

УДК 576.356.2:539.1.047

ВЛИЯНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ И РОСТОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОРОСТКОВ *Allium cepa* В ДЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

© 2022 г. А. Я. Болсуновский^{1,*}, Е. А. Трофимова¹, А. В. Зуева¹,
Д. В. Дементьев¹, М. В. Петриченко²

Представлено академиком РАН А.Г. Дегерменджи

Поступило 26.11.2021 г.

После доработки 21.12.2021 г.

Принято к публикации 21.12.2021 г.

Исследовали влияние γ -излучения на цитогенетические и ростовые параметры проростков *Allium cepa* L. спустя длительное время после облучения в диапазоне поглощенных доз от 1.0 до 10.7 Гр. Наиболее чувствительным параметром к γ -излучению является частота хромосомных нарушений в клетках, которая возрастала сразу после облучения при всех дозах. В период восстановления после облучения (длительностью до 216 ч) частота хромосомных aberrаций закономерно снижалась, но оставалась выше контроля при максимальных дозах облучения в конце эксперимента. Обсуждается влияние начального уровня хромосомных нарушений на ингибирование роста корней лука в длительный период после прекращения облучения.

Ключевые слова: *Allium*-тест, проростки семян, гамма-облучение, хромосомные нарушения, период восстановления, ингибирование

DOI: 10.31857/S2686738922020044

Испытания ядерного оружия и деятельность предприятий ядерно-топливного цикла привели к поступлению в окружающую среду значительного количества техногенных радионуклидов. Гидробионты реки Енисей испытывают дополнительную дозовую нагрузку за счет техногенных радионуклидов, в том числе в виде радиоактивных микрочастиц, в результате многолетних производственных сбросов Горно-химического комбината ГК Росатом в реку [1–4]. Ранее нами были проведены лабораторные эксперименты с различными биотестами по моделированию влияния γ -излучения радиоактивных частиц и показана высокая чувствительность биотестов к γ -излучению [3, 5–7].

В токсикологических экспериментах нами был использован луковый биотест (*Allium*-test) [6, 7], хорошо зарекомендовавший себя при

оценке токсичности проб окружающей среды [8–11]. Для проростков семян лука было обнаружено увеличение частоты цитогенетических нарушений в клетках при всех дозах γ -облучения длительностью 24 ч, включая малые дозы [6]. При максимальной поглощенной дозе 13 Гр хромосомные aberrации были отмечены в большинстве клеток лука на стадии анафазы и телофазы митоза, возросло число клеток с множественными нарушениями. Ранее авторы отмечали, что повреждения ДНК в клетках живых организмов могут привести к остановке их роста, а также к долгосрочным последствиям [12]. Однако в наших опытах при высоком уровне хромосомных aberrаций влияния радиации на рост корней выявлено не было [6]. Отсутствие угнетения ростовых процессов можно объяснить как относительно низкими дозами γ -облучения, так и небольшой длительностью наших экспериментов (24 ч) [6]. В публикациях ряда авторов регистрировали угнетение ростовых параметров растений после облучения, но при этом использовали высокие дозы [12–15]. Так, в обзоре Гудкова (Gudkov) и соавт. [12] эффекты ингибирования роста растений наблюдали при дозах облучения от 5 до 50 Гр и выше, в работе Лю (Liu) и соавт. [15] угнетение роста корней пшеницы отмечены при дозах выше 30 Гр. При этом многие авторы работ не

¹Институт биофизики Федерального исследовательского центра “Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук”, Красноярск, Россия

²Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

*e-mail: radecol@ibp.ru

приводят механизмы ингибирования роста облученных растений. В работе Зака (Zaka) и соавт. [16] при облучении проростков гороха (дозы до 10 Гр) отмечены ингибирующие эффекты роста растений, которые регистрируются через несколько поколений. По мнению авторов, ингибирование роста растений во втором поколении объясняется индуцированной облучением геномной нестабильностью [16]. При этом авторы приводят данные по уровням цитогенетических нарушений только в начальный момент роста растений (0 и 20 ч после облучения). Для объективной оценки долгосрочных эффектов γ -облучения в экспериментах необходимы длительные наблюдения не только за ростовыми, но и цитогенетическими параметрами проростков лука после облучения.

Цель настоящей работы – оценить влияние γ -излучения на цитогенетические и ростовые параметры проростков лука *Allium cepa* L. спустя длительное время после облучения.

В эксперименте использовали семена репчатого лука (*Allium cepa* L.) ($2n = 16$) сорта “Штутгартер ризен”. Семена хранили при температуре 4°C в коммерческой упаковке до их использования в экспериментах. Семена проращивали в пластиковых контейнерах на фильтровальной бумаге, смоченной дистиллированной водой, в темноте при комнатной температуре. Для облучения использовали проростки длиной 2–3 мм, от 11 до 130 штук, в зависимости от эксперимента, на каждый дозовый уровень. Облучение проводили в течение 24 ч точечным источником, находящимся в стальной капсуле и содержащим ^{137}Cs (активностью 14 ГБк на момент экспериментов) в Институте ядерной физики имени Г.И. Будкера СО РАН (Новосибирск). Значения мощности дозы определялись расстоянием проростков от источника и были проверены прямыми измерениями дозиметрами (ДКГ-02У, НПП “Доза”, Россия и ДКС-АТ1123, “Атомтех”, Белоруссия). Было проведено 2 эксперимента: в Эксперименте № 1 проростки семян лука после облучения длительностью 24 ч дополнительно подращивали 24 ч без облучения; в Эксперименте № 2 проростки лука после облучения длительностью 24 ч дополнительно подращивали без облучения 24, 72, 120, 216 ч. В Эксперименте № 1 растения облучали на трех дозовых уровнях, где поглощенная доза составила 1.0, 2.6 и 5.2 Гр. В Эксперименте № 2 растения облучали на четырех дозовых уровнях, где поглощенная доза составила 1.0, 2.6, 5.2 и 10.7 Гр. Выбор доз облучения был основан на ранее полученной дозовой зависимости для цитогенетических нарушений *Allium cepa* [6]. Поглощенная доза для контрольных растений составила 10^{-4} Гр.

В качестве индикаторов радиационного повреждения использовали следующие параметры:

длина корней и доля аномальных клеток с различными типами нарушений на стадии ана-телофазы митоза. Учет цитогенетических параметров проводили при помощи светового микроскопа (Olympus CX31) на давленных препаратах, приготовленных стандартным методом [6]. Для учета aberrантных клеток было просмотрено от 11 до 26 препаратов на каждый уровень облучения. Отмечались следующие типы аномалий: фрагменты, мосты, блуждающие хромосомы, множественные нарушения (наличие в клетке нескольких нарушений разных типов) и прочее. Частоту хромосомных aberrаций рассчитывали как отношение числа клеток с нарушениями к общему числу ана-телофазных клеток.

Статистический анализ и визуализацию полученных результатов проводили с использованием программ Microsoft Office Excel 2013 и PAST 3.23. Для сравнения облученных образцов с контролем, а также для выявления различий между образцами, фиксированными сразу и потом, использовали тест Краскела–Уоллиса с парным сравнением совокупностей при помощи критерия Данна с коррекцией по Бонферрони. На рисунках представлены средние значения и их стандартные ошибки.

В эксперименте № 1 после 24 ч облучения наблюдали увеличение частоты хромосомных aberrаций (почти до 100%) в клетках проростков семян лука по сравнению с контролем (рис. 1а). И этот эффект наблюдался при всех использованных дозах. При этом достоверного угнетения роста корня при облучении не отмечено (рис. 1б), несмотря на некоторое снижение средней длины корня при максимальной дозе 5.2 Гр до 8.7 мм по сравнению с длиной корня в контроле (11 мм).

При восстановительном периоде в 24 ч наблюдали снижение частоты хромосомных aberrаций при всех дозах почти в 2 раза. Так, при максимальной дозе 5.2 Гр частота aberrаций уменьшилась с $96 \pm 2\%$ до $56 \pm 4\%$, при дозе 2.6 Гр – с $59 \pm 3\%$ до $24 \pm 2\%$ (рис. 1а). При этом спектр хромосомных aberrаций в период восстановления не менялся по сравнению с периодом облучения – продолжали доминировать множественные нарушения и фрагменты. После облучения снижение частоты хромосомных aberrаций в основном происходило за счет уменьшения доли множественных нарушений.

Несмотря на снижение уровня цитогенетических нарушений в 24-часовой восстановительный период, было зарегистрировано угнетение роста корней при дозах 2.6 и 5.2 Гр до 14 мм (рис. 1б) по сравнению со средней длиной корня в контроле (18.3 мм). Вероятно, влияние γ -облучения на ростовые процессы имеет инерционный характер по сравнению с цитогенетическими нарушениями.

В эксперименте № 2, в отличие от эксперимента № 1, был увеличен максимальный уровень дозы γ -облучения до 10.7 Гр и возросла длительность эксперимента с 48 до 240 ч, т.е. существенно увеличился период восстановления растений после облучения. Несмотря на двукратное увеличение максимальной дозы облучения, в эксперименте № 2 также, как и в эксперименте № 1 после 24 ч облучения отмечали рост частоты хромосомных aberrаций с увеличением дозы и отсутствие угнетения роста корня при всех использованных дозах (рис. 2а, 2б).

При восстановительном периоде 24 ч, как и в Эксперименте № 1, также наблюдали снижение частоты хромосомных aberrаций при всех дозах. Однако степень снижения отличалась при разных дозах облучения: при максимальной дозе 10.7 Гр частота aberrаций уменьшилась незначительно с $96 \pm 3\%$ до $75 \pm 2\%$, при дозе 5.2 Гр частота aberrаций уменьшилась с $96 \pm 1\%$ до $53 \pm 4\%$, при дозе 2.6 Гр – с $67 \pm 3\%$ до $24 \pm 2\%$ (рис. 2а). При более длительном периоде восстановления (более 24 ч) частота хромосомных aberrаций продолжала снижаться, но даже на 144–240 ч опыта при дозах 5.2 и 10.7 Гр уровень цитогенетических нарушений в новых поколениях клеток был выше контрольного (рис. 2а). Клеточный цикл меристематических клеток лука занимает порядка 23 ч, из которых 4 ч приходится на митоз [17]. Следовательно, в нашем эксперименте не наблюдается полной репарации поврежденных хромосом в клетках спустя 6–10 поколений после облучения. Следует отметить, что спектр хромосомных aberrаций в начальный период восстановления и до 96 ч опыта не меняется по сравнению с периодом облучения – продолжали доминировать множественные нарушения и фрагменты. В этот период восстановления снижение частоты хромосомных aberrаций в основном происходило за счет уменьшения доли множественных нарушений. Начиная с 144 ч опыта в спектре хромосомных нарушений увеличивается доля таких нарушений, как мосты, которые в общей частоте могли доминировать при максимальных дозах облучения.

В Эксперименте № 2, аналогично данным Эксперимента № 1, в 24-часовой восстановительный период после окончания облучения зарегистрировали угнетение роста корней при максимальных дозах 5.2 и 10.7 Гр до 7.2 мм (рис. 2б) по сравнению со средней длиной корня в контроле (10.7 мм). С увеличением времени восстановления (более 24 ч) угнетение роста корней отмечается не только при максимальных дозах облучения, но и при других дозах: угнетение при дозе 2.6 Гр начинается с 96 ч, при дозе 1 Гр начинается с 144 ч эксперимента. Для описания роста корней при облучении и в контроле хорошо подходит линейное уравнение ($l = l_0 + vt$) с высокими коэф-

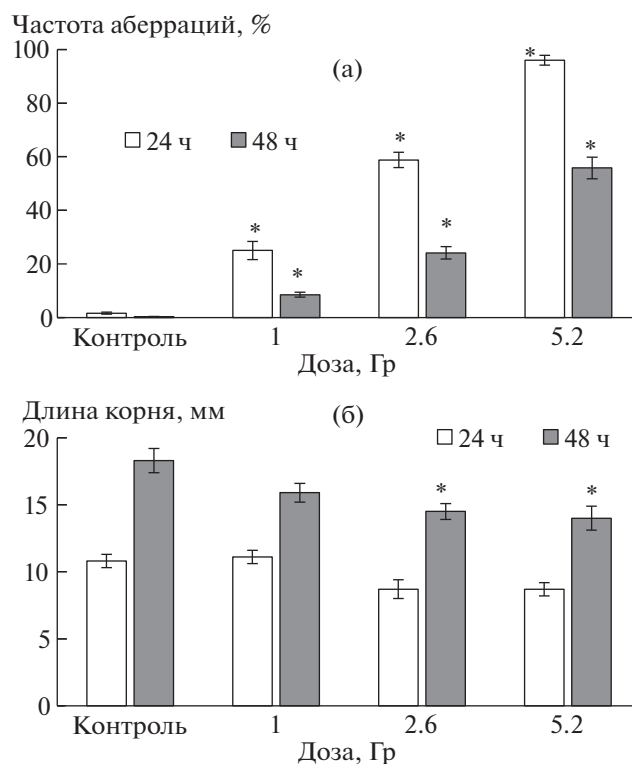


Рис. 1. Влияние разных доз γ -облучения в эксперименте № 1 на частоту хромосомных aberrаций (а) в клетках проростков семян лука и среднюю длину корня (б) сразу после облучения (24 ч) и после подрастания растений без облучения (48 ч). * Статистически значимое отличие от контрольного уровня ($p < 0.05$).

фициентами детерминации ($R^2 = 0.93–0.99$) (рис. 2б, табл. 1).

Линейная модель характеризует вегетативный рост облученных и контрольных проростков лука как процесс, длящийся во времени с постоянной скоростью (параметр модели – v). Как следует из данных табл. 1, скорость роста корней при максимальных дозах 5.2 Гр и 10.7 Гр в 2–5 раз меньше скорости роста корней в контроле. При этом скорости роста корней при облучении дозами 1 и 2.6 Гр не отличаются между собой, но отличаются от контроля не более чем на 20%. Из данных рис. 2б следует, что отличия в скорости роста корней для разных доз облучения и в контроле сфор-

Таблица 1. Коэффициенты уравнений линейного роста корней $l = l_0 + vt$ при разных дозах облучения

	v	l_0	R^2
Контроль	0.215	2.4	0.97
1 Гр	0.183	2.6	0.97
2.6 Гр	0.167	2.9	0.99
5.2 Гр	0.108	3.4	0.98
10.7 Гр	0.045	3.8	0.93

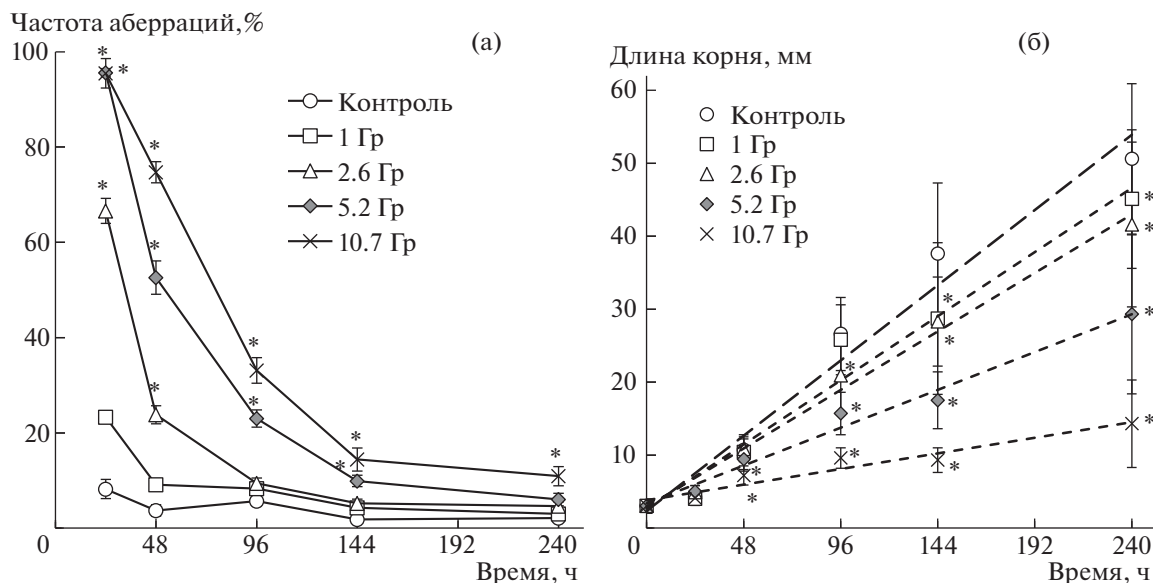


Рис. 2. Влияние разных доз γ -облучения в Эксперименте № 2 на частоту хромосомных aberrаций (а) в клетках проростков семян лука и среднюю длину корня (б) сразу после облучения (24 ч) и после подрашивания растений без облучения. Штриховые линии — уравнения линейной аппроксимации (табл. 1). * Статистически значимое отличие от контрольного уровня ($p < 0.05$).

мировались в начальный период эксперимента — 24 или 48 ч. Что же такого произошло с корнями в этот начальный период (24–48 ч)? В этот период мы регистрировали максимальные значения хромосомных нарушений (рис. 1а и 2а) в клетках (67–96% на 24 ч опыта и 24–75% на 48 ч эксперимента — первый период восстановления) при облучении дозами от 2.6 до 10.7 Гр. Тогда возможно существует пороговый уровень хромосомных нарушений, который приводит к последующему угнетению роста корней. Из полученных нами экспериментальных данных можно предположить, что величина возможного порогового уровня не превышает $24 \pm 2\%$. При такой минимальной частоте хромосомных aberrаций в Эксперименте № 2 наблюдалось угнетение роста корней при дозе облучения 1 Гр (рис. 2б) спустя 144 ч эксперимента (120 ч после облучения). В Эксперименте № 1 ингибирование роста корней отмечали спустя 48 ч опыта при дозе 2.6 Гр и интервале частоты хромосомных нарушений 24–59% (рис. 1). Это дополнительно свидетельствует о пороговом уровне, не превышающем $24 \pm 2\%$.

В обзорах [12, 13] отмечали многочисленные случаи ингибирования и стимулирования ростовых параметров растений после облучения высокими дозами. В исследовании авторов [14] корни проростков лука, выращенные из семян, облученных в дозах 10, 20, 80 и 100 крад, оказались более чувствительны к действию радиации, чем ростки. В исследовании Лю (Liu) и соавт. [15] семена пшеницы облучали тяжелыми ионами углерода и диапазон использованных доз был от 10 до

200 Гр. Авторы [15] отмечали угнетение выросших корней пшеницы спустя 3 сут при облучении дозами выше 30 Гр и спустя 7 сут при облучении дозами выше 60 Гр. В наших экспериментах (рис. 1 и 2) регистрировали угнетение роста корней лука спустя несколько суток после γ -облучения очень низкими дозами, начиная с 1.0 Гр. В работе Вайяпуркар (Vaijapurkar) и соавт. [9] наблюдали изменения ростовых параметров головок лука (*Allium cepa*) спустя 5 дней после облучения высокими дозами (более 5 Гр), в то время как разница цитогенетических параметров (митотический индекс и число микроядер) с контролем проявилась спустя 2 сут при более низких дозах 2–4 Гр. В отдельных работах наблюдаемые эффекты ингибирования ростовых параметров растений после облучения объяснялись цитогенетическими нарушениями и повреждениями ДНК [12, 16]. Известно, что цитогенетические нарушения являются одним из самых чувствительных параметров γ -облучения и возникают практически сразу после облучения. И поэтому в работе [16] ингибирование роста облученных проростков гороха (дозы до 10 Гр) во втором поколении объясняется индуцированной облучением геномной нестабильностью растений. Однако авторы этой работы не приводят данные по уровням цитогенетических нарушений для ингибирования роста растений.

В обзоре [12] констатируется, что повреждения молекул ДНК являются одной из главных причин гибели живых организмов после облучения. Образующиеся в результате облучения одно- и дву-нитевые разрывы ДНК могут восстанавливаться,

однако в результате репарации возникают ошибки, которые могут привести к изменениям в регуляции генома. В предыдущей нашей работе [18] проведена оценка повреждений ядерной ДНК проростков лука методом ДНК-комет и показано увеличение повреждений ДНК в диапазоне доз γ -облучения от 0.02 до 5 Гр по сравнению с контролем. Для дозовой зависимости параметра повреждений ДНК отмечен нелинейный характер: линейный участок в области малых доз и дозозависимое плато в диапазоне доз от 1 до 5 Гр [18]. Возможно, что при низких дозах облучения клетки могут эффективно репарировать возникающие разрывы ДНК. При этом наличие нерепарированных двунитевых разрывов ДНК с увеличением дозы облучения может приводить к запуску клеточной гибели [12]. И поэтому пороговый уровень накопленных хромосомных нарушений в клетках лука, предложенный выше для объяснения ингибирования роста корней, очевидно, определяется степенью повреждений ДНК. Изменения генома клетки в результате накопленных хромосомных нарушений (хромосомная нестабильность) после облучения приводят в дальнейшем к угнетению ростовых процессов корней. Как следует из полученных нами данных, повреждения хромосом после окончания облучения регистрируются в клетках даже спустя 6–10 поколений и при этом наблюдается угнетение роста корней (рис. 2).

Таким образом, используемый нами луковый биотест на основе проростков *Allium cepa* впервые показал увеличение как общей частоты хромосомных нарушений клеток в анафазе и телофазе, так и ингибирование роста корней после γ -облучения в диапазоне доз от 1.0 до 10.7 Гр. При этом максимальный отклик параметров облученных растений регистрировали в разное время восстановительного периода: максимум частоты хромосомных нарушений отмечен в первые 24 ч после облучения; максимум угнетения длины корней — спустя 216 ч после облучения. Регистрация повреждений хромосом в клетках лука (в длительный период после прекращения облучения) позволяет считать хромосомную нестабильность основной причиной угнетения роста корней. Полученные данные позволяют использовать биотест *Allium cepa* для оценки долгосрочных последствий действия γ -излучения в течение жизненного цикла растения либо в последующих поколениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Vakulovsky S.M., Kryshch I.I., Nikitin A.I., Savitsky Y.V., Malyshev S.U., Tertyshnik E.G.* Radioactive contamination of the Yenisey River // *Journal of Environmental Radioactivity*. 1995. V. 29. P. 225–236.
2. *Сухоруков Ф.В., Дегерменджи А.Г., Белолуцкий В.М. и др.* Закономерности распределения и миграции радионуклидов в долине реки Енисей. Новосибирск, Изд-во СО РАН. Филиал “Гео”. 2004. 286 с. [*Sukhorukov F.V., Degermendzhi A.G., Belolipetskii V.M. et al.* Distribution and Migration of Radionuclides in the Yenisei River Valley (Izd-vo SO RAN, “Geo” Branch, Novosibirsk, 2004) (in Russian)].
3. *Bolsunovsky A., Melgunov M.* Radioactive particles in the Yenisei River floodplain (Russia): characterization, leaching and potential effects in the environment // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2019. V. 208–209. № 105991. P. 1–8.
4. *Bolsunovsky A., Dementyev D., Trofimova E.* Biomonitoring of radioactive contamination of the Yenisei River using aquatic plants // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2020. V. 211. Art. No. 106100.
5. *Bolsunovsky A., Frolova T., Dementyev D., Sinitsyna O.* Low doses of gamma-radiation induce SOS response and increase mutation frequency in *Escherichia coli* and *Salmonella typhimurium* cells // *Ecotoxicol. and Environ. Safety*. 2016. V. 134. P. 233–238.
6. *Bolsunovsky A., Dementyev D., Trofimova E., et al.* Chromosomal aberrations and micronuclei induced in onion (*Allium cepa*) by gamma-radiation // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2019. V. 207. P. 1–6.
7. *Трофимова Е.А., Деметьев Д.В., Болсуновский А.Я.* Влияние γ -излучения на развитие растений из облученных семян и проростков *Allium cepa* L. // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2019. Т. 59. № 3. С. 293–299. [*Trofimova E.A., Dementyev D.V., Bolsunovsky A.Ya.* The Effect of γ -Rays on the Development of Plants from Irradiated Seeds and Seedlings of *Allium cepa* L. // *Radiation biology. Radioecology*. 2019. V. 59. № 3. P. 293–299. (in Russian)].
8. *Fiskesjo G.* The Allium test as a standard in environmental monitoring // *Hereditas*. 1985. V. 102. P. 99–112.
9. *Vaijapurkar S.G., Agarwal D., Chaudhuri S.K., et al.* Gamma-irradiated onions as a biological indicator of radiation dose // *Radiation measurements*. 2001. V. 33. № 5. P. 833–836.
10. *Leme D.M., Marin-Morales M.A.* Allium cepa test in environmental monitoring: a review on its application // *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*. 2009. V. 682. № 1. P. 71–81.
11. *Geras'kin S., Oudalova A., Michalik B., Dikareva N., Dikarev V.* Genotoxicity assay of sediment and water samples from the Upper Silesia post-mining areas, Poland by means of Allium-test // *Chemosphere*. 2011. V. 83. P. 1133–1146.
12. *Gudkov S.V., Grinberg M.A., Sukhov V., Vodenev V.* Effect of ionizing radiation on physiological and molecular processes in plants // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2019. V. 202. P. 8–24.
13. *Jan S., Parween T., Siddiqi T.O., Mahmooduzzafar.* Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products // *Environ. Rev.* 2012. V. 20. P. 17–39.
14. *Amjad M., Anjum M.A.* Effect of gamma radiation on onion seed viability, germination potential, seedling

- growth and morphology // Pak. J. Agric. Sci. 2002. 39 (3). P. 202–206.
15. Liu Qingfang, Wang Zhuanzi, Zhou Libin, et al. Relationship between plant growth and cytological effect in root apical meristem after exposure of wheat dry seeds to carbon ion beams // Nuclear instruments and method in physics research. 2013. B 305. P. 9–15.
 16. Zaka R., Chenal C., Misset M.T. Study of external low irradiation dose effects on induction of chromosome aberrations in *Pisum sativum* root tip meristem // Mutation Research /Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis. 2002. V. 517. № 1–2. P. 87–99.
 17. Matagne R. Chromosomal aberrations induced by dialkylating agents in *Allium cepa* root-tips and their relation to the mitotic cycle and DNA synthesis // Radiation Botany. 1968. V. 8. № 6. 489–497.
 18. Bolsunovsky A.Ya., Dementyev D.V., Frolova T.S., et al. Effects of gamma-radiation on DNA damage in onion (*Allium cepa* L.) seedlings // Doklady Biochemistry and Biophysics, 2019, V. 489. issue 1. P. 362–366.

EFFECT OF GAMMA RADIATION ON CYTOGENETIC AND GROWTH ENDPOINTS OF *ALLIUM CEPA* SEEDLINGS IN LONG-TERM EXPERIMENTS

A. Ya. Bolsunovsky^{a,#}, E. A. Trofimova^a, A. V. Zueva^a, D. V. Dementyev^a, and M. V. Petrichenkov^b

^a*Institute of Biophysics SB RAS, Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center SB RAS”, Krasnoyarsk, Russian Federation*

^b*Budker Institute of Nuclear Physics of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russian Federation*

[#]*e-mail: radecol@ibp.ru*

Presented by Academician of the RAS A.G. Degermendji

The effect of γ -radiation on the cytogenetic and growth endpoints of *Allium cepa* L. seedlings in a long period after irradiation in absorbed doses from 1.0 to 10.7 Gy was examined. The most sensitive to the radiation was the chromosome aberrations rate that increased immediately after exposure in all doses experienced. In the recovery period (up to 216 hours), following the irradiation, the chromosome aberration frequency consistently decreased but at the end of experiment at maximum doses, it remained above the control values. The impact of the initial level of chromosome abnormalities on the inhibition of onion roots growth in a long term after irradiation was discussed.

Keywords: Allium-test, seedlings, gamma irradiation, chromosome aberrations, recovery time, inhibition