

УДК 599:539.1.047

В.И. Крюков, В.А. Шишкин, С.Ф. Соколенко

**ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АЗОТНОКИСЛОГО СВИНЦА И ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ на МУТАГЕНЕЗ***У Arabidopsis thaliana (L.) Heynh*

С помощью эмбрион-теста у арабидопсиса обнаружили, что повышение удельной активности радиоактивного цезия в почве с 217 до 1025 и 2529 Бк/кг приводит к повышению частоты эмбриональных летальных мутаций с 8,2 до 20,2 и 51,6% соответственно. Добавление в радиоактивную почву свинца в дозе 16 мг/кг приводило к статистически достоверному снижению частоты мутирования. Дальнейшее увеличение содержания свинца в почве до 32, 64, 96, 128, 160 и 320 мг/кг вызывало увеличение частоты мутирования на фоне "низкой" и "средней" удельной активности цезия и уменьшение частоты эмбриональных леталей у растений, вегетировавших на почве с "высокой" удельной активностью радиоцезия. Последний процесс, по-видимому, обусловлен интенсивным увеличением количества стерильных семян в стручках.

*Растения, арабидопсис, радиационный мутагенез, химический мутагенез.*

Мутагенный эффект высоких доз ионизирующего излучения доказан многочисленными работами. Мутагенность низких доз радиации изучена значительно слабее. Ряд спорных вопросов в радиационной биологии связан с проблемой возможных негативных последствий хронического воздействия низких доз радиации. Важной и к настоящему времени малоизученной является проблема генетических последствий одновременного хронического воздействия низких доз радиации и химических мутагенов.

Цель исследований - анализ генетических последствий одновременного хронического воздействия низких доз радиации и тяжёлых металлов. В настоящей работе сообщается о результатах исследования мутагенности для высших растений свинца и радиоактивного цезия в концентрациях и дозах, реально встречающихся в Тульской области.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА**

Объектом исследования служили растения *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh рас Enkheym-1. Растения выращивали на среднесуглинистом выщелоченном черноземе, типичном для большей части территории Тульской области и содержащем радиоактивный цезий, попавший в почву в результате аварии на ЧАЭС. В опыте использовали почву с тремя градациями удельной активности  $^{134+137}\text{Cs}$  - 217, 1025 и 2529 Бк/кг, далее условно называемыми низкой, средней и высокой. Такая удельная активность радионуклида соответствует плотности загрязнения 2,3; 10,8 и 26,7 Ки/км<sup>2</sup> при удельном весе почвы 1,3 г/см<sup>3</sup> и глубине пахотного слоя 30 см. Фоновое валовое содержание свинца в почве - 20 мг/кг. Дополнительно к нему в каждом из трёх блоков опыта, различающихся по удельной активности радиоцезия, в почву были внесены 0 (контроль), 16, 32, 64, 96, 128, 160 и 320 мг свинца на 1 кг почвы. По 80 семян арабидопсиса высевали в сухую почву в пластиковые ящики площадью 38x12 см<sup>2</sup> и высотой 6 см. Полив почвы осуществляли с поддонов, в которые были установлены ящики. Через 5 дней после прорастания семян проводили прореживание, оставляя в каждом ящике по 40 растений. Соответствующие количества металла вносили в почву при первом поливе в виде раствора азотнокислой соли металла в дистиллированной воде. Растения выращивали в люминостате (лампы ЛБ-40) с автома-

тической регулировкой светового режима при освещенности 8000 лк и 18-часовом световом периоде.

Учет мутаций проводили в фазе плодоношения (40-50-е сутки после появления всходов) при анализе эмбрионов в первом и третьем стручках из базальных частей терминальных соцветий каждого растения. Для этого при 10-кратном увеличении стереоскопического микроскопа у стручка срезали верхнюю его оболочку и анализировали эмбрионы  $M_1$  на наличие летальных и рецессивных хлорофильных мутаций в соответствии с классификацией, разработанной П.Д. Усмановым и А. Мюллером [1].

Статистическую обработку результатов выполняли на ЭВМ с использованием пакета прикладных программ "STADIA 4.5" [2].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Опубликованные ранее результаты исследований мутагенности свинца достаточно противоречивы. Было показано, что воздействие свинца приводит к увеличению частоты ошибок при синтезе ДНК *in vitro* [3, 4]. Свинец не проявлял мутагенных свойств в бактериальных тестах [5-7]. У высших растений (*C. capillaris*) йодид свинца индуцировал хромосомные aberrации в клетках проростков корней, но аналогичные концентрации нитрата свинца не вызывали нарушений хромосом при 48-часовом воздействии [8]. Ацетат свинца, добавленный в корм взрослым дрозофилам в концентрациях 1 и 10 мМ, после 24-часовой экспозиции индуцировал летальные мутации с повышенной частотой. Та же соль в концентрации 0,01 мМ в тех же условиях эксперимента не проявляла мутагенной активности [9]. У млекопитающих свинец индуцировал хромосомные aberrации как *in vitro*, так и *in vivo* [10, 11]. Мутагенное действие радиоизотопов цезия, инкорпорированных в растения арабидопсиса, наблюдал Карма [12].

Доступность катионов металлов для растений в значительной степени определяется типом почв и их агрохимическими характеристиками. В связи с этим в литературе неоднократно высказывалось мнение о необходимости дифференцированных ПДК металлов для различных типов почв [13]. Нас интересовала мутагенная активность радионуклидов и стабильных изотопов тяжелых металлов в выщелоченных черноземах, характерных для Тульской области. Поэтому опыт выполнен с использованием почвы именно этого типа, несмотря на то что для арабидопсиса более подходят легкие песчаные почвы [14].

Известно, что повышенное содержание свинца в окружающей среде ведет к задержке прорастания семян и ингибированию роста растений [15]. В нашем эксперименте увеличение свинца в почве также оказывало влияние на жизнеспособность, темпы развития и продуктивность растений во всех трех блоках опытов. Детальному исследованию динамики перечисленных параметров был подвергнут один вариант опыта - с удельной активностью цезия 1025 Бк/кг почвы (табл. 1). С увеличением содержания свинца в почве статистически достоверно снижалась выживаемость и увеличивалась продолжительность вегетации растений. Уменьшалось также среднее число стручков на растении, однако оно было статистически недостоверно.

Суммарное количество семян, формирующихся в одном стручке, очевидно, равно сумме чисел стерильных семян, нормальных и мутантных эмбрионов. Средние значения этой суммарной величины в вариантах опытов с низкой и средней активностью цезия в почве варьируют незначительно и статистически достоверно не различаются (табл. 2; рис. 1,А). В то же время у растений, выросших на почве с высокой удельной активностью цезия и без свинца, среднее число семян статистически достоверно меньше, чем в аналогичных вариантах опыта, но с низкой и средней удельной активностью цезия в почве. Добавление свинца в почву с высокой удельной активностью радионуклида вызывало статистически достоверное уменьшение числа семян в стручках. Таким образом, увеличение удельной активности радиоцезия в почве до 2529 Бк/кг приводило к достоверному уменьшению числа семян в стручках. Оно ещё больше и статистически достоверно уменьшается при добавлении в почву свинца.

Таблица 1. Влияние различных концентраций свинца на жизнеспособность, интенсивность развития и продуктивность арабидопсиса, выращенного на почве с радиоцезием (1025 Бк/кг)

Количество внесённого $Pb^{+2}$ , мг/кг почвы	Выживаемость растений, %	Длительность вегетации, сут	Число стручков ( $\bar{x} \pm \sigma_x$ )	
			всего	в том числе стерильных
0	91±1	25±1	200±9	63±5
16	88±1	24±1	178±10	44±5*
32	94±1*	26±2	173±9	50±5*
64	85±0*	29±1*	200±10	52±5
96	80±0*	32±1*	187±11	56±5
128	80±0*	33±1*	186±12	60±6
160	88±2	33±2*	195±10	54±4
320	77±4*	37±2*	190±11	64±6

Различия от контрольного уровня этого варианта опыта ( $^{134+137}Cs$  - 1025 Бк/кг и  $Pb$  - 0 мг/кг) статистически достоверны при  $P < 0,05$ .

Аналогичным образом происходило изменение частот нормальных эмбрионов у растений (рис. 1, Б). Частоты нормальных эмбрионов в стручках растений, выросших на почве со средней удельной активностью радиоцезия, на 10-20% ниже, чем в аналогичных вариантах опыта с низкой удельной активностью радионуклида в почве; различия статистически достоверны. У растений, выращенных на почве с высокой удельной активностью  $^{134+137}Cs$  без внесения свинца, частота нормальных эмбрионов была резко (и статистически достоверно) снижена по сравнению с контрольными вариантами двух предыдущих блоков опыта, а в вариантах с дополнительно внесённым свинцом нормальные эмбрионы отсутствовали. Обращает на себя внимание тот факт, что добавление 16 мг свинца в почву с низкой и средней удельной активностью радионуклида приводило к статистически достоверному увеличению частот нормальных эмбрионов в стручках. Дальнейшее же увеличение содержания свинца в почве вызывало постепенное снижение частот нормальных эмбрионов. В результате этого процесса частоты нормальных эмбрионов у растений, выращенных с дополнительными 32 мг свинца в 1 кг почвы в обоих вариантах радиоактивности не имели достоверных отличий от соответствующих контрольных величин, а в вариантах 64-320 мг свинца/кг почвы различие частот нормальных эмбрионов с контрольными величинами было уже статистически достоверным.

Почти зеркальным отражением описанного выше процесса является динамика возникновения стерильных семян (рис. 1, В). Частота образования стерильных семян у растений, развивавшихся на почве с низкой и средней удельной активностью радиоцезия и без дополнительного свинца, была равна 21,5 и 24,4% соответственно.

Внесение 16 мг свинца на 1 кг почвы в обоих случаях приводило к статистически достоверному снижению частот стерильных семян. Дальнейшее возрастание концентрации свинца в почве вызывало статистически достоверное увеличение частот стерильных семян в стручках. Единственным исключением была частота стерильных семян в варианте с низкой удельной активностью радиоцезия и 96 мг свинца/кг почвы, которая не имела статистически достоверных отличий от контрольной величины.

Кривая роста частот стерильных семян у растений, выращенных на почве с высокой удельной активностью радиоцезия, существенно отличалась от кривых, описывающих этот процесс у растений, культивируемых на почве с низкой и средней удельной активностью. Прежде всего, частота возникновения стерильных семян в контроле этого варианта опыта (т.е. без внесения дополнительного свинца) почти на 20% выше частот у контрольных растений, развивавшихся на почве с низкой и средней удельной активностью радионуклида. Добавление в почву свинца приводило к резкому и статистически достоверному увеличению стерильных семян. Следовательно, увеличение

Таблица 2. - Генетические изменения у арабидопсиса в М<sub>1</sub> при хроническом воздействии азотнокислого свинца и ионизирующей радиации

Удельная активность почвы, Бк/кг	Количество внесённого свинца, мг/кг	Исследовано		Распределение аномальных эмбрионов по классам							
		стручков	эмбрионов	стерильные	sicca	diffusa	vana	murca	parva	ДЛМ, сумма	ЛХМ
217	0	58	2077	447	84	11	2	31	42	170 <sup>а,б</sup>	0
	16	69	2436	480	68	7	0	22	31	128 <sup>а</sup>	0
	32	65	2204	433	59	65	30	42	6	202	0
	64	58	2098	601	47	41	19	44	3	154	1
	96	68	2409	534	77	72	33	76	10	268 <sup>а</sup>	0
	128	64	2328	583	98	42	35	66	27	268 <sup>а</sup>	0
	160	59	2213	599	69	35	23	3	100	230 <sup>а</sup>	0
	320	52	2088	566	61	85	56	83	116	401 <sup>а</sup>	0
1025	0	196	6824	1666	371	272	455	146	134	1378 <sup>а,б</sup>	0
	16	180	6801	1328	338	190	161	111	134	934 <sup>б</sup>	36
	32	184	6502	1467	339	270	168	249	72	1098	29
	64	152	5512	1357	333	349	274	88	125	1169	61
	96	165	5412	1430	190	412	424	299	46	1371 <sup>б</sup>	72
	128	153	5123	1168	237	308	297	536	117	1495 <sup>б</sup>	25
	160	173	6181	1392	242	323	292	722	366	1945 <sup>б</sup>	56
	320	122	4298	1145	160	194	109	633	173	1269 <sup>б</sup>	47
2529	0	27	851	350	77	0	0	22	341	440 <sup>а,б</sup>	0
	16	20	437	298	6	0	0	0	133	139 <sup>б</sup>	0
	32	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	64	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	96	11	239	197	13	0	0	0	29	42 <sup>б</sup>	0
	128	7	135	118	1	1	0	0	15	17 <sup>б</sup>	0
	160	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	320	20	461	412	1	0	0	0	48	49 <sup>б</sup>	0

Примечание:

ДЛМ - доминантные летальные мутации: sicca, diffusa, vana, murca, parva; ЛХМ - летальные хлорофильные мутации: albina, chlorina, xanta.

Различия статистически достоверны при  $P < 0,05$ : <sup>а</sup> – от варианта 217 Бк/кг и 0 мг свинца/кг почвы; <sup>б</sup> – от варианта 1025 Бк/кг и 0 мг свинца/кг почвы;

<sup>в</sup> – от варианта 2529 Бк/кг и 0 мг свинца/кг почвы.

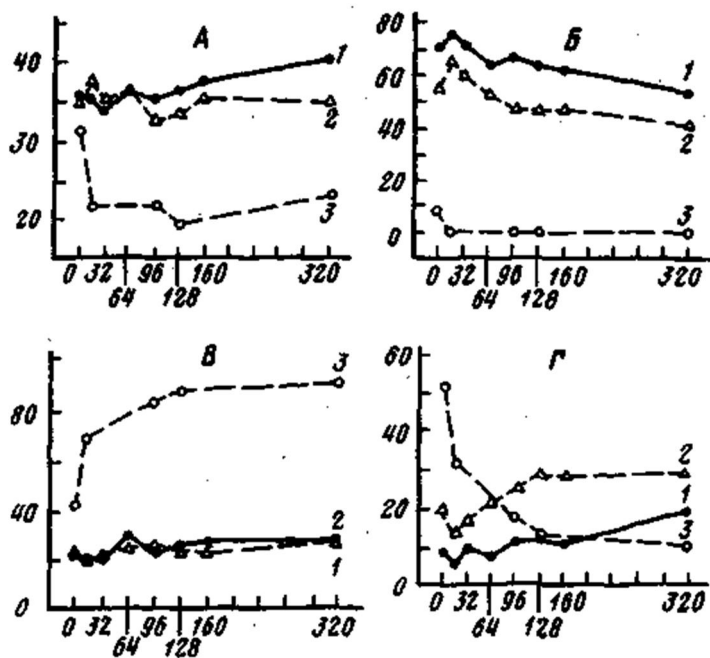


Рис. 1. Влияние хронического воздействия  $^{137+134}\text{Cs}$  (1 - почва с удельной активностью 217 Бк/кг, 2 - 1025 Бк/кг и 3 - 2245 Бк/кг) и азотнокислого свинца на продуктивность и мутагенез арабидопсиса. По осям абсцисс – количество внесённого в почву азотнокислого свинца, мг/кг; по осям ординат – среднее число семян в стручке (А), частоты нормальных эмбрионов (Б), частоты стерильных семян (В), суммарные частоты мутагенеза (Г).

содержания свинца и удельной активности радиоактивного стронция в почве увеличивало число стерильных семян у арабидопсиса.

Анализ частот эмбриональных леталей и хлорофилльных мутаций по каждому классу отдельно был нецелесообразен в связи с резкими их колебаниями от варианта к варианту. Для характеристики мутационного процесса под влиянием ионизирующего излучения и инкорпорированного растениями свинца нагляднее рассматривать динамику суммарных частот возникновения всех мутаций (рис. 1, Г). У растений, выросших на почве с низкой удельной активностью радиостронция, в контрольном варианте (без дополнительного свинца) суммарная частота мутаций была равна 8,18%. Добавление свинца до уровня 16 мг/кг статистически достоверно снижало частоту мутаций до 5,25%. Дальнейшее увеличение концентрации свинца в почве вело к постепенному увеличению частоты мутаций таким образом, что в вариантах с 32 и 64 мг металла на 1 кг почвы различия в частотах мутаций достоверно не отличались от контроля, а рост частот мутаций в следующих за ними вариантах опыта (96, 128, 160 и 320 мг/кг) был уже статистически достоверным.

Растения, выращенные на почве со средней удельной активностью радиостронция, во всех 8 вариантах опыта имели большую частоту мутаций; различия были статистически достоверными. Динамика же частот в этом варианте опыта была очень сходной с таковой в варианте с низкой удельной активностью радионуклида в почве: в контрольном варианте частота мутаций равнялась 20,2%, при добавлении в почву 16 мг свинца/кг почвы она падала на 6,5%. Дополнительные 32 мг свинца/кг почвы приводили к росту частоты мутации на 3,2%, но при этом ее величина оставалась статистически достоверно ниже контрольного значения этого варианта опыта. Дальнейшее увеличение концентрации свинца в почве приводило к росту частоты мутаций таким образом, что все ее значения были статистически достоверно отличающимися от контроля.

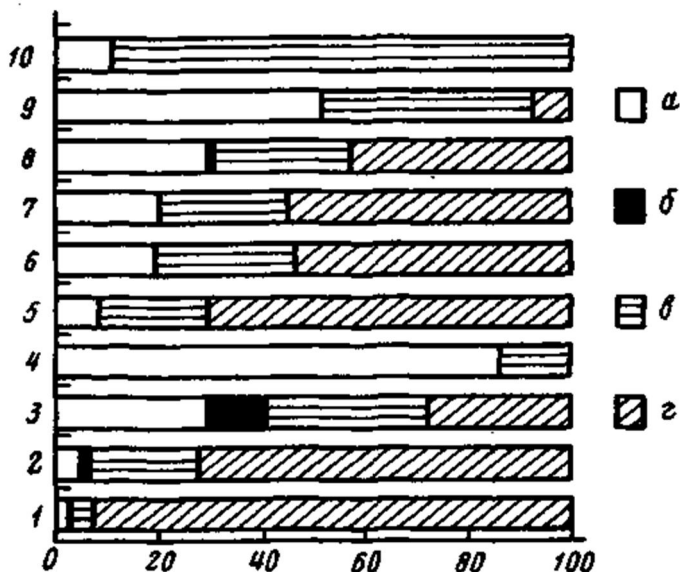


Рис. 2. Феноспектры эмбриональных мутаций *A. thaliana*, индуцированные ионизирующей радиацией и химическими мутагенами (обозначения: *a* - эмбриональные летали; *b* - хлорофилльные мутации; *c* - стерильные эмбрионы; *z* - нормальные эмбрионы): 1 - спонтанный мутагенез в природных популяциях [17]; 2 - ультрафиолетовое излучение, облучение растений (280-320 нм, интенсивность - 8 Вт/м<sup>2</sup>, доза - 90 кДж/м<sup>2</sup>) [18]; 3 - действие 0,01 М нитрозометилбиурета [19]; 4 - облучение пыльцы рентгеновскими лучами (320 кРад) [1]; 5 - действие <sup>137+134</sup>Cs, находящегося в почве (217 Бк/кг); 6 - действие <sup>137+134</sup>Cs (217 Бк/кг) и свинца (320 мг/кг); 7 - действие <sup>137+134</sup>Cs (1025 Бк/кг почвы); 8 - действие находящихся в почве <sup>137+134</sup>Cs (1025 Бк/кг) и свинца (320 мг/кг); 9 - действие <sup>137+134</sup>Cs (2245 Бк/кг почвы); 10 - действие находящихся в почве <sup>137+134</sup>Cs (2245 Бк/кг) и свинца (320 мг/кг) По оси абсцисс - частота мутаций (%)

Частота возникновения мутаций у арабидопсиса, выращенного на почве с высокой удельной активностью стронция и без дополнительного свинца, была высокой - 51,6%. В присутствии 16 мг свинца на 1 кг почвы частота мутирования падала до 31,8%. В этом случае снижение частоты мутагенеза было также статистически достоверным. В отличие от двух первых вариантов опыта (с низкой и средней удельной активностью) в рассматриваемом варианте дальнейшее увеличение концентрации свинца в почве вело не к росту частоты мутирования, а наоборот, к его падению. Однако причиной этого снижения является, по-видимому, не уменьшение силы влияния мутагенных факторов, а чрезвычайно быстрый рост доли стерильных семян в стручках.

При анализе результатов обращает на себя внимание отсутствие хлорофилльных мутаций во всех трёх контрольных вариантах опыта. Отсутствие этих мутаций у растений, выросших на почве с низким, средним и высоким содержанием радиоактивного цезия, но без свинца, и появление их у растений, выращиваемых при воздействии исследуемого металла, может быть связано со специфичностью механизмов индукции мутаций химическими мутагенами и ионизирующим излучением. Это предположение подтверждается результатами работ других авторов (рис. 2). Рентгеновское излучение (облучение пыльцы, доза 320 кРад), индуцируя с высокой частотой эмбриональные летали, не вызывало появления хлорофилльных мутаций. Облучение растений ультрафиолетовым светом (280-320 нм, интенсивность - 8 Вт/м<sup>2</sup>, доза - 90 кДж/м<sup>2</sup>) индуцировало 1% летальных хлорофилльных мутаций. Воздействие химического супермутагена нитрозометилбиурета на семена приводило к возникновению хлорофилльных мутаций с высокой частотой. В нашем эксперименте воздействие на арабидопсис ионизирующего излучения индуцировало только эмбриональные летали и стерильность эмбрионов. С добавлением в почву нитрата свинца у растений появляются и хлорофилльные мутации.

Таблица 3. - Дисперсионный анализ влияния хронического  $\gamma$ -излучения и свинца на количество стерильных семян у *A. thaliana*

Фактор	Дисперсия	Степень свободы	Достоверность			Сила влияния, %
			$F_{\text{экс}}$	$F_{\text{теор}}$	$P$	
А	1686,4	2	119,4	8,1	<0,01	21
В	2002,1	7	40,5	2,2	<0,01	25
АХВ	4101,5	14	41,5	1,9	<0,01	50
Организованные	7790,0	23	48,0	3,0	<0,01	96
Случайные	339,0	48				4
Общее варьирование	8129,0	71				100

Примечание. О факторах А и В см. пояснения в тексте. То же в табл. 4.

Таблица 4. - Дисперсионный анализ влияния хронического  $\gamma$ -излучения и свинца на количество доминантных летальных мутаций у *A. thaliana*

Фактор	Дисперсия	Степень свободы	Достоверность			Сила влияния, %
			$F_{\text{экс}}$	$F_{\text{теор}}$	$P$	
А	399,7	2	116,6	8,1	<0,01	39
В	140,1	7	11,7	2,2	<0,01	14
АХВ	396,9	14	16,5	1,9	<0,01	39
Организованные	936,7	23	23,7	3,0	<0,01	92
Случайные	82,3	48				8
Общее варьирование	1019,0	71				100

Можно предположить, что различный ход кривых, отражающих возникновение аномальных эмбрионов в различных вариантах опыта, является результатом сочетанного действия двух исследуемых факторов. Для проверки этого предположения результаты были подвергнуты двухфакторному дисперсионному анализу. В дисперсионном комплексе изучали следующие пять факторных влияний на количество стерильных семян и семян с доминантными эмбриональными летальными: 1) влияние хронического  $\gamma$ -излучения радиоактивного цезия (фактор А); 2) влияние различных доз внесенного в почву свинца (фактор В); 3) влияние сочетаний различных градаций факторов А и В; 4) суммарное действие обоих организованных факторов; 5) влияние случайных (неорганизованных) факторов (табл. 3 и 4).

Из табл. 3 и 4 следует, что влияние сочетаний градаций двух исследуемых факторов достаточно велико - 50% при формировании стерильных семян и 39% - при возникновении эмбриональных леталей. Это доказывает, что в исследуемом дисперсионном комплексе сила действия радиоцезия в значительной степени зависит от градаций второго фактора (доз внесенного в почву свинца). При этом эффект радиоцезия сильнее сказывается на возникновении доминантных летальных мутаций (сила влияния 39%), чем на появлении стерильных семян (сила влияния 21%). Свинец, наоборот, более интенсивно влияет на процесс появления стерильных семян (сила влияния 25%) и менее активен в индуцировании эмбриональных леталей (сила влияния 14%). В обоих случаях сила влияния организованных факторов больше 90%, и поэтому можно считать, что неконтролируемые в опыте факторы не оказывали существенного влияния на анализируемые параметры.

Анализ хлорофилльных и эмбриональных летальных мутаций в эмбрион-тесте у арабидопсиса, произрастающего в 30-километровой зоне контроля аварии на ЧАЭС, показал увеличение частоты мутирования в 5-10 раз по сравнению с контролем [16]. Почва, использованная в нашем эксперименте, загрязнена радионуклидами значительно слабее, но обнаруженный факт может свидетельствовать о возможном повышении частоты мутаций в природных популяциях растений, вегетирующих при реально существующих уровнях радиационного загрязнения почв Тульской области.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усманов П.Д., Мюллер А. // Генетика. 1970. Т. 6. № 7. С. 50-60.
2. Кулаичев А.П. Статистическая диалоговая система "STADIA 4.5". Руководство пользователя. М: НПО "Информатика и компьютеры", 1991. 165 с.
3. Sirover MA., Loeb LA. // Science. 1976. V. 194. № 4272. P. 1434-1436.
4. Zakour R.A., Kunkel TA., Loeb LA. // Environ. Health. Persp. 1981. V. 40. P. 197-205.
5. Nishioka H. // Mutat. Res. 1975. V. 31. P. 185-189.
6. Canematsu N., Haga M., Kada T. // Mutat. Res. 1980, V. 77. № 2. P. 109-116.
7. Sokolowska DM., Jongen W.M. // Mutat. Res. 1984. V. 130. № 3. P. 168.
8. Реутова Н.В., Шевченко Н.В. // Генетика. 1991. Т. 27. № 7. С. 1275-1279.
9. Джмухадзе Н.Ф., Тония Н.К. // 5-й съезд ВОГиС им. Н.И. Вавилова. Москва, ноябрь 1987 г.: Тез. докл. Т. 1. М.: Изд-во ВОГиС, 1987. С. 76.
10. Gerber CB., Leonard A., Jacquet P. // Mutat. Res. 1980. V. 76. № 2. P. 115-141.
11. Оханашивили Т.С. // Сообщ. АН ГССР. 1988. Т. 129. № 3. С. 601-604.
12. Karra O.P. // Can. J. Botany. 1974. V. 52. № 1. P. 27-34.
13. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва - растение. Новосибирск: Наука, 1991. 151с.
14. Иванов В.И. // Проблемы космической биологии. Т. 27. М.: Наука, 1974. 191 с.
15. Kumar J., Singh R.P., Sushila H. // Water, Air and Soil Pollut. 1993. V. 66. № 1-2. P. 163-171.
16. Абрамов В.И., Митин А.Н. // 1-е Всесоюз. коорд. совещ. "Генетические последствия загрязнения окружающей среды мутагенными факторами": Тез. докл. Самарканд, 1990. С. 29-30.
17. Хурматов Х.Х. Изучение радиочувствительности и структуры природных популяций некоторых видов растений, различающихся по способам размножения: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. -М., 1983. 23 с.
18. Усманов П.Д., Медник И.Г., Усманова О.В. и др. // 1-е Всесоюз. коорд. совещ. "Генетические последствия загрязнения окружающей среды мутагенными факторами": Тез. докл. Самарканд, 1990. С. 177-179.
19. Сахибназаров Ш. Некоторые особенности биологического действия нитрозометилбиурета, нитрозометилмочевины и рентгеновых излучений на *Arabidopsis thaliana* (L.): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ереван, 1979. 23 с.

Тульский НИИ сельского хозяйства, Плавск

Поступила в редакцию  
25.08.95

V.I. Kryukov, V.A. Shishkin, S.F. Sokolenko

### CHRONICAL INFLUENCE OF RADIATION AND LEAD ON MUTATION RATES IN PLANTS OF ARABIDOPSIS THALIANA (L.) HEYNH

*Tula Scientific Research Institute of Agriculture*

Plants of *Arabidopsis thaliana* were grown in a laboratory conditions on the soil (black earth, chernozem) which was polluted with a radioactive isotopes of cesium,  $^{134+137}\text{Cs}$ . Increase in specific activity of samples from 217 to 1025 and 2529 Bq/kg resulted in increase of embryonic mutation rate in *Arabidopsis* from 8.2 to 20.2 and 51.6% respectively. Bringing  $\text{Pb}^{2+}$  in a dose of 16 mg into the soil resulted in statistically significant decrease in mutation rate. Further increase of lead concentration in radioactive soils to 32, 64, 96, 128, 160 and 320 mg/kg resulted in growth of the mutation rates in the plants which were grown on the soil with "low" and "middle" specific activity of cesium, and in decrease of the mutation rates in the plants which were grown on the soil with "high" specific radioactivity. The last process apparently was connected with the intensive growth in the number of sterile seeds in the pods.

Оформление ссылки: В.И. Крюков, В.И. и др. Влияние хронического воздействия азотнокислого свинца и ионизирующего излучения на мутагенез у *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh / В.И. Крюков, В.А. Шишкин, С.Ф. Соколенко // Радиационная биология. Радиоэкология. –1996. Т. 36, № 2. –С. 209-218.