

УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
БОТАНИЧЕСКИЙ САД
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. А. М. ГОРЬКОГО

УДК 502.521
Б633

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И МОНИТОРИНГ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Материалы Международной научной конференции
Екатеринбург, 4—8 июня 2007 г.

Редакционная коллегия:
член-корреспондент РАН **С. А. Мамаев** (отв. редактор); доктор биологических наук А. К. Махнев; доктор сельскохозяйственных наук С. Л. Меншиков; кандидат биологических наук Т. С. Чибрик (отв. редактор); кандидат биологических наук М. А. Глазырина (отв. за выпуск)

*Издание поддержано Российским фондом фундаментальных исследований
(грант 07-04-06033-г)*

Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: материалы Междунар. науч. конф., Екатеринбург, 4—8 июня 2007 г. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2007. — 928 с.

ISBN 5-7996-0261-7

Материалы сборника включают доклады, отражающие достижения последнего пятилетия по таким основным направлениям исследований, как экологические основы биологической рекультивации нарушенных земель, геохимическая оценка нарушенных и рекультивированных земель, физиолого-биохимическая характеристика растительной продукции техногенных ландшафтов, оценка состояния и динамики техногенных экосистем, итоги экспериментальных работ по рекультивации.

Сборник рассчитан на широкий круг специалистов, в том числе в области ботаники, экологии, охраны окружающей среды.

УДК 502.521

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2007

ISBN 5-7996-0261-7

© Уральский государственный университет, 2007
© Ботанический сад УрО РАН, 2007

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 06-04-48572. Выражаю особую признательность О. В. Дуле и С. Б. Чусовитиной за помощь в проведении эксперимента.

Список использованной литературы

Николаевский В. С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск, 1979.

Трубина М. Р. Внутрипопуляционная дифференциация скерды кровельной (*Сrepis tectorum* L.) по скорости роста розетки и темпам развития особей. Эффект последствия длительного стресса // Экология. 2005. № 4. С. 243—251.

Трубина М. Р., Махнев А. К. Возрастная структура популяций травянистых растений в условиях стресса (на примере *Сrepis tectorum* L.) // Экология. 1999. № 2. С. 116—120.

Трубина М. Р. Влияние температуры на рост и развитие скерды кровельной: эффект последствия загрязнения // Особь и популяция — стратегии жизни: Материалы докл. IX Всерос. популяц. семинара: В 2 ч. Республика Башкортостан, Уфа, 2—6 окт. 2006 г. Уфа, 2006. Ч. 1. С. 431—436.

Taylor G. E., Selvidge W. J., Crumbly I. J. Temperature effects on plant response to sulphur dioxide in *Zea mays*, *Leriodendron tulipifera*, and *Fraxinus pennsylvanica* // Water, Air and Soil Pollution. 1985. Nr 24. P. 405—418.

Komulainen M., Vieno M., Yarmishko V. T., Daletskaja T. D., Maznaja E. A. Seedling establishment from seeds and seed banks in forests under long-term pollution stress: a potential for vegetation recovery // Canadian J. of Botany. 1994. Nr 72. P. 143—149.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ И ХАРАКТЕРА РАЗМЕЩЕНИЯ ОСОБЕЙ ЛУГОВЫХ ВИДОВ В ОКРЕСТНОСТЯХ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ЗАВОДА

М. Р. Трубина, О. В. Дуля

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Дифференцированный отклик разных видов растений на поступление в окружающую среду загрязняющих веществ —

хорошо известный факт. В то же время вопросы, касающиеся особенностей изменения численности локальных популяций растений в градиенте токсической нагрузки и в пространстве при длительном поступлении в среду загрязняющих веществ, а также влияния биологических особенностей видов на характер изменения их численности в пространстве, остаются малоизученными.

Исследования особенностей изменения численности локальных популяций и характера размещения особей у травянистых видов растений были проведены в окрестностях Среднеуральского медеплавильного завода (функционирует с 1940 г., основные компоненты выбросов — тяжелые металлы и двуокись серы). Подробная характеристика района исследований и особенностей распределения загрязняющих веществ в окрестностях предприятия приведены в других работах (Воробейчик и др., 1994). В качестве основных объектов исследований были выбраны горицвет обыкновенный (*Coronaria flox-cuculi* (L.) A. Br., сем. Caryophyllaceae, коротко корневищный гигромезофитный вид с автохорным характером распространения семян), полевица тонкая (*Agrostis tenuis* Sibth., сем. Poaceae, корневищный рыхло дерновинный мезофитный вид с невлагалищным типом возобновления побегов и с анемохорным характером распространения семян), щучка дернистая (*Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv., сем. Poaceae, плотно дерновинный корневищный гигромезофитный вид с внутривлагалищным типом образования побегов и с анемохорным характером распространения семян) и кровохлебка лекарственная (*Sanguisorba officinalis* L., сем. Rosaceae, стержнекорневой гигромезофитный вид с многоглавым каудексом и с зоохорным характером распространения семян). Изучение популяционных параметров было проведено на четырех удалениях от источника эмиссий (1, 4, 7 и 30 км; импактная, буферная 1, буферная 2 и фоновая зоны загрязнения соответственно), в трех местообитаниях на каждом удалении. В пределах каждого местообитания на 300 площадках

размером 50 × 50 см оценивалась плотность особей/ценобионтов каждого вида. Учетные площадки размещались в узлах сетки с ячейкой 1 × 1 м в пределах 3 квадратов со стороной 10 × 10 м. На этих же площадках отмечалось общее проективное покрытие всеми видами и количество вегетативных и генеративных особей/ценобионтов конкретного вида. Общее количество площадок составило 3 600 шт. Для сравнения средних значений показателей между разными зонами токсической нагрузки использовался метод множественных сравнений Шеффе (данные по плотности) и тест Манна — Уитни (данные по индексу гомогенности Нуматы). Для оценки вклада различных факторов в варьирование плотности использовался иерархический вариационный анализ компонент. Перед проведением анализа данные были преобразованы логарифмированием ($\ln + 1$).

Проведенные исследования показали, что общее проективное покрытие в исследованных луговых сообществах снижается в градиенте нагрузки с 92 до 30 %, при этом сообщества на расстоянии 30 и 7 км от источника выбросов не отличались между собой по данному показателю ($P < 0,794$). Проективное покрытие на данных удалениях составляло 92 и 94 % соответственно. На расстоянии 4 км от источника выбросов общее проективное покрытие снижалось до 84 %. Доля дисперсии, связанная с зоной загрязнения, объясняла до 71,5 % общего варьирования показателя ($F_{3,8} = 231,3; P < 0,001$). Значения показателя не отличались между местообитаниями в пределах зоны ($F_{8,24} = 0,27; P < 0,971$) и существенно варьировали в пределах конкретного местообитания (доля дисперсии составила 10,3 %; $F_{24,3564} = 57,2; P < 0,001$). Численность и структура локальных популяций изученных видов значительно менялись в градиенте токсической нагрузки, но характер и степень выраженности изменений показателей у изученных видов различались (см. табл. 1).

Численность локальных популяций горицвета обыкновенного и полевицы тонкой, а также доля генеративных

Таблица 1

Средние (\pm ошибка) значения отдельных популяционных параметров травянистых растений в разных зонах загрязнения в окрестностях Среднеуральского медеплавильного завода

Параметр	Зона загрязнения			Фоновая
	Импактная	Буферная 1	Буферная 2	
<i>Горцицвет обыкновенный</i>				
Плотность особей, шт./м ² :				
генеративные	2,71 \pm 0,40 а*	0,50 \pm 0,06 b	0,30 \pm 0,05 b	0,19 \pm 0,06 cb
вегетативные	13,2 \pm 1,21 а	0,73 \pm 0,11 b	2,88 \pm 0,23 c	2,36 \pm 0,16 c
Общая	15,9 \pm 1,43 а	1,23 \pm 0,14 b	3,18 \pm 0,25 c	2,55 \pm 0,18 c
Доля генеративных особей	0,12 \pm 0,01 а	0,50 \pm 0,04 b	0,09 \pm 0,02 а	0,05 \pm 0,01 ca
<i>Щучка дернистая</i>				
Плотность особей, шт./м ² :				
генеративные	0,30 \pm 0,04 а	2,40 \pm 0,07 b	0,55 \pm 0,05 c	0,75 \pm 0,05 d
вегетативные	0,26 \pm 0,04 а	1,73 \pm 0,08 b	0,54 \pm 0,05 c	1,08 \pm 0,07 d
Общая	0,56 \pm 0,06 а	4,13 \pm 0,10 b	1,09 \pm 0,07 c	1,82 \pm 0,09 d
Доля генеративных особей	0,58 \pm 0,04 а	0,64 \pm 0,02 а	0,53 \pm 0,03 ab	0,43 \pm 0,03 b

Примечание. При попарном сравнении различные буквы (а, b, c, d) означают наличие существенных отличий ($P < 0,05$) между средними значениями в разных зонах нагрузки (метод множественных сравнений Шеффе).

Параметр	Зона загрязнения			Фоновая
	Импактная	Буферная 1	Буферная 2	
<i>Полевица тонкая</i>				
Плотность ценобионтов, шт./м ² :				
генеративные	337,2 \pm 14,1 а	80,0 \pm 6,5 b	20,6 \pm 2,91 c	7,56 \pm 1,27 c
вегетативные	1005,3 \pm 24,0 а	298,1 \pm 15,5 b	115,0 \pm 7,54 c	212,6 \pm 10,13 d
Общая	1342,6 \pm 27,4 а	378,1 \pm 18,6	135,6 \pm 8,95 c	220,1 \pm 10,4 b
Доля генеративных ценобионтов	0,25 \pm 0,01 а	0,19 \pm 0,01 b	0,11 \pm 0,01 c	0,03 \pm 0,005 d
<i>Кровохлебка лекарственная</i>				
Плотность особей, шт./м ² :				
генеративные	0,013 \pm 0,01 а	0,20 \pm 0,03 b	0 а	0,004 \pm 0,004 а
вегетативные	0,013 \pm 0,01 а	0,28 \pm 0,04 b	0 а	0,013 \pm 0,008 а
Общая	0,026 \pm 0,02 а	0,48 \pm 0,06 b	0 а	0,018 \pm 0,011 а
Доля генеративных особей	0,39 \pm 0,20 а	0,40 \pm 0,05 а		0,17 \pm 0,17 а

Окончание табл. 1

особей в составе популяций этих видов увеличивались в градиенте нагрузки. Наиболее четко клинальный характер изменения популяционных параметров проявился у полевицы. Численность горицвета существенно увеличивалась только в зоне наиболее сильного загрязнения. Наибольшая численность локальных популяций щучки дернистой и кровохлебки лекарственной, а также более высокая доля генеративных особей в составе популяций этих видов были отмечены на расстоянии 4 км от источника выбросов. Наименьшая численность локальных популяций щучки дернистой была отмечена в импактной зоне загрязнения, у кровохлебки лекарственной — во второй буферной зоне на расстоянии 7 км от источника выбросов.

Варьирование популяционных показателей в пространстве также отличалось у изученных видов. В частности, для горицвета обыкновенного было характерно незначительное ($P < 0,442$) варьирование численности особей в различных местообитаниях в пределах зоны нагрузки в макромасштабе (сотни метров). Значительная доля дисперсии показателя (25 %; $F_{8,24} = 36,07$; $P < 0,001$) была обусловлена варьированием условий в пределах конкретных местообитаний в мезомасштабе (десятки метров). На остаточную дисперсию, включающую варьирование показателей в микромасштабе (метры) и неучтенные факторы, приходилась наибольшая доля (71 %). Зона токсической нагрузки объясняла только 3 % общей дисперсии показателя.

Для полевицы тонкой зона токсической нагрузки объясняла до 34 % общей дисперсии численности ценобионтов ($F_{3,8} = 7,85$; $P < 0,009$). Значения показателя в пределах зоны нагрузки существенно отличались в макромасштабе (доля дисперсии — 12 %; $F_{8,24} = 6,29$; $P < 0,001$). Варьирование численности было несколько менее выражено в мезомасштабе (доля дисперсии — 7 %; $F_{24,3564} = 15,43$; $P < 0,001$). Остаточная дисперсия составляла только 46 %. Для щучки дернистой зона загрязнения объясняла до 32 % общей дисперсии

численности особей ($F_{3,8} = 16,76$; $P < 0,001$). Значения показателя мало варьировали в макромасштабе ($P < 0,062$). Варьирование показателя было более выраженным в мезомасштабе (доля дисперсии — 8 %; $F_{24,3564} = 14,59$; $P < 0,001$). На остаточную дисперсию приходилось до 56 %. Для кровохлебки лекарственной было характерно незначительное ($P < 0,524$) варьирование численности особей в пределах зоны нагрузки в макромасштабе. Значительная доля дисперсии показателя была обусловлена варьированием условий произрастания в мезомасштабе (доля дисперсии — 27 %; $F_{24,3564} = 39,94$; $P < 0,001$). Остаточная дисперсия составляла 69 %. Зона токсической нагрузки объясняла только 4 % общей дисперсии показателя.

Сравнение индексов Нуматы, характеризующих степень гомогенности распределения особей в локальных популяциях, показало, что для особей всех изученных видов характерно контагиозное распределение в пределах локальных местообитаний (значения индекса больше единицы, табл. 2). Значения индексов в локальных популяциях существенно ($P < 0,02—0,001$; тест Краскела — Уоллеса) различались в разных зонах токсической нагрузки и, как правило, были наиболее высокими в зоне сильного загрязнения. В популяциях горицвета контагиозность размещения особей увеличивалась только в зоне наиболее сильного загрязнения. В популяциях полевицы хорошо выраженное клинальное изменение индекса прослеживалось только для генеративных ценобионтов. В популяциях щучки дернистой и кровохлебки лекарственной значения индексов менялись в меньшей степени.

Таким образом, проведенные исследования показали, что на фоне снижения общего проективного покрытия исследованных луговых сообществ численность локальных популяций у изученных видов в градиенте токсической нагрузки увеличивалась, но характер и степень выраженности изменений в градиенте нагрузки и в пространстве популяционных параметров у видов существенно отличались. Полевица

Таблица 2

Средние (\pm ошибка) значения индекса Нуматы в популяциях травянистых растений из разных зон загрязнения в окрестностях Среднеуральского металлургического завода

Параметр	Зона загрязнения			Фоновая
	Импактная	Буферная 1	Буферная 2	
Генеративные Вегетативные Все особи	4,07 \pm 0,73 a* 8,20 \pm 1,17 a 8,87 \pm 1,08 a	<i>Горицвет</i>		2,39 \pm 0,40 b 2,76 \pm 0,20 b 2,81 \pm 0,23 cb
		2,31 \pm 0,11 b	2,77 \pm 0,24 b	
		3,08 \pm 0,55 b	2,94 \pm 0,37 b	
Генеративные Вегетативные Все особи	1,87 \pm 0,03 a 2,17 \pm 0,07 a 2,15 \pm 0,07 a	<i>Щучка дернистая</i>		1,74 \pm 0,10 a 1,98 \pm 0,06 a 1,84 \pm 0,04 c
		1,25 \pm 0,09 b	1,86 \pm 0,05 a	
		1,87 \pm 0,07 b	2,00 \pm 0,05 a	
Генеративные Вегетативные Все ценобиоты	21,39 \pm 1,29 a 19,07 \pm 1,41 a 19,78 \pm 1,45 a	<i>Полевица тонкая</i>		12,26 \pm 0,73 b 18,02 \pm 1,18 a 18,18 \pm 1,12 a
		18,13 \pm 1,55 a	17,41 \pm 1,85 a	
		25,36 \pm 2,15 b	16,16 \pm 1,21 a	
Генеративные Вегетативные Все особи	2,57 1,98 3,03	<i>Кровохлебка лекарственная</i>		2,00 2,00 \pm 0,01 2,41 \pm 0,42
		2,12 \pm 0,12	—	
		2,15 \pm 0,14	18,87 \pm 1,33 a	

Примечание. При попарном сравнении различные буквы (a, b, c) означают наличие существенных отличий между средними значениями в разных зонах нагрузки (тест Манна — Уитни).

тонкая и горицвет обыкновенный характеризовались самой высокой численностью локальных популяций в зоне наиболее сильного загрязнения, тогда как численность двух других видов (щучки дернистой и кровохлебки лекарственной) была наиболее высокой при промежуточных уровнях нагрузки. Наблюдаемые отличия могут быть обусловлены разной толерантностью изученных видов к действию токсичных веществ, а также разной скоростью формирования устойчивых локальных популяций из-за отличий в способе воспроизводства. В частности, у видов с высокой способностью к вегетативному воспроизводству (полевица тонкая и горицвет обыкновенный) быстрое формирование устойчивых к загрязнению популяций может быть связано с активным разрастанием отдельных клонов, обладающих высокой толерантностью к токсикантам.

Для полевицы тонкой и щучки дернистой изменение условий среды в градиенте токсической нагрузки оказывало более существенное влияние на численность локальных популяций, чем варьирование условий среды в пределах локальных местообитаний. Для двух других видов (горичвета обыкновенного и кровохлебки лекарственной) неоднородность условий среды в пределах локальных местообитаний оказывала более существенное влияние на варьирование численности локальных популяций, чем загрязнение. Наблюдаемые различия в характере варьирования численности в пространстве могут быть связаны с разными причинами. Одна из возможных причин — отличия в способе распространения семян. В частности, для анемохорных видов (полевицы и щучки) было характерно невысокое варьирование численности в пределах локальных местообитаний, тогда как для видов с автохорным (горичвет) и зоохорным (кровохлебка) способом распространения, наоборот, высокое. Другая возможная причина — более высокая индифферентность полевицы и щучки к условиям местообитаний в сравнении с двумя другими видами, но для выявления вклада различных

факторов в варьирование численности изученных видов требуется проведение специальных исследований.

В градиенте токсической нагрузки наблюдалось усиление контагиозности распределения особей и полученные данные хорошо согласуются с данными других исследований (Хантемирова, 1996). Наиболее отчетливо данный феномен проявился только у видов с высокой способностью к вегетативному размножению. Как показывают данные исследований ряда авторов (Мазная и др., 2006; Хантемирова, 1996), а также наши собственные исследования (Трубина, не опубликовано), усиление контагиозности в размещении особей в пределах местообитаний в условиях загрязнения связано с увеличением интенсивности вегетативного размножения особей и формированием более компактных клонов. Кроме того, усиление неравномерности распределения особей в пространстве при увеличении токсической нагрузки может быть связано также с возрастанием роли неоднородности условий среды.

В целом данные проведенных исследований свидетельствуют о том, что изученные виды существенно отличаются по реакции на длительное поступление в среду тяжелых металлов и двуокиси серы, и что биоморфологические особенности видов и способ распространения семян могут оказывать значительное влияние на характер и степень выраженности изменения численности и структуры локальных популяций в градиенте токсической нагрузки и в пространстве.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 06-04-48572.

Список использованной литературы

Воробейчик Е. Л., Садыков О. Ф., Фарафонов М. Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург, 1994.

Мазная У. А., Лягузова И. В., Ефимова М. А. О строении клонов в условиях атмосферного загрязнения // *Особь и популяция — стратегии*

жизни: Материалы докл. IX Всерос. популяц. семинара: В 2 ч. Республика Башкортостан, Уфа, 2—6 окт. 2006 г. Уфа, 2006. Ч. 1. С. 367—370.

Хантемирова Е. В. Структура ценопопуляций горца змеиного в условиях техногенного загрязнения // *Экология*. 1996. № 4. С. 307—309.

UDC 574.3 : 504.5

Peculiarities of change of the density of the local populations and changes of the pattern of distribution of individuals of the meadow species in the vicinity of copper smelter. Trubina M. R.; Dulya O. V. // *Biological recultivation and monitoring of disturbed industrial lands*. Ekaterinburg, 2007.

Peculiarities of change of the density and structure of the local populations of the four herbaceous plant species under the long-term inputs in the environment of the heavy metals and sulphur dioxide were investigated. It is shown that the response of the studied species to the pollution differs considerably. It is also shown that the biomorphological properties and the way of seed spread may influence significantly the pattern and degree of changes of the density and structure of the local populations along toxic load gradient and in space.

Tab. 2. Bibliogr. 3.

УДК. 574.3 : 504.5

Особенности изменения численности локальных популяций и характера размещения особей луговых видов в окрестностях медеплавильного завода. Трубина М. Р., Дуля О. В. // *Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель*. Екатеринбург, 2007.

Были исследованы особенности изменения численности и структуры локальных популяций у четырех видов травянистых растений под воздействием длительного поступления в среду тяжелых металлов и двуокиси серы. Показано, что изученные виды отличаются по реакции на загрязнение, и что биоморфологические особенности видов и способ распространения семян могут оказывать значительное влияние на характер и степень выраженности изменения численности и структуры локальных популяций в градиенте токсической нагрузки и в пространстве.

Табл. 2. Библиогр. 3.