

УДК 504.5: 582.542.11

ВЛИЯНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ РАСТЕНИЙ *PHLEUM PRATENSE* L.

Н. М. Казнина, А. Ф. Титов, Г. Ф. Лайдинен, Ю. В. Батова

Институт биологии Карельского научного центра РАН

Изучали влияние промышленного загрязнения почвы тяжелыми металлами (цинком и свинцом) на основные морфологические признаки генеративного побега (высота побега, длина, ширина и площадь подфлагового листа, длина соцветия) тимopheевки луговой (*Phleum pratense* L.). Установлено, что вблизи (на расстоянии 0,5 км) крупных промышленных предприятий (Онежского тракторного завода в г. Петрозаводске и горно-обогатительного комбината в г. Костомукше) абсолютные значения всех изученных показателей у растений уменьшаются (по сравнению с условно «чистым» районом). Уровень же внутривидовой изменчивости большинства из них в этих условиях, наоборот, возрастает, что может рассматриваться в качестве адаптивной реакции, направленной в конечном счете на выживание ценопопуляции, находящейся в неблагоприятных для нее условиях. При удалении от источника загрязнения на расстояние 10 км у растений отмечено только уменьшение размеров листовой пластинки. Последнее указывает на возможность использования этого показателя в качестве одного из диагностических при оценке состояния ценопопуляций данного вида, произрастающих на территориях, загрязненных тяжелыми металлами.

Ключевые слова: *Phleum pratense* L., морфологические признаки, промышленное загрязнение почвы, тяжелые металлы.

N. M. Kaznina, A. F. Titov, G. F. Laidinen, J. V. Batova. EFFECT OF INDUSTRIAL HEAVY METAL POLLUTION OF SOIL ON THE MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF *PHLEUM PRATENSE* L.

Effect of heavy metal (zinc and lead) industrial pollution of soil on the morphological characteristics of timothy (*Phleum pratense* L.) was investigated. Absolute values of growth parameters were found to decrease near (0.5 km) industrial enterprises compared with relatively "clean" areas. At the same time, the level of within-population variation of most morphological characteristics increased under these conditions. This fact may be an adaptation directed at survival of the population under unfavorable soil conditions. At a distance of 10 km from the source of pollution plants demonstrated only a decrease in leaf dimensions, wherefore this parameter can be used as a diagnostic factor in assessment of the state of populations of the given species growing in areas with heavy metal pollution.

Key words: *Phleum pratense* L., morphological characteristics, soil industrial pollution, heavy metals.

Введение

Среди многочисленных загрязнителей окружающей среды наиболее токсичными для живых организмов, в том числе растений, являются тяжелые металлы. Естественные концентрации тяжелых металлов в природе, как правило, невелики. Значительное же повышение их содержания в почве связано главным образом с хозяйственной деятельностью человека, и, в первую очередь, с выбросами предприятий горнодобывающей и металлургической промышленности, а также машиностроения [Merrington, Alloway, 1994; Снакин, 1998; Лянгузова, 2005]. Несмотря на то что техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами имеет преимущественно локальный характер, определенная часть промышленных выбросов с пылью и в виде аэрозолей может переноситься на большие расстояния, во много раз увеличивая площадь загрязненных ими территорий [Novmand et al., 1983; Барсукова, 1997].

Известно, что увеличение концентрации тяжелых металлов в почве оказывает сильное негативное влияние на рост, развитие и продуктивность растений. В результате на участках вокруг промышленных предприятий происходит нарушение естественных фитоценозов, а в отдельных случаях наблюдается даже полная деградация растительного покрова [Яблоков, 2007; Алексеев, 2008]. Вследствие этого оценка состояния растительных сообществ и отдельных видов растений, произрастающих на территориях с повышенным содержанием тяжелых металлов, чрезвычайно важна, так как может выступать в качестве одного из способов контроля за экологической ситуацией.

Поскольку наиболее распространенными критериями оценки состояния видов растений в сообществе являются изменения их морфологических показателей [Злобин, 1985; Фролова, 1998], задача настоящего исследования состояла в изучении влияния промышленного загрязнения почвы тяжелыми металлами на морфологические признаки генеративного побега тимopheевки луговой (*Phleum pratense* L.) – одного из содоминирующих видов злаков, встречающегося во всех изученных нами травянистых сообществах.

Материал и методы

У растений тимopheевки луговой, произрастающих на участках, расположенных на расстоянии 0,5 и 10 км от двух крупнейших в Карелии предприятий машиностроительной и горнодобывающей промышленности – Онежского

тракторного завода (ОТЗ) в г. Петрозаводске и горно-обогатительного комбината (ГОК) в г. Костомукше, изучали основные морфологические признаки генеративного побега. В качестве контроля использовали растения из условно «чистого» участка, находящегося на территории Агробиологической станции (АБС) Института биологии Карельского научного центра РАН, расположенной в окрестностях г. Петрозаводска.

Для химического анализа почвы на каждом участке отбирали по две индивидуальные почвенные пробы, из которых составляли один смешанный образец [Методические рекомендации..., 1981]. Содержание цинка и свинца в каждом образце определяли в 3–5 аналитических повторностях атомно-абсорбционным методом, используя спектрофотометр AA-6800 (Shimadzu, Япония). Оценку влияния промышленного загрязнения почвы на растения проводили на основании изменения (по сравнению с контролем) следующих показателей генеративного побега: высота побега, длина и ширина подфлагового листа, длина соцветия. Объем выборки в пределах одного участка составлял не менее 10 растений [Методические указания..., 1979]. Площадь листовой пластинки вычисляли по формуле $S = 2/3ld$, где l – длина, d – ширина листовой пластинки [Аникиев, Кутузов, 1961]. Уровень внутривидовой изменчивости признаков оценивали по величине коэффициента вариации (V , %).

Результаты и обсуждение

Из ранее проведенных исследований известно, что почвы вокруг интересовавших нас промышленных предприятий в наибольшей степени загрязнены цинком и свинцом [Потахина и др., 1981; Федорец, Медведева, 2005; Derome, 2008]. Поэтому определялось содержание в почве именно этих элементов. Химический анализ показал, что в большей степени тяжелыми металлами загрязнены участки, расположенные в непосредственной близости (0,5 км) от предприятий (табл. 1). В частности, концентрации цинка на них были в 2,5–3 раза, а свинца – в 2,8–3,5 раза выше, чем в почве контрольного участка. На участках, удаленных от предприятий на расстояние 10 км, концентрации обоих металлов в почве лишь незначительно превышали контроль.

Известно, что многие виды семейства Роасеае, в том числе и тимopheевка луговая, способны произрастать на почвах с довольно высоким содержанием тяжелых металлов [Титов и др., 2007; Лайдинен и др., 2008]. Тем не

менее повышенные концентрации токсичных ионов в корнеобитаемой среде, как правило, приводят к различным изменениям физиологических процессов у злаков, и, в первую очередь, к торможению их роста [Алексеева-Попова, 1991; Prasad et al., 2001; Титов и др., 2002; Лайдинен и др., 2004; Атабаева, 2007 и др.].

Наши исследования показали, что при увеличении содержания тяжелых металлов в почве абсолютные значения всех изученных морфологических признаков генеративного побега у тимофеевки луговой снижаются (по сравнению с контролем). Вместе с тем устойчивость разных показателей роста к почвенному загрязнению оказалась неодинаковой. Наиболее устойчивыми из них явились высота побега и длина соцветия (табл. 2). Достоверное их уменьшение (на 18–20 % и 20–25 % по сравнению с контролем, соответственно) наблюдалось только у растений, произраставших на участках, расположенных в непосредственной близости от предприятий. Показатели, характеризующие рост листа, наоборот, обнаружили более высокую чувствительность к загрязнению почвы тяжелыми металлами. Даже на участках, удаленных от предприятий на 10 км, длина, ширина и площадь подфлагового листа у тимофеевки были заметно меньше, чем на условно «чистом» участке. Так, площадь листа у растений из ценопопуляции, расположенной на расстоянии 10 км от ОТЗ, уменьшалась на 30 % по сравнению с контролем, а у растений, произрастающих в 10 км от ГОКа, – на 37 %. При приближении к источнику загрязнения на расстояние 0,5 км данный показатель у растений снижался еще в большей степени – на 38 % и 50 %, соответственно. Кроме того, у этих растений был обнаружен хлороз верхних листьев и

ускорение старения нижних листьев, что указывает на ухудшение состояния фотосинтетического аппарата, которое обычно приводит к снижению продуктивности отдельных растений и ценопопуляций в целом.

Ранее уменьшение размеров листьев в районах с промышленным загрязнением почвы тяжелыми металлами было обнаружено у *Typha latifolia* L. [Ye et al., 1997], *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. [Pietrini et al., 2003], *Plantago major* L. [Kosobrukhov et al., 2004], *Artemisia annua* L. [Khudsar et al., 2004], *Taraxacum officinale* Wigg. [Жуйкова, 2009] и др. При этом показано, что основной причиной негативного влияния тяжелых металлов на рост листовой пластинки является их прямое действие на деление и растяжение клеток [Van Assche, Glijsters, 1990; Haag-Kerver et al., 1999]. Однако не исключено также и косвенное воздействие токсичных ионов, связанное, например, с нарушениями в минеральном питании и водном режиме растений [Burzynski, 1987; Poschenrieder, Barcelo, 1999; Burzynski, Klobus, 2004]. В отличие от этого, сведения о влиянии загрязнения почвы тяжелыми металлами на размеры генеративного побега и соцветия растений в литературе практически отсутствуют, хотя известно, что у многолетних злаков именно эти признаки являются наиболее стабильными в неблагоприятных условиях внешней среды [Олимпиенко и др., 1982; Калинина, Лайдинен, 1997].

Считается, что устойчивость ценопопуляций растений к действию тех или иных неблагоприятных факторов среды можно оценить по характеру и величине изменений коэффициента вариации отдельных признаков [Давыдова, Моченят, 1991]. Например, в ряде исследова-

Таблица 1. Содержание цинка и свинца в почвах изученных участков

Металл	Содержание тяжелых металлов в почве, мг/кг сухого веса				
	АБС (контроль)	ОТЗ		ГОК	
		0,5 км	10 км	0,5 км	10 км
Zn	25,6 ± 4,1	76,8 ± 12,3*	39,4 ± 6,3*	67,1 ± 10,7*	27,9 ± 4,5
Pb	7,6 ± 0,8	25,7 ± 2,6*	8,0 ± 0,8	21,4 ± 2,2*	10,3 ± 1,1*

Примечание. Здесь и в табл. 2: * – различия с контролем достоверны при $P \leq 0,05$.

Таблица 2. Влияние загрязнения почвы тяжелыми металлами на морфологические признаки генеративного побега растений *Phleum pratense* L.

Участок	Расстояние от источника загрязнения, км	Морфологические признаки				
		высота побега, см	длина листа, см	ширина листа, см	площадь листа, см ²	длина соцветия, см
АБС (контроль)	–	105,0 ± 2,5	21,1 ± 0,6	0,94 ± 0,2	13,1 ± 0,3	6,0 ± 0,3
ОТЗ	0,5	92,7 ± 4,4*	16,0 ± 1,0*	0,76 ± 0,4*	8,1 ± 0,8*	4,3 ± 0,4*
	10	103,1 ± 1,4	16,4 ± 1,0*	0,85 ± 0,3*	9,3 ± 0,8*	5,5 ± 0,3
ГОК	0,5	85,8 ± 2,1*	14,4 ± 0,8*	0,67 ± 0,3*	6,5 ± 0,6*	4,9 ± 0,4*
	10	100,3 ± 3,3	16,4 ± 0,8*	0,75 ± 0,3*	8,3 ± 0,6*	5,3 ± 0,4

Таблица 3. Вариабельность морфологических признаков (V, %) генеративного побега растений *Phleum pratense* L.

Участок	Расстояние от источника загрязнения, км	Морфологические признаки				
		высота побега	длина листа	ширина листа	площадь листа	длина соцветия
АБС (контроль)	–	13,6	16,0	12,1	24,0	32,3
ОТЗ	0,5	14,9	22,3	15,4	32,3	31,1
	10	4,3	16,7	11,3	27,4	27,1
ГОК	0,5	17,7	20,3	15,8	31,2	29,6
	10	12,5	16,6	11,3	24,3	23,6

ний обнаружено повышение уровня внутривидовой изменчивости морфологических признаков на загрязненных тяжелыми металлами почвах у *Agrostis tenuis* L. [Karataglis, 1980], *Deschampsia caespitosa* L. [Cox, Hutchinson, 1981], *Aster alpinus* L. [Алексеева-Попова, 1991] и *Plantago media* L. [Вайцеховская, 1995]. По мнению авторов, увеличение гетерогенности популяции в ответ на возрастание содержания токсичных ионов в почве создает основу для формирования металлоустойчивых популяций за счет естественного отбора наиболее устойчивых генотипов. Проведенный нами анализ внутривидовой изменчивости морфологических признаков генеративного побега тимopheевки также показал, что на участках, расположенных вблизи (на расстоянии 0,5 км) от промышленных предприятий, ее уровень для большинства изученных параметров роста возрастает по сравнению с условно «чистой» территорией (табл. 3). Исключением явился такой показатель, как длина соцветия, коэффициент вариации которого оставался близким к контролю независимо от степени загрязнения почвы. На участках, расположенных в 10 км от предприятий, заметных изменений (по сравнению с контролем) величины коэффициента вариации обнаружено не было, что, очевидно, можно объяснить относительно невысокими концентрациями тяжелых металлов в почве.

Выводы

Техногенное загрязнение почвы тяжелыми металлами (цинком и свинцом) приводит к уменьшению абсолютных значений (по сравнению с условно «чистой» территорией) основных морфологических признаков генеративного побега у тимopheевки луговой. При этом степень негативного воздействия тяжелых металлов на растения существенно возрастает по мере приближения к источнику загрязнения, т. е. с повышением концентрации токсичных ионов в почве. Сравнительный анализ показателей роста выявил их неодинаковую устойчивость к загрязнению почвы тяжелыми металлами, которая снижается в ряду: высота побега > длина

соцветия > ширина листа > длина листа > площадь листа. Он также показал, что размеры листовой пластинки могут служить хорошим критерием для оценки состояния ценопопуляции данного вида, произрастающей в неблагоприятных почвенных условиях. На участках, расположенных в непосредственной близости от промышленных предприятий, обнаружено заметное возрастание (по сравнению с контролем) уровня внутривидовой изменчивости большинства морфологических признаков генеративного побега, что может рассматриваться в качестве адаптивной реакции, направленной на повышение выживаемости ценопопуляций в этих условиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН «Биологическое разнообразие».

Литература

- Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в агроландшафте. СПб.: ПИЯФ РАН, 2008. 216 с.
- Алексеева-Попова Н. В. Токсическое действие свинца на высшие растения (обзор) // Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов. Л.: Наука, 1991. С. 92–100.
- Аникиев В. В., Кутузов Ф. Ф. Новый способ определения площади листовой поверхности у злаков // Физиология растений. 1961. Т. 8, № 3. С. 375–377.
- Атабаева С. Д. Физиолого-биохимические основы действия тяжелых металлов на растения: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Алматы, 2007. 34 с.
- Барсукова В. С. Физиолого-генетические аспекты устойчивости растений к тяжелым металлам. Аналитический обзор. Новосибирск, 1997. 63 с.
- Вайцеховская Е. Р. Морфологические и биохимические признаки *Plantago media* L. в связи с антропогенным воздействием (Южное Прибайкалье) // Растительные ресурсы. 1995. Т. 31, вып. 1. С. 75–78.
- Давыдова В. Н., Моченят К. И. Внутривидовые особенности минерального состава *Phlomis tuberosa* при градиенте свинца в среде // Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов. Л.: БИН им. В. Л. Комарова, 1991. С. 118–128.
- Жуйкова Т. В. Реакция ценопопуляций и травянистых сообществ на химическое загрязнение среды: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2009. 40 с.

Злобин Ю. А. О некоторых параметрах оценки реакции ценопопуляций на влияние антропогенных факторов // Антропогенные процессы в растительности. Уфа, 1985. С. 89–101.

Калинина С. И., Лайдинен Г. Ф. Морфологические изменения природных популяций *Alopecurus pratensis* (POACEAE) при интродукции // Ботан. журн. 1997. Т. 82, № 10. С. 38–48.

Лайдинен Г. Ф., Таланова В. В., Титов А. Ф., Казнина Н. М. Влияние свинца на рост и развитие *Setaria viridis* (L.) Beauv. // Растительные ресурсы. 2004. Т. 40, вып. 3. С. 53–59.

Лайдинен Г. Ф., Казнина Н. М., Батова Ю. В., Титов А. Ф. Оценка состояния травянистых сообществ в условиях техногенного загрязнения // Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века: Материалы XII съезда Русского ботан. об-ва и Всерос. конф. (Петрозаводск, 22–27 сент. 2008 г.). Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2008. Ч. 6. С. 129–131.

Лянгузова И. В. Промышленное загрязнение окружающей среды (краткий обзор проблемы) // Проблемы экологии растительных сообществ. СПб.: ООО «ВВМ», 2005. С. 23–27.

Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометеиздат, 1981. 109 с.

Методические указания по изучению многолетних кормовых трав. Л.: Изд-во ВИРА, 1979. 43 с.

Олимпиаенко Г. С., Титов А. Ф., Николаевская Т. С. Генетические эффекты отбора у многолетних трав. Л.: Наука, 1982. 112 с.

Потахина Л. Н., Пеки Т. Д., Тимофеева В. И. Тяжелые металлы в почвах на территории промышленных предприятий города Петрозаводска // Микроэлементы в биосфере Карелии и сопредельных районов: Межвуз. сб. Петрозаводск: ПГУ им. О. В. Куусинена, 1981. С. 44–48.

Снакин В. В. Свинец в биосфере // Вестник Российской академии наук. 1998. Т. 68, № 3. С. 214–224.

Титов А. Ф., Лайдинен Г. Ф., Казнина Н. М. Влияние высоких концентраций кадмия на рост и развитие ячменя и овса на ранних этапах онтогенеза // Агрехимия. 2002. № 9. С. 61–65.

Титов А. Ф., Таланова В. В., Казнина Н. М., Лайдинен Г. Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. 170 с.

Федорец Н. Г., Медведева М. В. Эколого-микробиологическая оценка состояния почв города Петрозаводска. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2005. 96 с.

Фролова Н. П. Семенное воспроизводство *Taraxacum officinale* Wigg. в условиях техногенных загрязнений // Репродуктивная биология. Тр. КомиНЦ УрО, 1998. С. 41–50.

Яблоков А. В. Россия: здоровье природы и людей. М.: ООО «Галлея-принт», 2007. 224 с.

Burzyński M. The influence of lead and cadmium on the absorption and distribution of potassium, calcium, magnesium and iron in cucumber seedlings // Acta Physiol. Plant. 1987. Vol. 187, N 9. P. 229–238.

Burzyński M., Kłobus G. Changes of photosynthetic parameters in cucumber leaves under Cu, Cd and Pb stress // Photosynthetica. 2004. Vol. 42, N 4. P. 505–510.

Cox R. M., Hutchinson T. C. Multiple and co-tolerance to metals in the grass *Deschampsia caespitosa*: adaptation, preadaptation and «cost» // J. Plant Nutr. 1981. Vol. 3, N 1. P. 731–741.

Derome J. Effect of emissions from the Kostamus mining industry on metal concentrations in forest berries and edible mushrooms in eastern Kainuu // Working Papers of the Finnish Forest Research Institute. Helsinki: METLA, 2008. P. 50–64.

Haag-Kerwer A., Schäfer H. J., Heiss S. et al. Cadmium exposure in *Brassica juncea* causes a decline in transpiration rate and leaf expansion without effect on photosynthesis // J. Exp. Bot. 1999. Vol. 50, N 341. P. 1827–1835.

Hovmand M. F., Tjell J. C., Mosbaek H. Plant uptake of airborne cadmium // Environ. Pollut. Ser. A. 1983. Vol. 30. P. 27–32.

Karataglis S. S. Differential tolerance of *Agrostis tenuis* populations growing at two mine soils to Cu, Zn, Pb // Phytol. 1980. Vol. 20, N 1–2. P. 15–22.

Khudsar T., Mahmooduzzafar, Iqbal M., Sairam R. K. Zinc-induced changes in morphophysiological and biochemical parameters in *Artemisia annua* // Biol. Plant. 2004. Vol. 48. P. 255–260.

Kosobrukhov A., Knyazeva I., Mudrik V. *Plantago major* plants responses to increase content of lead in soil: Growth and photosynthesis // Plant Growth Regul. 2004. V. 42. P. 145–151.

Merrington G., Alloway B. J. The flux of Cd, Cu, Pb and Zn in mining polluted soils // Water Air Soil Pollut. 1994. Vol. 73. P. 333–344.

Pietrini F., Iannelli M. A., Pasqualini S., Massacci A. Interaction of cadmium with glutathione and photosynthesis in developing leaves and chloroplasts of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel // Plant Physiol. 2003. Vol. 133. P. 829–937.

Poschenrieder C., Barceló J. Water relation in heavy metals stressed plants // Heavy Metal Stress in Plants. From Molecules to Ecosystems. Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1999. P. 207–231.

Prasad M. N. V., Malec P., Waloszek A. et al. Physiological responses of *Lemna trisulca* L. (duckweed) to cadmium and copper bioaccumulation // Plant Sci. 2001. Vol. 161. P. 881–889.

Van Assche F., Glijsters H. Effects of metals on enzyme activity in plants // Plant Cell Environ. 1990. Vol. 13, N 1. P. 195–206.

Ye Z. H., Baker A. J., Baker M. et al. Zinc, lead and cadmium tolerance, uptake and accumulation by *Typha latifolia* // New Phytol. 1997. Vol. 136. P. 469–480.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Казнина Наталья Мстиславовна

старший научный сотрудник, к. б. н.
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: kaznina@krc.karelia.ru
тел. (8142) 762706

Титов Александр Федорович

председатель КарНЦ РАН, чл.-корр. РАН, д. б. н.
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: krcras@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 769710

Лайдинен Галина Федоровна

старший научный сотрудник, к. б. н.
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: laidinen@krc.karelia.ru
тел. (8142) 762706

Батова Юлия Валерьевна

младший научный сотрудник, к. б. н.
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: batova@krc.karelia.ru
тел. (8142) 762706

Kaznina, Natalia

Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian
Academy of Science
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: kaznina@krc.karelia.ru
tel. (8142) 762706

Titov, Alexandr

Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian
Academy of Science
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: krcras@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 769710

Laidinen, Galina

Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian
Academy of Science
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: laidinen@krc.karelia.ru
tel. (8142) 762706

Batova, Yulia

Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian
Academy of Science
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: batova@krc.karelia.ru
tel. (8142) 762706