

- риторий Западной Сибири (на примере Восточно-Панлорской площади) // Эколого-экономическая эффективность природопользования на современном этапе развития Западно-Сибирского региона: Матер. II Междунар. научно-практ. конф. – Омск: ОМГПУ, 2008. – С. 159–163.
5. Леонов А.В., Пищальник В.М. Анализ условий трансформации нефтяных углеводородов в морских водах и моделирование процесса в заливе Анива // Водные ресурсы. – 2005. – Т. 32. – № 6. – С. 712–726.
 6. Немировская И.А. Нефтяные углеводороды в океане // Природа. – 2008. – № 3. – С. 17–27.
 7. Корпакова И.Г., Кленкин А.А., Конев В.В., Елецкий Б.Д., Павленко Л.Ф., Скрыпник Г.В. Идентификация происхождения УВ в воде и донных отложениях Азовского моря // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2005. – № 4. – С. 33–37.
 8. Петров А.А. Углеводороды нефти. – М.: Наука, 1984. – 264 с.
 9. Другов Ю.С. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. Практическое руководство. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 270 с.
 10. Коржов Ю.В., Головкин А.К., Туров Ю.П. Изучение состава алкилбензолов методом хромато-масс-спектрометрии // Известия СО АН СССР. Серия химических наук. – 1989. – Вып. 4. – С. 19–24.

Поступила 30.03.2010 г.

УДК 502.5(571.122-25)

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ В КАЧЕСТВЕ БИОИНДИКАТОРА

А.А. Гуртяк, В.В. Углев

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск
E-mail: gurtak@mail.ru

*Рассмотрены вопросы оценки состояния городской среды на основе показателя флуктуирующей асимметрии листовой пластинки берёзы повислой (*Betula pendula* Roth). Изучена пространственно-временная динамика коэффициента флуктуирующей асимметрии. Составлена карта распределения флуктуирующей асимметрии на территории г. Ханты-Мансийска. В большинстве районов города в последние годы отмечен рост показателей флуктуирующей асимметрии, что свидетельствует об ухудшении состояния природной среды. В работе оценено влияние метеорологических характеристик климата и химического загрязнения атмосферного воздуха на флуктуирующую асимметрию.*

Ключевые слова:

Биоиндикация, флуктуирующая асимметрия, береза повислая, качество среды.

Key words:

Bioindication, fluctuating asymmetry, *Betula pendula*, quality of environment.

Введение

При всей важности проведения оценки качества среды на всех уровнях с применением различных подходов (включая физические, химические, социальные и другие аспекты) приоритетной представляется именно биологическая оценка. Именно состояние, самочувствие различных видов живых существ и самого человека является ключевым моментом и, в конечном счете, волнует нас всех в наибольшей степени.

До сих пор для оценки качества среды в большинстве случаев считается достаточно сравнения содержания поллютантов в разных компонентах экосистем с нормативными предельно допустимыми концентрациями (ПДК). Необходимо иметь в виду, что многообразие загрязняющих веществ и видов воздействия на среду уже сейчас исчисляется тысячами наименований и продолжает расти. Это означает, что определение содержания каждого токсиканта в компонентах среды, учет кумулятивных и синергических эффектов взаимодействия становятся невозможными. В такой ситуации получение интегральной информации о качестве сре-

ды и её пригодности для существования человека посредством оценки состояния живых существ представляется наиболее важным.

Качество окружающей среды в г. Ханты-Мансийске, к сожалению, остается не удовлетворительным [1]. Для определения состояния экосистем города часто используется мониторинг зеленых насаждений. Состояние растений оценивается по различным морфометрическим характеристикам. В работах [2–5] и др. была обоснована возможность использования асимметричности листа в качестве неспецифического показателя отклонения от нормы развития растения, связанного с влиянием различных стрессовых факторов, в том числе загрязнения окружающей среды.

Флуктуирующая асимметрия (ФА) представляет собой незначительные ненаправленные отклонения от строгой билатеральной симметрии как следствие несовершенства онтогенетических процессов, т. е. является результатом неспособности организмов развиваться по точно определенным путям [6]. При ФА различия между сторонами не являются строго генетически детерминированны-

ми. Эта асимметрия (в отличие от направленной асимметрии и антисимметрии) не имеет самостоятельного адаптивного значения. Она является выражением незначительных нарушений симметрии, допускаемых естественным отбором, и отражает стабильность развития. Оценка величины ФА представляет собой корректный способ формализации степени отклонения развития особи и даже популяции от нормы [3, 4].

Целью данной работы является проведение биомониторинга города Ханты-Мансийска по показателю флуктуирующей асимметрии листовой пластинки берёзы повислой (*Betula pendula Roth*) и выявление динамики асимметрии с 2003 по 2008 гг.

Объекты и методы

В основу нашей работы положена методология оценки качества среды, разработанная в Институте биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН авторским коллективом ученых под руководством д.б.н., чл.-корр. РАН В.М. Захарова и рекомендуемая Центром экологической политики России [3]. Суть метода заключается в определении и анализе ответной реакции растений и мелких животных на условия существования, т. е. местообитание живых организмов (в том числе и людей) оценивается с точки зрения благоприятности для их жизни и развития.

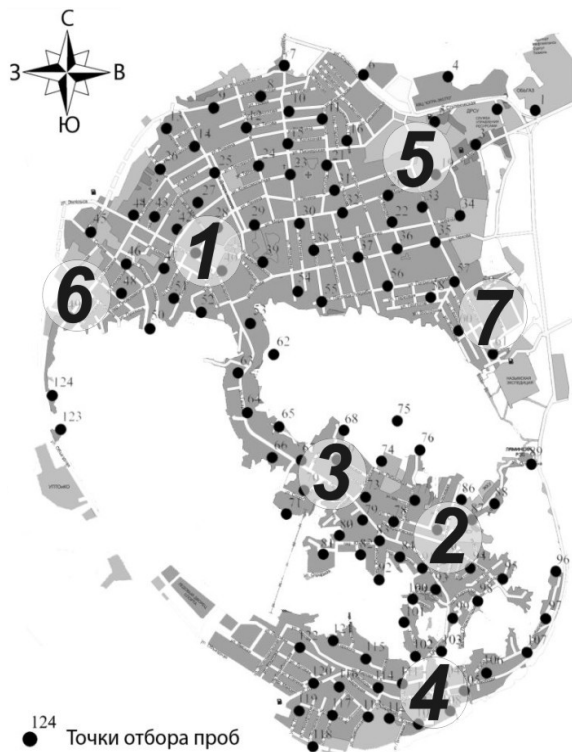


Рис. 1. Условное деление г. Ханты-Мансийска на районы: 1) Центр; 2) Сутормина; 3) Гагарина; 4) Самарово; 5) АТП; 6) Обьездная; 7) Дунина-Горкавича

Объектом исследований служат средневозрастные культуры березы повислой, произрастающие в условиях многолетнего интенсивного техногенного загрязнения города. Биоиндикационная оценка

территории была проведена двумя картографическими методами: методом изолиний и методом районирования по экологическим баллам.

На первом этапе исследований было проведено рекогносцировочное обследование березовых насаждений г. Ханты-Мансийска. По результатам обследования в различных зонах загрязнения было заложено 8 пробных площадей (рис. 1): «Центр» – культурный и административный центр города, расположенный на северо-западе; «Сутормина» – по ул. Сутормина на юго-востоке; «Гагарина» – по ул. Гагарина, одной из самых оживленных автодорог в центре города; «Самарово» – старейший микрорайон на юге города и «АТП» – в районе автотранспортного предприятия на северо-востоке по ул. Мира. С 2004 г. добавлена новая площадка «Объездная», находящаяся в самой западной части городских построек по ул. Объездной. С 2006 г. наблюдение ведется также в районе Овощно-молочного комбината – «ОМК» (северовосточная окраина города), а с 2007 г. добавлен новый район «Дунина-Горкавича» по ул. Дунина-Горкавича. Такое расположение площадок позволяет наиболее полно охватить территорию города. Также был произведен сбор с загородных участков: района д. Шапша, находящегося в 24 км к северо-востоку от города, района полигона твёрдо-бытовых отходов, находящегося в непосредственной близости от д. Шапша; и с контрольного (фонового) участка на центральном кордоне заказника «Елизаровский» (Ханты-Мансийский район, пойма нижней Оби).

На каждой пробной площади было собрано по 10 листьев с 10 деревьев. При сборе материала, добываясь приблизительной однородности образцов, были соблюдены одинаковые условия сбора листьев: примерный возраст деревьев, их удаление от дорог, условия освещения, местоположение листа на кроне дерева, средняя величина листа. Сбор листьев проводился в сентябре.

Для построения изолиний значений ФА на карте города в 2007 г. были дополнительно определены точки сбора материала, равномерно распределенные по городу (рис. 1), общее число которых составило 124. При помощи GPS-навигатора были определены их географические координаты. В каждой точке отбора собрано по 30 листьев с трёх или двух деревьев. Общее число деревьев составило 340. Таким образом, учитывая все точки и районы отбора проб, общее число деревьев составило 390, а листьев – 4280.

На левой и правой стороне каждого листа измеряли 5 показателей:

1. Ширина половинок середины листа.
2. Длина жилки второго порядка, второй от основания листа.
3. Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка от основания листа.
4. Расстояние между концами этих же жилок.
5. Угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка.

Величина ФА была определена по формуле:

$$\Phi A = \frac{1}{5} \sum |L - R| / (L + R),$$

где L и R – промеры признаков с левой и правой стороны листа.

Для оценки качества среды была использована пятибалльная шкала степени нарушения стабильности развития березы повислой, разработанная В.М. Захаровым и соавторами (таблица). Значения интегрального показателя асимметрии, соответствующие первому баллу, обычно наблюдаются в выборках растений из благоприятных условий произрастания, например, в природных заповедниках. Пятый балл – критическое значение; такие значения показателя асимметрии наблюдаются в крайне неблагоприятных условиях, когда растение находится в сильно угнетенном состоянии.

Таблица. Бальная шкала оценки качества среды по величине флуктуирующей асимметрии (ФА) листа березы повислой [1]

Балл	Качество среды	ФА
I	Условно нормальное	<0,040
II	Начальные (незначительные) отклонения от нормы	0,040...0,044
III	Средний уровень отклонений от нормы	0,045...0,049
IV	Существенные (значительные) отклонения от нормы	0,050...0,054
V	Критическое состояние	>0,054

Для оценки техногенного загрязнения указанных районов пробоотборником Снегомер ВС-43 были отобраны пробы снега в марте 2006, 2007 и 2008 гг. на всю глубину снежного покрова методом конверта: четыре точки по углам квадрата со стороной 5 м и одна в его центре. В дальнейшем для получения усреднённого значения эти 5 точечных проб смешивались.

Ионный состав воды, оттаявшей и пропущенной через фильтр средней плотности, проанализирован на ионном хроматографе 761 Compact ZC. Анализ тяжёлых металлов произведён на спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Optima

2000 DV фирмы Perkin-Elmer (USA) в УНАЦ ЮГУ. Активная реакция воды (рН), удельная электропроводность и содержание кислорода в пробе определены с помощью переносного прибора Trio Mate.

Для расчёта связи между флуктуирующей асимметрией и результатами химического анализа, а также метеорологическими данными использован коэффициент линейной корреляции Пирсона. Данные были обработаны в программе STATISTICA v.6.0 и Microsoft Office Excel 2007 (средняя относительная ошибка при расчете ФА составила 10 % при 95 % вероятности, средняя ошибка линейного коэффициента корреляции составила 0,2). Изолинии значений флуктуирующей асимметрии на карте города (рис. 3) построены с помощью компьютерной программы «Surfer» V 8.0.

Результаты и обсуждение

Рассматривая временную динамику ФА, можно отметить, что усредненное значение ФА по всем районам в г. Ханты-Мансийске с 2003 по 2007 гг. находится в интервале 0,053...0,057, а качество среды, соответственно, низкое и находится в пределах 4...5 баллов (рис. 2). И только в 2008 г. состояние среды несколько улучшилось.

Экологическое районирование, проведенное по результатам биомониторинга 2007 г. (рис. 3), показало, что на значительной части территории города Ханты-Мансийска выделяются участки с критическим состоянием среды (42 % от общей площади карты), районы со значительными отклонениями от нормы (36 %); со средними отклонениями (21 %); с незначительными отклонениями (0,7 %) и с условно нормальным состоянием среды (0,3 %).

По результатам исследований можно сказать, что состояние качества среды в черте города Ханты-Мансийска по данным ФА неоднородно. Минимальные значения коэффициента флуктуирующей асимметрии зафиксированы на территории «Самарово» (0,0445), «Сутормина» (0,0448), «Центр» (0,0464) и «Гагарина» (0,0468), которые ха-

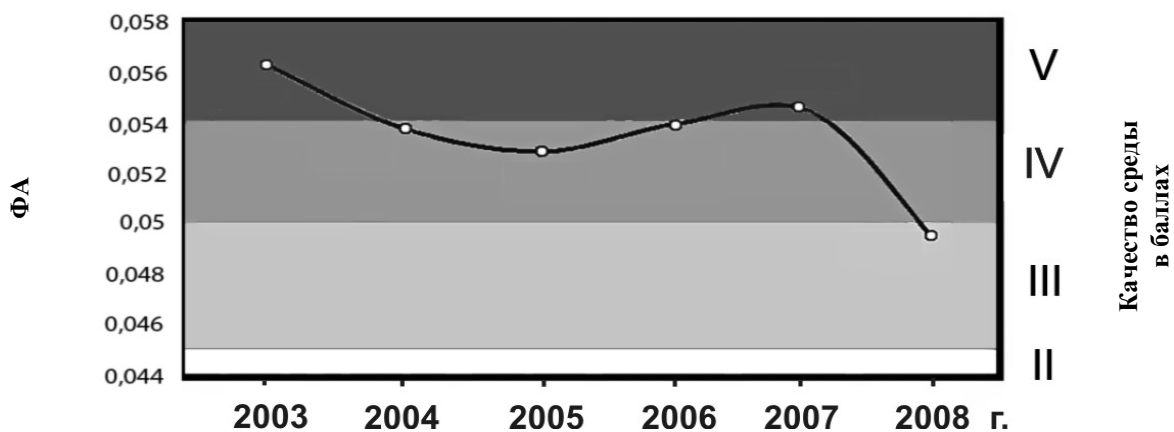


Рис. 2. Изменение среднего значения флуктуирующей асимметрии листа березы в г. Ханты-Мансийске по годам



Рис. 3. Карта состояния среды по данным флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой на территории г. Ханты-Мансийска в 2007 г.

рактируются третьим баллом качества среды. За ними следует район «Объездная» (0,051) с четвертым баллом степени загрязнения. Максимально высокие значения ФА отмечены в районах «АТП» (0,0528), «ОМК» (0,0533) и «Дунина-Горкавича» (0,0546), которым соответствует наихудшее качество среды. Наблюдается закономерное повышение значений флуктуирующей асимметрии вдоль главных автомагистралей города Ханты-Мансийска, таких как большая и малая объездные дороги, ул. Гагарина, ул. Энгельса. По-видимому, наиболее значимым фактором, воздействующим на большинство исследуемых территорий, является автотранспорт.

Состояние среды за городом следующее: район полигона ТБО получил четвертый балл (ФА=0,0519), деревня Шапша – третий (0,0446) и заказник Елизаровский – первый балл (0,0347).

Учитывая некоторые рекомендации М.В. Козлова к использованной методике [7], по отдельности были рассмотрены признаки интегрального показателя асимметрии у каждой выборки. Отмечено, что наибольшей асимметричностью обладают промеры № 3 и 4, что наблюдалось на протяжении всех лет исследований.

Использованная в работе методика основана на оценке способности организма функционировать без отклонений от нормы, что является чувствительным показателем состояния природных популяций. Показатель ФА восприимчив не только к антропогенному воздействию, но и к другим факторам. В работе было рассмотрено влияние метеорологических характеристик на состояние березы повислой. Для этого были проанализированы данные метеорологических служб с 2003 по 2007 гг. Коэффициент корреляции r среднего значения по городу показателя ФА с продолжительностью солнечного сияния составил 0,97. Также на показатель флуктуирующей асимметрии может оказывать влияние влажность воздуха ($r=0,6$) и средняя температура воздуха ($r=0,45$).

Таким образом, видно, что при оценке качества среды по показателю ФА необходимо учитывать факторы не только антропогенного характера, но и природные явления и возможное их влияние на показатель стабильности развития.

Для определения источников техногенного воздействия на окружающую среду, а также возможных загрязнителей, негативно влияющих на развитие деревьев в городе, с 2005 г. начаты иссле-

дования по химическому анализу компонентов среды.

Средняя продолжительность снежного покрова в нашей местности составляет более 6 мес. Он появляется преимущественно в начале октября, а начинает разрушаться в середине марта. Его особенность в том, что он накапливает в своём составе практически все вещества, поступающие в атмосферу. В связи с этим снежный покров обладает рядом свойств, делающих его удобным индикатором загрязнения не только самих атмосферных осадков, но и атмосферного воздуха, а также последующего загрязнения почвы и воды.

Найдено, что максимальное содержание анионов и катионов имеется в пробах снега из районов «Гагарина», «Объездная» и «Мира».

По данным химического анализа снежного покрова за 2007 год ФА имеет тесную связь с содержанием Fe в пробе ($r=0,75$), а также с суммой анионов ($r=0,90$) и катионов ($r=0,88$). Достаточно сильно с Ca^{2+} ($r=0,6$), NO_3^- ($r=0,54$) и Mg^{2+} ($r=0,57$). Корреляционная связь с содержанием Mn ($r=0,38$), Br ($r=0,48$), Cl^- ($r=0,46$), Na^+ ($r=0,45$), NH_4^+ ($r=0,37$), с удельной электропроводностью ($r=0,42$) и pH ($r=-0,36$) незначительная, а с БПК, K^+ , SO_4^{2-} , NO_2^- , Zn и Cr отсутствует. Найденные закономерности подтверждают зависимость величины флуктуирующей асимметрии от химического загрязнения среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационный бюллетень «О состоянии окружающей природной среды Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в 2004 году». – Ханты-Мансийск: ЗАО «Сибирский издательский дом», 2005. – 119 с.
2. Захаров В.М., Чистякова Е.К., Кряжева Н.Г. Гомеостаз развития как общая характеристика состояния организма: скоррелированность морфогенетических и физиологических показателей у березы повислой // Доклады РАН. – 1997. – Т. 357. – № 2. – С. 281–283.
3. Захаров В.М., Чубинишвили А.Т., Дмитриев С.Г., Баранов А.С. и др. Здоровье среды: практика оценки. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 318 с.
4. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И. и др. Здоровье среды: методика оценки. Оценка состояния природных популя-

Выводы

1. Выполнена оценка состояния городской среды на примере территории г. Ханты-Мансийска с использованием показателя флуктуирующей асимметрии листовой пластинки берёзы повислой (*Betula pendula Roth*). Изучена пространственно-временная динамика коэффициента флуктуирующей асимметрии. Составлена карта распределения флуктуирующей асимметрии на территории г. Ханты-Мансийска.
2. Показано, что флуктуирующая асимметрия, усредненная по всем районам в г. Ханты-Мансийске с 2003 по 2007 гг., находится в интервале 0,053...0,057, а качество среды, соответственно, низкое и находится в пределах 4...5 баллов.
3. Экологическое районирование, проведенное по результатам биомониторинга 2007 г., показало, что значительная часть территории города Ханты-Мансийска (78 % от общей площади карты) имеет критическое и значительное отклонение от нормы состояние среды.
4. Установлена связь усредненного показателя флуктуирующей асимметрии по городу с продолжительностью солнечного сияния ($r=0,97$), влажностью воздуха ($r=0,6$) и среднегодовой температурой воздуха ($r=0,45$).
5. По данным химического анализа снежного покрова установлена положительная корреляция величины флуктуирующей асимметрии и химического загрязнения атмосферы.

ций по стабильности развития: методологическое руководство для заповедников. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.

5. Leung B., Forbes M.R., Houle D. Fluctuating asymmetry as a bio-indicator of stress: comparing efficacy of analyses involving multiple traits // Amer. Natur. – 2000. – V. 155. – P. 101–115.
6. Van Valen L. A study of fluctuating asymmetry // Evolution. – 1962. – V. 16. – № 2. – P. 125–142.
7. Козлов М.В. Стабильность развития: мнимая простота методики (о методическом руководстве «Здоровье среды: методика оценки») // Заповедники и национальные парки. – 2002. – № 37–38. – С. 23–25.

Поступила 17.03.2010 г.