

## БИОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ЦЕНТРА ПО ОБРАЩЕНИЮ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

Т.А. Горшкова<sup>1</sup>, А.А. Удалова<sup>1,2</sup>, С.А. Гераськин<sup>2</sup>, С.М. Киселев<sup>3</sup>,  
С.В. Ахромеев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, 249030 Калужская область г. Обнинск, Студгородок 1.

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, г. Обнинск

<sup>3</sup>ФГБУ ГНЦ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва



Целью работы являлась оценка состояния природной среды в зоне наблюдения пункта временного хранения РАО Дальневосточного центра по обращению с радиоактивными отходами методами биоиндикации. Образцы растений трех видов (лапчатка земляничная, фиалка восточная, клевер ползучий) отбирали с пяти учетных площадок, мощность дозы  $\gamma$ -излучения на которых менялась в диапазоне от 0,05 до 6,0 мкЗв/ч. В качестве показателей экологического благополучия использовали флуктуирующую асимметрию листьев и фертильность пыльцы отобранных растений. Статистически значимое увеличение индекса флуктуирующей асимметрии у растений клевера обнаружено на участке промплощадки, где мощность экспозиционной дозы в 50 – 60 раз превышает естественный радиационный фон. В этой же популяции клевера обнаружена редкая морфологическая аномалия. Мощность дозы на участках, где изучали фертильность пыльцы, превышала фоновые уровни в от двух до семи раз. В этих условиях выявлено увеличение процента стерильных зерен с мощностью дозы внешнего излучения у фиалки восточной, в то время как у лапчатки земляничной повышенный уровень стерильности пыльцы обнаружен в контрольной популяции. На фоне низкодозовых воздействий формирование ответной реакции растений в значительной степени зависит от экологических факторов (погодных условий, видовых особенностей, биотического окружения). Таким образом, выявлены изменения стабильности развития и репродуктивных функций у некоторых видов растений на площадках, подвергающихся наибольшему радиационному воздействию. Полученные результаты показывают, что методы биоиндикации можно рассматривать в качестве перспективного приема первичной скрининговой оценки состояния окружающей среды в условиях техногенного, в том числе радиоактивного, загрязнения.

**Ключевые слова:** биоиндикация, фертильность пыльцы, флуктуирующая асимметрия, морфологические изменения, радиоактивные отходы, радионуклиды.

© Т.А. Горшкова, А.А. Удалова, С.А. Гераськин, С.М. Киселев, С.В. Ахромеев, 2014

## ВВЕДЕНИЕ

Деятельность человека приводит к поступлению в окружающую среду разнообразных стрессоров, обладающих мутагенными и канцерогенными свойствами, воздействию которых подвергается все живое. К числу традиционно рассматриваемых источников экологической опасности относятся объекты ядерного топливного цикла. Особое внимание при этом уделяется радиационно-гигиенической и радиоэкологической обстановке, складывающейся в районах расположения хранилищ радиоактивных отходов (РАО) и предприятий по их переработке. Настоящая работа является частью мероприятий по изучению экологической обстановки в районах утилизации атомных подводных лодок в Дальневосточном регионе, выполняемых в рамках федеральной целевой программы «Промышленная утилизация вооружения и военной техники ядерного комплекса на 2011–2015 годы и на период до 2020 года».

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

**Характеристика объекта.** Пункт временного хранения (ПВХ) отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов в бухте Сысоева входит в состав Дальневосточного центра по обращению с радиоактивными отходами – филиала федерального государственного унитарного предприятия «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО» (отделение «Фокино») (далее – ПВХ б. Сысоева). Объект расположен на восточном берегу бухты Сысоева (Шкотовский район Приморского края) в 40 км от порта Владивосток. Площадь промплощадки – 47 га. ПВХ б. Сысоева относится к объекту первой категории потенциальной радиационной опасности. Для защиты населения от облучения и ограничения распространения радиоактивного загрязнения выделены организационно-защитные зоны: санитарно-защитная зона (СЗЗ) и зона наблюдения (ЗН), в которых с установленной периодичностью осуществляется радиационный контроль.

**Радиационная обстановка на ПВХ б. Сысоева и прилегающей территории.** Мощность дозы  $\dot{D}$   $\text{Экв}$  -излучения на территории технической площадки ПВХ б. Сысоева изменяется в широком диапазоне – от 0,1 до 65 мкЗв/ч при характерном для данной местности естественном фоне 0,10 – 0,15 мкЗв/ч. Поле  $\dot{D}$   $\text{Экв}$  -излучения формируется от прошедшего сквозь стены зданий излучения (хранилище радиоизотопных термоэлектрических генераторов), от твердых и жидких радиоактивных отходов (ТРО и ЖРО) в контейнерах, расположенных на площадках хранения, и от транспортно-упаковочных контейнеров (ТУК) с ОЯТ, расположенных на перегрузочной площадке. Годовые дозы гамма-излучения, оцененные с помощью термoluminescentных дозиметров на местности, варьируют в диапазоне от 1 до 46 мЗв.

Основными дозообразующими радионуклидами являются  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . На большей части территории промплощадки содержание  $^{137}\text{Cs}$  в почве варьирует в диапазоне от 21 до 6500 Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  – от 190 до 3000 Бк/кг. На локальных участках промплощадки загрязнение  $^{60}\text{Co}$  достигает 3500 Бк/кг. В соответствии с классификацией РАО грунты на этих участках относятся к низкоактивным ТРО. Существенного влияния источников радиоактивного загрязнения, локализованных на ПВХ б. Сысоева, на прилегающую территорию ЗН не отмечается. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почве и растительности ЗН и мощности дозы внешнего гамма-излучения находятся, в основном, на фоновом уровне [1].

**Отбор проб и определение уровней загрязнения.** Отбор проб почвы и растительности проводили в мае 2013 г. с пяти учетных площадок. На территории промплощадки расположены учетные точки О-1 и О-2 (овраги), выбранные на основе предварительных данных об аккумуляции радионуклидов в элементах ландшафта, и участок вблизи хранилища радиоизотопных термоэлектрических генераторов

(учетная точка «РИТЭГ»). Остальные две учетные площадки находились в санитарно-защитной зоне (СЗЗ) и зоне наблюдения (ЗН). Территория ЗН рассматривалась в качестве контрольной. Измерения мощности дозы  $\gamma$ -излучения в воздухе на высоте 1 м выполняли дозиметром Calibri № 00154 (Canberra).

Отбор проб почвы на учетных площадках проводили методом конверта 55 м<sup>2</sup> на глубине 0 – 10 см. Удельную активность радионуклидов  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в образцах почвы определяли методом  $\gamma$ -спектрометрии (германиевый ППД эффективность – 30%, Canberra), а содержание  $^{90}\text{Sr}$  – радиохимическим методом [2]. Перед выполнением аналитических работ воздушно-сухие образцы почвы растирали и просеивали через сито с диаметром ячеек 1 мм.

**Методы биоиндикации.** Биоиндикацию природной среды рекомендуется проводить в целях скрининговой оценки экологического благополучия экосистемы. В случае выявления негативных эффектов целесообразно организовать детальное обследование изучаемой территории с использованием аналитических методов для выявления присутствующих в среде токсических или мутагенных факторов и установления их уровней или концентраций. Методы биоиндикации, как правило, являются неспецифическими и отражают интегральный ответ биологической системы на всю совокупность действующих факторов. В то же время, анализ результатов биоиндикации позволяет сделать предположения о характере повреждающего воздействия и скоординировать дальнейшие усилия по выявлению токсикантов.

Для оценки возможных эффектов радиационного воздействия были выбраны клевер ползучий (*Trifolium repens* L.), лапчатка земляничная (*Potentilla fragarioides* L.) и фиалка восточная (*Viola orientalis* (Maxim.) Beck.) – виды с относительно ранними сроками окончательного формирования листовой пластинки. Отбор проб растений (по 15 – 25 растений каждого из представленных на учетной площадке видов) проводили в непосредственной близости от мест отбора проб почвы. На учетной точке РИТЭГ удалось собрать только образцы клевера.

Для оценки состояния природной среды использовали два показателя: индекс флуктуирующей асимметрии (ФА) листьев и стерильность пыльцевых зерен. Для оценки индекса ФА на исследованных территориях было собрано в общей сложности 136 листьев клевера, 119 листьев лапчатки и 131 лист фиалки. Свежесобранные листья клевера, лапчатки и фиалки сканировали с разрешением 300 пикселей на дюйм; данные обрабатывали с использованием ПО для обработки изображений Image Pro Plus. Индекс ФА для всех исследованных растений определяли по пяти парам промеров как среднее арифметическое сумм относительных значений асимметрии по всем признакам у каждого листа. Относительное значение асимметрии вычисляли как среднее арифметическое отношения разности к сумме промеров листа слева и справа, отнесенное к числу признаков [3]. Оценивали также отклонения от симметрии по каждому из пяти признаков.

Для учета процента стерильных пыльцевых зерен брали полностью распустившиеся цветки лапчатки земляничной и фиалки восточной. Третий исследуемый вид растений – клевер ползучий – на момент проведения исследования еще не цвел. Зрелые пыльники, отделенные от трех-пяти цветков одного вида, объединяли в одну пробу и помещали в пробирку Эппендорфа объемом 1,5 мл, в которую добавляли 4 – 5 капель фиксатора Карнуа (три объемные части спирта и одна часть ледяной уксусной кислоты). В лаборатории пыльники вместе с частью жидкости, содержащей пыльцу, вскрывали двумя иглами на предметном стекле, смачивали каплей йодного раствора (2 мл аптечной йодной настойки, разбавленной слабым раствором сахарозы до 10 мл) и после удаления лишних тканей накрывали покровным стеклом. Препараты просматривали под микроскопом (БИОМЕД-3) при 400-кратном

увеличении, подсчитывали 100 пылинок в девятикратной повторности для каждой пробирки Эппендорфа, учитывая количество стерильных пыльцевых зерен. Фертильные пыльцевые зерна имеют темно-фиолетовый цвет и нормальные размеры. Стерильные пыльцевые зерна мелкие и остаются неокрашенными, т.к. содержат крахмал в пренебрежимо малом количестве [4]. Фертильность оценена примерно для 70-ти тысяч пыльцевых зерен (37 объединенных проб пыльцы лапчатки и 39 проб фиалки, в среднем по 13 пробирок Эппендорфа на одну учетную площадку).

**Статистическую обработку экспериментальных данных** производили с использованием табличного процессора MS Excel 2003. Статистическую значимость различий оценивали по *t*-критерию Стьюдента для уровня значимости 5%. На диаграммах представлены средние значения и стандартные ошибки. При анализе корреляционных связей использовали средние по диапазону значения мощности дозы  $\gamma$ -излучения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Радиоактивное загрязнение учетных площадок.** Результаты измерения мощности дозы  $\gamma$ -излучения и удельной активности основных дозообразующих радионуклидов в почве участков, где производили отбор проб растений, представлены в табл. 1.

Таблица 1

### Характеристика учетных площадок

Учетная площадка	О-1	О-2	РИТЭГ	СЗЗ	ЗН
Мощность дозы $\gamma$ -излучения, мкЗв/ч	0,06–0,35	0,11–0,35	5,00–6,00	0,10–0,18	0,05–0,13
$^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	1541,0 $\pm$ 159,0(Т1) 1198,0 $\pm$ 133,0(Т2)	398,0 $\pm$ 42(В) 945,0 $\pm$ 100,0(Н)	112,0 $\pm$ 12,0	73 $\pm$ 28	40 $\pm$ 14
$^{90}\text{Sr}$ , Бк/кг	682,0 $\pm$ 156,0(Т1) 979,0 $\pm$ 235,0(Т2)	779,0 $\pm$ 159,0(В) 4625,0 $\pm$ 692,0(Н)	77,0 $\pm$ 36,0	51 $\pm$ 17	10 $\pm$ 4
$^{60}\text{Co}$ , Бк/кг	1258,0 $\pm$ 131,0(Т1) 4298,0 $\pm$ 133,0(Т2)	< 3,0 (В) < 6,0 (Н)	< 3,0	10 $\pm$ 4	–
Биоиндикаторы	ЛЗ, ФВ	ФВ	КП	ЛЗ, ФВ, КП	ЛЗ, ФВ, КП
Т1, Т2 – точки отбора проб на площадке О-1; В, Н – верх и низ оврага на площадке О-2; ЛЗ – лапчатка земляничная; ФВ – фиалка восточная; КП – клевер ползучий					

Мощность дозы  $\gamma$ -излучения на всех площадках за исключением РИТЭГ существенно не превышала характерный для этой местности уровень естественного радиационного фона. На учетной площадке РИТЭГ мощность дозы  $\gamma$ -излучения выше, чем на площадке ЗН в среднем в 60 раз, при этом загрязнение грунта радионуклидами на этой площадке незначительно. На учетной площадке О-1 в почве содержатся повышенные количества  $^{60}\text{Co}$ , а на площадках О-1 и О-2 зафиксированы заметные удельные активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

**Стерильность пыльцы растений.** Поскольку пылинка растения – это его мужской гаметофит, и сифоногенная клетка, и два спермия несут гаплоидный набор

наследственной информации, пыльца растений является более чувствительным звеном в отношении повреждающих факторов по сравнению с диплоидными клетками, имеющими булшие возможности для репарации повреждений. Поэтому выбранный в работе показатель фертильности (стерильности) пыльцы, отражающий репродуктивный потенциал растения, может изменяться под действием меньших доз и уровней техногенных факторов, в том числе радиоактивного загрязнения, на фоне других показателей, используемых в биологическом мониторинге [5, 6].

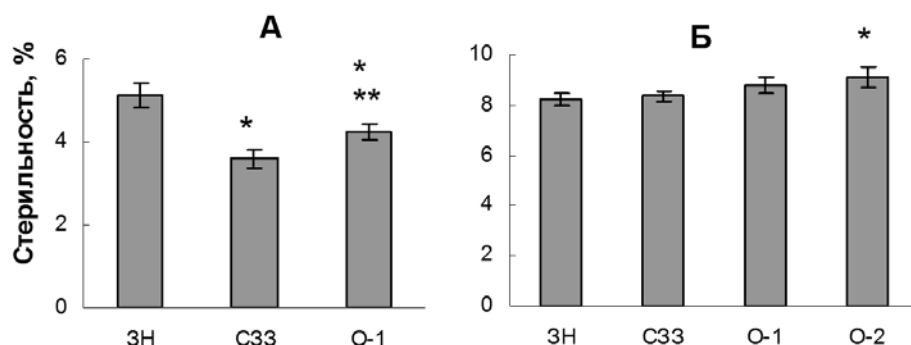


Рис. 1. Частота стерильной пыльцы лапчатки земляничной (А) и фиалки восточной (Б). Здесь и далее: \* – статистически значимые отличия показателей у растений промплощадки по сравнению с ЗН, \*\* – с СЗЗ

Согласно полученным данным (рис. 1), процент стерильных зерен выше у фиалки восточной – от 8,2 до 9,1%, тогда как у лапчатки земляничной этот показатель колеблется в пределах 3,6 – 5,1%, причем самую высокую частоту стерильных пыльцевых зерен у лапчатки наблюдали в контроле (ЗН). Процент стерильной пыльцы выше у лапчатки, произрастающей в загрязненном радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{60}\text{Co}$  овраге, по сравнению с растениями из санитарно-защитной зоны. Поскольку стерильность пыльцы является довольно чувствительным показателем, даже у растений-синантропов [6, 7], к которым относится и лапчатка, можно допустить, что растения контрольной популяции находились под воздействием какого-то неучтенного экологического фактора. Возможно в данном случае сыграла роль разница в освещенности популяций лапчатки на исследованных территориях, обусловившая более раннее цветение растений на контрольном участке. В этом случае пыльники цветков на момент пробоотбора могли уже высypать часть пыльцы, причем, в первую очередь, это могла быть более тяжелая фертильная пыльца. В результате препаарированные пыльники с оставшейся пыльцой могли содержать больший по сравнению с более молодыми цветками процент легких стерильных пыльцевых зерен.

У фиалки восточной наблюдается (рис. 1) достоверное увеличение процента стерильных зерен в зависимости от средней мощности дозы на учетной площадке ( $r = 0.96$ ,  $p = 0.02$ ). На наиболее загрязненном радионуклидами участке О-2 достигается статистически значимое различие с уровнем зоны наблюдения ЗН.

**Флуктуирующая асимметрия** (ненаправленные отклонения от билатеральной симметрии) рассматривается многими исследователями [3, 6] как показатель стабильности развития, возрастающий по мере нарушения онтогенетического гомеостаза. До выхода листа из почки формируется не более 40% клеток будущего листа [8]. Остальная часть листа формируется в течение достаточно длительного времени как результат активности краевой меристемы на двух сторонах листового зачатка. В течение всего времени формирования листа краевые меристемы испытывают воздействие внешних факторов, что находит отражение в отклонениях индивидуального развития.

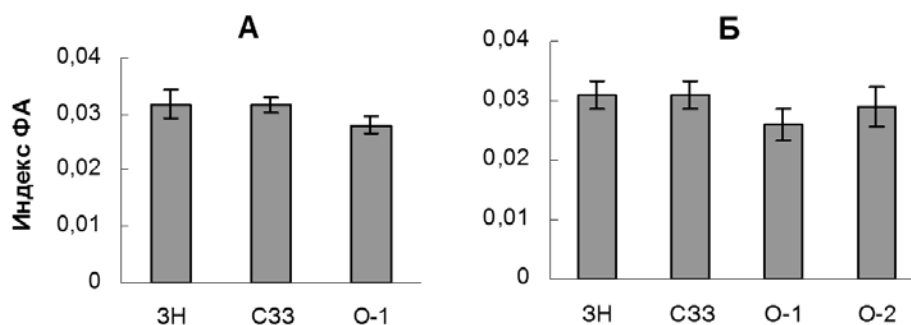


Рис. 2. Индекс флуктуирующей асимметрии листьев лапчатки земляничной (А) и фиалки восточной (Б)

Индекс ФА у лапчатки земляничной на исследованных участках изменялся в пределах 0,028 – 0,032 (рис. 2А). Наибольшей вариабельностью характеризовалась ширина верхних и нижних частей непарных листочков, наиболее стабильной была геометрия нижней части пластинки непарного листочка. Индекс ФА фиалки восточной на обследованных участках изменялся в пределах 0,026 – 0,031 (рис. 2Б). Наибольшей вариабельностью характеризовалось расстояние от края листовой пластинки до центральной жилки в верхней четверти листа, наименьшие флуктуации наблюдались у геометрии нижней четверти листовой пластинки. Статистических различий между показателем асимметрии на обследованных участках, а также достоверной зависимости этого показателя от уровней радиационного воздействия у лапчатки и фиалки не обнаружено. Получить данные об уровне ФА у лапчатки и фиалки на площадке РИТЭГ, которая характеризуется наиболее высокими уровнями внешнего облучения, не удалось. Индекс ФА листовых пластинок клевера ползучего изменялся в пределах 0,033 – 0,043 (рис. 3А). Обнаружено статистически значимое увеличение индекса ФА листьев клевера, собранных на участке вблизи хранилища радиоизотопных термоэлектрических генераторов. Мощность дозы на участке вблизи хранилища РИТЭГ в 50 – 60 раз выше естественного радиационного фона (табл. 1), что позволяет сделать предположение о радиационной природе наблюдаемых изменений.

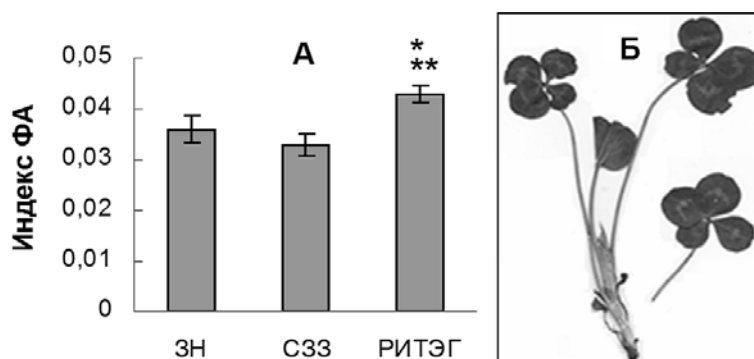


Рис. 3. Результаты изучения клевера ползучего: А – индекс ФА листьев; Б – растение клевера ползучего с четырьмя листочками

На этом же участке обнаружено увеличение количества листочков сложных листьев у побегов одной из куртин клевера ползучего (рис. 3Б). Такие морфологические отклонения в природных популяциях клевера встречаются с частотой 1:10000. Из 28-ми побегов обследованной куртины у 21-го побега были только нормальные сложные листья с тремя листочками; у четырех побегов было обнаружено по одному, у двух побегов – по два листа с четырьмя листочками, а у одного



– сложный лист с пятью листочками. Все побеги, несущие более трех листьев, представляли дочерние ответвления одной ветви надземного корневища. Среди других обследованных куртин клевера экземпляров с отклонением количества листочков от нормального обнаружено не было. Поскольку данный эффект был обнаружен только в одной куртине, которая представляет собой потомство одного растения, выдвинуть обоснованную гипотезу о происхождении данной аномалии (спонтанное возникновение или техногенно-индуцированное) невозможно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Традиционные методы физико-химического мониторинга, который осуществляется путем отбора проб воздуха, воды и почвы и определения содержания в них загрязняющих веществ, не могут дать полной и объективной характеристики состояния природной среды, поскольку не предназначены для оценки состояния биологических объектов и поэтому не могут быть использованы для оценки биологических последствий техногенного воздействия на представителей природных сообществ. В условиях техногенного воздействия ситуация, как правило, усугубляется одновременным присутствием в природной среде большого числа разнообразных загрязнителей и стресс-факторов, установление точных уровней которых является трудоемкой задачей, не всегда технически возможной и экономически целесообразной. Более того, биологические последствия взаимодействия разных факторов для всего разнообразия природных сообществ и видов практически невозможно предсказать. Охарактеризовать экологическую опасность техногенного воздействия для экосистем и составляющих их видов и улучшить систему контроля и оценки качества окружающей среды возможно, если систему экологического и радиационного мониторинга дополнить методами биологического мониторинга [9, 10]. Именно такой подход был использован для оценки состояния природной среды в зоне влияния ПВХ б. Сысоева.

При оценке флуктуирующей асимметрии значимые различия с контролем были обнаружены в популяции клевера ползучего, населяющей участок вблизи хранилища РИТЭГ, где мощность экспозиционной дозы в 50 – 60 раз превышает естественный радиационный фон. Кроме того, в популяции клевера была обнаружена редкая морфологическая аномалия: вместо обычного для этого растения сложного листа с тремя листочками на нескольких побегах отмечены листья с четырьмя и пятью листочками. Для изучения природы этой аномалии необходимы дополнительные исследования. У двух других растений достоверных отличий в уровнях флуктуирующей асимметрии выявлено не было. Однако следует подчеркнуть, что образцы лапчатки и фиалки на площадке РИТЭГ собрать не удалось.

Репродуктивные качества, к числу которых относится фертильность (стерильность) пыльцевых зерен, как правило, являются одними из наиболее чувствительных интегральных показателей состояния природных популяций. Для фиалки восточной обнаружена статистически значимая связь между степенью техногенного воздействия и стерильностью пыльцы. В то же время репродуктивный потенциал популяции определяется большим количеством факторов среды обитания. Поэтому в условиях относительно невысокого антропогенного воздействия, что характерно для участков 0-1 и 0-2, где отбирались пробы пыльцы, решающее влияние могли оказать иные факторы, например, погодные или почвенные условия, тип экологической стратегии вида, биотическое окружение и т.д. Так у лапчатки земляничной из зоны наблюдения выявлен повышенный уровень стерильности пыльцы в контрольной популяции, что может быть обусловлено условиями произрастания. Для более обоснованного вывода о степени негативного влияния на репродуктивные

качества населяющих территорию предприятия растений желательнее провести повторное обследование, расширив число видов-биоиндикаторов, в том числе на участках с высоким уровнем радиационного воздействия.

**Работа финансировалась в рамках ФЦП «Промышленная утилизация вооружения и военной техники ядерного комплекса на 2011–2015 годы и на период до 2020 года» (контракт № 10-3-14-2013) и гранта № 14-14-00666 Российского научного фонда.**

### Литература

1. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2012 г. Ежегодник. – М.: Метеоагентство Росгидромета, 2013.
2. МУК 2.6.1.1194-03. Радиационный контроль. Стронций-90 и цезий-137. Пищевые продукты. Отбор проб, анализ и гигиеническая оценка. Минздрав России. М., 2003. 31 с.
3. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур) / Распоряжение Росэкологии от 16.10.2003 № 460. М.: Наука, 2003. 24 с.
4. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. М.: Колос, 1988. 304 с.
5. Позолотина В.Н., Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Михайловская Л.Н. и др. Современное состояние наземных экосистем Восточно-Уральского радиоактивного следа: уровни загрязнения, биологические эффекты / В. Н. Позолотина, И. В. Молчанова, Е. Н. Караваева, Л. Н. Михайловская, Е. В. Антонова. Екатеринбург: Изд-во «Голицынский», 2008. 204 с.
6. Geras'kin S.A., Evseeva T.I., Oudalova A.A. Plants as a tool for the environmental health assessment / In: Encyclopedia of Environmental Health. Burlington: Elsevier, 2011. Vol. 4. PP. 571-579.
7. Горшкова Т.А. Оценка возможности использования клевера ползучего (*Trifolium repens* L.) для биоиндикации антропогенного нарушения среды // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 1. С. 69–73.
8. Корона В.В. Строение и изменчивость листьев растений. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 280 с.
9. Гераськин С.А., Сарapultцева Е.И. (ред.) Биологический контроль окружающей среды. Генетический мониторинг. – М.: Академия, 2010. 208 с.
10. Бахвалов А.В., Павлова Н.Н., Мирзеабасов О.А., Рассказова М.М., Лаврентьева Г.В., Сынзыныс Б.И., Глушков Ю.М. Оценка экологического риска на основе анализа критических нагрузок на экосистему регионального хранилища радиоактивных отходов // Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра «Радиация и риск». 2012. Т. 21. № 4. С. 41–50.

Поступила в редакцию 20.10.2014 г.

### Авторы

Горшкова Татьяна Александровна, доцент

E-mail: tgorshkova@yandex.ru

Удалова Алла Александровна, профессор, старший научный сотрудник

E-mail: oudalova@mail.ru

Гераськин Станислав Алексеевич, заведующий лабораторией

E-mail: stgeraskin@gmail.com

Киселев Сергей Михайлович, ведущий научный сотрудник

E-mail: sergbio@gmail.com

Ахромеев Сергей Викторович, младший научный сотрудник

E-mail: sergeyfmbc@gmail.com



UDC 577.34

**BIOINDICATION OF THE ENVIRONMENT IN THE VICINITY OF THE FAR-EASTERN CENTER FOR RADIOACTIVE WASTE TREATMENT**Gorshkova T.A.<sup>1</sup>, Oudalova A.A.<sup>1,2</sup>, Geras'kin S.A.<sup>2</sup>, Kiselev S.M.<sup>3</sup>, Ahromeev S.V.<sup>3</sup><sup>1</sup>Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, National Research Nuclear University «MEPhI»,  
Studgorodok 1, Obninsk, 249032, Russia<sup>2</sup>Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk<sup>3</sup>FGBU SSC Federal Medical Biophysical Center A.I. Burnazyan FMBA of Russia, Moscow**ABSTRACT**

The present study was aimed at estimating the environmental conditions in the vicinity of the Far-Eastern center on radioactive waste treatment using bioindication techniques. Three species of plants (five-finger, violet, white clover) were sampled in five sites with dose rates ranging from 0.05 to 6.0  $\mu\text{Sv/h}$ . A fluctuating asymmetry of leaves and pollen fertility were used as indexes of the environmental well-being. A statistically significant increase in the index of fluctuating asymmetry in white clover was found on the site where external dose rate enhanced the background rate by a factor of 50 – 60. In the same white clover population a rare morphological anomaly was found. Survey of the reproduction index, namely, pollen sterility, under conditions of relatively low levels of man-made impact revealed an increase in sterile pollen grains percentage in violet plants along with an external dose rate, while five-finger plants showed enhanced pollen sterility on the reference site. This allows an assumption about a significant contribution of ecological factors (weather, species type, biotic surrounding) to the cumulative plant response under low-level radiation impact. Thus, in this study alterations in developmental stability and reproduction ability are revealed in some plant species inhabiting sites with the highest levels of radiation impact. The findings obtained show that the bioindication approach could be considered as a promising method for primary screening-level assessment of the environmental well-being under man-made (including radioactive) contamination.

**Key words:** bioindication, pollen fertility, fluctuating asymmetry, morphological alterations, radioactive wastes, radionuclides.

**REFERENCES**

1. Radiacionnaja obstanovka na territorii Rossii i sopredel'nyh gosudarstv v 2012 godu. Ezhegodnik [Radiation situation on the territory of Russia and neighboring countries in 2012]. Moscow. Meteoagentstvo Rosgidrometa Publ., 2013 (in Russian).
2. MUK 2.6.1.1194-03. Radiacionnyj kontrol'. Stroncij-90 i cezij-137. Pishhevyje produkty. Otkor prob, analiz i gigenicheskaja ocenka [Guidelines. Radiation control. Strontium-90 and cesium-137. Foodstuffs. Sampling, analysis and hygienic estimation]. Moscow. Minzdrav Rossii Publ., 2003, 31 p. (in Russian).
3. Metodicheskie rekomendacii po vypolneniju ocenki kachestva sredy po sostojaniju zhivyh sushhestv (ocenka stabil'nosti razvitiya zhivyh organizmov po urovnju asimmetrii morfologicheskikh struktur) [Guidelines for the implementation of environment quality assessment on living beings (evaluation of stability of living organisms on an asymmetry level in morphological structures)] // Rosekologiya Order of 16.10.2003 № 460. Moscow. Nauka Publ., 2003. 24 p. (in Russian).
4. Pausheva Z.P. Praktikum po citologii rastenij [Practical training on plant cytology]. Moscow. Kolos Publ., 1988. 304 p. (in Russian).
5. Pozolotina V.N., Molchanova I.V., Karavaeva E.N., Mihajlovskaja L.N., Antonova E.V. Sovremennoe sostojanie nazemnyh jekosistem Vostochno-Ural'skogo radioaktivnogo sleda: urovni zagryaznenija, biologicheskie jeffekty [The current state of terrestrial ecosystems of

the Eastern Ural Radioactive Trace: pollution levels, biological effects]. Ekaterinburg. Goshchitskii Publ., 2008, 204 p. (in Russian).

6. Geras'kin S.A., Evseeva T.I., Oudalova A.A. Plants as a tool for the environmental health assessment / In: Encyclopedia of Environmental Health. Burlington: Elsevier, 2011, v. 4, pp. 571-579.

7. Gorshkova T.A. Ocenka vozmozhnosti ispol'zovaniya klevra polzuchego (*Trifolium repens* L.) dlja bioindikacii antropogennogo narushenija sredy. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN*. 2012, v. 14, no. 1, pp. 69-73 (in Russian).

8. Korona V.V. Stroenie i izmenchivost' list'ev rastenij [Structure and variability of plant leaves]. Ekaterinburg. UrO RAN Publ., 2007, 280 p. (in Russian).

9. Geras'kin S.A., Sarapul'ceva E.I. (red.) Biologicheskij kontrol' okruzhajushhej sredy. Geneticheskij monitoring [Biological control of environment. Genetic monitoring]. Moscow. Akademija Publ., 2010, 208 p. (in Russian).

10. Bahvalov A.V., Pavlova N.N., Mirzeabasov O.A., Rasskazova M.M., Lavrent'eva G.V., Synzynys B.I., Glushkov Ju.M. Ocenka jekologicheskogo riska na osnove analiza kriticheskikh nagruzok na jekosistemu regional'nogo hranilishha radioaktivnyh othodov. *Bjulleten' Nacional'nogo radiacionno-jepidemiologicheskogo registra «Radiacija i risk»*. 2012, v. 21, no. 4, pp. 41-50 (in Russian).

#### Authors

Gorshkova Tat'jana Aleksandrovna, Senior Lecturer

E-mail: tgorshkova@yandex.ru

Oudalova Alla Aleksandrovna, Professor, Senior Researcher

E-mail: oudalova@mail.ru

Geras'kin Stanislav Alekseevich, Head of Laboratory

E-mail: stgeraskin@gmail.com

Kiselev Sergej Michailovich, Senior Researcher

E-mail: sergbio@gmail.com

Akhromeev Sergei Viktorovich, Junior Researcher

E-mail: sergeyfmcb@gmail.com