

УДК 502.175:581.5

**ОЦЕНКА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ МЕТОДАМИ ФИТОИНДИКАЦИИ
(НА ПРИМЕРЕ Г. ЧЕБОКСАРЫ)**

**EVALUATION OF URBAN ENVIRONMENT BY METHODS
OF PHYTOINDICATION (IN TERMS OF CHEBOKSARY)**

М. Ю. Куприянова, И. И. Семенова

M. Yu. Kupriyanova, I. I. Semenova

*ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический
университет им. И. Я. Яковлева»*

Аннотация. Данная статья посвящена оценке качества городской среды методами фитоиндикации. Для оценки степени антропогенной нагрузки выбраны клевер ползучий *Trifolium repens* L. и одуванчик лекарственный *Taraxacum officinale* L. Проведен анализ взаимосвязи фенотипического разнообразия растений *Trifolium repens* L. и степени антропогенной нагрузки на территории. Установлена высокая степень полиморфизма в популяциях с высокой антропогенной нагрузкой. Выявлено уменьшение длины и массы семян *Taraxacum officinale* L. с повышением уровня загрязнения экосистем.

Abstract. The authors of the article focus on the evaluation of the quality of urban environment by phytoindication methods. To assess the degree of anthropogenic load Iamb suckling *Trifolium repens* L. and dandelion *Taraxacum officinale* L. have been chosen. The relation between the phenotypic diversity of plants of *Trifolium repens* L. and the degree of anthropogenic load on site has been analyzed. The high degree of polymorphism in populations with high anthropogenic load has been established. The authors revealed a decrease in the length and weight of seeds of *Taraxacum officinale* L. in terms of increasing pollution of ecosystems.

Ключевые слова: *фен, Trifolium repens* L., *Taraxacum officinale* L., «седой» рисунок, городская среда, фитоиндикация.

Keywords: *phene, Trifolium repens* L., *Taraxacum officinale* L., «gray» picture, urban environment, phytoindication.

Актуальность исследуемой проблемы. Доступными и простыми способами оценки состояния окружающей среды являются методы биоиндикации. Биологический метод оценки среды представляется наиболее интегрированным и достаточно объективным [12].

Одним из направлений биомониторинга является фитоиндикация, представляющая собой обнаружение и определение экологически значимых нагрузок на основе реакций растительных организмов, произрастающих в данной среде [1].

Оценить состояние окружающей среды и уровень антропогенного воздействия можно с помощью фенотипических биоиндикаторов. Фен – это четко различающиеся варианты какого-либо признака или свойства биологического вида. Увеличение или уменьшение частоты встречаемости специфических фенотипов у разных видов растений являются биологическим индикатором воздействия антропогенных факторов.

В качестве информативных биоиндикаторов, позволяющих оценить степень антропогенной нагрузки, нами выбраны клевер ползучий *Trifolium repens* L. и одуванчик лекарственный *Taraxacum officinale* L.

Клевер ползучий *Trifolium repens* L. – многолетнее растение со стержневой, сильно разветвленной корневой системой, укороченным главным стеблем и боковыми стелющимися и укореняющимися побегами. Это светолюбивое растение, которое при благоприятных условиях быстро разрастается и образует сомкнутый покров, вытесняя из травостоя злаки и разнотравье [11]. Характерная особенность клевера ползучего – широкое распространение и приспособление даже к экстремальным факторам. Относительно устойчив к вытаптыванию. За счет вегетативного размножения удерживается и распространяется по территории, генеративное размножение способствует захвату новых площадей. В качестве фенотипического биоиндикатора используется форма «седого» рисунка на пластинках листьев ползучего клевера. Рисунок на листе отличается расположением, интенсивностью проявления, окраской, размером. Его выраженность зависит также от возраста. Наличие «седого» пятна на листьях – признак доминантный (V), его отсутствие – рецессивный (v). Все аллели гена V нарушают нормальное развитие хлорофилла в палисадных клетках светлой зоны листа, приводят к сокращению в них количества хлоропластов вплоть до их полного отсутствия, способствуют уменьшению размеров палисадных клеток и увеличению пространства между ними, более ранней гибели клеток [13].

Ряд исследований посвящен изучению природных популяций клевера [2], [4], [6], [9].

Одуванчик лекарственный *Taraxacum officinale* L. – многолетнее травянистое растение высотой до 30 см, с маловетвистым стержневым корнем толщиной около 2 см и длиной около 60 см, в верхней части переходящим в короткое многоглавое корневище. Плод – серовато-бурая веретенообразная семянка с хохолком, состоящим из белых неветвистых волосков. Семянки прикреплены к цветоложу непрочны и легко разносятся ветром. Этот вид характеризуется широтой географического распространения, эврибионтностью, почти полной апомиктичностью, преимущественно семенным размножением и средообразующей способностью [11].

За последнее время появился ряд работ, в которых одуванчик является объектом биоиндикации загрязненных, в том числе и урбанизированных, территорий. Например, Н. С. Стволинская изучала жизнеспособность семян *Taraxacum officinale* Wigg. в популяциях города Москвы в связи с автотранспортным загрязнением [10]. А. Б. Савиновым анализирована фенотипическая изменчивость *Taraxacum officinale* Wigg. из биотипов с разными уровнями техногенного загрязнения [7]. В работе Г. В. Воробьева и др. выявлена зависимость морфологических форм одуванчика лекарственного от загрязнения атмосферы автомобильным транспортом [3].

Настоящая работа является продолжением наших исследований [8].

Материал и методика исследований. Исследование проведено для г. Чебоксары Чувашской Республики. Основным источником загрязнения атмосферного воздуха на территории города является автотранспорт, среди стационарных источников можно выделить котельные. Сбор растений *Trifolium repens* L. проводили в июле 2014 г.

Анализ фенотипов растений проводили по методике П. Я. Шварцмана [13] (результаты приведены в табл. 1).

В качестве исследуемых участков были выбраны территории с разной антропогенной нагрузкой, расположенные на одинаковом расстоянии от автодороги. Всего было обследовано 6 пробных площадок. Отсчеты фенов проводили не чаще, чем через два – три шага. Эта процедура повторялась по ходу движения в заданном направлении до конца пробной площадки. После этого направление движения менялось и подсчет продолжался до тех пор, пока не было сделано не менее 30 отсчетов. Если в какой-либо точке площад-

ки обнаруживалось два разных фена, то данный результат не учитывался ввиду переплетения картинок. Подсчет форм проводился по наличию рисунка и без него. Осуществлялся расчет частоты встречаемости выявленных фенов (в %) [14].

Таблица 1

Генетическая детерминация разнообразия формы «седых» пятен на листьях клевера (по П. Я. Шварцману, 1986)

Аллель	Фенотип	Обозначение фенотипа (фена)
v	Пятно отсутствует	О
V	Полное пятно	A
V ^H	Полное пятно, высокое	A ^H
V ^B	Разорванное пятно	B
V ^{Bh}	Разорванное высокое	B ^H
V ^P	Центральная верхняя точка	C
V ^F	Большое сплошное пятно у основания	D
V ^S	Низкое треугольное пятно у основания	E

Статистический анализ результатов проводился с применением пакета программ Excel.

Рисунки пятен на листьях сравнивали с рисунком, изображенным в таблице J. L. Brewbaker [15] (результаты приведены на рис. 1).

	1 v	2 V	3 V ^H	4 V ^B	5 V ^{Bh}	6 V ^P	7 V ^F	8 V ^S
1 v								
2 V								
3 V ^H								
4 V ^B								
5 V ^{Bh}								
6 V ^P								
7 V ^F								
8 V ^S								

Рис. 1. Гомо- и гетерозиготы по аллелям гена V, определяющего рисунок «седого» пятна на листьях *Trifolium repens* L. (Brewbaker J. L., 1955)

Семена *Taraxacum officinale* L. собирали в конце мая 2014 г., хранили в бумажных пакетах при комнатной температуре. У особой из корзинок брали по одной семянке и у каждого из 50 отобранных семян измеряли длину с помощью микроскопа МБС-10, массу – с помощью аналитических весов. Было выполнено по 10 измерений для каждого из вариантов. Статистическая обработка полученных данных проводилась по общепринятым методикам [5].

Результаты исследований и их обсуждение. Всего обнаружено 10 фенотипических классов, что свидетельствует о различной степени морфогенетического полиморфизма у растений *Trifolium repens* L. Преобладающим фенотипом является фенотип О (лист без белого рисунка), затем чаще других встречаются фенотипы А и С (полное пятно на листе и центральная верхняя точка). На участках Марпосадское шоссе, проспект И. Яковлева наблюдается высокое разнообразие фенотипов (по 10 каждой). Во всех пробных площадках наиболее часто встречаются растения с генотипами vv, V^HV^B. Наибольший полиморфизм наблюдается у растений *Trifolium repens* L., произрастающих на проспекте И. Яковлева (табл. 2).

Таблица 2

Частота встречаемости фенотипов *Trifolium repens* L., %

Фено-тип	Гено-тип	Беренде-евский лес	Парк им. 500-летия г. Чебоксары	Вурнар-ское шоссе	Марпо-садское шоссе	Проспект И. Яковлева	Улица Б. Хмель-ницкого
О	vv	48,2±2,1	54,2±2,7	38,1±1,4	45,9±1,2	38,8±1,4	43,2±1,4
А	Vv	10,3±1,5	9,2±0,3	9,8±0,08	4,6±1,5	7,9±0,08	9,9±0,08
А	VV	3,5±0,3	6,1±0,7	5,3±1,1	5,4±0,5	4,5±1,2	4,5±1,2
A ^H	V ^H v	5,5±0,04	3,7±0,3	3,0±0,02	3,5±0,5	2,9±0,02	3,9±0,2
A ^H А	V ^H V	7,8±1,1	2,3±0,03	4,7±1,9	4,0±0,5	2,2±1,4	2,2±0,4
A ^H	V ^H V ^H	-	-	4,7±0,4	3,1±0,4	3,0±0,4	3,1±0,4
A ^H	V ^H V ^B	22,6±1,7	24,5±1,6	23,7±2,7	25,2±1,1	31,8±2,7	25,3±2,4
С	V ^P v	-	-	-	-	-	-
А(С)	V ^P V	-	-	-	-	-	-
A ^H С	V ^P V ^H	-	-	8,9±0,6	2,1±0,4	6,5±0,6	6,4±0,6
С	V ^P V ^P	-	2,1±0,13	1,8±0,2	4,4±0,5	0,8±0,2	1,5±0,2
A ^H Е	V ^S V ^H	-	-	-	0,1±0,04	0,1±0,02	-

Были подсчитаны средние значения длины и массы семян *Taraxacum officinale* L. для всех пробных площадок и проанализированы с использованием критерия Стьюдента (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика семян в ценопопуляциях *Taraxacum officinale* L

Характеристика семян	Берендеев-ский лес	Парк им. 500-летия г. Чебоксары	Вурнарское шоссе	Марпосад-ское шоссе	Проспект И. Яко-влева	Улица Б. Хмель-ницкого
Длина, мм	2,36±1,11	1,98±0,05	1,31±0,02	1,29±0,02	1,58±0,03	1,71 ±0,04
Масса, г	1,73±0,03	1,55±0,03	1,11±0,002	1,05±0,002	1,16±0,02	1,14±0,02

Наибольшие масса и длина семян характерны для ценопопуляций *Taraxacum officinale* L., собранных в Берендеевском лесу. Наименьший показатель длины и массы семян одуванчика имеет сбор с участка, прилегающего к Марпосадскому шоссе.

Резюме. Установлена высокая степень полиморфизма в популяциях с большой антропогенной нагрузкой. Популяции клевера подвергаются антропогенным нагрузкам (вытаптыванию, выкашиванию, рекреации, закислению), воздействию выхлопных газов автотранспорта. Механизм поддержания полиморфизма обусловлен адаптивными эффектами сверхдоминирования, когда различные аллели сохраняются в популяции благодаря балансирующему отбору, дающему преимущество гетерозиготным особям.

В ценопопуляциях одуванчика обнаруживается связь между уровнем загрязнения экосистем и изменениями некоторых количественных признаков. Чем выше антропогенная нагрузка, тем выше семенная продуктивность особей и доля недоразвитых семян у них, параллельно уменьшаются длина и масса семян. Эти особенности фенотипической изменчивости одуванчика в интенсивно загрязненных биотопах свидетельствуют о «стрессивности» его популяций в таких местообитаниях.

Таким образом, данные, полученные посредством обеих методик, дополняют друг друга, обеспечивая достоверность исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / О. П. Мелехова, Е. И. Егорова, Т. И. Евсеева и др. – М. : Академия, 2007. – 288 с.
2. Валиев, Р. Р. Сравнительная характеристика наследственного полиморфизма по признаку «седого» пятна на листьях растений в популяциях *Trifolium repens* на территории г. Уфы и некоторых районов Республики Башкортостан / Р. Р. Валиев, О. М. Яковлева // Вестник Башкирского университета. – 2008. – Т. 13. – № 2. – С. 273–276.
3. Воробьев, Г. В. Особенности метаболизма одуванчика лекарственного в условиях загрязнения атмосферы автомобильным транспортом / Г. В. Воробьев, А. Ю. Алябьев, Т. П. Якушенкова, К. К. Ибрагимова // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. – 2013. – № 2 (78). – С. 39–44.
4. Денисова, Л. Н. Пространственная и возрастная структура популяций *Trifolium repens* (Fabaceae) в различных местообитаниях / Л. Н. Денисова // Ботанический журнал. – 1995. – № 4. – С. 99–102.
5. Лакин, Г. Ф. Биометрия : учебное пособие для университетов и педагогических институтов / Г. Ф. Лакин. – М. : Высшая школа, 1973. – 343 с.
6. Левицкий, С. Н. Генетический полиморфизм в популяциях *Trifolium repens*, произрастающих в условиях различной антропогенной нагрузки территорий / С. Н. Левицкий // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4. – С. 108–111.
7. Савинов, А. Б. Анализ фенотипической изменчивости одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* Wigg.) из биотипов с разными уровнями техногенного загрязнения / А. Б. Савинов // Экология. – 1998. – № 5. – С. 62–65.
8. Семенова, И. И. Оценка качества урбаноcреды методами биоиндикации / И. И. Семенова, У. А. Солдатова // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные вопросы образования и науки». – Тамбов : Консалтинговая компания Юком, 2014. – С. 121–122.
9. Соколова, Г. Г. Морфогенетический полиморфизм листьев клевера ползучего / Г. Г. Соколова, Г. Т. Камалтдинова // Известия Алтайского государственного университета. – 2010. – № 3. – Т. 1 (67). – С. 31–38.
10. Стволинская, Н. С. Жизнеспособность *Taraxacum officinale* Wigg. в популяциях города Москвы в связи с автотранспортным загрязнением / Н. С. Стволинская // Экология. – 2000. – № 2. – С. 147–150.
11. *Trifolium repens* L. – Клевер ползучий, или белый / И. А. Губанов и др. // Иллюстрированный определитель растений Средней России. – М. : КМК ; Институт технологических исследований, 2003. – Т. 2. – С. 473.
12. Федорова, А. И. Биоиндикация загрязнений городской среды / А. И. Федорова // Изв. РАН. Сер. География. – 2002. – № 1. – С. 72–80.
13. Шварцман, П. Я. Полевая практика по генетике с основами селекции / П. Я. Шварцман. – М. : Просвещение, 1986. – 111 с.
14. Экологический мониторинг : учебно-методическое пособие / под ред. Т. Я. Ашихминой. – М. : Академический Проект, 2006. – 416 с.
15. Brewbaker J. L. V-Seed markings of white clover / J. L. Brewbaker // J. Hered. – 1955. – Vol. XLVI. – № 3. – P. 115–125.