УДК 574.24 doi: 10.23968/2305–3488.2018.20.3.76–84

ВЛИЯНИЕ СТОКОВ ПРОИЗВОДСТВА ФТОРПОЛИМЕРОВ НА БИОТУ

Юрлов А. А., Сунцова Н. А., Мусихина Т. А., Земцова Е. А., Кошкина Н. А., Девятерикова С. В., Казиенков С. А.

EFFECTS OF EFFLUENT PRODUCTION OF FLUOROPOLYMERS ON BIOTA

Iurlov A. A., Suntsova N. A., Musikhina T. A., Zemtsova E. A., Koshkina N. A., Devyaterikova S. V., Kazienkov S. A.

Аннотация

Введение: производственная деятельность человека, ее влияние на природные компоненты требует изучения и разработки научно обоснованных мер по снижению экологических последствий. Особое место занимают вопросы влияния на биоту отходов производства, содержащих комплекс поллютантов нового поколения, воздействие которого на окружающую среду во многом не изучено. К такого рода отходам можно отнести маточные растворы СКФ-26 — жидкие отходы производства фторполимеров. Сейчас остро стоят вопросы утилизации этих отходов из-за их химической и биологической инертности. **Методы и материалы:** изучено влияние маточных растворов СКФ-26 на тест-объекты разных систематических групп. Оценка токсичности производилась согласно научным разработкам и действующим нормативам в области фитотестирования, жизнеспособность клеток цианобактерий изучалась тетразольно-топографическим методом. Также применялись анафазно-метафазный метод анализа и микроядерный тест микропрепаратов. **Результат:** показано, что всхожесть семян горчицы белой (*Sinapis alba* L.), выживаемость *Daphnia Magna* Straus и цианобактерий (*Nostoc paludosum* Kutz) снижаются под воздействием маточного раствора СКФ-26 при снижении кратности его разбавления. У сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) митотическая активность понижается, а доля цитогенетических нарушений повышается со снижением степени разбавления указанного маточного раствора. **Заключение:** доказано негативное влияние МР на биоту и необходимость утилизации МР, исключающей его сброс в окружающую среду.

Ключевые слова: поллютанты, фторполимеры, маточные растворы, биотестирование, цитогенетика, анафазно-телофазный метод.

Abstract

Introduction: man's production activity, its impact on natural components, requires the study and development of scientifically based measures to reduce environmental consequences. A special place is occupied by questions of influence on the biota of industrial wastes containing a complex of new generation pollutants, whose impact on the environment has not been studied in many respects. To this kind of waste can be attributed mother liquor GFR-26 — liquid waste products of fluoropolymers. Now the issues of utilization of these wastes are acute because of their chemical and biological inertness. **Methods and materials:** the effect of MR SKF-26 on the test objects of different systematic groups was studied. The toxicity assessment was carried out according to scientific developments and the current standards in the field of phytotesting, the viability of cyanobacterial cells was studied by the tetrazol-topographic method. Anaphase-metaphase method of analysis and micro-nuclear test of micropreparations were also used. **Results:** it is shown that the germination of white mustard seeds (*Sinapis alba* L.), the survival rate of *Daphnia Magna* Straus and cyanobacteria (*Nostoc paludosum* Kutz) decrease under the influence of the stock solution of SKF-26 with a decrease in the dilution ratio. In Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) mitotic activity decreases, and the proportion of cytogenetic disorders increases with a decrease in the dilution rate of said mother liquor. **Conclusion:** the negative effect of MR on biota and the need to recycle MP, which excludes its release into the environment, is proved.

Keywords: pollutants, fluoropolymers, mother liquors, biotesting, cytogenetics, anaphase-telophase method.

Введение

Если данные об интегральном эффекте совокупного негативного воздействия промышленности на биоту могут быть получены в ходе проведения биомониторинга, то оценить вклад влияния конкретного антропогенного фактора на живые организмы возможно только при моделировании процесса воздействия в лабораторных условиях.

В настоящее время среди микрополлютантов, таких как CO, SO_2, NO_2, фтор считается наиболее опасным и наиболее фитотоксичным [22]. Один из путей поступления фтора в окружающую среду — это сброс в водные объекты жидких

отходов — маточных растворов СКФ-26, образующихся в результате производства фторполимеров.

В лабораторных исследованиях эффект воздействия поллютантов на биологические тест-объекты оценивается в соответствии с критериями, используемыми в рамках биологического мониторинга. Так, в целях биомониторинга изучается ответная реакция тест-организмов на различные виды совокупного негативного воздействия различных факторов.

В настоящее время наиболее изучено воздействие стоков, содержащих маточные растворы СКФ-26 (МР), на различные биологические объекты.

Из прокариот наиболее часто используют для тестирования маточного раствора цианобактерии [8]. Так, ранее Домрачевой Л. И. с соавторами оценивалась токсичность МР с использованием чистой культуры цианобактерий *Nostoc paludosum* Kütz штамм 18. Было установлено, что все концентрации СКФ-26 (маточный раствор и его разведения 1:1, 1:50 и 1:100) для клеток цианобактерий являются токсичными. Аналогично СКФ-26 действует на микрофлору почв, за исключением концентрации СКФ-26 1:100, которая оказывает стимулирующее действие на длину мицелия микромицетов [11].

С 90-х годов прошлого столетия в рамках государственного и производственного экологического контроля проводится биотестирование стоков с использованием *Daphnia Magna* Straus [13].

Растения обладают разной устойчивостью к высоким концентрациям фтора [22, 25]. Усвоенные растениями соединения фтора превращаются в вещества, ядовитые или вредные для людей [22]. В работах Елькиной Т. С. установлено, что МР СКФ-26 в любых исследуемых разведениях, кроме 2-кратного разведения, и без него, является безопасным для высших растений. Говорить о пищевой безопасности зерна ячменя, выращенного в условиях использования отходов производства фторопластов, можно лишь при определении содержания фтора в зерне [12].

При оценке токсичности воздействия МР на биологические объекты важно использовать комплексные исследования. Наряду с изучением токсичности МР на различных тест-организмах, целесообразно также изучение влияния МР на генетический аппарат клетки с целью установления возможных мутаций. С этой точки зрения удобным объектом являются клетки корневой меристемы семян проростков сосны обыкновенной, которые хорошо подходят в качестве биомаркера кумулятивного воздействия на окружающую среду, где изучается возникновение хромосомных аберраций в стадиях митоза [16, 28], потому что хвойные деревья, как правило, обладают высокой емкостью удерживания. Кроме того, хромосомы сосны обыкновенной достаточно крупные. Учет хромосомных аберраций в клетках корневой меристемы проростков отражает действие техногенных загрязнений на растения, а также позволяет изучить динамику и тенденцию адаптационных процессов в популяциях растений.

Методы и материалы

Целью данной работы является изучение влияния МР СКФ-26 на тест-объекты разных систематических групп. МР СКФ-26 образуется в процессах синтеза, промывки и отжима сополимера винилиденфторида-гексафторпропилена (ВДФ-ГФП) [14].

Было установлено, что помимо фторполимерной дисперсии в количестве до 0,5 % об., в МР СКФ-26 присутствуют такие ионы, как Na^+/K^+ (до 0,21 г/л), $P_{общ}$ (до 67,7 мг/л), NH_4^+ (до 0,17 г/л), SO_4^{2-} (до 0,97 г/л), а также ионы F^- (до 60 мг/л) и следы димера (тримера) окиси гексафторпропилена, фторированные углеводороды предельного ряда и их производные, содержащие гидроксильные, карбонильные, карбоксильные, аминные и амидные группы (2,2,3,4,4,4-гексафторобутанол; 1,2-диоксоциклогексан; *n*-тетрадекан; *n*-октодекан; 5-фтор-2-метилбензенамин; 1-трифторасетоксидекан). pH МР СКФ-26 составляет 4,6. Размер частиц дисперсии не превышает 154 нм [14].

Оценка токсичности производилась согласно научным разработкам и действующим нормативам в области фитотестирования. Токсичные свойства МР определялись при помощи методов биотестирования с использованием в качестве тест-объектов: семян высших растений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и горчицы белой (*Sinapis alba* L.) (с нормой всхожести репродукционных семян товарного назначения 85 % [24]); зоопланктона на примере мелких ракооб-

разных *Daphnia Magna Straus* L [18] и цианобактерий (*Nostoc paludosum* Kütz) штамм 18.

Применялись разные варианты разведения МР. На горчице белой и дафниях: МР использовался: без разведения, 1:1, 1:25, 1:50, 1:100, контроль (артезианская вода). На сосне обыкновенной применяли другие соотношения при разведении: МР без разведения, 3:1, 1:1, 1:3, контроль (дистилированная вода), так как тест на цитогенетические изменения в меристеме корешков проростков семян сосны обыкновенной менее чувствителен к концентрации МР, чем другие тест-объекты.

Жизнеспособность клеток цианобактерий изучалась тетразольно-топографическим методом [8].

Для проведения исследований атомного состава образца цианобактерий использовался сканирующий (растровый) электронный микроскоп JEOL JSM-6510 LV (Япония), укомплектованный рентгеновским энергодисперсионным спектрометром с кремний-дрейфовым безазотным детектором. Диапазон анализируемых элементов от B до U, разрешение <=133 эВ [14].

С целью выявления влияния МР на наследственность проведен цитогенетический мониторинг меристемы корешков проростков семян сосны обыкновенной. Семена собирались в экологически чистой зоне. Шишки брали со средней части кроны модельных деревьев с одной и той же стороны света. В качестве модельных деревьев использовали деревья 1-й категории [1]. Семена хранили в условиях, соответствующих стандартам, принятым в лесном семеноводстве [26]. Семена проращивались в чашках Петри на фильтровальной бумаге при 26 ºС и поливались 5-ю разными концентрациями МР в соответствии с выше указанными вариантами разведения.

Фиксация и хранение корешков проростков семян осуществлялись по общепринятой методике [9, 20, 26].

Приготовление давленых микропрепаратов и окрашивание ацетогемотоксилином проводилось по общепринятой методике [10, 17, 27].

Затем применялись анафазно-метафазный метод анализа и микроядерный тест микропрепаратов [21] с использованием микроскопа бинокулярного Микромед 1 с увеличением в 400 и в 1000 раз. В каждом препарате подсчитывалось количество клеток: в интерфазе, в разных фазах митоза, с патологиями митоза, с микроядрами. Всего было просмотрено 6867 клеток. Каждое поле зрения анализировалось отдельно, что использовалось в дальнейшем при статистической обработке данных.

Статистическая обработка проводилась с помощью программы Microsoft Office Excel. По выживаемости дафний и всхожести семян горчицы белой применялся критерий Фишера. По выживаемости цианобактерий применялось среднее арифметическое и ошибка среднего арифметического. С помощью критерия χ^2 [6] рассчитывались статистически значимые различия средних митотических активностей и средних сумм числа клеток с цитогенетическими нарушениями, сравнивая попарно контроль и группы с разведениями МР.

Результаты и обсуждение

1. Результаты тестирования на токсичность МР при различных разведениях с использованием семян горчицы белой и результаты оценки выживаемости дафний и клеток цианобактерий в среде МР СКФ-26 представлены на рис. 1.

Как видно из рис. 1, при поливе МР без разведения семена горчицы белой не взошли. При разбавлении МР 1:1, 1:25 и 1:50 всхожесть семян горчицы достоверно была меньше на 8,75 % по сравнению с контролем ($p \leq 0{,}05$) (артезианская вода), при этом они существенно не отличалась между собой. Всхожесть при разбавлении МР 1:100 не имеет статистически значимых отличий по сравнению с контролем.

Смертность дафний снижалась с увеличением доли разбавления МР. В растворе МР без разведения наблюдалась 100%-я гибель дафний. При разведении МР 1:1 выживаемость дафний ниже, чем в контроле, почти в 6 раз ($p \leq 0{,}05$). При разведении 1:25 и 1:50 смертность дафний достоверно не различается между собой ($p > 0{,}05$). При разведении 1:100 выживаемость дафний аналогичная контролю (100 %). При этом норма токсичности — выживаемость 50 % *Daphnia Magna* Straus.

Установление среднего эффективного (летального) разбавления ЭР50 (ЛР50) для *Daphnia Magna* Straus осуществлялось графическим способом, для чего была построена зависимость десятичного логарифма величины разведения МР от процента изменения гибели тест-объектов по

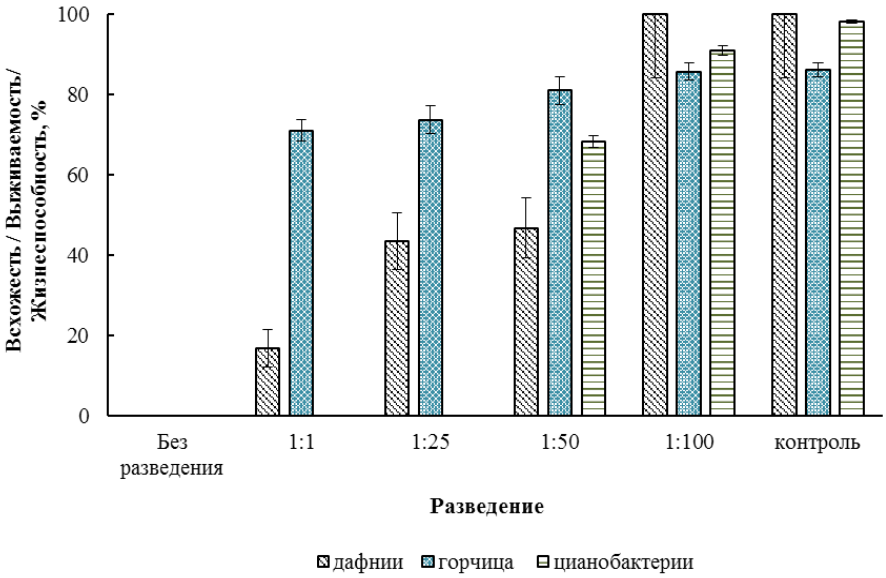

Рис. 1. Влияние разведений МР СКФ-26 на всхожесть семян горчицы белой, выживаемость дафний и на жизнеспособность клеток цианобактерий

отношению к контролю, переведенного в пробитную величину. ЭР50 (ЛР50) устанавливается при 50 %-й гибели тест-объектов, что соответствует пробитной величине, равной 5.

Таким образом, для МР СКФ-26 ЭР50 (ЛР50) составляет 1:29,41.

Критерием жизнеспособности цианобактерий служило образование в живых клетках кристаллов формазана. Из рис. 1 видно, что без разведения МР СКФ-26 и при его разведении 1:1 обнаружена 100 %-я гибель клеток ЦБ. Только при разведении МР 1:100 жизнеспособность клеток цианобактерий достоверно не отличается от контроля ($p > 0,05$). Влияние МР СКФ-26 на рост и жизнедеятельность цианобактерий отражается также в изменении элементного состава их клеток.

Как видно из табл. 1, под влиянием МР СКФ-26 в клетках цианобактерий происходит накопление химических элементов Na, Mg и Ca, а в случае воздействия МР СКФ-26 без разведения выявлено также присутствие фтора.

2. Результаты тестирования на токсичность МР при различных разведениях с использованием семян сосны обыкновенной представлены в табл. 2.

Средние доли клеток с патологиями в метафазе и телофазе не имели статистически значимых отличий по сравнению с контролем и варьировали от 0 до 0,32 % (табл. 2).

Таблица 1

Элементный состав цианобактерий (весовой, %)

Среда	C	O	Na	Mg	Ca	F
Артезианская вода	56,42	37,72	5,86	–*	–	–
МР СКФ-26 при разведении 1:100	57,90	33,49	4,84	1,35	2,43	–
МР СКФ-26 при разведении 1:50	45,56	42,89	7,33	0,85	3,37	–
МР СКФ-26 при разведении 1:1	47,82	38,79	7,69	2,12	3,58	–
МР СКФ-26 без разведения	47,90	34,14	7,32	2,73	3,54	4.38

* Статистически достоверные отличия по сравнению с контролем.

Таблица 2

Цитогенетические характеристики меристемы корней проростков семян сосны обыкновенной в контроле и при разных разведениях МР

Цитогенетические характеристики	Сравнение между контролем и разведениями МР							
	Без разведения МР		3:1		1:1		1:3	
	$\chi 2$	P≤	$\chi 2$	P≤	$\chi 2$	P≤	$\chi 2$	P≤
Патологии в метафазе	3,73	0,10	2,12	0,25	1,69	0,25	2,00	0,25
Патологии в анафазе	2,14	0,25	**7,39**	0,01*	4,91	0,05*	3,08	0,10
Патологии в телофазе	0,67	0,50	1,93	0,25	1,38	0,25	2,95	0,10
Суммы патологий в митозе	0,62	0,50	**4,10**	0,05*	5,96	0,03*	1,04	0,50
Микроядра	2,83	0,10	2,06	0,25	**6,31**	0,03*	3,09	0,10
Митотический индекс	**5,43**	0,03*	**11,93**	0,001*	4,61	0,05*	4,33	0,05*

Примечание: жирным шрифтом выделены изменения в большую сторону по сравнению с контролем; * — статистически достоверные отличия по сравнению с контролем.

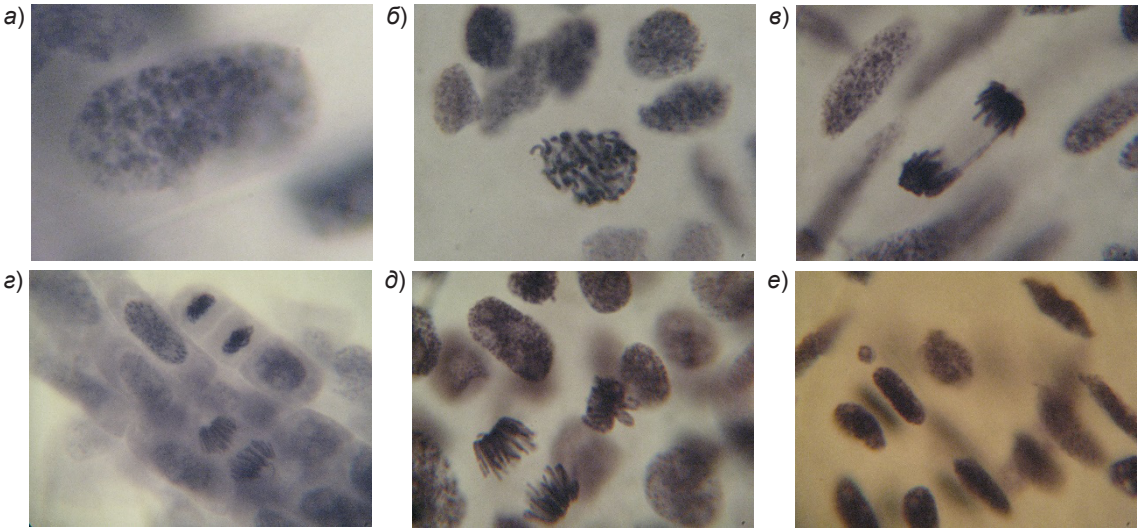

Рис. 2. Клетки меристемы корешков проростков. Ув.: об.·100, ок. ·10, окраска ацетогемотоксилином: *а* — интерфаза; *б* — профаза; *в* — мост в анафазе; *г* — фрагмент в анафазе; *д* — формирование микроядра; *е* — микроядро в интерфазе

В анафазе средние доли клеток с патологиями составили: МР без разведения — 0,95 %, при разведении МР: 3:1 — 0,95 %; 1:1 — 0,1 %; 1:3 — 0,53 %; в контроле — 0,24 %. При этом количество патологий в анафазе больше, чем в контроле при разведении 3:1 ($p \leq 0{,}01$), а при разведении 1:1 патологий статистически меньше, чем в контроле ($p \leq 0{,}05$). При воздействии МР в разведении 1:3 и без него не приводит к численному изменению патологий. В анафазе наблюдались отставания хромосом от веретена деления, а также мосты между хромосомами (рис. 2, *в*, *г*).

Средние доли клеток с микроядрами составили 0,05–0,41 % (рис. 2, *д*, *е*). У растений, поливаемых МР в разведении 1:3 и в контроле микроядра не обнаружены. Больше всего микроядер выявлено при разбавлении МР 1:1 ($p \leq 0{,}025$).

Средний митотический индекс варьировал в пределах 4,45–8,47 % и имел статистически значимые отличия между всеми группами. При этом МР без разбавления и его разведение 3:1 вызывают увеличение митотического индекса по сравнению с контролем, а при разбавлении 1:1 и 1:3 — его понижение (табл. 2).

Заключение

Изучая воздействие МР при разных вариантах разведения на биологические объекты, установлено разнообразие их откликов.

Среди исследованных биологических тест-объектов наиболее чувствительными к воздейс-

твию МР являются цианобактерии. Выявлено, что при воздействии МР происходит угнетение их жизнеспособности. Возможно, это связано как с компонентами МР, так как установлено, что фтор непосредственно проникает в клетки цианобактерий, так и с кислой pH, так как оптимальная для цианобактерий pH 7,5–10 [5]. Отмечающееся увеличение накопления металлов и фтора в цианобактериях в присутствии МР свидетельствует о росте подвижности катионов и их транспорта через стенки клеточных мембран в результате благоприятной сольватации.

Выявлено, что при увеличении разведения МР СКФ-26 смертность дафний понижается, среднее эффективное (летальное) разбавление ЭР50(ЛР50) составило для МР СКФ-26 1:29,41. Возможно, гибель дафний происходит в результате закупорки дыхательных путей дисперсными частицами МР и достаточно низким значением pH дисперсии.

Установлено, что высшие растения видоспецифичны и менее восприимчивы к действию МР, чем цианобактерии и дафнии. МР негативно влияет на всхожесть семян горчицы белой. Вероятно, этому способствует образование на поверхности растений непроницаемой для внешней среды пленки, препятствующей проникновению необходимых веществ для их роста и развития.

На проростки семян сосны обыкновенной МР влияет иначе: при воздействии МР разных степеней разведения в большинстве случаев не было обнаружено патологий митоза, что, возможно, свидетельствует о том, что компоненты МР не проникли внутрь клетки. Однако выявлены цитогенетические отклонения. Так, наибольшее количество цитогенетических отклонений, по сравнению с контролем, выявлено при разведении МР 3:1 и 1:1. В этих группах изменения разнонаправлены. При разведении 3:1 наибольшие изменения выявлены в анафазе митоза, а при 1:1 — наибольшее число микроядер. В анафазе обнаружены основные патологии митоза: фрагменты и мосты. Они возникают в результате повреждения хромосом мутагенами. Фрагменты хромосом случайным образом могут воссоединяться своими концами, что приводит к инверсиям, делециям, транслокациям хромосом. Хромосомные мосты возникают в результате фрагментации хромосом и формирования у них липких участков. В телофазе мосты рвутся из-за растягивания дицентрических хромосом между митотическими центрами. Образование мостов приводит к генетической разнородности дочерних ядер, нарушает течение завершающих стадий митоза, углубляя его патологию [2]. Фрагменты хромосом могут попасть в одно из дочерних ядер, резорбироваться, образовать дополнительное микроядро. Цитогенетические изменения связаны не только с повреждением ДНК хромосом, но и с изменением цитоплазматической ДНК, локализованной в хлоропластах, так как ряд исследователей считают, что фториды в значительных количествах накапливаются в них [22].

Выявленные генетические нарушения в проростках семян сосны обыкновенной, возможно, вызывают вещества МР, содержащие активные функциональные группы, а именно 2,4-диметилимидазол, 2,2,3,4,4,4-гексафторбутанол, 1-фторметилпиперазин, 5-фтор-2-метилбензиламин, а также, вероятно, и величина pH. Изменение pH может приводить к существенному изменению конформации двойной спирали ДНК и даже к ее полной денатурации при экстремально кислых pH (до 2,6) (кислотная денатурация) [7]. Исходя из этого можно предположить, что фториды нарушают структуру хромосомной ДНК, а следовательно, и процесс синтеза белка. Данные показывают, что условия среды влияют на митотическую активность ткани, т. е. на отношение числа клеток, находящихся в митозе, к общему числу клеток исследуемой ткани. Его можно выразить через митотический индекс [19]. Большинство загрязнителей окружающей среды ингибируют митотическую активность клеток растительных объектов [3, 4, 9, 15, 21].

Таким образом, достоверное понижение всхожести горчицы белой, увеличение смертности дафний и цианобактерий, рост количества цитогенетических нарушений сосны обыкновенной при снижении степени разведения маточных растворов СКФ-26 говорят о негативном влиянии МР на биоту и необходимость утилизации МР, исключающей его сброс в окружающую среду. Основная цель утилизации — предотвращение гибели диких организмов, исключение нарушений геномов и появления вредных мутаций в природной среде.

Литература

1. Алексеев, В. А. (1989). Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев. *Лесоведение*, 4, сс. 51–57.

2. Алов, И. А. (1965). Патологии митоза. *Вестник АМН СССР*, № 11, с. 58–66.

3. Амосова, А. А. (2004). *Эколого-генетическая оценка влияния солей тяжелых металлов на лук репчатый в условиях модифицирующего эффекта активного ила*. Автореф. дис. канд. биол. наук. Самара.

4. Белоусов, М. В. (2011). *Влияние тяжелых металлов на цитогенетическую изменчивость сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.)*. Канд. биолог. наук. Воронеж.

5. Воловик, Е. В. (2015). Механизм выживания бактерий в окружающей среде. [online] Доступно по ссылке: https://www.scienceforum.ru/2015/pdf/13008.pdf [дата обращения 18.05.2018]

6. Гланц, С. (1999). Медико-биологическая статистика. М.: Практика, 459 с.

7. Далян, Е. Б., Варданян, И. В. (2008). Влияние pH на взаимодействие CuTOEPyP4 с ДНК. Ученые записки еврейского государственного университета, вып. 3, сс. 97–100.

8. Домрачева, Л. И., Кандакова, Л. В., Ашихмина, Т. Я. (2008). Применение тетразольно-топографического метода определения дегидрогеназной активности цианобактерий в загрязненных средах. *Теоретическая и прикладная экология*, № 2, сс. 23–28.

9. Дорошев, С. А. (2004). Влияние антропогенных стрессоров на изменчивость цитогенетических показателей у сосны обыкновенной. Канд. биолог. наук. Воронеж.

10. Дубинина, Л. Г. (1978). Структурные мутации в опытах с Crepis capillaries L. М.: Наука, 188 с.

11. Елькина, Т. С., Хитрин, С. В, Фукс, С. Л., Девятерикова, С. В. (2013). Тестирование отходов производства фторпластов на токсичность к почвенной микрофлоре и высшему растению. В: Материалы Всероссийской научно-практической конференции-выставки экологических проектов с международным участием «Бизнес. Наука. Экология родного края: проблемы и пути их решения». Киров, сс. 281–285.

12. Елькина, Т. С., Домрачева, Л. И., Хитрин, С. В. (2014). Определение степени токсичности отходов производства фторполимеров по реакции почвенной микрофлоры и цианобактерии Nostoc paludosum Kütz. *Принципы экологии,* т. 3, № 1, сс. 43–52.

13. Жмур, Н. С. (1997). Государственный и производственный контроль токсичности вод методами биотестирования в России. М.: Международный Дом Сотрудничества, 114 с.

14. Земцова, Е. А. (2017). Экологические аспекты применения маточных растворов производства фторполимеров Ф-4Д, СКФ-26, СКФ-32 при получении композиционных электрохимических покрытий на основе цинка. Канд. хим. наук. Киров.

15. Калаев, В. Н. (2000). Цитогенетический мониторинг загрязнения окружающей среды с использованием растительных тест-объектов: автореф. дис. канд. биол. наук. Воронеж.

16. Калаев, В. Н., Карпова, С. С. (2004). *Цитогенетический мониторинг: методы оценки загрязнения окружающей среды и состояния генетического аппарата организма*. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», 80 с.

17. Маковлева, О. А. (2013). *Цитогенетика: методические указания к лабораторным работам*. Бузулук: Бузулукский гуманитарно-технолог. ин-т (филиал) ОГУ, 135 с.

18. Министерство природных ресурсов Российской Федерации (2002). *Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов.* Москва: РЭФИА, НИА-Природа, 61 с.

19. Паушева, З. П. (1988). *Практикум по цитологии растений*. М.: Агропромиздат, 27 с.

20. Правдин, Л. Ф., Бударагин, В. А., Круклис, М. В., Шершукова, О. П. (1972). Методика кариологического изучения хвойных пород. *Лесоведение*, № 2, сс. 67–75.

21. Сенькевич, Е. В. (2007). *Цитогенетика сосны обыкновенной и березы повислой в районе Нововоронежской АЭС в связи с вопросами оценки загрязнения окружающей среды*. Канд. биолог. наук. Воронеж, 284 с.

22. Танделов, Ю. П. (2012). *Фтор в системе почва–растение.* Красноярск: Красноярская городская типография, 146 с.

23. Терехова, В. А., Воронина, Л. П., Гершкович, Д. В. (2014). *Биотест-системы для задач экологического контроля: Методические рекомендации по практическому использованию стандартизованных тест-культур*. М.: Доброе слово, 48 с.

24. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (2006). ГОСТ Р 52325-2005. *Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия*. Москва: Стандартинформ, 22 с.

25. Фукс, С. Л., Хитрин, С. Б., Девятерикова, С. Б. (2015). Изучение влияния отходов фторполимерного производства на ячмень сорта Эльф. *Теоретическая и прикладная экология*, № 4, сс. 52–58.

26. Шафикова, Л. М. (1999). *Цитогенетические особенности сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения*. Канд. биолог. наук. Уфа, 147 с.

27. Butorina, A. K., Evstratov, N. (1996). The first detected case of amitosis in pine. *Forest Genetics*, vol. 37, № 11, pp. 137–139.

28. Geras'kin, S. A., Kyu Kimb, J, Oudalova, A. A. (2005). Bio-monitoring the genotoxicity of populations of Scots pine in the vicinity of a radioactive waste storage facility. *Mutation Research*, № 583, pp. 55–66.

References

1. Alekseev, V. A. (1989). Diagnostika zhiznennogo sostoyaniya derev'ev i drevostoev [Diagnostics of life state of trees and standing timber]. Lesovedenie, № 4, pp. 51–57. (in Russian).

2. Alov, I. A. (1965). Patologii mitoza [Pathologies of indirect division]. Vestnik AMN SSSR, № 11, pp. 58–66. (in Russian).

3. Amosova, A. A. (2004). Ekologo-geneticheskaya ocenka vliyaniya solej tyazhelyh metallov na luk repchatyj v usloviyah modificiruyushchego ehffekta aktivnogo ila [*Ecological and genetic evaluation of influence of salts of heavy metals on*

garden onions under conditions of modifying effect of biological sludge]. avtoref. dis. kand. biol. nauk. Samara. (in Russian).

4. Belousov, M. V. (2011). Vliyanie tyazhelyh metallov na citogeneticheskuyu izmenchivost' sosny obyknovennoj (Pinus sylvestris L.) [*Influence of heavy metals on cytogenetic variability of common pine (Pinus sylvestris L.)*]. kand. biolog. nauk. Voronezh, 160 p. (in Russian).

5. Volovik, E. V. (2015). Mekhanizm vyzhivaniya bakterij v okruzhayushchej srede [Mechanism of bacteria survivability in environment]. [online] Available at: https://www.scienceforum.ru/2015/pdf/13008.pdf [accessed on 18.05.2018].

6. Glanc, S. (1999). Mediko-biologicheskaya statistika [Medical and biological statistics]. M.: Praktika, 459 p. (in Russian).

7. Dalyan, E. B., Vardanyan, I. V. (2008). Vliyanie pH na vzaimodejstvie CuTOEPyP4 s DNK [nfluence of pH on interaction of CuTOEPyP4 with desoxynucleic acid]. Uchenye zapiski evrejskogo gosudarstvennogo universiteta, vol. 3, pp. 97–100. (in Russian).

8. Domracheva, L. I., Kandakova, L. V., Ashihmina, T. YA. (2008). Primenenie tetrazol'no-topograficheskogo metoda opredeleniya degidrogenaznoj aktivnosti cianobakterij v zagryaznennyh sredah [Application of tetrazolium topographic method of determining dehydrogenase activity of cyanobacteria in polluted environment.]. Teoreticheskaya i prikladnaya ehkologiya, № 2, pp. 23–28. (in Russian).

9. Doroshev, S. A. (2004). Vliyanie antropogennyh stressorov na izmenchivost' citogeneticheskih pokazatelej u sosny obyknovennoj [Influence of anthropogenic stressors on variability of cytogenetic exponents with common pine]. kand. biolog. nauk. Voronezh. (in Russian).

10. Dubinina, L. G. (1978). Strukturnye mutacii v opytah s Crepis capillaries L. [Structural mutations in experiments with Crepis capillaries L.]. M.: Nauka, 188 p. (in Russian).

11. El'kina, T. S., Hitrin, S. V, Fuks, S. L., Devyaterikova, S. V. (2013). Testirovanie othodov proizvodstva ftorplastov na toksichnost' k pochvennoj mikroflore i vysshemu rasteniyu [Testing the waste products of fluoroplastics for toxicity to the soil microflora and the higher plant]. V: Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii-vystavki ehkologicheskih proektov s mezhdunarodnym uchastiem «Biznes. Nauka. Ekologiya rodnogo kraya: problemy i puti ih resheniya», Kirov, pp. 281–285. (in Russian).

12. El'kina, T. S., Domracheva, L. I., Hitrin, S. V. (2014). Opredelenie stepeni toksichnosti othodov proizvodstva ftorpolimerov po reakcii pochvennoj mikroflory i cianobakterii Nostoc paludosum Kütz [Identifying degree of toxicity of fluoropolymers production waste by the reaction of soil microflora and cyanobacterium Nostoc paludosum Kütz.]. Principy ehkologii, vol. 3, № 1, pp. 43–52. (in Russian).

13. Zhmur, N. S. (1997). Gosudarstvennyj i proizvodstvennyj kontrol' toksichnosti vod metodami biotestirovaniya v Rossii [State- and production-level water toxicity control using biotesting methods in Russia]. M.: Mezhdunarodnyj Dom Sotrudnichestva, 114 p. (in Russian).

14. Zemcova, E. A. (2017). Ekologicheskie aspekty primeneniya matochnyh rastvorov proizvodstva ftorpolimerov F-4D, SKF-26, SKF-32 pri poluchenii kompozicionnyh ehlektrohimicheskih pokrytij na osnove cinka [Environmental aspects of using mother solutions of F-4D, SKF-26, SKF-32 fluoropolymers production when providing composite zinc-based electrochemical coatings.]. kand. him. nauk, Kirov. (in Russian).

15. Kalaev, V. N. (2000). Citogeneticheskij monitoring zagryazneniya okruzhayushchej sredy s ispol'zovaniem rastitel'nyh test-ob»ektov [Cytogenetic monitoring of contamination of environment with the use of vegetational test targets]. avtoref. dis. kand. biol. nauk. Voronezh. (in Russian).

16. Kalaev, V. N., Karpova, S. S. (2004). Citogeneticheskij monitoring: metody ocenki zagryazneniya okruzhayushchej sredy i sostoyaniya geneticheskogo apparata organizma [*Cytogenetic monitoring: methods of assessing contamination of environment and state of genetic apparatus of a body*]. Voronezh: FGBOU VO «Voronezhskij gosudarstvennyj universitet», 80 p. (in Russian).

17. Makovleva, O. A. (2013). Citogenetika: metodicheskie ukazaniya k laboratornym rabotam [*Cytogenetics: methodological instructions to laboratory-based works*]. Buzuluk: Buzulukskij gumanitarno-tekhnolog. in-t. (filial) OGU, 135 p. (in Russian).

18. Ministerstvo prirodnyh resursov Rossijskoj Federacii (2002). Rukovodstvo po opredeleniyu metodom biotestirovaniya toksichnosti vod, donnyh otlozhenij, zagryaznyayushchih veshchestv i burovyh rastvorov [*Guidelines for determining toxicity of water, bottom deposits, contaminants and drilling muds by means of biotesting.*]. Moskva: REHFIA, NIA-Priroda, 61 p. (in Russian).

19. Pausheva, Z. P. (1988). Praktikum po citologii rastenij [*Practical course on cytology of plants*]. M.: Agropromizdat, 27 p. (in Russian).

20. Pravdin, L. F., Budaragin, V. A., Kruklis, M. V., SHershukova, O. P. (1972). Metodika kariologicheskogo izucheniya hvojnyh porod [Methods of karyological study of coniferous species]. Lesovedenie, № 2, pp. 67–75. (in Russian).

21. Sen'kevich, E. V. (2007). Citogenetika sosny obyknovennoj i berezy povisloj v rajone Novovoronezhskoj AEHS v svyazi s voprosami ocenki zagryazneniya okruzhayushchej sredy [*Cytogenetics of common pine and weeping birch in the area of Novovoronezhskaya NPP in connection with problems of assessing environmental contamination*]. kand. biolog. nauk. Voronezh. (in Russian).

22. Tandelov, Yu. P. (2012). Ftor v sisteme pochva–rastenie [*Fluorine in soil-plant system*]. Krasnoyarsk: Krasnoyarskaya gorodskaya tipografiya, 146 p. (in Russian).

23. Terekhova, V. A., Voronina, L. P., Gershkovich, D. V. (2014). Biotest-sistemy dlya zadach ehkologicheskogo kontrolya: Metodicheskie rekomendacii po prakticheskomu ispol'zovaniyu standartizovannyh test-kul'tur [*Biological test systems for environmental monitoring problems: Methodological recommendations on practical use of standardized testing cultures*]. M.: Dobroe slovo, 48 p. (in Russian).

24. Federal'noe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii (2006). GOST R 52325-2005. Semena sel'skohozyajstvennyh rastenij. Sortovye i posevnye kachestva. Obshchie tekhnicheskie usloviya [*Seeds of agricultural plants. Graded and sowing qualities. General Specifications*]. Moskva: Standartinform, 22 p. (in Russian).

25. Fuks, S. L., Hitrin, S. B., Devyaterikova, S. B. (2015). Izuchenie vliyaniya othodov ftorpolimernogo proizvodstva na yachmen' sorta EHl'f [Studying influence of fluoropolymers

production waste on barley of Elf grade.]. Teoreticheskaya i prikladnaya ehkologiya, № 4, pp. 52–58. (in Russian).

26. Shafikova, L. M. (1999). Citogeneticheskie osobennosti sosny obyknovennoj v usloviyah promyshlennogo zagryazneniya [*Cytogenetic peculiarities of common pine under conditions of industrial contamination*]. kand. biolog. nauk. Ufa. (in Russian).

27. Butorina, A. K., Evstratov, N. (1996). The first detected case of amitosis in pine. Forest Genetics, vol. 37, № 11, pp. 137–139.

28. Geras'kin, S. A., Kyu Kimb, J, Oudalova, A. A. (2005). Bio-monitoring the genotoxicity of populations of Scots pine in the vicinity of a radioactive waste storage facility. Mutation Research, № 583, pp. 55–66.

Авторы

Юрлов Алексей Александрович
Вятский государственный университет
Телефон 8(963)4334778
E-mail: lesha.yurlov@mail.ru

Сунцова Надежда Анатольевна, д-р биол. наук, профессор
Вятский государственный университет
E-mail: suntsova_nadi@mail.ru

Мусихина Татьяна Анатольевна, канд. географ. наук, доцент
Вятский государственный университет
E-mail: usr04011@vyatsu.ru

Земцова Екатерина Анатольевна, канд. хим. наук
Вятский государственный университет
E-mail: ea_zemtsova@vyatsu.ru

Кошкина Наталья Александровна, канд. биол. наук, доцент
Вятский государственный университет
E-mail: natalya-koshkina03@mail.ru

Девятерикова Светлана Владимировна, канд. техн. наук
Вятский государственный университет
E-mail: usr01730@vyatsu.ru

Казиенков Сергей Александрович
Вятский государственный университет
E-mail: sa_kazienkov@vyatsu.ru

Authors

Iurlov Alexei Alexandrovich
Vyatka State University
E-mail: lesha.yurlov@mail.ru

Suntsova Nadezhda Anatol'evna, Dr. of Biology, professor
Vyatka State University
E-mail: suntsova_nadi@mail.ru

Musikhina Tatiana Anatol'evna, PhD in Geography
Vyatka State University
E-mail: usr04011@vyatsu.ru

Zemtsova Ekaterina Anatol'evna, PhD in Chemistry
Vyatka State University
E-mail: ea_zemtsova@vyatsu.ru

Koshkina Natal'ia Alexandrovna, PhD in Biology
Vyatka State University
E-mail: natalya-koshkina03@mail.ru

Devyaterikova Svetlana Vladimirovna, PhD in Engineering
Vyatka State University
E-mail: usr01730@vyatsu.ru

Kazienkov Sergey Aleksandrovich
Vyatka State University
E-mail: sa_kazienkov@vyatsu.ru

Подписано к печати 28.09. 2018. Формат $60\times90^{1}/_{8}$. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 10,5. Тираж 1000 экз. Заказ 115. «С» 72. Отпечатано на МФУ.
198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32 лит А