

Анализ распределения видов водной растительности показал, что наиболее яркие индикаторы эвтрофирования (виды рода *Myriophyllum*) были отмечены на всех исследованных территориях. Однако наибольшая встречаемость видов этого рода характерна для устья реки (табл. 5). Это свидетельствует об эвтрофировании устья реки, где располагается животноводческий комплекс (ЗАО «Янишполе»).

Другие индикаторы высокого уровня трофности (виды р. *Potamogeton*, а также виды *Eloдея canadensis* Michaux, *Nuphar lutea* (L.) Smith) в среднем течении (станция 1) отмечены единично, а ниже по течению (станция 2) – встречены повсеместно (см. табл. 5).

Таким образом, в среднем течении реки, в районе заповедника «Кивач», состав высшей водной растительности указывает лишь на начальные этапы эвтрофирования. В устье реки эвтрофирование выражено более ярко, что связано с антропогенным воздействием.

#### ЛИТЕРАТУРА

**Ивантер Э. В., Тихомиров А. А.** Заповедник «Кивач» // Заповедники Европейской части РСФСР. Т. 1. М.: Мысль, 1988. С. 61–69.

**Литвиненко А. В.** К истории гидроэнергетического освоения водных объектов Карелии // Экологические исследования природных вод Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. С. 21–27.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прибрежно-водная флора в среднем течении р. Суны, в пределах заповедной зоны, и в устье реки включает 141 вид высших сосудистых растений, относящихся к 102 родам и 40 семействам из 5 классов и 4 отделов. Сравнительный анализ прибрежно-водной флоры р. Суны в среднем течении (в пределах заповедника «Кивач») и устье выявил существенное различие в видовом составе растений (коэффициент Жаккара (KJ) – 0,30), что связано с рельефом, гидрологическим режимом, характером подстилающих грунтов. Впервые выявлены особенности распространения индикаторных видов водной растительности, отражающих уровень эвтрофирования р. Суны. Проведенные исследования могут послужить основой для выделения зон разной степени эвтрофирования на различных участках р. Суны и использоваться в экологическом мониторинге.

**Состояние** водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 210 с.

**Фрейндлинг А. В.** Зарастание разнотипных озер Карелии (продукционный и динамический аспекты): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 1982. 25 с.

## ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННО ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ЭКОСИСТЕМ

И. С. Ерохина

*Петрозаводский государственный университет*

#### ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных направлений интегральной оценки уровня загрязнения среды является биологический мониторинг, при котором показателем состояния среды служит нарушение развития организмов и их популяций. Стрессовые факторы вызывают изменение гомеостаза развития, которые могут быть оценены по нарушению морфогенетических процессов (Василевская, Тумарова, 2005).

Одним из показателей изменения гомеостаза развития является показатель флуктуирующей асимметрии (ФА). Под флуктуирующей

асимметрией понимают мелкие ненаправленные отклонения от идеального симметричного состояния, не имеющие самостоятельного адаптивного значения и возникающие как результат случайных ошибок развития в ходе онтогенеза. Частота и значимость таких случайностей, а также устойчивость к ним зависят как от генотипов особей, так и от воздействия среды, которые могут нарушать стабильность развития (Захаров, 2001).

Считается, что по показателю ФА можно судить о состоянии окружающей среды: чем выше показатель, тем сильнее нарушения. Однако в последнее время ставят под сомнение универ-

сальность этого метода для оценки состояния природных и антропогенно трансформированных экосистем, поскольку при использовании показателя ФА для индикации среды возникает ряд трудностей (Зорина, Коросов, 2007). Цель исследования – выявить возможности использования показателя ФА для оценки влияния различных факторов среды.

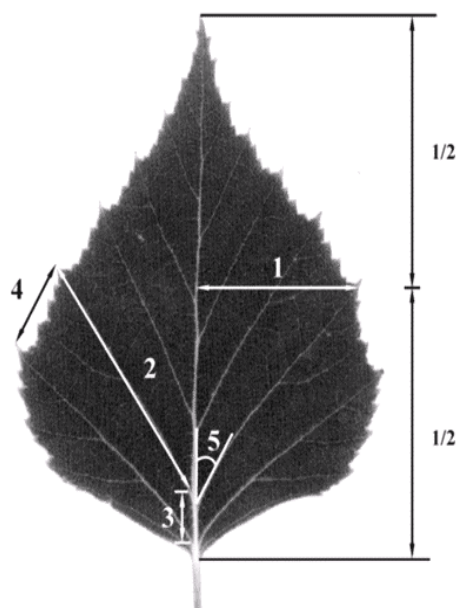
## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа была выполнена по материалам экспедиций на Заонежский п-ов (2005 г); на о. Большой Климецкий (2006 г.), в окрестности г. Костомукши (2006, 2007 гг.) и Костомукшского горно-обогатительного комбината (2007 г.). В качестве объекта исследования были выбраны береза пушистая (*Betula pubescens*) и береза повислая (*Betula pendula*). Исследование проводилось методом пробных площадей. Площади размером 20×20 м закладывались в случайном порядке. На каждой пробной площади была замерена освещенность (экспониметром и рассчитано в процентах), определен возраст (визуально), дана оценка категории жизненного состояния, в г. Костомукше и его окрестностях оценен уровень антропогенной нагрузки (в баллах) (Биологический контроль..., 2007). На Заонежском п-ове дозиметром Терра МКС-05 был замерен уровень радиации. Всего заложена 61 пробная площадь (Заонежский п-ов – 18, о. Б. Климецкий – 13, г. Костомукша – 19, окрестности Костомукшского ГОКа – 11 пробных площадей), проанализировано 800 растений.

Одним из важных показателей физиологического состояния растений является категория жизненного состояния. В исследование были включены растения от 1 до 4 категории: 1 – здоровые растения с густой кроной без значительных признаков повреждения кроны и ствола; 2 – ослабленные (крона изрежена, текущий прирост заметно уменьшен либо отсутствует); 3 – усыхающие (сильно изрежена крона, прироста нет); 4 – усохшие деревья (Биологический контроль..., 2007).

Уровень антропогенной нагрузки оценивался в баллах по степени вытоптанности участка: 1 – вытаптывания нет; 2 – вытоптаны тропы; 3 – мало и редко отмечены травы, отсутствуют кустарники; 4 – осталось немного травы вокруг деревьев (Биологический контроль..., 2007).

Сбор и последующая обработка материала проводились по методике В. М. Захарова (2001). На каждой пробной площади с 10 деревьев из средне-нижней части кроны собира-



Промеры левой и правой сторон листа березы:

1 – ширина левой и правой половинок листа (измеряется по середине листовой пластинки), 2 – длина жилки второго порядка, второй от основания листа, 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка, 4 – расстояние между концами этих же жилок, 5 – угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка

ли по 10 листьев. С каждого листа снимали показатели по пяти промерам с левой и правой сторон (рис.). Измерения заносились в базу данных с последующим вычислением показателя ФА. Каждому дереву присваивался балл от I до V, где I балл соответствовал наименьшим нарушениям, а V – показывал значительные изменения в стабильности развития (Захаров, Чубинишвили, 2001). Полученные данные были обработаны в программе Statgraphics и оценена степень связи значения показателя ФА с различными факторами. В данной работе было изучено влияние уровня радиации, условий освещенности, категории жизненного состояния, возраста дерева, загрязнения атмосферы выбросами производства (с учетом расстояния до источника загрязнения), воздействия локальной антропогенной нагрузки (вытаптывание).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Радиация.** Данные по влиянию радиации были получены на деревьях березы, произрастающих на Заонежском п-ове. Оказалось, что с повышением уровня радиации значения показателя асимметрии возрастают и в наиболее загрязненных местах увеличиваются до 5 баллов (табл.). Эти данные согласуются с данными литературы (Leamy, Klingenberg, 2005).

**ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ РАДИАЦИИ НА ПОКАЗАТЕЛЬ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ (ЗАОНЕЖСКИЙ П-ОВ)**

№ ПП	ФА	Балл	Радиация, мЗв
17	0,041	II	0,028
18	0,042	II	0,028
16	0,044	II	0,034
15	0,052	IV	0,044
14	0,062	V	0,051
11	0,057	V	0,053
6	0,057	V	0,053
7	0,052	IV	0,055

*Освещенность.* Проведенное исследование показало, что в зависимости от условий освещенности показатель стабильности развития листа березы не меняется. Данные литературы по влиянию этого фактора достаточно противоречивы (Захаров и др., 2001; Шадрина и др., 2003; Leamy, Klingenberg, 2005). Так, в работах В. М. Захарова и А. Т. Чубинишвили (2001) показано, что в затененных условиях стабильность развития листьев березы повислой нарушается и показатель асимметрии увеличивается. В работах Шадринной, так же как и у нас, такой закономерности выявлено не было.

*Категория жизненного состояния.* Показано, что категория жизненного состояния не оказывает определенного влияния на показатель ФА. Отклонения в стабильности развития наблюдались у деревьев как с высокой категорией жизненного состояния (1 балл), так и с низкой (4 балла).

*Возраст.* Анализ зависимости ФА от возраста дерева был сделан на основе материала, собранного на о. Большой Климецкий и в г. Костомукше (2006 г.). В опыт были включены растения от 5 до 70 лет жизни. На молодых деревьях (младше 5 лет) уровень ФА слабо дифференцируется и его значения не превышают 1 балла. С повышением возраста растений уровень асимметрии увеличивается. Это подтверждают данные литературы: отклонения в стабильности развития проявляются только с определенного возраста, и чувствительность этого показателя нарушается у старых деревьев (Захаров, Чубинишвили, 2001).

*Вытаптывание.* Вопрос о влиянии антропогенной нагрузки, такой как вытаптывание, на стабильность развития листа березы в литературе не рассматривался. Были выбраны пробные площади, где этот показатель варьировал от 1 до 4 баллов (Биологический контроль..., 2007). Оказалось, что наибольшие отклонения в стабильности развития отмечались на пробных площадях, которые прежде всего подвергались вытаптыванию. Причем чем сильнее трансформирована территория, тем большие отклонения отмечались в стабильности развития и был выше показатель ФА.

*Удаленность от источника загрязнения.* Одним из широко обсуждаемых в литературе факторов, оказывающим существенное влияние на показатель ФА, является загрязнение среды промышленными выбросами (Шадрина и др., 2003; Kozlov et al., 1996). В проведенном нами исследовании, выполненном в окрестностях Костомукшского ГОКа на 11 пробных площадях, оказалось, что нет определенных закономерностей в изменении показателя стабильности развития. На каждой пробной площади были деревья как с высоким, так и с низким значением ФА. Из литературы известно, что выбросы от Костомукшского горно-обогатительного комбината не оказывают сильного отрицательного влияния на наземные экосистемы и это воздействие рассматривается как слабое, и это мы подтвердили в нашем исследовании (Оценка..., 2001).

В результате анализа полученного материала выделяются три группы данных. В одну группу вошли пробные площади (12 площадей), которые находились в ненарушенных условиях среды (о. Б. Климецкий, часть площадей на Заонежском п-ове), где значение показателя стабильности развития изменялось в пределах 1–3 баллов. Во вторую группу вошли пробные площади (6 площадей), где растения произрастали либо в сильно антропогенно нарушенных условиях (г. Костомукша и его окрестности), либо при высоком уровне радиации (часть пробных площадей на Заонежском п-ове), или в неблагоприятных природных условиях (заболоченные местообитания). В этих условиях на каждой пробной площади отмечались высокие значения ФА у всех исследованных деревьев. И в третью группу (наиболее многочисленную) вошли 43 пробные площади, где отмечался широкий диапазон варьирования показателя ФА (от 1 до 5 баллов).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что в условиях ненарушенной территории (о. Б. Климецкий) были получены низкие значения показателя ФА, что свидетельствует о высоком уровне стабильности развития, а соответственно, о хорошем состоянии окружающей среды. В условиях сильного нарушения окружающей среды такими факторами, как уровень радиации (Заонежский п-ов), антропогенная нагрузка (г. Костомукша), стрессовые условия водного режима (Заонежский п-ов, г. Костомукша), на каждой пробной площади были получены высокие значения показателя ФА (4–5 баллов), что однозначно свидетельствует

о нарушении стабильности развития и ухудшении условий местообитания. Во всех остальных вариантах опыта (Заонежский п-ов, г. Костомукша, окрестности Костомукшского ГОКа) отмечен широкий диапазон варьирования показателя ФА (от низких до высоких значений) у растений, произрастающих на одной опытной площадке. Можно предположить, что значимость локальных условий местообитания для каждого дерева была очень высокой и реакция

каждого растения перекрывала воздействие исследуемого фактора.

Таким образом, проведенное исследование показало, что оценка состояния природных и антропогенно трансформированных экосистем при помощи показателя ФА может быть успешно использована только в условиях высокого уровня загрязнения природной среды, сила которого нивелирует действие локальных факторов.

## ЛИТЕРАТУРА

**Биологический контроль** окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О. П. Мелехова, Е. И. Егорова, Т. И. Евсеева и др.; под ред. О. П. Мелеховой и Е. И. Егоровой. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 288 с.

**Василевская Н. В., Тумарова Ю. М.** Оценка стабильности развития популяций *Pinus sylvestris* L. в условиях аэротехногенного загрязнения (Мурманская область) // Тр. Карельского научного центра РАН. Вып. 7. Биогеография Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 19–23.

**Захаров В. М.** Асимметрия животных (популяционно-феногенетический подход). М.: Наука, 1987. 215 с.

**Захаров В. М.** Онтогенез и популяция (стабильность развития и популяционная изменчивость) // Экология. 2001. № 3. С. 164–168.

**Захаров В. М., Чубинишвили А. Т.** Мониторинг здоровья среды на охраняемых природных территориях. М., 2001. 147 с.

**Зорина А. А., Коросов А. В.** Характеристика флуктуирующей асимметрии листа двух видов берез в Карелии // Тр. Карельского научного центра РАН. Вып. 11. Экология. Экспериментальная генетика и физиология. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 28–36.

**Сазонова Т. А., Теребова Е. Н., Галибина Н. А. и др.** Оценка функционального состояния *Pinus sylvestris* L. в условиях слабого загрязнения // Биоэкологические аспекты мониторинга лесных экосистем Северо-Запада России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. С. 157–174.

**Шадрин Д. Я., Вольперт Я. Л., Данилов В. А., Шадрин Д. Я.** Биоиндикация воздействия горнодобывающей промышленности на наземные экосистемы севера: Морфогенетический подход. Новосибирск: Наука, 2003. 110 с.

**Kozlov M. V., Wilsey B. J., Koricheva J., Haukioja E.** Fluctuating asymmetry of birch leaves increases under pollution impact // Journal of Applied Ecology. 1996. Vol. 33. P. 1489–1495.

**Leamy L. J., Klingenberg C. P.** The Genetics and Evolution of Fluctuating Asymmetry // Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics. 2005. Vol. 36. P. 1–21.

## ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ ОРГАНИЗМА РЫБ НА ХРОНИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОД (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ПЕЧОРЫ)

Л. А. Беличева, Ю. Н. Шарова

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН*

### ВВЕДЕНИЕ

Экологическая обстановка в бассейне р. Печоры – одной из крупнейших водных систем Северо-Запада России – уже в течение длительного времени характеризуется как напряженная. Загрязнение р. Печоры и ее притоков началось еще в 50-е гг. XX в. и связано с развитием угольной и нефтяной промышленности. Спектр антропогенных факторов, оказывающих наибольший негативный эффект на экосистему р. Печоры, включает: нефтепродукты, тяжелые металлы, промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды. Усиление антропогенной нагрузки на водные экосистемы диктует необходимость детального анализа их состояния,

который подразумевает не только определение содержания загрязняющих веществ в воде, грунтах и биоте, но и выявление ответных реакций гидробионтов на действие этих загрязнителей.

Исследования последних лет свидетельствуют о трансформации экосистемы р. Печоры, которые выражаются в изменениях количественного и качественного состава организмов различных экологических групп. Известно, что в основе любых изменений популяционных параметров лежат изменения на более низких уровнях организации (молекулярного, тканевого, организменного). Цель данной работы – исследовать реакцию организма рыб на хроническое антропогенное воздействие. Выбор объекта