

## БИОТЕСТИРОВАНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ Р. ЕНИСЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДНОГО РАСТЕНИЯ *ELODEA CANADENSIS*

© 2013 Т.А. Зотина, Е.А. Трофимова, М.Ю. Медведева, А.Я. Болсуновский

Институт биофизики СО РАН, Красноярск

Поступила 17.12.2012

Проведено лабораторное биотестирование проб донных отложений (ДО) р. Енисей, отличающихся по содержанию техногенных радионуклидов ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152,154}\text{Eu}$ ), с использованием погруженного водного растения *Elodea canadensis* (элодея). В качестве показателей токсичности ДО оценивали прирост побегов (длины и биомассы), и параметры роста корней (число и длину); в качестве показателей генотоксичности ДО – частоту встречаемости клеток с хромосомными нарушениями и спектр нарушений в апикальной корневой меристеме растения. В результате биотестирования выявлена обратная зависимость роста длины побегов элодеи ( $p < 0.05$ ) и прямая зависимость встречаемости клеток с хромосомными аномалиями ( $p < 0.05$ ) от активности техногенных радионуклидов в пробах ДО. Из исследованных параметров элодеи, наибольшую вариабельность проявили показатели роста корней, однако, они не коррелировали с активностью радионуклидов в пробах ДО. На основе полученных результатов можно заключить, что длина побегов и встречаемость клеток с хромосомными аномалиями в корнях являются наиболее чувствительными параметрами элодеи к воздействию радиационного фактора и могут быть использованы для оценки воздействия малых доз ионизирующего излучения при биотестировании ДО р. Енисей.

**Ключевые слова:** генотоксичность, донные отложения, показатели роста, техногенные радионуклиды, токсичность, хромосомные aberrации, элодея.

Река Енисей подвергается антропогенному загрязнению промышленно-коммунальным комплексом г. Красноярска и других населенных пунктов, расположенных в зоне водосбора, а также загрязнена техногенными радионуклидами в результате многолетней работы Горнохимического комбината (ГХК) РОСАТОМа, расположенного на правом берегу реки, на 80 км ниже краевого центра. За время работы ГХК в донных отложениях р. Енисей накопились высокие активности долгоживущих техногенных радионуклидов [1]. Предыдущие исследования выявили повышенные концентрации некоторых тяжелых металлов в донных отложениях реки ниже Красноярска [2]. Таким образом, донные отложения р. Енисей на участке, расположенном ниже г. Красноярска и ГХК являются потенциальным источником ксенобиотиков химической и радиационной природы для биоты.

В зоне техногенного загрязнения р. Енисей наблюдается массовая вегетация макрофитов [3]. К числу доминирующих видов относится элодея канадская (*Elodea canadensis* Michx.). В результате исследований, проведенных ранее, был выявлен повышенный уровень клеток с цитогенетическими нарушениями в корневой меристеме элодеи, произрастающей в зоне радиационного за-

грязнения реки [4]. В настоящее время погруженные макрофиты (*Myriophyllum* spp., *Elodea* spp. и другие виды) широко используются для биотестирования воды и донных отложений [5-9] наряду с луковым тестом [10].

Цель данной работы: оценить токсичность и мутагенность донных отложений р. Енисей для водных растений в лабораторных условиях, а также выявить наиболее чувствительные конечные параметры роста растений и возможную зависимость токсического эффекта от содержания радионуклидов в пробах донных отложений.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пробы донных отложений (ДО) отбирали в октябре 2012 года в р. Енисей на участках с разным уровнем радиационного загрязнения. Фоновая проба (ДО-1) была отобрана со стороны левого берега, на 12 км выше Красноярска. В зоне радиационного и химического загрязнения были отобраны пробы со стороны правого берега реки: ДО-2 – вблизи с. Большой Балчуг, ДО-3 – вблизи с. Атаманово и ДО-4 – вблизи устья р. Шумиха, на расстоянии 97, 86 и 80 км ниже Красноярска соответственно. Пробы ДО отбирали в местах вегетации макрофитов вблизи берега из верхнего слоя толщиной до 20 см, протирали через полиэтиленовую сеть с размером ячеек 0.9 см и хранили при 4-5 °С. Растения *Elodea canadensis* Michx. (элодея) отбирали в р. Енисей на том же фоновом участке, что и пробы ДО-1, и акклиматизировали в лаборатории в течение двух недель на водопроводной воде при температуре 18-19 °С и рассеянном освещении с естественным фотопериодом. Для экспериментов использовали апикальные побеги длиной 4 см, выросшие в лаборатории.

Зотина Татьяна Анатольевна, кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории радиоэкологии, t\_zotina@ibp.ru; Трофимова Елена Александровна, младший научный сотрудник той же лаборатории, e.trofimova11@yandex.ru; Медведева Марина Юрьевна, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник той же лаборатории, medvedeva\_m79@mail.ru; Болсуновский Александр Яковлевич, доктор биологических наук, заведующий той же лабораторией, gadecol@ibp.ru

Для эксперимента брали образцы проб ДО объемом по 300 мл (массой 500-700 г) с каждой точки отбора, и измеряли в них содержание радионуклидов. Затем каждую пробу делили на три равные части и раскладывали по стеклянным стаканам. Каждую порцию ДО заливали водопроводной водой, отфильтрованной через мембраны (RAWP, Millipore) с размером пор 0.2 мкм, в пропорции 1:4 по объему, не допуская значительного взмучивания. Через сутки в ДО высаживали растения, по 9 побегов на стакан. Далее стаканы выдерживали при температуре 19 °С, круглосуточном освещении люминесцент-ными лампами с уровнем освещенности на поверхности воды 1.5 клк в течение 14 суток. По окончании эксперимента растения вынимали из ДО, измеряли все необходимые параметры, высушивали при 80 °С. В качестве параметров роста измеряли длину побегов; длину корней; число корней; массу побегов (сырую и сухую); прирост длины и массы по отношению к их начальным величинам; соотношения вышеназванных параметров.

Для исследования цитогенетических характеристик корни элодеи фиксировали в уксусном спирте (3 части 96%-го этанола и 1 часть ледяной уксусной кислоты), затем окрашивали 1% ацетогематоксилином (1 г  $C_{16}H_{14}O_6 \cdot H_2O$  (Panreac, Испания) на 100 мл 45%-ной  $CH_3COOH$ ) с добавлением 4% раствора железоаммонийных квасцов (0.1 мл на 1 мл красителя). Корешки выдерживались в этой смеси в термостате при 65 °С в течение 15 мин. Окрашенные кончики корней помещали на предметное стекло в каплю насыщенного раствора хлоралгидрата, накрывали покровным стеклом и раздавливали апикальную меристему до равномерного распределения клеток. Полученные временные препараты просматривали сразу после их приготовления с помощью микроскопа Микмед-2 (ЛОМО, Россия) и фотографировали. В каждом препарате анализировалось не менее 100 митозов. Число исследованных корней составило для проб ДО-1 и ДО-2 – по 16 шт., ДО-4 – 14 шт., ДО-3 – 10 шт. В качестве показателей мутагенности оценивались частота встречаемости (%) клеток с хромосомными aberrациями на стадиях ана-телофазы и метафазы клеточного цикла (неравномерное расхождение, агглютинация хромосом, выбросы хромосом за пределы пластинки, отстающие и забегающие вперед хромосомы, хромосомные и хроматидные «мосты») в общем числе делящихся клеток и спектр нарушений (доля клеток с каждым типом нарушений от суммы клеток с нарушениями, %).

После удаления растений из донных отложений в конце экспериментов надосадочную воду из трех стаканов сливали, объединяли, фильтровали через бумажный фильтр с размером пор 3.5 мкм («синяя лента») и концентрировали до 40 мл с добавлением азотной кислоты при нагревании. Донные отложения из трех стаканов также объе-

дняли в одну пробу. Осадок донных отложений на фильтре добавляли к пробе донных отложений. Высушенную биомассу элодеи озоляли в смеси  $H_2O_2$  и  $HNO_3$  (конц.) при нагревании. Полученные пробы использовали для измерения содержания радионуклидов.

Активность радионуклидов в пробах измеряли на гамма-спектрометре с детектором из сверхчистого германия (Canberra, США), спектры анализировали с помощью программного обеспечения Genie-2000 (Canberra, США).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### *Содержание радионуклидов в пробах донных отложений, растений и воды.*

В пробах донных отложений (ДО) содержался природный радионуклид  $^{40}K$ , удельная активность которого в исследованных образцах находилась примерно на одном уровне (Таб. 1). Из техногенных радионуклидов в фоновой пробе (ДО-1) зарегистрирована незначительная активность  $^{137}Cs$ . В других пробах ДО отмечен больший перечень техногенных радионуклидов ( $^{60}Co$ ,  $^{137}Cs$ ,  $^{152,154}Eu$ ), из которых наибольшая активность принадлежала  $^{137}Cs$  (48-99%). Максимальная суммарная активность техногенных радионуклидов отмечалась в пробе ДО-4 (Таб. 1). Суммарная активность гамма-излучающих радионуклидов (техногенных и природного изотопа  $^{40}K$ ) в пробах ДО с загрязненного участка реки превышала фоновую активность в 1.5-4.8 раз. Активность техногенных радионуклидов в пробах, отобранных в зоне радиационного загрязнения, варьировала в 2-5 раз и значительно превышала фоновую.

В воде по окончании эксперимента не зарегистрировано содержания радионуклидов. Незначительная активность  $^{137}Cs$  ( $0.08 \pm 0.02$  Бк/кг сухой массы) была зарегистрирована в биомассе растений, выращенных на пробе ДО-4.

### *Показатели роста побегов и корней*

За время эксперимента длина побегов элодеи увеличилась в 2.3-2.9 раз относительно их начальной длины (рис. 1 а). Появления боковых побегов не наблюдалось. Прирост длины побегов на пробе ДО-4 был достоверно меньше ( $p < 0.05$ ), а на пробе ДО-1 – больше ( $p < 0.05$ ), чем на других пробах. Биомасса побегов элодеи возросла в 1.4-1.7 раз по сравнению с их начальной массой (Рис. 1 б). Минимальный прирост биомассы ( $p < 0.05$ ) был зарегистрирован на пробе ДО-4, величина достоверно отличалась от прироста массы на пробе ДО-2 и ДО-3. Прирост массы на пробе ДО-1 был также достоверно ( $p < 0.05$ ) ниже прироста на пробах ДО-2 и ДО-3.

Суммарное число корней, выросших на укорененной в ДО части побегов элодеи, составило от 14 до 25 шт., а их суммарная длина – 54.7-108.9

см. Наименьшие число и длина корней ( $p < 0.05$ ) зафиксированы для пробы ДО-3 (Рис. 1 в, г).

**Таблица 1.** Активность радионуклидов в пробах донных отложений р. Енисей (Бк/кг сырой массы), использованных для оценки токсичности.

Изотоп	Номер пробы донных отложений			
	1	2	3	4
$^{40}\text{K}$	327±21	242±18	254±19	312±23
$^{60}\text{Co}$	-*	68±2	61±2	10±1
$^{137}\text{Cs}$	0.8±0.2	124±5	353±13	1262±45
$^{152}\text{Eu}$	-	58±2	178±3	-
$^{154}\text{Eu}$	-	7±1	24±1	-
Суммарная активность	328±21	498±27	875±39	1584±69
Активность техногенных радионуклидов	0.8±0.2	256±9	621±20	1272±46

\*- изотоп не зарегистрирован.

### *Хромосомные нарушения*

Доля клеток апикальной корневой меристемы элодеи, содержащих различные аномалии хромосом в ана-телофазе и метафазе клеточного цикла, варьировала в диапазоне 10.3-14.9% от общего числа делящихся клеток (Рис. 1 д). Наиболее часто клетки с отклонениями от нормы встречались в корнях элодеи, выросших на пробе ДО-4, достоверно чаще ( $p < 0.05$ ) по сравнению с пробами ДО-1 и ДО-2. Среди зарегистрированных аномалий по частоте встречаемости доминировали различные виды неравномерного расхождения хромосом (ассиметричное и хаотичное расхождение, выброс и запаздывание хромосом и др.) на уровне 51.3-67.9% от числа клеток с нарушениями (Рис. 1 е). Хроматидные и хромосомные «мосты» встречались в 2.7±2.0% клеток (средн. знач. от числа делящихся клеток ± станд. отклон,  $n=16$ ) на фоновой пробе (ДО-1); в 3.5±2.1% клеток ( $n=16$ ) на пробе ДО-2; в 4.1±2.0% клеток ( $n=10$ ) на пробе ДО-3; в 4.9±3.2% клеток ( $n=14$ ) на пробе ДО-4. Доля клеток с «мостами» в общем числе клеток с нарушениями составляла 27.8-36.2% (Рис. 1 е). В 3.7-13.5% aberrantных клеток встречались такие аномалии как агглютинация хромосом и остаточное ядро.

### *Зависимость параметров элодеи и активности радионуклидов в пробах ДО*

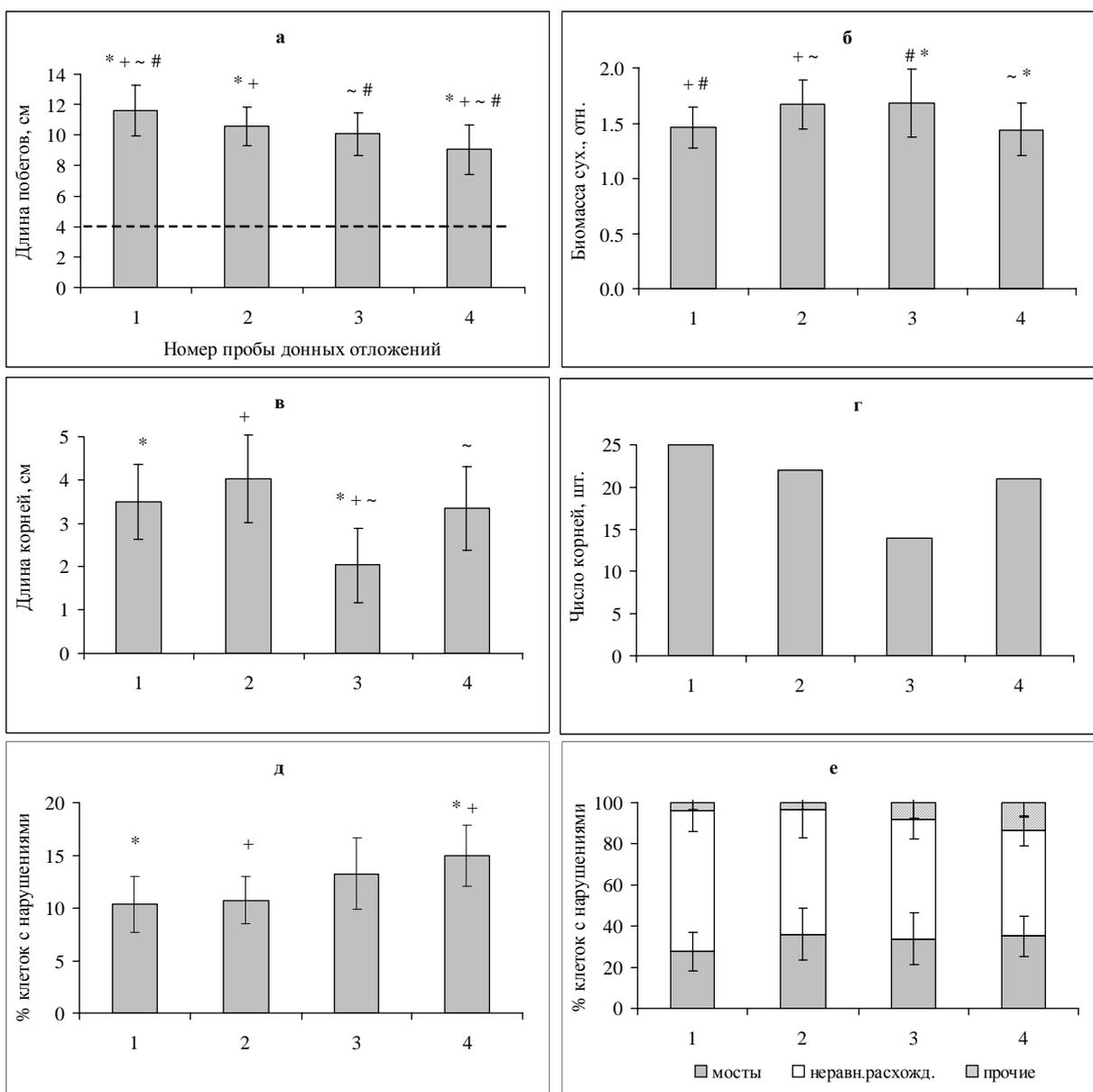
Корреляционный анализ выявил обратную зависимость роста длины побегов (длины и прироста длины) элодеи от удельной активности радионуклидов (суммарной и техногенных) в пробах ДО ( $r^2 = -0.96-0.98$ ) (Таб. 2). Частота встречаемости клеток с хромосомными нарушениями в клетках корней элодеи ( $r^2 = 0.97$ ) положительно коррелировала с активностью радионуклидов в пробах ДО (Таб. 2). Выявлена обратная зависимость между частотой встречаемости клеток с аномалиями хромосом ( $r^2 = -0.94$ ) и длиной побегов. Частота встречаемости клеток корней, содержащих «мосты», отрицательно коррелировала с ростом длины побегов элодеи с наименьшим коэффициентом корреляции ( $r^2 = -0.72$ ), по сравнению с вышеупо-

мянутыми. Существенной корреляции между показателями роста корней и побегов не выявлено.

### **ОБСУЖДЕНИЕ**

Токсичность и мутагенность ДО может быть обусловлена присутствием в них как отдельных ксенобиотиков (органических соединений, тяжелых металлов, радионуклидов и др.), так и сочетанным действием факторов различной природы. Совместное действие радиационного и химического факторов (металлов) может вызывать как усиление, так и ослабление биологических реакций [11]. Пробы донных отложений, выбранные нами для тестирования, значительно отличались по содержанию техногенных радионуклидов. Активность радионуклидов в пробах ДО отражает дозовую нагрузку на растения. Поскольку доза, формируемая природным фоном (за счет  $^{40}\text{K}$ ), изменяется незначительно, приращение дозовой нагрузки происходит за счет присутствующих в пробах ДО техногенных радионуклидов. Расчеты, проведенные ранее, показали, что дозы облучения макрофитов в зоне радиационного загрязнения р. Енисей не превышают порогового значения мощности дозы облучения для водной биоты – 10 мГр/сут [4]. Содержание других возможных ксенобиотиков в ДО р. Енисей нами не исследовалось, поэтому пока мы можем однозначно судить только о повышенном содержании техногенных радионуклидов в исследованных пробах ДО и воздействии малых доз ионизирующего излучения.

Параметры роста водных растений отличаются по чувствительности к действию токсических факторов [6]. В наших экспериментах длина побегов элодеи и ее прирост имели обратную зависимость от удельной активности радионуклидов в пробах ДО с высокими коэффициентами корреляции ( $p < 0.05$ ), а прирост биомассы не согласуется с приростом длины побегов и не коррелирует с содержанием радионуклидов в пробах. Следовательно, длина побегов элодеи – более чувствительный параметр к содержанию техногенных радионуклидов в ДО, по сравнению с биомассой растения.



**Рисунок.** Параметры элодеи после выращивания растений на пробах ДО р. Енисей № 1-4, отобранных на разном удалении от источников радиационного и химического загрязнения: а – абсолютная длина побегов, см (средн. знач. ± станд. отклон., n=27), пунктиром отмечена начальная длина; б – прирост сухой массы побегов относительно начальной массы (средн. знач. ± станд. отклон., n=27), в – длина корней, см (средн. знач. для трех повторностей, по 9 растений в каждой ± станд. отклон.); г – суммарное число корней, шт.; д - доля клеток в корнях с хромосомными нарушениями (%), (средн. знач. ± дов. инт. 95%), значки над столбцами (\*, +, ~, #) обозначают достоверность различий (p<0.05) между отмеченными значениями; е - спектр хромосомных нарушений в клетках корней (% от числа клеток с нарушениями, средн. знач. ± дов. инт. 95%).

Показатели роста корней отмечаются как более чувствительные, чем показатели роста побегов у ряда погруженных макрофитов [6]. В наших экспериментах наибольшее число корней выросло у элодеи на фоновых пробах ДО, однако наибольшая длина корней зарегистрирована на пробе ДО, содержащей в 1.5 раз большую активность радионуклидов, чем в фоновой пробе. Наименее интенсивный рост корней (число и длина) наблюдался на пробе ДО, содержащей в 2.7 раз большую активность радионуклидов, чем в фоновой пробе. В целом можно отметить, что показатели

роста корней элодеи варьируют между пробами ДО в большей степени, чем показатели роста побегов. Так, суммарная длина побегов изменяется в 1.3 раза (от 9.1 до 11.6 см), а суммарная длина корней – в 2.0 раза (от 54.7 до 108.9 см). Однако, показатели роста корней слабо коррелируют с активностью техногенных радионуклидов в пробах, а также с показателями роста побегов. Вероятно, существует специфическая чувствительность параметров роста растений к различным токсикантам.

**Таблица 2.** Корреляционная матрица параметров элодеи и удельной активности радионуклидов в пробах донных отложений

	Бк/кг сумм.	Бк/кг техн.	Длина побегов	Прирост длины побегов	Сух. масса, прирост	Длина корней сумм.	Число корней сумм.	Длина побегов/длина корней	Частота клеток с нарушениями хромосом, %	Частота клеток с «мостами», %
Бк/кг сумм.	1									
Бк/кг техн.	<b>1*</b>	1								
Длина побегов	<b>-0.96</b>	<b>-0.98</b>	1							
Прирост длины побегов	<b>-0.96</b>	<b>-0.98</b>	<b>1.00</b>	1						
Сух. масса, прирост	-0.33	-0.26	0.06	0.06	1					
Длина корней сумм.	-0.26	-0.27	0.27	0.27	-0.29	1				
Число корней сумм.	-0.34	-0.39	0.48	0.48	-0.62	0.86	1			
Частота клеток с нарушениями хромосом, %	<b>0.97</b>	<b>0.97</b>	<b>-0.94</b>	<b>-0.94</b>	-0.20	-0.49	-0.54	0.16	1	
Частота клеток с «мостами», %	0.51	0.56	-0.72	-0.72	0.49	0.05	-0.43	-0.18	0.47	1

- корреляция достоверна для  $p < 0.06$ .

Наличие в клетках корневой меристемы повышенного уровня хромосомных аномалий является показателем генотоксичности (мутагенности) ДО [10, 12]. Встречаемость клеток с аномалиями хромосом в корнях элодеи в наших экспериментах положительно коррелировала с удельной активностью радионуклидов в пробах ДО ( $p < 0.05$ ) и отрицательно – с показателями роста длины побегов ( $p < 0.6$ ). Положительная зависимость частоты aberrантных клеток в корнях тростника от дозы облучения была также получена для водоемов зоны отчуждения Чернобыльской АЭС [12]. Максимальная частота встречаемости клеток с аномалиями хромосом в наших экспериментах в 1.4 раз превышала фоновую. В природной популяции элодеи, произрастающей в зоне радиационного загрязнения р. Енисей, частота клеток с хромосомными аномалиями в 2.6-6.5 раз превышала фоновую [4], что, вероятно, можно объяснить более длительным воздействием радиационного фактора на природную популяцию, по сравнению с растениями в нашем эксперименте.

Спектр хромосомных нарушений в наших экспериментах был сходным со спектром нарушений в природной популяции элодеи, за исключением присутствия кольцевых структур, отмеченных в клетках корней природной популяции из зоны радиационного загрязнения [4]. Кольцевые структуры в лимфоцитах человека считаются специфическими маркерами радиационного воздействия [13, 14]. Значительного изменения спектра хромосомных аномалий в наших экспериментах не наблюдалось (Рис. 1 е). Среди зарегистрированных нами нарушений хромосом преобладали различные типы неравномерного расхождения (Рис. 1 е), на втором месте по частоте встречаемости

находились «мосты». Существует мнение [12], что основной причиной возникновения «мостов» в корнях водных растений является радиационный фактор, в то время как основная причина фрагментации хромосом – действие химических факторов. Частота клеток с «мостами» в наших экспериментах варьировала от 2.7 до 4.9% и положительно коррелировала с активностью радионуклидов в пробах ДО ( $p < 0.3$ ). Для сравнения, в природной популяции элодеи из р. Енисей «мосты» встречались в 0.5-10.3% долях клеток [4]. Доля клеток с «мостами» в корнях тростника обыкновенного в водоемах зоны отчуждения ЧАЭС достигала 8% без учета «мостов» в клетках с множественными aberrациями [12]. Возможно, не совсем корректно сравнивать частоту aberrантных клеток у водных растений, относящихся к разным экологическим группам: погруженным (элодея) и воздушно-водным (тростник) растениям. Установлено, что показатели роста разных видов погруженных макрофитов проявляют различную чувствительность к одним и тем же токсикантам [6]. Однако нам пока не удалось найти опубликованных результатов цитогенетических исследований погруженных макрофитов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате биотестирования проб донных отложений (ДО) р. Енисей, отличающихся по содержанию техногенных радионуклидов, с использованием водного растения *Elodea canadensis* (элодея) выявлена обратная зависимость роста длины побегов элодеи и прямая зависимость встречаемости клеток с хромосомными нарушениями в апикальной меристеме корней элодеи от активности техногенных радионуклидов в пробах ДО. Из

исследованных показателей роста элодеи, наибольшая вариабельность отмечена для показателей роста корней, однако, рост корней не коррелировал с активностью радионуклидов в пробах ДО. На основе полученных результатов можно заключить, что длина побегов и встречаемость клеток с хромосомными аномалиями в корнях являются наиболее чувствительными показателями элодеи к воздействию радиационного фактора и могут быть использованы для оценки воздействия малых доз ионизирующего излучения при биотестировании донных отложений р. Енисей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bolsunovsky A.* Artificial radionuclides in sediment of the Yenisei River // *Chem. Ecol.* 2010. Vol. 26, № 10. P. 401-409.
2. *Анищенко О.В., Гладышев М.И., Кравчук Е.С., Калачёва Г.С., Грибовская И.В.* Оценка антропогенного загрязнения р. Енисей по содержанию металлов в основных компонентах экосистемы на участках, расположенных выше и ниже г. Красноярска // *Journal of Siberian Federal University. Biology.* 2010. Т. 3, № 1. С. 82-98.
3. *Zotina T.A.* The biomass of macrophytes at several sites of the upper reaches of the Yenisei River // *Journal of Siberian Federal University. Biology.* 2008. Vol. 1, № 1. P. 102-108.
4. *Болсуновский А.Я., Муратова Е.Н., Суковатый А.Г., Пименов А.В., Санжараева Е.А., Зотина Т.А., Седелникова Т.С., Паньков Е.В., Корнилова М.Г.* Радиозкологический мониторинг реки Енисей и цитогенетические характеристики водного растения *Elodea canadensis* // *Радиац. биология. Радиозкология.* 2007. Т. 47, № 1. С. 63-73.
5. *Sanchez D., Grase M.A.S., Canhoto J.* Testing the use of water milfoil (*Myriophyllum spicatum* L.) in laboratory toxicity assays // *B. Environ. Contam. Tox.* 2007. Vol. 78, № 6. P. 421-426.
6. *Arts G.H.P., Belgers J.D.M., Hoekzema, C.H. Thissen J.T.N.M.* Sensitivity of submerged freshwater macrophytes and endpoints in laboratory toxicity tests // *Environ. Pollut.* 2008. Vol. 153. P. 199-206.
7. *Knauer K., Mohr S., Feiler U.* Comparing growth development of *Myriophyllum spp.* in laboratory and field experiments for ecotoxicological testing // *Environ. Sci. Pollut. R.* 2008. Vol. 15, № 4. P. 322-331.
8. *Teodorovic I., Knezevic V., Tunic T., Cucak M., Lecic J. N., Leovac A., Tumbas, I.I.* *Myriophyllum aquaticum* versus *Lemna minor*: Sensitivity and recovery potential after exposure to atrazine // *Environ. Toxicol. Chem.* 2012. Vol. 31, № 2. P. 417-426.
9. *Feiler U., Hoess S., Ahlf W., Gilberg D., Hammers-Wirtz M., Hollert H., Meller M., Neumann-Hensel H., Ottermanns, R., Seiler T.B., Spira D., Heininger P.* Sediment contact tests as a tool for the assessment of sediment quality in German waters // *Environ. Toxicol. Chem.* 2013. Vol. 32, № 1. P. 144-155.
10. *Geras'kin S., Oudalova A., Michalik B., Dikareva N., Dikarev V.* Geno-toxicity assay of sediment and water samples from the Upper Silesia post-mining areas, Poland by means of *Allium*-test // *Chemosphere.* 2011. Vol. 83. P. 1133-1146.
11. *Евсеева Т.И., Гераськин С.А., Майстренко Т.А., Бельх Е.С.* Проблемы количественной оценки биологических эффектов совместного действия факторов радиационной и химической природы // *Радиац. биология. Радиозкология.* 2008. Т. 48, № 2. С. 203-211.
12. *Shvetsova N.L., Gudkov D.I.* Cytogenic effects of long-term radiation on higher aquatic plants within the Chernobyl accident Exclusion Zone // *Radioprotection.* 2009. Vol. 44, № 5. P. 937-940.
13. *Дружинин В.Г.* Количественные характеристики частоты хромосомных aberrаций в группе жителей крупного промышленного региона Западной Сибири // *Генетика.* 2003. Т. 39, № 10. С. 1373-1380.
14. *Rodrigues A.S., Oliveira N.G., Gil, O.M., Léonard A., Rueff J.* Use of cytogenetic indicators in radiobiology // *J. Radiat. Prot. Dosimetry.* 2005. Vol. 115, № 1-4. P. 455-460.

### BIOTESTING OF BOTTOM SEDIMENTS OF THE YENISEI RIVER WITH AQUATIC PLANT *ELODEA CANADENSIS*

© 2013 *Zotina T.A., Trofimova E.A., Medvedeva M.Yu., Bolsunovsky A.Ya.*

Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk

Laboratory biotesting of samples of bottom sediments (BS) of the Yenisei River containing different activity concentration of artificial radionuclides ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152,154}\text{Eu}$ ) was performed with aquatic plant *Elodea canadensis* (elodea). Shoots growth (length and biomass) and roots growth (number and length) endpoints were estimated as toxicity indicators; endpoints of chromosome abnormalities in apical root meristematic tissue (total frequency of cells with chromosome abnormalities and speciation of abnormalities, %) – as genotoxicity indicators. Negative correlation ( $p < 0.05$ ) of shoot length endpoints and positive correlation of frequency of cells with chromosome abnormalities ( $p < 0.05$ ) with concentration of artificial radionuclides in samples of BS was revealed. Root growth endpoints were most variable, but they did not correlate neither with radionuclide concentration nor with other endpoints. On the basis of the results obtained we can conclude that shoot length and frequency of cells with chromosome abnormalities in roots are most sensitive elodea endpoints to radiological factor and can serve as indicator of low dose effects in toxicity essay of BS of the Yenisei River.

**Key words:** artificial radionuclides, bottom sediments, chromosome abnormalities, elodea, genotoxicity, growth endpoints, toxicity.