

Динамика индекса загрязненности вод бассейна Среднего Дона

Наименование реки	Значение ИЗВ / класс качества вод				
	1999 г.	2000 г.	2001 г.	2002 г.	2003 г.
1. Дон (выше г. Лиски)	1,98 / III	1,66 / III	1,49 / III	1,40 / III	1,22 / III
2. Икорец	0,93 / II	1,55 / III	1,06 / III	1,50 / III	1,16 / III
3. Битюг	0,77 / II	0,81 / II	1,08 / III	1,27 / III	1,28 / III
4. Черная Калитва	1,72 / III	1,61 / III	2,80 / IV	1,24 / III	2,42 / IV
5. Богучарка	1,28 / III	1,69 / III	1,28 / III	1,21 / III	2,28 / IV
6. Толучеевка	1,65 / III	1,29 / III	1,97 / III	1,53 / III	1,84 / III
7. Дон (на границе между Воронежской и Ростовской областями)	0,97 / II	1,55 / III	1,16 / III	1,08 / III	1,54 / III

которого могут служить информационной базой для принятия решений по реализации природоохранных мероприятий, направленных на снижение уровня загрязнения водных объектов и предотвращение деградации речных бассейнов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курдов А.Г. Реки Воронежской области (водный режим и охрана) / А.Г. Курдов. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1984. – 164 с.
2. Мишон В.М. Где начинался в древности и начинается сейчас Дон / В.М. Мишон, И.П.

Дворниченко, Е.В. Кандыбко // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. География и геоэкология. – 2000. – №4. – С. 169-172.

3. Самохин А.Ф. Дон и его притоки / А.Ф. Самохин. – Ростов-на-Дону: Ростовское областное книгоиздательство, 1948. – 80 с.

4. Доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых, водных, лесных ресурсов, состоянии и охране окружающей среды Воронежской области в 2003 году / В.С. Маликов [и др.]. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2004. – 192 с.

5. Муравьев А.Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами / А.Г. Муравьев. – СПб.: Крисмас+, 1999. – 231 с.

УДК 575.224.4:614.876

В.Н. Калаев, А.К. Буторина, В.Н. Марухленко, В.М. Вахтель, А.Г. Бабенко

ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ АКТИВНОСТЕЙ РАДОНА НА ЯДЕРНЫЕ СТРУКТУРЫ КЛЕТОК АПИКАЛЬНОЙ МЕРИСТЕМЫ КОРНЕЙ ZEBRINA PENDULA SCHNIZL (ЯДРЫШКОВЫЙ ТЕСТ)

Проблема воздействия на живые организмы низких активностей радона является одной из актуальнейших в современной радиобиологии. Это связано с существованием двух противоположных мнений о влиянии низких доз радиации (в частности радона) на человека. Ряд

авторов считает низкие активности радона безвредными, а иногда и полезными для здоровья человека [1, 2, 3, 4, 5], другие, наоборот, придерживаются мнения, что радон и продукты его распада вносят существенный вклад (более половины дозы, получаемой от есте-

**Влияние низких активностей радона на ядерные структуры клеток апикальной меристемы
корней *Zebrina pendula* Schnizl (Ядрышковый тест)**

ственных источников радиации) в облучение населения, и радон ответственен за 6-20% случаев рака легких [6, 7, 8, 9, 10]. В настоящий момент хорошо изучены биологические эффекты высоких активностей радона [11] на животных объектах. Эффекты низких активностей слабо исследованы. Большинство данных в этой области носят статистический характер и базируются на сравнительном анализе данных по заболеваемости людей раком легких и загрязненностью радоном жилых помещений [8, 12].

Ранее нами проводились исследования цитогенетических показателей традесканции *Zebrina pendula* Schnizl при облучении радоном в эквивалентных равновесных объемных активностях (ЭРОА) 100, 1800, 6100 и 27500 Бк/м³ [13, 14, 15, 16]. Эффекты облучения наблюдались при воздействии на растительные объекты ЭРОА 1800 Бк/м³ и более. При воздействии активностей 200 и 400 Бк/м³ была отмечена задержка прохождения клетками стадий митоза (что связано с работой системы checkpoint-контроля целостности генетического материала), увеличение встречаемости остаточных ядрышек в интерфазе, рост числа ядрышек в клетке, появление амитозоподобных фигур [17]. Для более тонкого исследования влияния низких активностей радона была предпринята попытка детального изучения ядрышковых характеристик, которые проявляют максимальную чувствительность к воздействию пороговых значений мутагенов [18, 19, 20]. В связи с вышеизложенным была предпринята попытка выявить влияние предельно допустимых для жилых помещений активностей радона 200 Бк/м³ (для новых зданий) и 400 Бк/м³ (для старых зданий) на ядрышковые характеристики клеток апикальной меристемы корней *Zebrina pendula* Schnizl.

Эксперименты по облучению *Zebrina pendula* Schnizl. радоном, фиксацию материала и изготовление давленных микропрепаратов проводили по описанной ранее методике [17, 21]. Просмотр микропрепаратов осуществляли на микроскопе LABOVAL-4 (Carl Zeiss, Jena) при увеличении 100 x 1,5 x 10. На препарате просматривали 100 клеток и вели подсчет

процента клеток с *n* ядрышками в ядре, определяли размер ядер, ядрышек и ядерно-ядрышковые отношения, процент встречаемости ядрышек типа кора-сердцевина, кора-сердцевина с вакуолью, компактные, вакуолизированные. Классификацию ядрышек проводили по П.В. Челидзе, О.В. Зацепиной [22].

Всего было проанализировано в контроле 16 микропрепаратов (1600 клеток); при облучении ЭРОА радона 200 Бк/м³ – 12 препаратов (1200 клеток); при облучении ЭРОА радона 400 Бк/м³ – 18 препаратов (1800 клеток).

Обработку результатов осуществляли с использованием статистического пакета программ «Stadia». Процедура группировки данных и их обработка изложены в работе А.П. Кулаичева [23].

Выявление фактора облучения проводили с использованием однофакторного параметрического (силу влияния определяли по Снедекору) и непараметрического (Крускала-Уоллиса) дисперсионного анализа, сравнение выборок между собой осуществляли с помощью *t*-критерия Стьюдента, *X*-критерия рангов Вандер-Вардена и *U*-критерия Вилкоксона. Корреляционные связи выявляли с использованием непараметрического (Спирмена, *r_s*) коэффициента корреляции.

В результате проведенных исследований выявлено влияние облучения на частоту встречаемости клеток с одним ядрышком в ядре (сила влияния – 5,8%, *P*<0,01). При облучении ЭРОА радона 200 и 400 Бк/м³ наблюдается снижение доли клеток с одним ядрышком по сравнению с контролем (таблица 1). Сравнение частот встречаемости клеток с двумя ядрышками в ядре показывает их достоверный рост (сила влияния фактора облучения – 5,8%, *P*<0,01) при облучении зебрины повислой ЭРОА радона 200 (*P*<0,05) и 400 Бк/м³ (*P*<0,01). Влияние фактора облучения на встречаемость клеток с тремя ядрышками в ядре не обнаружено, хотя наблюдается тенденция возрастания доли таких клеток при облучении.

Заслуживает внимания факт встречаемости клеток с четырьмя ядрышками в ядре при облучении активностью 200 Бк/м³, их доля составила 0,2±0,1% от общего числа проана-

Таблица 1

Частота встречаемости клеток с различным числом ядрышек в ядре в апикальной меристеме корней *Zebrina pendula* Schnizl. при облучении ЭРОА радона 200, 400 Бк/м³ и в контроле

ЭРОА радона, Бк/м ³	Процент клеток с п ядрышками в ядре		
	n=1	n=2	n=3
200	65,2±4,3*	31,0±3,4*	3,7±1,2
400	65,8±2,0**	30,2±1,7**	3,9±0,8
Контроль	76,3±2,3	21,6±2,1	2,1±0,5

Обозначения:

* – различия с контролем достоверны ($P<0,05$);

** – различия с контролем достоверны ($P<0,01$).

Таблица 2

Объем ядер, ядрышек и ядерно-ядрышковые отношения в клетках апикальной меристемы корней *Zebrina pendula* Schnizl. при облучении ЭРОА радона 200, 400 Бк/м³ и в контроле

ЭРОА радона, Бк/м ³	Объем ядер, мкм ³	Объем ядрышек, мкм ³	Ядерно-ядрышковые отношения
200	3907,0±267,2*	472,6±51,6	9,6±1,2***
400	4904,0±277,7** ¹	765,1±112,9*** ¹	9,4±1,0***
Контроль	6045,0±379,5	582,2±59,8	15,0±2,9

Обозначения:

* – различия с контролем достоверны ($P<0,001$);

** – различия с контролем достоверны ($P<0,05$);

*** – различия с контролем достоверны ($P<0,01$);

¹ – различия с 200 Бк/м³ достоверны ($P<0,05$).

лизированных клеток. Статистически достоверных различий в частотах встречаемости ядрышек при облучении ЭРОА 200 и 400 Бк/м³ не выявлено. Полученные результаты свидетельствуют об активации ядрышкообразующих районов хромосом при облучении радоном и указывают на инициацию нестохастических биологических эффектов используемыми концентрациями радона. Отсутствие различий во встречаемости клеток с ядрышками при облучении ЭРОА радона 200 и 400 Бк/м³, скорее всего, связано с выходом системы на новый триггерный уровень при стрессовом воздействии радонового облучения и нелинейными биологическими эффектами при воздействии малых доз радиации.

Эти данные подтверждаются при подсчете среднего числа ядрышек на клетку (рисунок): однофакторный дисперсионный анализ выявил влияние фактора облучения (сила влияния – 5,9%, $P<0,05$). Опытные образцы различались

с контролем (200 Бк/м³ ($P<0,05$), 400 Бк/м³ ($P<0,01$)). Различий между средним числом ядрышек в ядре при воздействии ЭРОА 200 и 400 Бк/м³ не обнаружено.

Исследования объема ядрышек на препаратах (таблица 2) позволили выявить влияние фактора облучения на этот критерий (сила влияния – 7,3%, $P<0,05$). Между опытными и контрольными образцами различий не выявлено, но установлены существенные различия в объемах ядрышек между двумя сериями опытов (воздействие ЭРОА 200 и 400 Бк/м³) ($P<0,05$). При анализе данных по объему ядер (таблица 2) наблюдается противоположная тенденция. Наибольший объем ядер отмечен в контроле (6045±379,5 мкм³), а наименьший – при облучении ЭРОА радона 200 Бк/м³ (3907±267,2 мкм³). Однофакторный дисперсионный анализ показал влияние фактора облучения на объемы ядер (сила влияния 4,1%, $P<0,001$). Различия контрольных препаратов с

Влияние низких активностей радона на ядерные структуры клеток апикальной меристемы корней *Zebrina pendula* Schnizl (Ядрышковый тест)

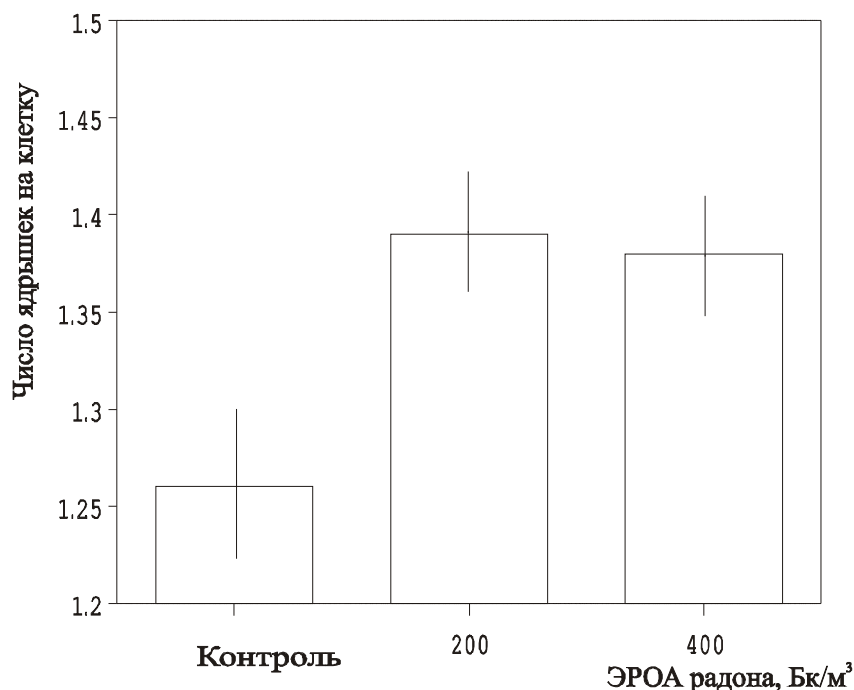


Рис. Число ядрышек на клетку в апикальной меристеме корней *Zebrina pendula* Schnizl при облучении ЭРОА радона 200, 400 Бк/м³ и в контроле

облученными достоверны ($P < 0,05$). Для более точного выяснения тенденции изменений объемов ядер и ядрышек нами были рассчитаны ядерно-ядрышковые отношения (таблица 2). Для анализа использовались медианы значений, т.к. они сглаживают значительное варьирование этого показателя среди клеток препарата.

Непараметрический дисперсионный анализ показал влияние фактора облучения на медианы значений ядерно-ядрышковых отношений ($P < 0,05$).

Наибольшие ядерно-ядрышковые отношения отмечены в контроле ($15,0 \pm 2,9$). Они превышают таковые значения в опыте ($P < 0,01$). Между опытными образцами различий не выявлено. Такая закономерность подтверждает высказанное выше предположение об усилении ядрышковой активности при облучении в эквивалентных равновесных объемных активностях радона 200 и 400 Бк/м³, то есть при воздействии радиации наблюдается относительное увеличение объемов ядрышек. Подобные эффекты наблюдались рядом авторов у растительных объектов в условиях антропогенного загрязнения и на границе ареалов [24, 25, 26].

Представляются интересными исследования различных типов ядрышек на опытных и контрольных образцах. Выявлены достоверные изменения встречаемости различных типов ядрышек в опыте и в контроле (таблица 3). Наиболее широкий спектр различных типов ядрышек отмечается в контрольных образцах. При облучении происходит резкое уменьшение компактных и вакуолизированных ядрышек (при воздействии ЭРОА 400 Бк/м³ они вообще исчезают). В опытных образцах отмечается рост доли ядрышек кора-сердцевина с вакуолью, изменение встречаемости высокоактивных ядрышек носит более сложный характер, при облучении 200 Бк/м³ наблюдается рост доли этих ядрышек по сравнению с контролем ($P < 0,05$), при 400 Бк/м³ тенденция противоположная. Варьирование встречаемости различных типов ядрышек связано с изменением протекания метаболических процессов в облучаемом объекте. Скорее всего широкий спектр различных типов ядрышек обеспечивает возможный мобилизационный резерв при стрессовом воздействии. Для поддержания своего функционирования все клетки в ткани начинают однообразно реагировать на облучение, изменяя ход своих метаболических реакций.

Встречаемость различных типов ядрышек в клетках апикальной меристемы корней *Zebrina pendula* Schnizl при облучении ЭРОА радона 200, 400 Бк/м³ и в контроле

ЭРОА радона, Бк/м ³	Процент встречаемости различных типов ядрышек			
	Кора-сердцевина	Кора-сердцевина с вакуолью	Компактные	Вакуолизованные
200	82,0 $\pm$ 3,4*	17,8 $\pm$ 3,5	0,2 $\pm$ 0,1**	0,1 $\pm$ 0,1**
400	6,4 $\pm$ 2,7** ¹	93,6 $\pm$ 2,7** ¹	0	0
Контроль	71,3 $\pm$ 4,4	13,5 $\pm$ 3,3	12,4 $\pm$ 1,7	3,1 $\pm$ 0,8

Обозначения:

* – различия с контролем достоверны ($P < 0,05$);

** – различия с контролем достоверны ($P < 0,001$);

¹ – различия с 200 Бк/м³ достоверны ($P < 0,001$).

Выявлена положительная корреляция между встречаемостью ядрышек типа «кора-сердцевина с вакуолью» и числом ядрышек в клетке ($r_s = 0,4321$, $P < 0,01$) и отрицательная корреляция – между процентом ядрышек «кора-сердцевина» и числом ядрышек на клетку ($r_s = -0,3082$, $P < 0,05$). Скорее всего, такая зависимость может быть объяснена с позиций существования двух механизмов компенсации недостатков белков в клетке. Первый механизм связан с активацией «спящих» ядрышкообразующих районов (цитологически это проявляется в увеличении числа ядрышек в клетке). Второй механизм связан с активацией ранее работающих ядрышкообразующих районов.

Таким образом, полученные данные доказывают, что исследованные ЭРОА радона могут вызывать усиление транскрипции рибосомальных генов, являющееся следствием усиления метаболических процессов в клетке. Это подтверждает высказанное ранее предположение о возможных нестохастических биологических эффектах при воздействии указанных активностей и необходимости снижения ПДК радона в жилых помещениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Peto J. Lung Cancer – Radon Risk Reassessed / J. Peto, S. Darby // Nature. – 1994. – V. 368. – P. 97-98.
2. Kendall G.M. Five fallacies about radon / G.M. Kendall, C.R. Muirhead // J. Radiol. Prot. – 1997. – V. 17, №3. – P. 195-196.
3. Кеирим-Маркус И.Б. Новые сведения о действии на людей малых доз ионизирующего излучения – кризис господствующей концепции регла-

ментации облучения? / И.Б. Кеирим-Маркус // Бюл. центра обществ. инф. по атом. энергии. – 1996. – №8. – С. 33-37.

4. Кузин А.М. Стимулирующее действие ионизирующего излучения на биологические процессы / А.М. Кузин. – М.: Атомиздат, 1977. – 136 с.

5. Кузин А.М. Природный радиоактивный фон и его значение для биосферы Земли / А.М. Кузин. – М.: Наука, 1991. – 115 с.

6. Аверкина Н.А. Проблема канцерогенного влияния радона на организм человека (обзор литературы) / Н.А. Аверкина // Медицина труда и промышленная экология. – 1996. – №9. – С. 32-36.

7. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах (Публикация 65 МКРЗ): Доклад Международной комиссии по радиоэкологической защите. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 67 с.

8. Relationship among cancer, indoor radon and geology from Gejiu area / Li Wei [et al.] // Nucl. Sci. and Techn. – 1996. – V. 7, №4. – P. 253-255.

9. Papworth D. A need to reduce the radon gas hazard in the UK / D. Papworth // J. Roy. Soc. Health. – 1997. – V. 117, №2. – P. 75-80.

10. Boice J.D. Radon, your home or mine? / J.D. Boice // Radiat. Res. – 1997. – V. 147, №2. – P. 135-37.

11. Вредные химические вещества. Справочное издание / В.А. Баженова [и др.]. – Л.: Химия, 1990. – 464 с.

12. Volkle H. Lungenkrebs und Radon in Wohnraumen / H. Volkle, Ch.E. Minder // Umweltradioaktivitat, Radioekologie, Strahlenwirkung. – Koln, 1993. – S. 933-938.

13. Калаев В.Н. Сравнительная характеристика радиочувствительности двух видов традесканции при облучении малыми дозами γ -радиации с целью отбора для создания тест-объекта радиоактивного загрязнения жилых помещений / В.Н. Калаев // Эколого-физиологические и физико-биохимические основы взаимодействия биосистем с окружающей средой. – Воронеж, 1998. – С. 43-48.

14. Использование растительных тест-объектов для дозиметрии радона в жилых помещениях / А.К. Буторина [и др.] // Физика и радиоэлектроника в медицине и биотехнологии: материалы 3 международ. научно-технич. конференции. – Владимир, 1998. – С. 284-286.

**Влияние низких активностей радона на ядерные структуры клеток апикальной меристемы
корней *Zebrina pendula* Schnizl (Ядрышковый тест)**

15. Способ биотестирования жилых помещений: инф. листок / А.К. Буторина [и др.]; Воронеж. ЦНТИ. – Воронеж, 1998. – №155-98. – 2 с.
16. Калаев В.Н. Цитогенетический мониторинг загрязнения окружающей среды с использованием растительных тест-объектов: автореф. дис. ... канд. биол. наук / В.Н. Калаев. – Воронеж, 2000. – 25 с.
17. О возможности нестохастических биологических эффектов при облучении радоном в эквивалентных равновесных объемных активностях 200 и 400 Бк/м³ зебрины повислой (*Zebrina pendula* Schnizl.) / В.Н. Калаев [и др.] // Вестник ВГУ. Сер. Химия, биология. – 2001. – №2. – С. 109-113.
18. Хволес А.Г. Механизм стимуляции мутагенами / А.Г. Хволес, Т.А. Черняев // Докл. АН СССР. – 1988. – Т. 301, №4. – С. 985-988.
19. Архипчук В.В. Использование ядрышковых характеристик в биотестировании / В.В. Архипчук // Цитология и генетика. – 1995. – Т. 29, №3. – С. 6-9.
20. Цитогенетический метод определения влияния пороговых величин антропогенных факторов на геном растений и животных / В.В. Архипчук [и др.] // Докл. АН. – 1992. – Т. 326, №5. – С. 908-910.
21. Буторина А.К. Анализ чувствительности различных критериев цитогенетического мониторинга / А.К. Буторина, В.Н. Калаев // Экология. – 2000. – №3. – С. 206-210.
22. Челидзе П.В. Морфофункциональная классификация ядрышек / П.В. Челидзе, О.В. Зацепина // Успехи современной биологии. – 1988. – Т. 105, вып. 2. – С. 252-268.
23. Кулаичев А.П. Методы и средства анализа данных в операционной среде Windows. Stadia 6.0 / А.П. Кулаичев. – М.: Информатика и компьютеры, 1996. – 257 с.
24. Калашник Н.А. Ядрышковые организаторы хромосом как адаптивные элементы хвойных видов / Н.А. Калашник, Т.Г. Хайдарова // Методы оценки состояния и устойчивости лесных экосистем: тез. докл. международ. совещания, 8-13 августа, 1999, Красноярск. – Красноярск, 1999. – С. 79-80.
25. Муратова Е.Н., Седельникова Т.С. Структурные перестройки хромосом и полиморфизм нуклеоларных локусов как факторы устойчивости хвойных в экстремальных лесорастительных условиях / Е.Н. Муратова, Т.С. Седельникова // Методы оценки состояния и устойчивости лесных экосистем: тез. докл. международ. совещ., 8-13 авг., 1999, Красноярск. – Красноярск, 1999. – С. 116-117.
26. Дуброва А. Н. Ядрышковые организаторы хромосом как адаптивный элемент вида / А.Н. Дуброва // Журн. Общ. биологии. – 1989. – Т. 50, №2. – С. 213-217.