

УДК 630*165.43:539.16.04

DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-112-119

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ МИТОТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ТКАНЕЙ *Pinus sylvestris* L.*А.В. Скок*¹, канд. биол. наук, доц.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1128-8102>*В.Н. Сорокопудов*², д-р с.-х. наук, проф.; ResearcherID: [B-1520-2018](https://orcid.org/0000-0002-0133-6919),ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0133-6919>*И.Н. Глазун*¹, канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [ABC-9610-2020](https://orcid.org/0000-0001-6625-4845),ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6625-4845>¹Брянский государственный инженерно-технологический университет, просп. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: s.anna.v@mail.ru, iglasunn@mail.ru²Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, д. 49, Москва, Россия, 127550; e-mail: sorokopud2301@mail.ru

Аннотация. Развитие ядерной энергетики в перспективе будет продолжаться, что обуславливает сохранение вероятности попадания радионуклидов в окружающую среду. Выявлена актуальность исследования генетического материала хвойных как надежного биоиндикатора. Известно, что под воздействием ионизирующего излучения происходит накопление генетических нарушений в организмах потомства сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Наиболее чувствительны к ионизирующему излучению стадии гаметогенеза, зиготы и молодых проростков растительных организмов. Важно определить вариабельность митотического индекса тканей потомства сосны обыкновенной в зонах с различным уровнем ионизирующего излучения, в том числе и в зоне отчуждения. Мощность экспозиционной дозы измеряли на уровне почвы и на высоте 1 м от поверхности земли. Проращивание семян производили в термостате на влажной фильтровальной бумаге. Фиксировали корешки проростков длиной 0,5...1,0 см в смеси 96 %-го этилового спирта и ледяной уксусной кислоты. Корешки окрашивали в растворе ацетокармина. Размягчение тканей проводили сильным раствором хлоралгидрата. На «давленных» препаратах под микроскопом учитывали общее количество клеток, количество делящихся клеток, а также патологических митозов. Определяли митотический индекс и продолжительность фаз митоза. Установлено, что при увеличении уровня радиоактивного загрязнения повышаются скорость деления клеток, количество клеток, находящихся в стадиях профазы, анафазы и телофазы, но сокращается продолжительность метафазы, а также изменяется относительная продолжительность фаз митоза. С ростом мощности экспозиционной дозы закономерно увеличивается число патологических митозов. Спектр нарушений митоза представлен различными аномалиями хромосомного аппарата в стадии анафазы: выходом и отставанием хромосом, мостами. При этом существенно возрастает количество анафаз с мостами, с одновременным выходом и отставанием хромосом.

Для цитирования: Скок А.В., Сорокопудов В.Н., Глазун И.Н. Влияние хронического ионизирующего излучения на вариабельность митотической активности тканей *Pinus sylvestris* L. // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 1. С. 112–119. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-112-119

Ключевые слова: *Pinus sylvestris* L., мощность экспозиционной дозы, фазы митоза, нарушения анафазы, мосты, отставание хромосом, выход хромосом.

Введение

Под действием экологических факторов и в результате жизнедеятельности организмов биогеоценозы видоизменяются. Антропогенные факторы

оказывают на биогеоценоз многогранное воздействие. Среди множества факторов, негативно влияющих на экосистему, следует назвать экологическое загрязнение. К основным компонентам, загрязняющим атмосферу, относятся озон, сернистый газ, оксиды углерода (CO , CO_2) и азота, углеводороды. Основными источниками выбросов служат транспорт, сельское хозяйство (пестициды и удобрения). Тяжелые металлы оказывают токсическое действие на фитоценозы [17, 20], вызывают мутации в растениях.

Ионизирующее излучение губительно воздействует на среду обитания. Радиация является вездесущей, всепроникающей и бесконечной. Радиоактивное излучение, воздействуя на биогеоценоз, изменяет его состав и структуру. Уровень лучевой реакции зависит от радиочувствительности видов и взаимоотношений их с другими организмами в биоценозе.

Радиацией повреждаются органы и ткани растений, клетки и внутриклеточные структуры [1, 5, 8, 10, 13, 19]. Загрязненный воздух изменяет рост и развитие растений [1, 5, 10]. В условиях ионизирующего загрязнения также появляются изменения в митозе, мейозе и образуется стерильная пыльца [2, 3, 12, 14]. Радиоактивное воздействие на растения проявляется в стимуляции или угнетении роста растений, вплоть до летального эффекта. Ранние стадии развития организма в большей степени подвержены воздействию ионизирующего излучения. Нарушения в стадии гаметогенеза приводят к стерильности.

Результаты воздействия радиоактивного облучения зависят от радиочувствительности организмов, вида и мощности излучения [6, 8, 9, 15]. Воздействие радиационного фактора приводит к отбору в популяции под воздействием мутирования, понижает жизнеспособность особей.

Стадии гаметогенеза, зиготы и молодых проростков особенно чувствительны к ионизирующему облучению. Ионизирующее облучение пронизывает весь генетический аппарат клетки, вызывая хромосомные aberrации [4, 11, 12, 18].

Генотипическому разнообразию особей, подвергающихся ионизирующему облучению, способствует индивидуальная изменчивость. Для проявления фенотипа каждого генотипа значение имеют и условия среды. В популяции появляются особи с повышенной и пониженной устойчивостью к облучению [10, 12, 16].

Наиболее сильно повреждаются меристемы хвойных растений, меньше – листовых растений. Ионизирующее излучение вызывает нарушения у хвойных видов на всех стадиях развития по причине больших размеров хромосом [1, 6].

Под влиянием радиации могут разрываться хромосомы, возникать делеции, инверсии, дупликации, транслокации. Разрывы хромосом приводят к образованию ионных пар, способствующих появлению свободных радикалов [2, 3, 12]. Степень повреждения организмов под воздействием ионизирующего облучения оценивают по изменениям в репродуктивных органах и частоте хромосомных aberrаций [2, 3].

Повреждение молекул дезоксирибонуклеиновой кислоты может приводить к гибели клеток. Но этому событию препятствуют внутриклеточные системы

репарации. Генотипическая и фенотипическая вариабельность увеличивается не только от действия радиации, но от других активных факторов, что позволяет предполагать универсальную, общебиологическую значимость перестроек генома [5].

Цель исследования – изучение вариабельности митотической активности тканей потомства сосны обыкновенной при различных уровнях радиоактивного загрязнения.

Объекты и методы исследования

Пробная площадь (ПП) контрольных насаждений (ПП № 15) располагается на территории Учебно-опытного лесничества в кв. 75 ГКУ Брянской области (плотность загрязнения – менее 1 Ки/км²). Пробные площади с разным уровнем ионизирующего облучения находятся на территории Брянской области, Клинцовского лесничества: ПП № 31 в кв. 4 (зона отчуждения – плотность загрязнения почвы свыше 80 Ки/км²); ПП № 35 в кв. 21 (зона отселения – плотность загрязнения почвы 40...80 Ки/км²); ПП № 32 в кв. 14 (зона проживания с правом на отселение – плотность загрязнения почвы 5,1...15,0 Ки/км²).

Учет мощности экспозиционной дозы (МЭД) осуществляли ежегодно на каждой ПП с помощью дозиметра ДРГ-01Т на почве и на высоте 1 м от поверхности земли.

Семена, полученные с каждой ПП, проращивали при температуре 25 °С.

Фиксацию корешков длиной 0,5...1,0 см осуществляли в смеси ледяной уксусной кислоты и 96 %-го этилового спирта. Окрашивание тканей выполняли раствором ацетокармина. Сильным раствором (60 %) хлоралгидрата проводили мацерацию тканей. На временных препаратах под микроскопом учитывали: общее количество клеток, количество делящихся клеток, а также патологических митозов (ПМ).

Статистические критерии рассчитывали, используя митотические индексы (МИ) [7]. Индекс МИ определяли отношением количества делящихся клеток в фазах митоза на их общее число (%). Продолжительность фазы митоза рассчитывали делением количества клеток в определенной фазе на количество делящихся клеток (%), количество ПМ (%) находили как сумму анафаз с нарушениями деления (%), степень воздействия – по количеству ПМ [2].

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные результаты исследования, приведенные в таблице, показали, что МИ в корешках проростков загрязненных насаждений закономерно увеличивается с 5,98 (ПП № 15 – контроль) до 7,65 % (ПП № 35, МЭД = 239 мкР/ч), т. е. наблюдается активация темпов митоза. Активация МИ существенна (по сравнению с контролем) у корешков проростков на ПП № 35 при МЭД = 239 мкР/ч и на ПП № 31 при МЭД = 643 мкР/ч ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ при $P = 95,0$ %).

При возрастании МЭД происходит изменение длительности протекания отдельных фаз митоза.

С увеличением МЭД растет количество клеток в профазе. При высоком радиационном фоне (МЭД = 239 мкР/ч) наблюдается минимальное количество

Вариабельность митотического индекса, фаз митоза и нарушений в анафазе

МЭД на почве ПП, мкР/ч	МИ, %	Относительная продолжительность фаз митоза, %					Количество ПМ и типы нарушений анафаз, %				
		Профаза	Метафаза	Анафаза	Телофаза	ПМ	Мосты	Выход хромосом вперед	Отставание хромосом	Одновременно выход и отставание хромосом	
<i>ПП № 31</i>											
643	7,37±0,85	12,60±2,22	33,31±0,43	41,77±1,40	12,29±1,25	7,06	2,14±0,70	0,08±0,05	3,05±0,96	1,77±0,39	
<i>ПП № 35</i>											
239	7,65±0,56	9,98±2,85	35,78±0,93	37,96±2,28	18,25±2,77	6,34	1,95±0,81	0,78±0,33	2,37±0,22	1,23±0,46	
<i>ПП № 32</i>											
40	6,02±0,58	11,48±1,33	35,77±1,05	39,33±1,82	13,40±1,51	8,19	0,80±0,43	2,45±0,15	3,96±0,45	0,97±0,44	
<i>Контроль – ПП № 15</i>											
12	5,98±0,07	11,49±0,75	40,10±0,02	36,14±1,51	12,25±2,28	7,01	0,61±0,41	0,98±0,51	4,40±2,46	1,00±0,51	

клеток в стадии профазы (9,98 %). Количество клеток в стадии профазы при МЭД = 643 мкР/ч достоверно выше, чем при МЭД = 239 мкР/ч ($P = 95,0$ %).

В стадии метафазы количество клеток уменьшается с повышением уровня ионизирующего облучения. В контроле (40,10 %) достоверно увеличено число клеток в стадии метафазы по сравнению с МЭД = 643 мкР/ч (33,31 %): $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ при $P = 99,0$ %. При МЭД = 239 мкР/ч (35,78 %) и МЭД = 40 мкР/ч (35,77 %) значительно снижена скорость деления в стадии метафазы по сравнению с контролем ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ при $P = 95,0$ %).

В стадии анафазы наблюдается значительное превышение контроля (36,14 %) при МЭД = 643 мкР/ч (41,77 %) ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ при $P = 99,0$ %). Достоверно снижена в контроле продолжительность анафазы при МЭД = 40 мкР/ч (39,33 %) ($P = 95,0$ %).

Максимальная продолжительность телофазы (18,25 %), установленная при МЭД = 239 мкР/ч, значительно превышает контроль (12,25 %), $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ при $P = 99,0$ %.

В целом ионизирующее излучение повышает скорость митоза. При увеличении мощности экспозиционной дозы скорость деления клеток растет в стадиях профазы, анафазы и телофазы, но снижается в стадии метафазы.

Спектр нарушений представлен различными аномалиями хромосомного аппарата в стадии анафазы: мостами, выходом, отставанием, одновременным выходом и отставанием хромосом.

С увеличением МЭД растет число ПМ, наибольшее (8,19 %) отмечено при МЭД = 40 мкР/ч (ПП № 32), минимальное (6,34 %) – при МЭД = 239 мкР/ч (ПП № 35).

Достоверно повышается число анафаз с мостами при увеличении уровня радиоактивного излучения. Наибольшее количество таких клеток (2,14 %) обнаружено при МЭД = 643 мкР/ч ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл.}}$ при $P = 99,0 \%$).

Скорость деления клеток в анафазе с выходом хромосом вперед значительно увеличено при МЭД = 40 мкР/ч (2,45 %) и уменьшено при МЭД = 643 мкР/ч (0,08 %), $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ при $P = 95,0 \%$.

Количество анафаз с отставанием хромосом в контроле существенно увеличено ($P = 95,0 \%$) по сравнению с их количеством при повышенном уровне ионизирующего излучения.

С ростом радиационного фона достоверно возрастает количество клеток с одновременным выходом и отставанием хромосом. При МЭД = 643 мкР/ч и МЭД = 239 мкР/ч встречается их наибольшее количество ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ при $P = 99,0 \%$).

Заключение

Таким образом, сосновые насаждения достаточно чутко реагируют на техногенные факторы посредством нарушения процессов деления в клетках. Анализ полученных результатов показал, что насаждения потомства сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в районе исследования испытывают существенное влияние хронического ионизирующего облучения. При увеличении уровня радиоактивного загрязнения усиливается скорость деления клеток, а также изменяется относительная продолжительность фаз митоза, возрастает количество клеток, находящихся в стадиях профазы, анафазы и телофазы, но сокращается продолжительность метафазы. С ростом мощности экспозиционной дозы повышается число патологических митозов. Спектр нарушений митоза представлен различными аномалиями хромосомного аппарата в стадии анафазы: мостами, выходом и отставанием хромосом. При увеличении дозы ионизирующего излучения существенно возрастает количество анафаз с мостами, с одновременным выходом, отставанием хромосом. Под воздействием хронического ионизирующего излучения происходит накопление генетических нарушений в организмах потомства *Pinus sylvestris* L., поэтому оно нуждается прежде всего в особенно тщательном наблюдении и контроле за изменением генетических показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Абрамов В.И., Динева С.В., Рубанович А.В., Шевченко В.А. Генетические последствия радиоактивного загрязнения популяций *Arabidopsis thaliana*, произрастающих в 30-километровой зоне аварии на ЧАЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 1995. Т. 35, вып. 5. С. 676–689. [Abramov V.I., Dineva S.V., Rubanovich A.V., Shevchenko V.A. Genetic Consequences of Radioactive Contamination of Populations of *Arabidopsis thaliana* Growing in the 30-km Zone of the Chernobyl Accident. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology], 1995, vol. 35, iss. 5, pp. 676–689].

2. Буторина А.К., Вострикова Т.В. Изучение цитогенетических показателей у березы повислой в условиях антропогенной нагрузки // Интеграция науки и высшего лесотехнического образования по управлению качеством леса и лесной продукции: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Воронеж, 25–27 сент. 2001 г.). Воронеж, 2001. С. 78–82. [Butorina A.K., Vostrikova T.V. The Study of Cytogenetic Parameters in White Birch under Anthropogenic Stress. *Integration of Science and Higher Forestry Education in*

Forest and Forest Product Quality Management: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Voronezh, September 25–27, 2001). Voronezh, 2001, pp. 78–82].

3. Буторина А.К., Калаев В.Н., Миронов А.Н., Смородинова В.А., Мазурова И.Э., Дорошев С.А., Сенькевич Е.В. Цитогенетическая изменчивость в популяциях сосны обыкновенной // Экология. 2001. № 3. С. 216–220. [Butorina A.K., Kalaev V.N., Mironov A.N., Smorodinova V.A., Mazurova I.E., Doroshev S.A., Sen'kevich E.V. Cytogenetic Variation in Populations of Scots Pine. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 2001, no. 3, pp. 216–220]. DOI: [10.1023/A:1011366328809](https://doi.org/10.1023/A:1011366328809)

4. Горячкина О.В., Сизых О.А. Цитогенетические реакции хвойных растений в антропогенно нарушенных районах г. Красноярска и его окрестностей // Хвойные бореальной зоны. 2012. Т. XXX, № 1-2. С. 46–51. [Goryachkina O.V., Sizykh O.A. Cytogenetic Responses of Coniferous Plants in Anthropogenically Disturbed Areas of Krasnoyarsk and Its Vicinities. *Hvojnye boreal'noj zony* [Conifers of the boreal area], 2012, vol. 30, no. 1-2, pp. 46–51].

5. Гродзинский Д.М. Радиобиология растений. Киев: Наук. думка, 1989. 380 с. [Grodzinskiy D.M. *Radiobiology of Plants*. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1989. 380 p.].

6. Дмитриева С.А. Методология биотестирования состояния окружающей среды на основе цитогенетических исследований // Тез. V междунар. совещания по кариологии, кариосистематике и молекулярной систематике растений. СПб., 2005. С. 31–32. [Dmitriyeva S.A. Methodology of Environmental Biotesting Based on Cytogenetic Studies. *Proceedings of the 5th International Conference on Karyology, Karyosystematics and Molecular Systematics of Plants*. Saint Petersburg, 2005, pp. 31–32].

7. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с. [Zaytsev G.N. *Mathematical Statistics in Experimental Botany*. Moscow, Nauka Publ., 1984. 424 p.].

8. Ипатьев В.А., Багинский В.Ф., Булавик И.М., Дворник А.М., Волчков В.Е., Гончаренко Г.Г. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации /под ред. В.А. Ипатьева. Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 1999. С. 55–67. [Ipat'yev V.A., Baginskiy V.F., Bulavik I.M., Dvornik A.M., Volchkov V.E., Goncharenko G.G. *Forest. Man. Chernobyl. Forest Ecosystems after the Chernobyl Accident: State, Forecast, Reaction of the Population, Ways of Rehabilitation*. Ed. by V.A. Ipat'yev. Gomel, Institut lesa NAN Belarusi Publ., 1999, pp. 55–67].

9. Калашник Н.А. Хромосомные нарушения как индикатор оценки степени техногенного воздействия на хвойные насаждения // Экология. 2008. № 4. С. 276–286. [Kalashnik N.A. Chromosome Aberrations as Indicator of Technogenic Impact on Conifer Stands. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 2008, no. 4, pp. 276–286]. DOI: [10.1134/S106741360804005X](https://doi.org/10.1134/S106741360804005X)

10. Криволицкий Д.А., Тихомиров Ф.А., Федоров Е.А. Действие ионизирующей радиации на биогеоценоз. М.: Наука, 1988. 240 с. [Krivolitskiy D.A., Tikhomirov F.A., Fedorov E.A. *The Effect of Ionizing Radiation on Biogeocenosis*. Moscow, Nauka Publ., 1988. 240 p.].

11. Муратова Е.Н. Хромосомные числа голосеменных растений: *Pinaceae* (*Picea-Pinus*) // Ботан. журн. 2011. Т. 96, № 10. С. 1389–1404. [Muratova E.N. Chromosome Numbers of Gymnosperms: *Pinaceae* (*Picea-Pinus*). *Botanicheskiy Zhurnal*, 2011, vol. 96, no. 10, pp. 1389–1404].

12. Позолотина В.Н. Отдаленные последствия действия радиации на растения: дис. ... д-ра биол. наук. Екатеринбург, 2001. 401 с. [Pozolotina V.N. *Long-Term Effects of Radiation on Plants*: Dr. Biol. Sci. Diss. Yekaterinburg, 2001. 401 p.].

13. Alberts B., Johnson A., Lewis J., Raff M., Roberts K., Walter P. *Molecular Biology of the Cell*. New York, Garland Science, 2008. 1616 p.
14. Evert R.F., Eichhorn S.E. *Raven Biology of Plants*. W.H. Freeman & Co, 2013. 900 p.
15. Hartwell L., Hood L., Goldberg M., Reynolds A.E., Silver L. *Genetics: From Genes to Genomes*. McGraw-Hill Education, 2010. 816 p.
16. Lackie J.M. *The Dictionary of Cell and Molecular Biology*. Amsterdam, Academic Press, 2013. 750 p. DOI: [10.1016/C2009-0-64239-2](https://doi.org/10.1016/C2009-0-64239-2)
17. Morgan D.O. *The Cell Cycle: Principles of Control*. London, New Science Press, 2007. 297 p.
18. Redei G.P. *Encyclopedia of Genetics, Genomics, Proteomics, and Informatics*. The Netherlands, Springer, 2008. 2201 p.
19. Rodionov S.S. Environmental Management in the Present State of the Information. *The Strategies of Modern Science Development: Proceedings of the III International Conference*. Yelm, WA, Science Book Publishing House, 2013, pp.183–186.
20. Ziegler I. The Effect of SO₂ Pollution on Plants Metabolism. *Residue Reviews*. New York, Springer-Verlag, 1975, vol. 56, pp. 79–105. DOI: [10.1007/978-1-4613-9388-7_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9388-7_2)

INFLUENCE OF CHRONIC IONIZING RADIATION ON THE VARIABILITY OF MITOTIC ACTIVITY OF *Pinus sylvestris* L. TISSUES

*Anna V. Skok*¹, Candidate of Biology, Assoc. Prof.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1128-8102>

*Vladimir N. Sorokopudov*², Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [B-1520-2018](https://orcid.org/0000-0002-0133-6919),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0133-6919>

*Igor' N. Glazun*¹, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [ABC-9610-2020](https://orcid.org/0000-0001-6625-4845),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6625-4845>

¹Bryansk State Engineering and Technology University, prosp. Stanke Dimitrova, 3, Bryansk, 241037, Russian Federation; e-mail: s.anna.v@mail.ru, iglasunn@mail.ru

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ul. Timiryazevskaya, 49, Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: sorokopud2301@mail.ru

Abstract. The development of nuclear power engineering will increase in the future, due to the continued likelihood of radionuclides entering the environment. The relevance of studying the genetic material of conifers as a reliable bioindicator was revealed. It is known that under the influence of ionizing radiation there is an accumulation of genetic abnormalities in pine (*Pinus sylvestris* L.) progeny. The stages of gametogenesis, zygotes and young seedlings of plant organisms are most sensitive to ionizing radiation. It is important to determine the variability of the mitotic index (MI) of tissues of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) progeny in areas with different levels of ionizing radiation, including in the exclusion zone. The exposure dose rate was measured at the soil level and 1 m from the ground surface. Germination of seeds was carried out in a thermostat on wet filter paper. Roots of seedlings 0.5–1 cm long were fixed in a mixture of 96 % ethanol and glacial acetic acid. Root staining was carried out in a solution of acetocarmine. Tissue softening was carried out with a strong chloral hydrate solution. The total number of dividing cells, as well as pathological mitoses (PM) were counted on squash preparations using a microscope. The mitotic index and the duration of the phases of mitosis were determined. An increase in the level of radioactive contamination increases the cell

division rate in prophase, anaphase, and telophase, but decreases the duration of metaphase, and also changes the relative duration of mitosis phases. With an increase in the exposure dose rate, the number of pathological mitoses naturally increases. The spectrum of mitosis disorders is represented by various abnormalities of the chromosome apparatus in anaphase: exit and lagging of chromosomes, bridges. Herewith, the number of anaphases with bridges increases significantly with simultaneous exit and lagging of chromosomes.

For citation: Skok A.V., Sorokopudov V.N., Glazun I.N. Influence of Chronic Ionizing Radiation on the Variability of Mitotic Activity of *Pinus sylvestris* L. Tissues. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 1, pp. 112–119. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-112-119

Keywords: *Pinus sylvestris* L., exposure dose rate, mitosis phases, anaphase abnormalities, bridges, chromosome lagging, chromosome exit.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
The authors declare that there is no conflict of interest

Поступила 28.09.19 / Received on September 28, 2019
