митозе меристемных корешков прорастающих семян растений согласно методике [12].

Содержание радионуклидов в растениях. В таблице 1 представлены данные результатов радионуклидного анализа растений: естественные радионуклиды ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th и техногенные радионуклиды ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{137}Cs , ^{90}Sr .

Удельная активность радионуклидов в основном ниже предела обнаружения. Максимально высокие значения удельной активности установлены для ра-

дионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr , составляющие наибольшую мощность дозы внутреннего облучения. Удельная активность радионуклида ^{137}Cs в исследуемых растениях варьирует от $1,7 \cdot 10^3$ до $7,3 \cdot 10^4$ Бк/кг, ^{90}Sr от $7,0 \cdot 10^3$ до $9,9 \cdot 10^4$, ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ – находится ниже предела обнаружения используемой аппаратуры.

Содержание элементов в растениях. Концентрации элементов в образцах растений представлены в таблице 2. В результате элементного анализа выявлено, что из 21 исследуемого элемента для 15 наблюдаются превышения кларковых концентраций в растениях.

Таблица. 1. Удельная активность радионуклидов в растениях

Номер точки	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг						
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{241}Am	$^{239+240}\text{Pu}$	^{137}Cs (н·10 ⁴)	^{90}Sr (н·10 ⁴)
1	170±30	19±4	47±9	<2	1,9±0,8	2,0±0,4	2,8±0,38
2	260±50	<4	8±4	<5	2,2±1,0	0,17±0,03	1,0±0,2
3	<75	<8	33±7	<15	<0,4	6,3±1,3	0,7±0,1
4	310±60	<7	24±5	<6	<1,6	7,3±1,5	2,4±0,03
5	<50	<6	<6	<4,5	<0,2	2,1±0,4	1,6±0,3
6	160±30	<7	<6	<5,4	<0,4	2,0±0,4	0,74±0,1
7	230±50	<9	<7	<8,7	<0,5	3,5±0,7	0,92±0,2
8	300±60	<4	<3	<6,9	2,3±0,1	5,0±0,7	6,4±0,1
9	190±40	<4	11±3	<4,9	2,6±1,9	0,69±0,14	9,9±0,2
10	170±30	4±2	<3	<3,3	2,1±1,0	1,1±0,2	0,73±0,2
ПДК	не нормируется						0,0074
							0,0111

Табл. 2. Концентрации химических элементов в растениях

Элемент	Концентрации элементов, мкг/г										Диапазон нормальных концентраций [13], мкг/г	Средняя концентрация элементов [14], мкг/г
	Номера точек											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Al	360	240	–	490	–	360	140	130	200	150	до 200	–
Cr	5,7	6,0	–	3,2	–	2,6	4,4	5,3	5,3	5,1	0,1–0,5	1,8
Zn	120	140	–	170	–	130	160	40	73	75	27–150	30
Cd	0,6	1,2	–	0,6	–	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,05–0,2	0,035
Pb	7,1	7,5	–	6,1	–	3,2	2,7	1,7	9,5	3,2	5,0–10	1,25
Sr	64	34	8,0	31	31	12	12	10	13	12	6,0–37	35
U	9,1	0,8	–	1,7	–	1,8	1,1	2,0	2,9	1,2	0,005-0,069	0,02
Cu	10	35	–	5,9	–	8,5	8,7	3,7	9,9	3,4	5,0–20	8,0
Mn	970	1540	–	1450	–	1430	1580	1500	2100	1730	20–300	205
Be	3,8	1,9	2,8	4,0	7,4	3,9	2,1	3,4	3,2	2,9	1,0–7,0	0,10
Li	6,8	21	1,5	2,9	1,8	1,6	62	2,3	10	3,9	до 3,0	1,5
Co	0,4	0,4	–	0,4	–	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,02–1,0	0,5
Ni	4,4	3,6	–	2,9	–	2,3	3,3	3,1	3,5	3,2	0,1–5,0	2,0
Rb	6,1	4,1	17	13	9,3	14	17,0	15	7,1	7,7	20–70	5,0
Y	2,5	0,8	–	1,4	–	1,3	0,5	0,9	1,5	0,5	0,2–7,5	0,8
La	2,7	0,7	–	1,6	–	1,4	0,6	1,0	1,5	0,5	0,10–0,17	0,8
Ce	4,8	0,9	–	2,5	–	2,1	0,8	1,5	2,3	0,7	0,20–0,33	–
Nd	2,1	0,4	–	1,0	–	0,8	0,3	0,6	0,9	0,2	0,5–0,15	–
Sm	0,5	0,1	–	0,2	–	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,02–0,04	–
Fe	330	200	–	600	–	460	360	95	310	200	50–100	–
Gd	0,7	0,1	–	0,3	–	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,02–0,04	–

Примечание: – не нормируется

Табл. 3. Частота и спектр цитогенетических нарушений в проростках растения вейник (*Calamagrostis epigejos*)

№ точки	Просмотрены и изучены				Количество aberrаций							Ана-телофаза с aberrациями хромосом, %±m
	Кол-во корешков	Кол-во ана-телофазных клеток	Аберрантные клетки	Общее число aberrаций	m ^I	m ^{II}	f ^I	f ^{II}	g	s	3p	
1	20	139	3	3	–	1	–	–	2	–	–	2,2±1,2
2	7	161	2	2	–	–	–	–	2	–	–	1,2±0,9
3	11	282	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4	40	446	6	6	3	1	1	1	–	–	–	1,3±0,5
5	40	300	12	12	–	2	4	3	1	2	–	4,0±1,1*
6	33	443	14	14	5	1	3	–	2	3	–	3,2±0,8
7	26	183	5	6	3	1	–	2	–	–	–	3,0±1,3
8	8	127	5	6	1	–	2	–	1	2	–	4,0±1,0
9	35	532	47	48	16	9	11	4	3	4	1	8,8±1,2***
10	39	411	35	44	12	5	9	5	3	9	1	8,5±1,4***

Примечание: f^I и f^{II} – одиночные и двойные фрагменты; m^I и m^{II} – одиночные и двойные мосты; g – отставания хромосом; s – забегавшая хромосома; 3p – трехполосный митоз. Достоверное отличие от контроля: * – p<0,05, *** – p<0,001

По представленным в таблице 2 данным видно, что содержание лантаноидов в исследуемых образцах превышает нормальные встречающиеся в природе концентрации в 30–50 и более раз, U примерно в 25–260, Li, Cr – в 10–20, Mn, Cd, Al – в 2–10 раз.

Оценка дозовых нагрузок. Полученные значения суммарных мощностей доз внутреннего облучения растений от всех радионуклидов представлены на рисунке 2.

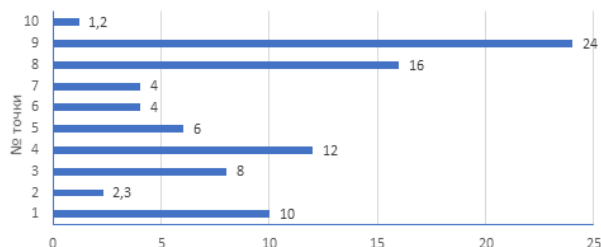


Рисунок 2. Мощности доз внутреннего облучения растений

Согласно полученным данным, видно, что поглощенная вейником (*Calamagrostis epigejos*) доза варьирует в диапазоне от 1,2 мкГр/ч до 24 мкГр/ч на различных участках отбора.

Частота аберрантных клеток. Всего из семян вейника (*Calamagrostis epigejos*) подготовлено 259 постоянных препаратов. Количество изученных ана-телофазных клеток составило 3024. В таблице 3 представлены цитогенетические показатели исследуемых растений.

На загрязненной точке (таб. №№1 и 2, № 9 точка) максимальная частота аберрантных клеток составляет 8,8±1,2%, в менее загрязненных точках частота аберрантных клеток находилась в диапазоне 1,2±0,9%, что близко к типичному диапазону спонтанной частоты аберрантных клеток для многих дикорастущих и культурных злаков (0,5-1,0 %) [15]. Об-

наружены следующие типы нарушений одиночные и двойные мосты, одиночные и двойные фрагменты, митотические нарушения (забегания, отставания хромосом, трехполосные митозы). В некоторых клетках обнаружено присутствие сразу нескольких типов нарушений. Выявлены хромосомные, хроматидные и геномные типы мутаций, что свидетельствует о влиянии химических элементов и ионизирующего излучения.

Зависимость цитогенетических показателей растений от дозы облучения

На основе данных, полученных в результате проведения цитогенетических исследований и расчета внутренней доз облучения. Построен график изменения некоторых цитогенетических показателей вейника (*Calamagrostis epigejos*) от дозы облучения за период жизни растения до момента отбора (около 5 месяцев) (рисунок 2).

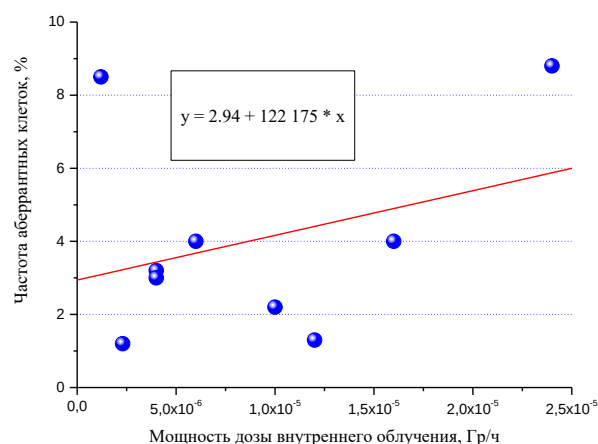


Рисунок 2. Изменение частоты аберрантных клеток от дозы облучения

При увеличении дозы облучения от $5,0 \cdot 10^{-6}$ до $2,5 \cdot 10^{-5}$ Гр/ч наблюдается тенденция к увеличению частоты aberrантных клеток меристемных корешков проростков семян вейника (*Calamagrostis epigæjos*). Однако в дозе меньше $5,0 \cdot 10^{-6}$ Гр/ч в точке № 10 отмечается повышенная частота aberrантных клеток, что свидетельствует влияние других факторов в том числе токсичных элементов. Это подтверждается данными, приведенными в таблицах 2 и 3 для исследовательской точки № 10.

Зависимость цитогенетических показателей растений от содержания токсичных элементов

Химические элементы и тяжелые металлы, также, как и ионизирующее излучение, индуцируют все типы мутаций [16, 17]. По результатам проведенных

исследований установлено, что наибольшее влияние на цитогенетическую структуру данного вида растений на исследованной территории оказывают токсичные элементы. Установлены определенные зависимости цитогенетических показателей от содержания в них отдельных элементов (рисунок 3).

Достаточно четкая зависимость изменения частоты aberrантных клеток от концентрации элемента отмечается только для Cd и Sr. Определённая тенденция изменения частоты aberrантных клеток отмечается при увеличении содержания Mn. Остальные элементы при имеющихся уровнях концентрации в растениях не оказывают значимого влияния на их цитогенетические показатели.

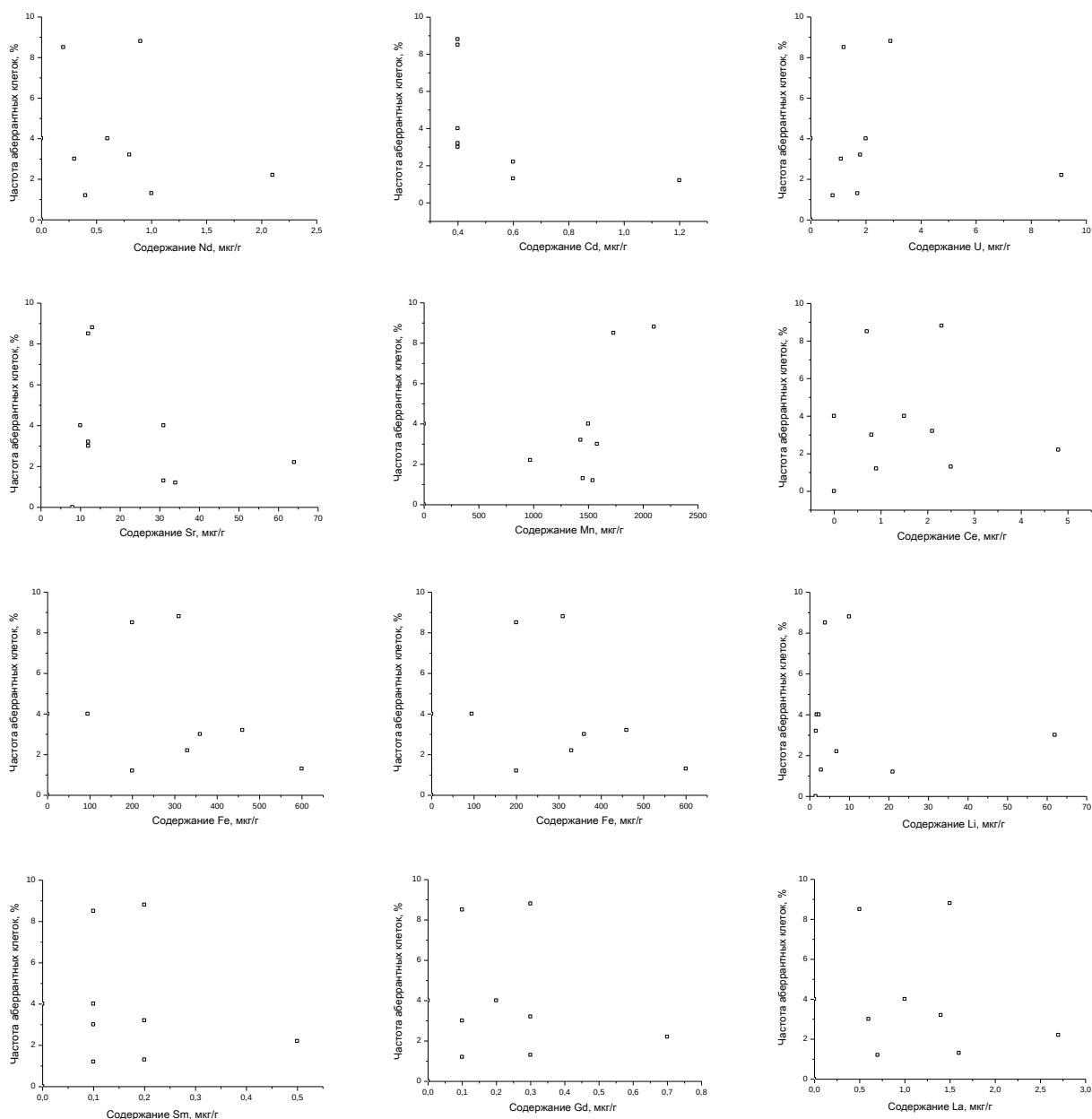


Рисунок 3. Изменение частоты aberrантных клеток от токсичных элементов и тяжелых металлов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных работ установлено, комбинированное влияние ионизирующего излучения и концентрации химических элементов на цитогенетические эффекты растений. Основной вклад в суммарную мощность дозы внутреннего облучения растений вносят радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr . При увеличении дозы облучения от $5,0 \cdot 10^{-6}$ до $2,5 \cdot 10^{-5}$ Гр/ч наблюдается линейная зависимость увеличения частоты аберрантных клеток меристемных корешков проростков семян вейника (*Calamagrostis epigejos*). Достаточно четкая зависимость изменения частоты аберрантных клеток от концентрации элементов отмечается только для Cd и Sr. Определенная тенденция изменения частоты аберрантных клеток отмечается при увеличении содержания Mn. Остальные элементы при имеющихся уровнях концентрации в растениях не оказывают значимого влияния на их цитогенетические показатели. Максимальная частота аберрантных клеток составляет порядка 8,8%. Выявлены хромосомные, хроматидные и геномные типы хромосомных нарушений.

Данные исследования финансировались Министерством энергетики Республики Казахстан в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» (ИРН – BR24792713).

ЛИТЕРАТУРА

1. Семипалатинский испытательный полигон. Создание, деятельность, конверсия / кол. авторов под рук. В.С. Школьника. – Алматы: Казахстан. – 2003.
2. Геохимический фон СИП. Микроэлементы в почвах участков, прилегающих к горному массиву Дегелен / А.А. Амиров, С.Н. Лукашенко, С.Б. Субботин, В.Д. Кириллов, В.П. Солодухин, Н.М. Бердинова, Д.А. Желтов // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана: Вып. 2 Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007–2009 гг. – Павлодар: Дом печати. – 2010. – С. 451–460.
3. Под редакцией Лукашенко С.Н., Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007–2009 гг. ДГП Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК. – 2010, – С. 451–460.
4. Шакинов Е.З и др. Пространственное распределение химических элементов в водотоке штольни 504 площадки «Дегелен» // Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 9. – С. 70–83.
5. Факторы формирования загрязнения тяжелыми металлами припортовых участков площадки «Дегелен» / А.А. Амиров, С.Н. Лукашенко // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана: Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011 г. – Павлодар: Дом печати. – 2011. – Вып. 3. – Т. 2. – С. 295–317.
6. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре: МИ 2143-91; МИ 5.06.001.98 РК. – Алматы. – 1998. – 18 с.

7. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного бета-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». – Менделеево. – 2004. – 20 с.
8. Методика определения содержания искусственных радионуклидов плутония-(239+240), стронция-90 в объектах окружающей среды. – Алматы. – 2010. – 25 с.
9. Подготовка проб для элементного анализа методом автоклавного разложения. Рабочая инструкция. РИ 03-02-03 (А). Курчатов: ИРБЭ НЯЦ РК. – 2014. – 12 с.
10. Рабочая инструкция. Проведение элементного анализа проб растений методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре ELAN 9000. – Курчатов. – 2018. – 25 с.
11. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. 208. ICRP 108.
12. Паушева З. В. Практикум по цитологии растений. – М.: Колос. – 1980. – 225 с.
13. Кабата-Пендиас. А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас [пер. с англ.]. – М.: Мир. – 1989. – 439 с.
14. Добровольский С.В. Основы биогеохимии. / В.С. Добровольский / М.: Академия. – 2003. – 400 с.
15. Geras'kin S., Evseeva T., Oudalova A. Plants as a tool for the environmental health assessment. Encyclopedia of Environmental Health. Second edition. Elsevier. – 2019. – Vol. 5. – P. 239–248.
16. Рупошаев А.Р. Цитогенетический эффект ионов тяжелых металлов на семена *Crepis capilaris* L // Генетика/ – 1976. – Т. 12. – №3. – С. 37–43.
17. Моссэ И.Б. О различной модифицируемости выхода точковых и структурных радиационных мутаций у эукариот // Радиобиология. – М.: Наука. – 1982. – Т. 22. – С. 329–333.

REFERENCES

1. Semipalatinskiy ispytatel'nyy poligon. Sozdanie, deyatel'nost', konversiya / kol. avtorov pod ruk. V.S. Shkol'nika. – Almaty: Kazakhstan. – 2003.
2. Geokhimicheskiy fon SIP. Mikroelementy v pochvakh uchastkov, prilegayushchikh k gornomu massivu Degelen / A.A. Amirov, S.N. Lukashenko, S.B. Subbotin, V.D. Kirillov, V.P. Solodukhin, N.M. Berdinova, D.A. Zheltov // Aktual'nye voprosy radioekologii Kazakhstana: Issue 2 Sbornik trudov Instituta radiatsionnoy bezopasnosti i ekologii za 2007–2009 gg. – Pavlodar: Dom pechati. – 2010. – P. 451–460.
3. Pod redaktsiey Lukashenko S.N., Sbornik trudov Instituta radiatsionnoy bezopasnosti i ekologii za 2007–2009 gg. DGP Institut radiatsionnoy bezopasnosti i ekologii RGP NYaTs RK. – 2010, – P. 451–460.
4. Shakenov E.Z i dr. Prostranstvennoe raspredelenie khimicheskikh elementov v vodotoke shtol'ni 504 ploshchadki «Degelen» // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhenering georesursov. – 2020. – Vol. 331. – No. 9. – P. 70–83.
5. Faktory formirovaniya zagryazneniya tyazhelymi metallami priportal'nykh uchastkov ploshchadki «Degelen» / A.A. Amirov, S.N. Lukashenko // Aktual'nye voprosy radioekologii Kazakhstana: Sbornik trudov Natsional'nogo yadernogo tsentra Respubliki Kazakhstan za 2011 g. – Pavlodar: Dom pechati. – 2011. – Issue 3. – Vol. 2. – P. 295–317.

6. Aktivnost' radionuklidov v ob'emnykh obraztsakh. Metodika vypolneniya izmereniy na gamma-spektrometre: MI 2143-91; MI 5.06.001.98 RK. – Almaty. – 1998. – 18 p.
7. Metodika izmereniya aktivnosti radionuklidov s ispol'zovaniem stsintillyatsionnogo beta-spektrometra s programmym obespecheniem "Progress". – Mendeleevo. – 2004. – 20 p.
8. Metodika opredeleniya sodержaniya iskusstvennykh radionuklidov plutoniya-(239+240), strontsiya-90 v ob'ektakh okruzhayushchey sredy. – Almaty. – 2010. – 25 p.
9. Podgotovka prob dlya elementnogo analiza metodom avtoklavnogo razlozheniya. Rabochaya instruktsiya. RI 03-02-03 (A). – Kurchatov: IRBE NYaTs RK. – 2014. – 12 p.
10. Rabochaya instruktsiya. Provedenie elementnogo analiza prob rasteniy metodom mass-spektrometrii s induktivno svyazannoy plazmoy na mass-spektrometre ELAN 9000. – Kurchatov. – 2018. – 25 p.
11. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. 208. ICRP 108.
12. Pausheva Z. V. Praktikum po tsitologii rasteniy. – Moscow: Kolos. – 1980. – 225 p.
13. Kabata-Pendias. A. Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh / A. Kabata-Pendias, Kh. Pendia [per. s angl.]. – Moscow: Mir. – 1989. – 439 p.
14. Dobrovol'skiy S.V. Osnovy biogeokhimii. / V.S. Dobrovol'skiy / Moscow: Akademiya. – 2003. – 400 p.
15. Geras'kin S., Evseeva T., Oudalova A. Plants as a tool for the environmental health assessment. Encyclopedia of Environmental Health. Second edition. Elsevier. – 2019. – Vol. 5. – P. 239–248.
16. Ruposhaev A.R. Tsitogeneticheskiy effekt ionov tyazhelykh metallov na semena Crepis capilaris L // Genetika/ – 1976. – Vol. 12. – No. 3. – P. 37–43.
17. Mosse I.B. O razlichnoy modifitsiruemosti vykhoda tochkovykh i strukturnykh radiatsionnykh mutatsiy u eukariot // Radiobiologiya. – Moscow: Nauka. – 1982. – Vol. 22. – P. 329–333.

РАДИОНУКЛИДТІК ЖӘНЕ ХИМИЯЛЫҚ ЛАСТАНУДЫҢ ҚҰРҒАҚ АЙРАУЫҚТЫҢ (*CALAMAGROSTIS EPIGEJOS*) ЦИТОГЕНЕТИКАЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІНЕ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ

К. С. Минкенова*, Н. К. Нургайсинова, Н. В. Ларионова, М. Т. Дюсембаева, Л. А. Немытова

ҚР ҰҰО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан

* Байланыс үшін E-mail: minkenova@nnc.kz

Мақалада Семей сынақ полигонының Дегелең тау жотасында өсетін құрғақ айрауықтың (*Calamagrostis epigéjos*) цитогенетикалық көрсеткіштеріне радионуклидтік және химиялық ластанудың әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Ионды сәуле шығарудың және өсімдіктердегі химиялық элементтердің шоғырлануының біріктірілген әсері анықталды. Сәуле шығару дозасы $5,0 \cdot 10^{-6}$ бастап $2,5 \cdot 10^{-5}$ Гр/сағ-қа дейін ұлғайған кезде болмашы өзгерістер – құрғақ айрауық (*Calamagrostis epigéjos*) тұқымының өскіндерінің меристемалық тамырларында аберрантты жасушаларының жиілігінің жоғарылауы байқалады, алайда барлық өзгерістер дәлсіздік шегінде орын алады. Зерттеліп жатқан өсімдіктерде ШРШ жоғарылауы Cr, Mn, Li, Fe сияқты элементтердің шоғырлануы олардың құрамы ұлғайған кезде аберрантты жасушалар жиілігінің белгілі бір өзгерістері байқалады. Жалпы, аберрантты жасушалардың максималды жиілігі шамамен 8,8% құрайды. Сонымен қатар, өсімдіктерде хромосомалық бұзылулардың хромосомалық, хроматидтік және геномдық түрлері анықталды.

Кілт сөздер: Семей сынақ полигоны, радионуклидтер, зиянды элементтер, өсімдік, хромосомалық ауытқулар.

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF RADIONUCLIDE AND CHEMICAL CONTAMINATION ON THE CYTOGENETIC PARAMETERS OF THE BUSH GRASS (*CALAMAGROSTIS EPIGEJOS*)

K. S. Minkanova*, N. K. Nurgaisinova, N. V. Larionova, M. T. Dyusembayeva, L. A. Nemytova

Branch "Institute of Radiation Safety and Ecology" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

* E-mail for contacts: minkenova@nnc.kz

The article presents the study results of the effect of radionuclide and chemical contamination on the cytogenetic parameters of the bush grass (*Calamagrostis epigéjos*) growing on the Degelen mountain massif of the Semipalatinsk Test Site. The combined effect of ionizing radiation and the concentration of chemical elements in plants has been revealed. With an increase in the radiation dose from $5.0 \cdot 10^{-6}$ to $2.5 \cdot 10^{-5}$ Gy/h, minor changes are observed – an increase in the frequency of aberrant cells of meristematic rootlets of seedlings of bush grass (*Calamagrostis epigéjos*), however, all changes are within the margin of error. Certain changes in the frequency of aberrant cells are noted with an increase in the content of elements such as Cr, Mn, Li, Fe, the concentrations of which in the studied plants increase the MPC. In general, the maximum frequency of aberrant cells is about 8.8%. At the same time, chromosomal, chromatid and genomic types of chromosomal disorders were detected in plants.

Keywords: Semipalatinsk test site, radionuclides, toxic elements, plants, chromosomal aberrations.