УДК 504.054.001

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОКРУГОВ ГОРОДА ОМСКА И ИХ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН С ПОМОЩЬЮ РАСТИТЕЛЬНЫХ ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ (BETULA PENDULA ROTH, TRIFOLIUM REPENS L.)

[1]Александрова Т.В., [2]Нахаева В.И.

[1]ГБОУ ВПО «Омская государственная медицинская академия», Омск, e-mail: atv-bio@ya.ru;
[2] ГБОУ ВПО «Омский государственный педагогический университет», Омск

Статья посвящена экологической оценке двух округов города Омска с использованием растительных тест-объектов (анализ генетического полиморфизма клевера белого ползучего Trifolium repens L. в популяциях города Омска и флуктуирующей ассиметрии листьев Betula Pendula Roth). В данной работе представлен сравнительный анализ местообитаний парковых зон, а также окрестностей крупных автомагистралей и промышленных предприятий Советского и Октябрьского округов города по степени загрязненности окружающей среды. Обнаружены проявления различных уровней загрязнения: от среднего в парке 30-летия ВЛКСМ до критического в промышленной зоне Октябрьского округа. Причиной столь весомых различий может служить противоречивая близость рекреационных зон к оживленным транспортным линиям города и работающим заводам нефтехимической, электроэнергетической, машиностроительной, промышленности строительных материалов и т.п.

Ключевые слова: антропогенная нагрузка, биоиндикатор, клевер белый ползучий, береза повислая, фен, генетический полиморфизм, множественный аллелизм, флуктуирующая ассиметрии

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF OMSK CITY DISTRICTS AND RECREATIONAL AREAS WITH PLANT TEST OBJECTS (TRIFOLIUM REPENS L., BETULA PENDULA ROTH)

[1]Aleksandrova T.V., [2]Nakhaeva V.I.

[1]Omsk State Medical Academy, Omsk, e-mail: atv-bio@ya.ru;
[2]Omsk State Pedagogical University, Omsk

Article is dedicated to environmental assessment of two districts of the Omsk city with plant test objects (genetic polymorphism of white clover Trifolium repens L. in Omsk city's population and fluctuating asymmetry of Betula pendula Roth leaves). This paper presents a comparative analysis of habitat parks and neighborhood of major highways and industrial enterprises of Sovietsky and Oktiabrsky city districts on the degree of contamination of the environment. Manifestations of various pollution levels were found: from moderate in the park «30 Let VLKSM» to critical in the Oktiabrsky district. The reason for such weighty differences may be conflicting proximity of recreational areas to the city's transport lines and acting companies such as petrochemical plant, electric power companies, machine building and building materials enterprises, etc.

Keywords: anthropogenic load, bioindicator, white clover, phenotype, genetic polymorphism, silver birch, multiple allelism, asymmetry

Состояние окружающей среды города Омска ухудшается с каждым годом, что можно связать с увеличением количества автотранспорта, нерациональным сельскохозяйственным природопользованием, негативным влиянием промышленных предприятий, активным строительством, а также низкой экологической культурой населения, которая проявляется в несоблюдении законов о природопользовании и охране окружающей среды.

Город Омск – один из наиболее загрязненных центров России, отличительной особенностью которого является концентрация 97% объемов промышленного производства области в черте города. На территории Омска выделяют северную и южную промышленные площадки, представленные большим количеством предприятий химической и нефтехимической промышленности, топливно-энергетической промышленности и машиностроения. При этом около 40% населенной территории города находится в так называемых санитарно-защитных зонах предприятий, в которых не выдерживаются нормативные интервалы промышленных зон и жилых кварталов. На сегодняшний день в санитарно-защитных зонах проживают, испытывая вредное влияние промышленных выбросов и шумовое загрязнение, около 600 тыс. человек [6].

В последние десятилетия оценка качества среды становится принципиально важной задачей как при планировании, так и при осуществлении любых мероприятий по природопользованию, созданию и реконструкции городских рекреационных зон, охране природы и обеспечению экологической безопасности. Многие виды растений приспособились к существованию под жёстким воздействием антропогенных факторов, в результате чего у некоторых из них

наблюдаются изменения обмена веществ, произошедшие вследствие накопления груза мутаций, вызванных агрессивными условиями окружающей среды. Способность живых организмов к развитию без патологий является чувствительным индикатором состояния природных популяций, в связи с чем одним из перспективных подходов для интегральной характеристики качества среды является оценка состояния живых организмов по стабильности развития, которая характеризуется, например, уровнем флуктуирующей асимметрии (ФА) морфологических структур [1]. Одним из удобных способов оценки интенсивности антропогенного воздействия является метод оценки качества среды по показателям отклонений стабильности развития листа березы повислой (*Betula Pendula Roth*) от нормы. Принцип метода основан на выявлении нарушений симметрии развития листовой пластины растения под действием антропогенных факторов. Стоит также отметить, что для синантропной флоры характерно образование новых морф в загрязнённой среде обитания. Благодаря этой особенности, ряд видов растений используется учёными в качестве биоиндикаторов для оценки степени экологической чистоты местности. Так, клевер ползучий (*Trifolium repens L.)* используется для определения степени загрязнения воздуха и почв [2].

В качестве признака, порожденного антропогенным влиянием, рассматривается наследственный полиморфизм по форме «седого» рисунка на листовой пластинке, который может различаться расположением, окраской, интенсивностью проявления, размером и рядом других показателей. Наличие «седого» пятна на листьях – признак доминантный (V), его отсутствие – рецессивный (v). Разнообразие фенов в этом случае обусловлено появлением в результате генной мутации серии множественных аллелей гена V, восемь из которых встречаются наиболее часто. При этом соотношение фенотипов в гибридном потомстве не меняется. Во всех случаях в генотипе присутствует только одна пара аллелей, их взаимодействие и определяет развитие признака, т. к. каждая имеет определенную степень доминирования. В данной работе рассматриваются только гомозиготные особи.

Действие различных аллелей на отдельных этапах онтогенеза определяет расположение «седых» пятен. Все они нарушают нормальное развитие хлорофилла в палисадных клетках светлой зоны листа и приводят к сокращению в них количества хлоропластов вплоть до их полного отсутствия, что вызывает более раннюю гибель клеток, поэтому форма седого рисунка на пластинках листа клевера ползучего и частота его встречаемости – индикатор загрязнения среды обитания. Доказано, что в более благоприятных условиях среды отмечается преобладание генотипов vv и VV, а в местообитаниях, испытывающих антропогенную нагрузку, наблюдается большое разнообразие генотипов [2]. Чем больше вариантов «седого» рисунка выявлено на определенной территории, тем больше мутаций произошло в гене V, а значит можно сделать вывод о том, что хозяйственная деятельность человека оказала заметное негативное влияние на данную территорию.

Цель исследования

Оценить экологическое состояние характеризующихся наиболее развитой промышленностью Советского и Октябрьского округов г. Омска и расположенных в них основных рекреационных зон города методом ФА листьев березы повислой и анализа генетического полиморфизма в популяциях белого ползучего клевера по разнообразию «седого» рисунка на листьях.

Материалы и методы исследования

В 2013 г. кафедрой «Биологии» ОмГПУ было организовано изучение экологического состояние двух округов г. Омска и их рекреационных зон методом оценки ФА листьев березы повислой и генетического полиморфизма в популяциях белого ползучего клевера. Сбор материала для анализа генетического полиморфизма в популяциях *Trifolium repens* производился в сентябре 2013 года. Для определения фенотипов белого ползучего клевера закладывались пробные рандомизированные площади на территориях Советского и Октябрьского АО, а также расположенных в этих округах ПКиО «Советский» и ПКиО 30 лет ВЛКСМ. Было обследовано 1937 растений и произведен подсчет листьев растений с разными формами «седых» пятен на листьях. Анализ и определение фенотипов растений проводили по методике Шварцмана П.Я. (1986), сопоставляя рисунок на листе с генотипом по таблице (табл. 1).

Частота встречаемости различных генотипов и фенотипов была представлена как доля растений того или иного генотипа в данной выборке для конкретного местообитания, выраженная в процентах. Данные эксперимента были статистически обработаны, а оценка степени загрязнения почв производилась с использованием индекса соотношения фенов (ИСФ) [7].

Сбор листьев *Betula Pendula Roth* проводился согласно методике оценки состояния организмов по показателям нарушения стабильности развития [4] в тот же период (сентябрь 2013 г.). Объем выборки включал в себя 100 листьев (по 10 листьев с 10 растений). В лабораторных условиях измерялись морфо-

логические признаки: с каждого листа снимались показатели по пяти промерам с левой и правой сторон листа. Для каждой листовой пластинки вычислялись основные величины асимметрии по каждому признаку, оценивалась стабильность развития березы, вычислялся интегральный показатель ФА в выборке, а затем по пятибалльной шкале оценки определялись отклонения состояния организма от условной нормы (табл. 2) [8].

Данные эксперимента были статистически обработаны, в результате чего были получены степени выявленных отклонений билатеральной симметрии березы от условной нормы.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе сбора материала было обнаружено 6 фенотипических классов: без пятна – O (vv), полное ∧-образное пятно – A (VV), полное ∧-образное высокое пятно – A^H (V^HV^H), ∧-образное разорванное пятно – B (V^BV^B), центральное пятно – C (V^PV^P), треугольное низкое пятно у основания – E (V^LV^L); (табл. 3). Между популяциями белого клевера, произрастающими в административных округах г. Омска, были обнаружены достоверные различия (вероятность 90–95 %), совокупности особей рассматриваемых парковых зон Омска также достоверно различимы с вероятностью 95–99 %.

Было установлено, что в исследуемых популяциях округов г. Омска наиболее часто встречаются растения следующих классов: без пятна – vv (36–45 %), полное ∧-образное высокое пятно – V^HV^H (16–35 %) и полное ∧-образное пятно – VV (11–30 %) (табл. 3). Эти генеральные совокупности отмечены, как содержащие высокое разнообразие фенотипических классов с частотой встречаемости > 1 %, что говорит о большом количестве мутантных особей в городских популяциях. Наибольшее число диких фенов (vv, VV) найдено в Советском АО. Вероятно, это было вызвано тем, что площадки в Советском округе закладывались преимущественно на территории парковых зон, а в Октябрьском округе они располагались на большем отделении от крупных парков. Также были определены наименее встречающиеся фенотипы: ∧-образное разорванное пятно – V^BV^B (2–3 %), центральное пятно – V^PV^P (3–14 %), треугольное низкое пятно у основания – V^LV^L (0–2 %). Большое число особей, имеющих мутантный генотип, может быть свидетельством высокого уровня воздействия внешних или внутренних факторов. Это подтверждает индекс соотношения фенов (ИФС), имеющий значение в 54,81 % для Октябрьского округа, что, согласно методике, считается средней степенью загрязнения (40–60 %), и 63,86 % для Советского, то есть сильное загрязнение (61–80 %) [5, 3].

В популяциях белого клевера парковых зон г. Омска наиболее часто встречаются растения следующих классов: без пятна – vv (10–48 %), полное ∧-образное высокое пятно – V^HV^H (9–42 %) и полное ∧-образное пятно – VV (21–37 %). Наименее встречающиеся фенотипы: ∧-образное разорванное пятно – V^BV^B (0–3 %), треугольное низкое пятно – V^LV^L (0–2 %). Центральное пятно – V^PV^P является более характерным феном для Советского парка (26,6 %) нежели для парка 30 лет ВЛКСМ (табл. 4).

Таблица 1

Генотипы и фенотипы белого клевера (по П.Я. Шварцману, 1986)

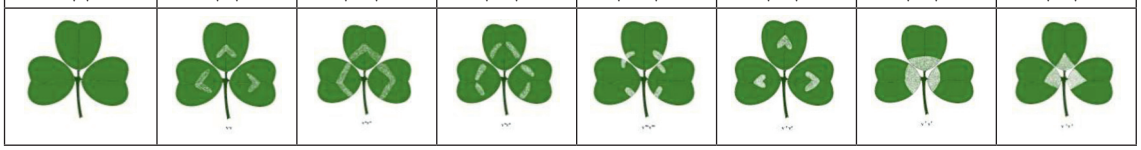
vv	VV	V^HV^H	V^BV^B	$V^{Bh}V^{Bh}$	V^PV^P	V^FV^F	V^LV^L
							

Таблица 2

Балльная шкала оценки качества среды по величине ФА билатеральной симметрии листа березы повислой (по В.М. Захарову, 2000)

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

Таблица 3

Частота встречаемости фенотипических классов в популяциях Trifolium repens в административных округах г. Омска в 2012–2013 годах

Фенотип	Генотип	Советский АО, %	Октябрьский АО, %
O	vv	36,137 ± 0,064	45,194 ± 0,064
A	VV	30,172 ± 0,015	11,592 ± 0,015
A^H	V^HV^H	16,867 ± 0,038	35,473 ± 0,038
B	V^BV^B	2,361 ± 0,001	2,788 ± 0,001
B^H	$V^{Bh}V^{Bh}$	0	0
C	V^PV^P	14,464 ± 0,002	2,935 ± 0,002
D	V^FV^F	0	0
E	V^LV^L	0 ± 0,004	2,018 ± 0,004
ИСФ		63,86 %	54,81 %

Таблица 4

Частота встречаемости фенотипических классов в популяциях Trifolium repens в рекреационных зонах г. Омска в 2013 г.

Фенотип	Генотип	Советский парк, %	Парк 30-летия ВЛКСМ, %
O	vv	9,705 ± 0,049	48,084 ± 0,049
A	VV	42,055 ± 0,020	8,694 ± 0,020
A^H	V^HV^H	21,598 ± 0,013	36,836 ± 0,013
B	V^BV^B	0 ± 0,001	3,131 ± 0,001
B^H	$V^{Bh}V^{Bh}$	0	0
C	V^PV^P	26,641 ± 0,002	1,978 ± 0,002
D	V^FV^F	0	0
E	V^LV^L	0 ± 0,003	1,277 ± 0,003
ИСФ		90,29 %	52,92 %

Частота встречаемости диких фенов в Советском парке и парке 30 лет ВЛКСМ достоверно неразличима, однако, несмотря на то, что обе генеральные совокупности отмечаются как содержащие высокое разнообразие фенотипических классов, частота встречаемости мутантных особей достоверно выше в ПКиО «Советский». Вычисление индексов соотношения фенотипов «зелёных зон» дало следующие результаты: ИФС парка 30-летия ВЛКСМ составил 52,92 %, что считается средней степенью загрязнения (40–60 %), а загрязнение Советского парка, исходя из ИФС в 90,29 % было определено как очень сильное загрязнение. Это, вероятно, обусловлено тем, что рекреационная зона Советского округа располагается на 6 км к югу от ОАО «Газпромнефть – НПЗ», и это направление розы ветров является одним из наиболее типичных для города Омска. Стоит так же отметить, что рассмотренные парки располагаются вдоль крупных автомагистралей: Советский парк по проспекту Мира, а парк 30-летия ВЛКСМ по ул. Богдана Хмельницкого, что, безусловно, оказывает отрицательное влияние на качество окружающей среды этих территорий.

В ходе анализа стабильности развития листовой пластинки растений березы повислой, произрастающих в тех же АО и рекреационных зонах города Омска, были получены результаты (табл. 5), свидетельствующие о том, что все обследованные зоны характеризуются уровнем ФА листьев березы повислой, превышающим величину условной нормы (< 0,040). Наиболее высокие показатели зафиксированы в промышленной зоне Октябрьского округа (0,064 в среднем), что соответствует V баллу по шкале оценки качества среды по величине ФА и характеризуется как критическое состояние окружающей среды. В лучшей экологической ситуации находятся рекреационные зоны ПКиО «30 лет ВЛКСМ» и ПКиО «Советский». Средний показатель ФА листьев березы в этих районах составляет 0,053, что соответствует IV баллу по шкале оценки качества[8].

Существует определенная взаимосвязь показателей значений ФА на рекреационных и промышленных территориях с уда-

ленностью этих объектов от источников загрязнения. Так, например, высокие значения показателей ФА листьев *Betula Pendula Roth* на аллее Б. Хмельницкого связаны с непосредственной близостью этого района к основным источникам загрязнения – таким промышленным гигантам, как ПО «Полет» и моторно-строительного объединения им. Баранова. Кроме промышленных выбросов на состояние зеленых насаждений негативно воздействуют выхлопы автотранспорта, что, на наш взгляд, объясняет заметное увеличение величины показателей ФА на аллее вдоль автомагистрали по Б. Хмельницкого по сравнению со второй промышленной зоной – ОАО «Газпромнефть-НПЗ».

Таблица 5

Средние показатели ФА билатеральной симметрии листа березы повислой по районам исследования

Место сбора	Величина ФА
Советский АО (ОАО «Газпромнефть – НПЗ»)	0,056
Октябрьский АО (аллея Б. Хмельницкого)	0,064
ПКиО «Советский»	0,053
ПКиО (30 лет ВЛКСМ)	0,053

Выводы

1. При анализе признака «седой рисунок» на листе белого клевера были выявлены следующие фенотипы и генотипы в популяциях г. Омска: без пятна – vv , полное ^-образное пятно – VV, полное ^-образное высокое пятно – V^HV^H, ^-образное разорванное пятно – V^BV^B, центральное пятно – V^PV^P, треугольное низкое пятно у основания – V^LV^L.

2. Все городские популяции *Trifolium repens L.*, включая произрастающие в парковых зонах, обладают большой частотой встречаемости мутантных генотипов, выраженных фенами с различной формой, размером и интенсивностью окраски «седых» пятен на листьях, следовательно в г. Омске прослеживаются явные признаки наличия груза мутаций, вызванного воздействием антропогенных факторов – как в парковых зонах, так и в АО города.

3. Исследование экологического состояние нескольких зон города Омска методом ФА листьев березы повислой показало, что состояние качества среды в черте города Омска неоднородно, при этом во всех обследованных рекреационных и промышленных зонах наблюдается высокий уровень ФА (IV–V баллов), который значительно превышает величину условной нормы (< 0,040) и характеризуется как критическое состояние окружающей среды.

4. Наиболее высокие показатели ФА зафиксированы в промышленных районах улицы Б. Хмельницкого и ОАО «Газпромнефть-НПЗ», в лучшей экологической ситуации находятся рекреационные зоны жилого района парков «30 лет ВЛКСМ» и «Советский».

5. Полученные данные позволяют судить о взаимосвязи величины ФА, а также генетического полиморфизма в популяциях белого клевера с расстоянием исследованных зон от источников загрязнения. Так, чем ближе рекреационные объекты находятся к источникам загрязнения (промышленные предприятия, автомагистрали), тем больше зафиксированная величина ФА *Betula Pendula Roth* и частота встречаемости мутантных генотипов *Trifolium repens L.*

Список литературы

1. 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.

2. Горшкова Т.А. Оценка возможности использования клевера ползучего (Trifolium repens L.) для биоиндикации антропогенного нарушения среды // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 1. – С. 69–73.

3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (С основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с., ил.

4. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И. и др. Здоровье среды: методы оценки. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.

5. Левицкий С.Н. Генетический полиморфизм в популяциях Trifolium repens, произрастающих в условиях различной антропогенной нагрузки территорий // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4 (часть 1). – С. 108–111; URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10000319 (дата обращения: 28.05.2014).

6. Русаков В.Н. Возвращение к жизни / В.Н. Русаков // Природа Прииртышья. – 2000. – № 3. – С. 28–29.

Соколова Г.Г., Камалтдинова Г.Т. Морфогенетический полиморфизм листьев клевера ползучего // Известия АлтГУ. – 2010. – № 3 (часть 1). – С. 48–51; URL: http://izvestia.asu.ru/2010/3-1/bios/TheNewsOfASU-2010-3-1-bios-10.pdf (дата обращения: 18.10.2014).

7. Чукаева Н.В Экологическая оценка состояния территории, прилегающей к озеру Тепляковское // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 8. – С. 77–78; URL: www.rae.ru/use/?section=content&op=show_article&article_id=7797530 (дата обращения: 27.10.2014).

8. Franiel I. Fluctuating asymmetry of Betula Pendula Roth leaves – an index of enviromentalquality. Biodiv. Res. Conserv. – 2008. – № 9-10. – P. 7–10.