

TRIFOLIUM REPENS (L.) — БИОИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ Г. КРАСНОДАРА)

TRIFOLIUM REPENS (L.) — BIOINDICATOR OF ENVIRONMENTAL POLLUTION (THE EXAMPLE IS KRASNODAR)

**V. Sergeeva
A. Kresamova
Yu. Andreeva**

Summary. The paper considers *Trifolium repens* as a bioindicator of environmental pollution in the city of Krasnodar. During the processing of herbarium materials of their own collections, 11 *T. repens* hair dryers were allocated. As a result of the comparison, using variance analysis and Pearson χ^2 test, differences were found between populations of creeping clover living in different habitats. These studies have shown that *Trifolium repens* can be used as a bioindicator of environmental pollution.

Keywords: *Trifolium repens*, bioindicator, hair dryer, phenotype, morphological structure, discriminant analysis, statistically significant differences.

Сергеева Валентина Владимировна

К.б.н., Кубанский государственный университет
salvia500@yandex.ru

Кресамова Анна Александровна

Кубанский государственный университет
anya.kresamova@mail.ru

Андреева Юлия Сергеевна

К.б.н., Кубанский государственный университет
usb_work@list.ru

Аннотация. В работе рассматривается *Trifolium repens* в качестве биоиндикатора загрязнения окружающей среды г. Краснодара. В процессе обработки гербарных материалов собственных сборов было выделено 11 фенов *T. repens*. В результате проведённого сравнения с использованием дисперсионного анализа и критерия χ^2 Пирсона были обнаружены различия между популяциями клевера ползучего, обитающего в разных местообитаниях. Данные исследования показали, что *Trifolium repens* можно использовать как биоиндикатор загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: *Trifolium repens*, биоиндикатор, фен, фенотип, морфологическая структура, дискриминантный анализ, статистически значимые отличия.

Введение

В результате высокого уровня роста промышленных предприятий, использования автотранспорта, выброса и сжигания различных бытовых отходов в окружающую среду поступает большое количество токсичных веществ, канцерогенов и пестицидов, что негативно влияет на жизнь растений и животных. На данный момент трудно найти места, которые не были бы связаны с жизнедеятельностью человека. Многие растения смогли приспособиться к жизни под мощным воздействием антропогенных факторов, в связи с чем у некоторых из них появились изменения в морфотипе, что способствовало появлению новых форм. Благодаря этому, некоторые виды растений стали использовать в качестве биоиндикаторов для оценки уровня загрязнения окружающей среды [3].

При помощи фенотипических биоиндикаторов можно определить степень антропогенного воздействия на окружающую среду. Фен — это различные варианты какого-либо свойства или признака биологического

вида. Биоиндикатором антропогенного воздействия является частота встречаемости фенов разных видов растений [1].

Клевер ползучий — это полиморфный вид, обитающий в разных климатических условиях, а также в местах, связанных с деятельностью человека. В качестве фенотипического признака у клевера ползучего некоторые авторы [1, 2, 3] рассматривают полиморфизм по форме «седого» рисунка на листовой пластинке, различающегося по размеру, расположению и интенсивности проявления. Виды, обладающие широким спектром полиморфизма, который обеспечивает существование вида в разных условиях обитания и образования новых морф, могут использоваться для определения состояния окружающей среды в качестве биоиндикатора [4].

Форма седого пятна и частота его встречаемости является важным показателем загрязнения окружающей среды. Чем больше фенотипов встречается на данной территории, тем выше уровень антропогенной нагрузки на эту территорию [3].



Рис. 1. Карта-схема мест закладок учётных площадок клевера ползучего в г. Краснодаре в период 2016—2017 гг.

Примечание: ● — ул. Дзержинского 80; ● — ул. Тургенева 96; ● — Мирный проезд 16;
 ● — ул. Западный Обход 28; ● — ул. Красных Партизан 1/10; ● — ул. Покрышкина 3;
 ● — ул. Новороссийская 246; ● — парк имени 30-летия Победы; ● — парк Солнечный Остров;
 ● — ст-ца Елизаветинская, ул. Степная 334

По результатам Росприроднадзора установлено, что уровень загрязнения в г. Краснодаре высокий. Методики определения загрязнения тяжёлыми металлами, фенолами и другими токсическими веществами весьма дорогостоящие, поэтому использование более простых и дешёвых методик биоиндикации является более актуальным.

Материалы и методы

Материалом исследования послужили растения *Trifolium repens*, характеризованные комплексом морфологических признаков. Из количественных признаков были учтены длина и ширина листочков, длина черешка и стебля, диаметр соцветия; из качественных — форма листочков, расположение «седого» пятна, край листовой пластинки, окраска соцветия.

В ходе работы оценивалась связь между местообитанием и изменчивостью вышеуказанных признаков.

Изменчивость количественных признаков была исследована в дисперсионном анализе с последующим сравнением средних значений в ранговом тесте для определения, между какими конкретно местами обитания есть достоверные отличия; а изменчивость качественных признаков — при сравнении распределения частот с использованием критерия χ^2 Пирсона [5].

Все необходимые расчёты были выполнены на персональном компьютере с использованием программ Excel и STATISTICA for Windows.

Сбор материала и закладка учётных площадок проводились в г. Краснодаре в период 2016—2017 гг. (рис. 1).

Таблица 1. Морфологические признаки фенотипов *Trifolium repens* в популяциях г. Краснодара

Фенотип	Форма листочков	Основание листочков	Наличие выемки	Форма края листочков	Наличие «седого» пятна
1	2	3	4	5	6
A	Округлая	Слабо клиновидное	Неглубокая выемка вверху	Полностью мелкопильчатая	Нет
B	Округлая	Округлое	Неглубокая выемка вверху	Полностью мелкопильчатая	Узкое пятно в нижней части листа
C	Округлая	Клиновидное	Выемка вверху	Полностью мелкопильчатая	Широкое пятно в середине листа
D	Обратнойцевидная	Оттянуто клиновидное	Нет	Полностью мелкопильчатая	Широкое пятно в нижней части листа
E	Широкойцевидная	Округлое	Нет	На 2/3 мелкопильчатая	Узкое пятно в середине листа
F	Округлая	Слабо клиновидное	Глубокая выемка вверху	Полностью мелкопильчатая	Узкое пятно в середине листа
G	Ланцетная	Клиновидное	Нет	Полностью мелкопильчатая	Узкое пятно в середине листа
H	Обратнойцевидная	Оттянуто клиновидное	Выемка вверху	Нижний край листа на 1/3 мелкопильчатый	Нет
K	Яйцевидная	Округлое	Нет	Нижний край листа на 1/3 мелкопильчатый	Нет
L	Сердцевидная	Оттянуто клиновидное	Глубокая выемка вверху	Верхний край листа на 1/3 мелкопильчатый	Узкое пятно в нижней части листа
M	Широкойцевидная	Клиновидное	Глубокая выемка вверху	Нижний край листа на 1/3 мелкопильчатый	Нет

Результаты и обсуждение

В результате работы в г. Краснодаре нами было выделено 11 фенотипов клевера ползучего (табл. 1, рис. 2).

В ходе работы нами был проведён сравнительный анализ популяций *Trifolium repens* из разных мест обитания по комплексу морфологических признаков.

Для сравнения местообитаний по количественным признакам использовался однофакторный дисперсионный анализ, результаты которого представлены в рис. 3.

В результате однофакторного дисперсионного анализа было установлено, что доля от общей дисперсии

выявленных отличий варьировала от признака к признаку в пределах 31,2% (длина листочков) — 47,4% (диаметр соцветия). Влияние местообитаний на длину черешка составило 41,0%, длину стебля — 41,4%, ширину листочков — 41,6%.

Выявленные отличия между местообитаниями в ходе однофакторного дисперсионного анализа, раскрываются по результатам сравнения средних значений количественных признаков, полученных с использованием теста Тьюки (рис. 4—8).

По признаку длина листочков статистически значимые отличия были обнаружены между местообитаниями «ул. Западный обход» (самое маленькое значение признака) — «ул. Степная (ст- ца Елизаветинская)» — «парк

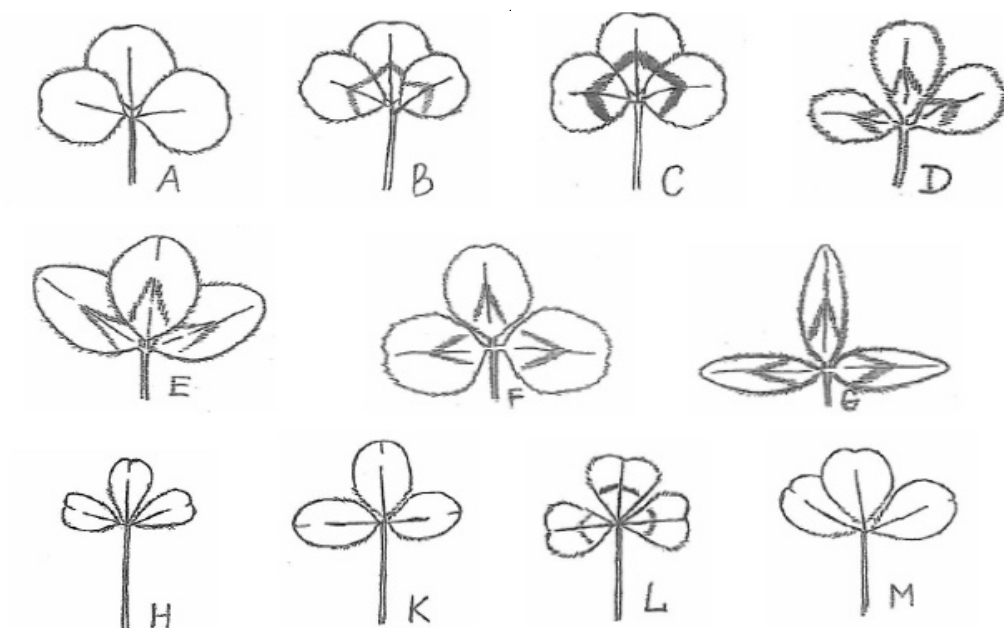


Рис. 2. Фенотипы *Trifolium repens* (A — M), выявленные автором в 2016—2017 гг.

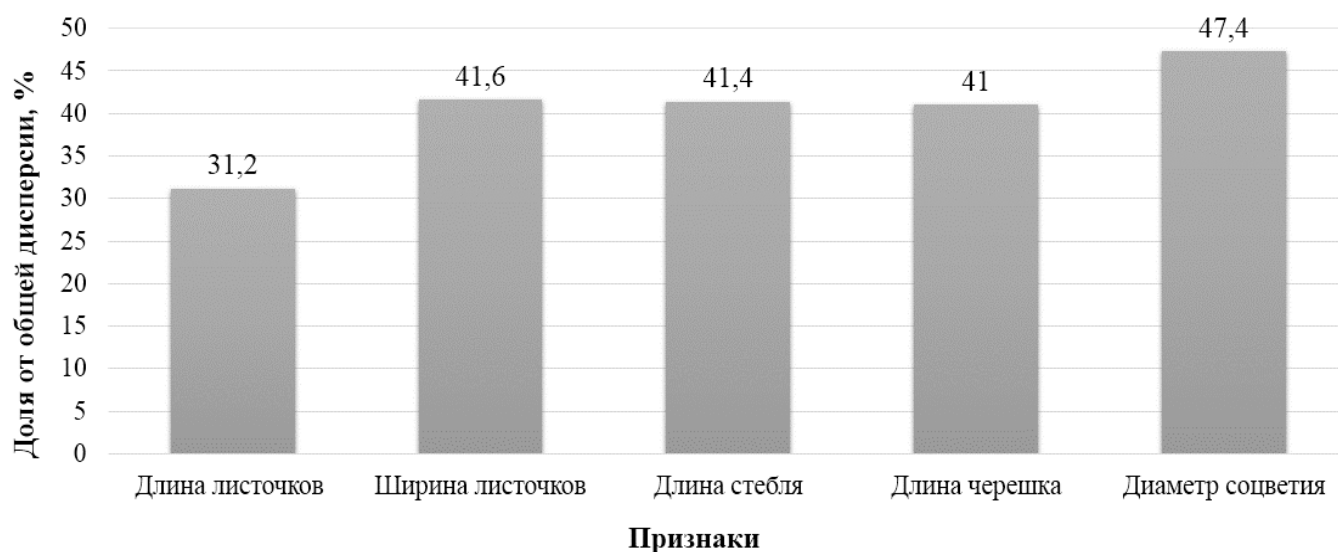


Рис. 3. Результаты однофакторного дисперсионного анализа изменчивости количественных морфологических признаков клевера ползучего в условиях различных местообитаний

Солнечный остров» и «ул. Новороссийская» — «ул. Дзержинского» (самое большое значение признака) (рис. 4).

Статистически значимые отличия по признаку ширина листочка были установлены между следующими группами местообитаний: «ул. Западный обход» (самое маленькое значение признака), «ул. Тургенева», «парк 30-летия Победы» — «ул. Степная (ст-ца Елизаветинская)», «ул. Покрышкина», «ул. Новороссийская» — «Мир-

ный проезд» и «парк Солнечный остров» — «ул. Дзержинского» (самое большое значение признака) (рис. 5).

По признаку длина стебля клевера ползучего статистически значимые отличия выявлены между местообитаниями «ул. Тургенева» (самое маленькое значение признака) — «ул. Дзержинского» — «ул. Красных партизан» и «Мирный проезд» — «ул. Покрышкина» (самое большое значение признака) (рис. 6).

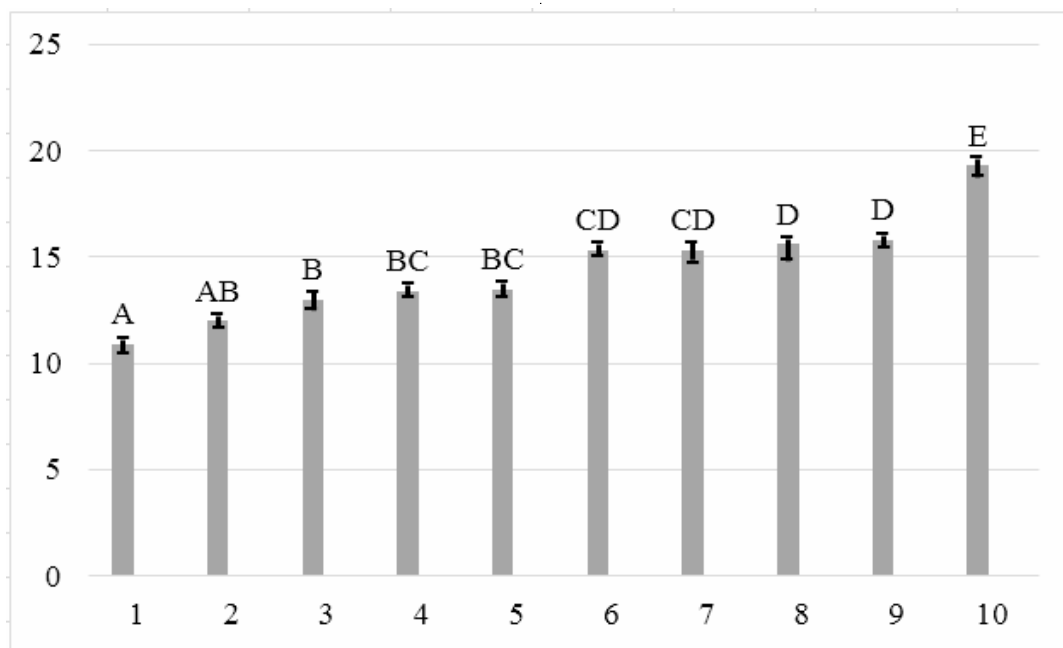


Рис. 4. Средние значения длины листочка клевера ползучего, произрастающего в разных местообитаниях

Примечание: Здесь и на последующих аналогичных рисунках 1 — ул. Западный обход; 2 — парк 30-летия Победы; 3 — ул. Степная (ст-ца Елизаветинская); 4 — ул. Тургенева; 5 — ул. Покрышкина; 6 — ул. Красных партизан; 7 — Мирный проезд; 8 — ул. Новороссийская; 9 — парк Солнечный остров; 10 — ул. Дзержинского. Средние, характеризующиеся достоверными отличиями, обозначены различными буквами (A; B; C; D; E; F). Ошибка среднего обозначается — |—|

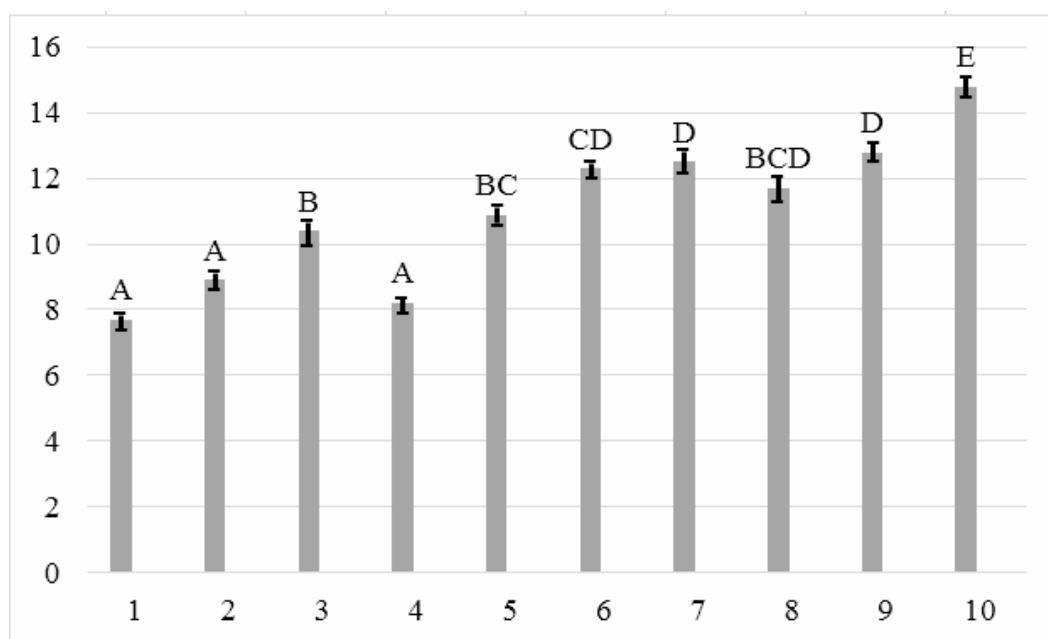


Рис. 5. Средние значения ширины листочка клевера ползучего, произрастающего в разных местообитаниях

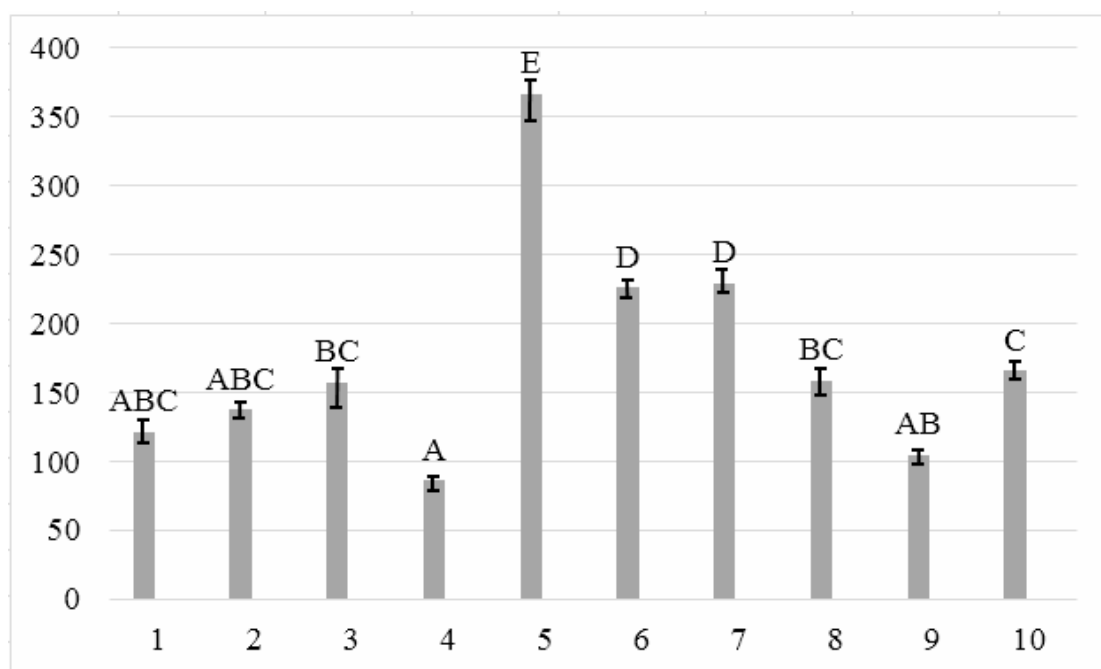


Рис. 6. Средние значения длины стебля клевера ползучего, произрастающего в разных местообитаниях

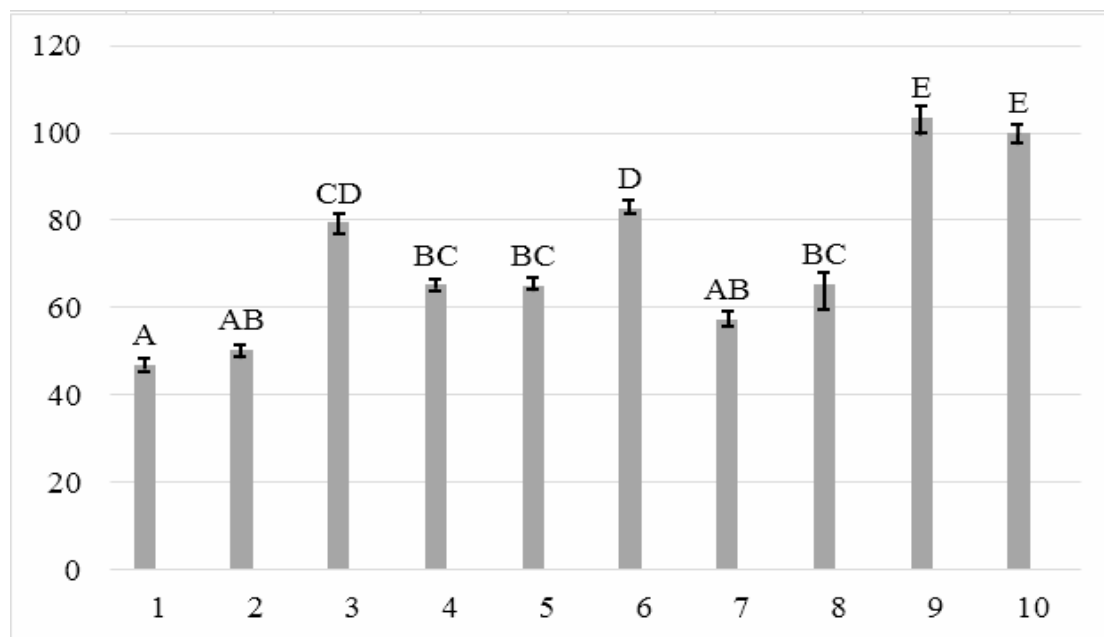


Рис. 7. Средние значения длины черешка клевера ползучего, произрастающего в разных местообитаниях

По признаку длина черешка статистически значимые отличия были установлены между местообитаниями «ул. Западный обход» (самое маленькое значение признака) — «ул. Покрышкина», «ул. Тургенева», «ул. Новороссийская» — «ул. Красных партизан» — «ул. Дзержинского»

и «парк Солнечный остров» (самое большое значение признака) (рис. 7).

Статистически значимые отличия по признаку диаметр соцветия клевера ползучего выявлены между ме-

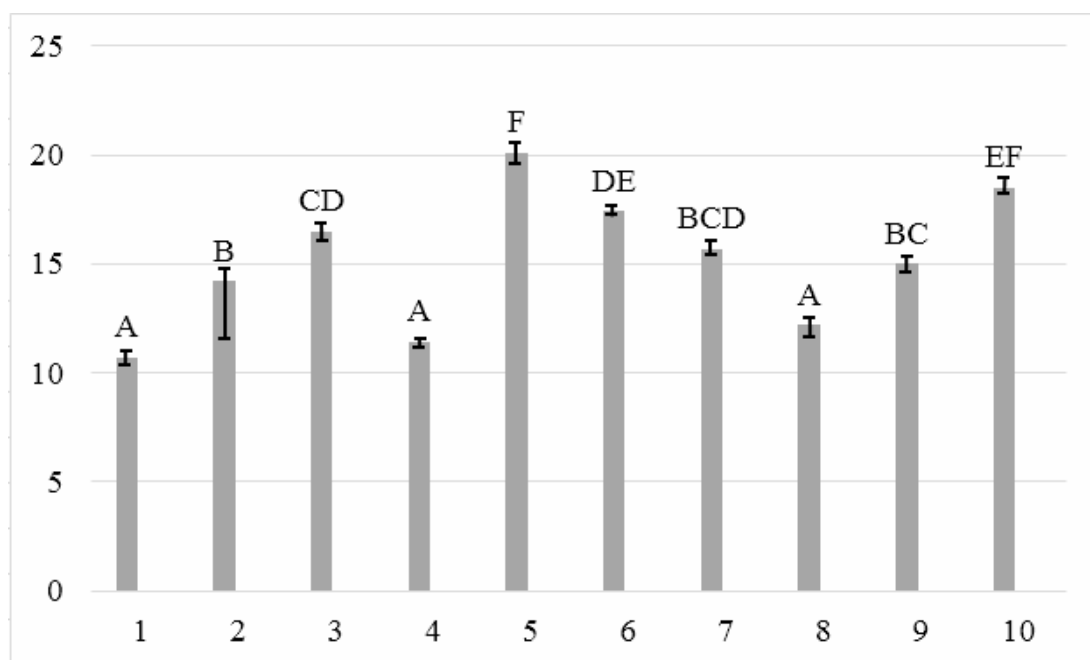


Рис. 8. Средние значения диаметра соцветия клевера ползучего, произрастающего в разных местообитаниях

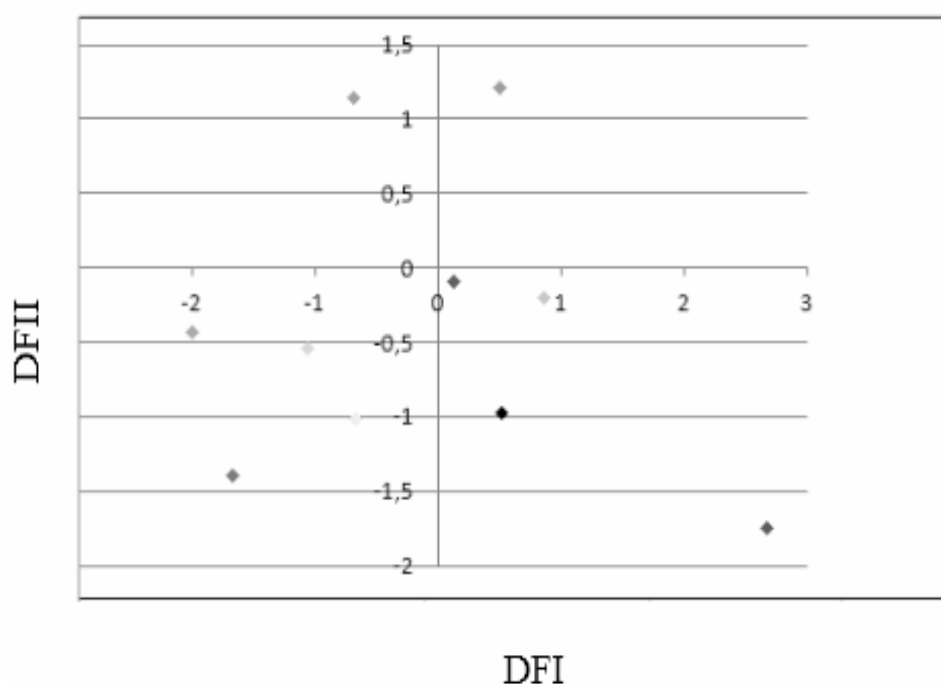


Рис. 9.— Расположение центроидов групп растений клевера ползучего, собранных в различных местообитаниях, в пространстве I и II дискриминантных функций

Примечание: ◆ — парк Солнечный остров; ◆ — ул. Красных партизан; ◆ — ул. Степная (ст-ца Елизаветинская); ◆ — ул. Держинского; ◆ — парк 30-летия победы; ◆ — ул. Западный обход; ◆ — ул. Тургенева; ◆ — ул. Новороссийская; ◆ — ул. Покрышкина; ◆ — Мирный проезд

Таблица 2. Матрица расстояний Махаланобиса между центроидами групп по местам сбора *T. repens*

Местообитание	Место 1	Место 2	Место 3	Место 4	Место 5	Место 6	Место 7	Место 8	Место 9	Место 10
Место 1		3,50	3,29	4,37	5,67	5,07	20,50	6,93	3,36	5,96
Место 2	0,00		1,80	1,92	9,17	9,18	21,42	15,19	8,04	6,06
Место 3	0,00	0,01		3,51	4,28	7,10	13,74	9,03	3,86	2,47
Место 4	0,00	0,00	0,00		10,46	7,15	26,44	12,68	11,41	6,59
Место 5	0,00	0,00	0,00	0,00		4,85	6,78	3,58	2,52	1,36
Место 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		22,54	3,72	8,68	3,56
Место 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		17,38	9,84	10,20
Место 8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		5,90	5,46
Место 9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		5,10
Место 10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	

Примечание: Место 1 — ул. Новороссийская; место 2 — ул. Западный обход; место 3 — парк 30-летия Победы; место 4 — ул. Тургенева; место 5 — ул. Красных партизан; место 6 — парк Солнечный остров; место 7 — ул. Покрышкина; место 8 — ул. Дзержинского; место 9 — Мирный проезд; место 10 — ул. Степная (ст- ца Елизаветинская). Выше главной диагонали указан квадрат расстояний Махаланобиса между группами, ниже — уровень значимости (p-level); $12 p\text{-level} \leq 0,05$ — означает, что различия между группами статистически значимы

Таблица 3. Результаты сравнения распределений частот растений клевера ползучего, произрастающих в разных местообитаниях

Признак Значение χ^2	Фенотип	Форма края листовой пластинки	Форма листа	Расположение «седого» пятна	Окраска соцветия
χ^2 ст.	103,01 при df = 81	35,17 при df = 27	103,01 при df = 81	51,00 при df = 36	16,92 при df = 9
χ^2 эмпирический	1246,72*	589,31*	1253,52*	426,73*	216,61*

Примечание: df — число степеней свободы, χ^2 ст. — критерий Пирсона стандартный при определенном числе степеней свободы, χ^2 — критерий Пирсона эмпирический, * — достоверность различий при 5% уровне значимости

стообитаниями: «ул. Западный обход» (самое маленькое значение признака), «ул. Тургенева», «ул. Новороссийская» — «парк 30-летия Победы» и «парк Солнечный остров» — «ул. Красных партизан» — «ул. Покрышкина» (самое большое значение признака) (рис. 8).

Вопрос об использовании *Trifolium repens* как биоиндикатора загрязнения окружающей среды можно решить в рамках дискриминантного анализа. Исходные показатели дискриминантного анализа объединяет в дискриминантные функции (DF).

Результат анализа распределения групп объектов в построенном программой двумерном пространстве позволяет сделать вывод о сходстве или различии групп. На рисунке 9 показано расположение центроидов анализируемых групп растений в пространстве I и II дискриминант функций.

С помощью вычисления квадрата расстояний Махаланобиса (расстояния между центрами групп в про-

странстве DF) количественно подтверждается различие между группами растений, произрастающих в разных местах обитания (табл. 2).

По результатам данных из таблицы 2 установлено, что наиболее удалённой и, следовательно, более отличимой от других является группа растений, которая собрана на ул. Покрышкина (место 7). Близкими к этой группе оказались растения, произрастающие на ул. Красных партизан (место 5) и Мирный проезд (место 9).

Анализ влияния мест обитания на изменчивость качественных признаков осуществлялся путём сравнения распределений частот растений *T. repens*, произрастающих в разных местообитаниях и обладающих различными качественными характеристиками (табл. 3).

Результаты проведённого анализа свидетельствуют о наличии статистически значимой связи между местообитанием и качественными признаками *T. repens*. Эмпирический χ^2 Пирсона при сравнении распределе-

ний частот растений с разной формой листа составил 1253,5; с формой края листовой пластинки — 589,3; с различным расположением «седого» пятна — 426,7; с разной окраской соцветия — 216,6; разным фенотипом — 1246,7. Все полученные значения χ^2 Пирсона превышали стандартные для соответствующего числа степеней свободы, p -level для всех вышеуказанных случаев составил 0,00.

Полученные данные в ходе проведённых исследований позволяют утверждать, что *Trifolium repens* можно использовать в качестве биоиндикатора загрязнения окружающей среды.

Выводы

Показано достоверное отличие растений *Trifolium repens*, произрастающих в разных местообитаниях. Об этом свидетельствуют результаты теста Тьюки (сравнение средних значений признаков) и дисперсионного анализа (вклад фактора «местообитания» составил для длины листочка — 31,2%, ширины листочка — 41,6%,

длины стебля — 41,4%, длины черешка — 41,0%, диаметра соцветия — 47,3% от общей дисперсии).

Достоверность различий между всеми группами показана по результатам дискриминантного анализа: расстояние Махаланобиса между центрами групп растений *Trifolium repens*, произрастающих в разных местообитаниях, варьировало от 1,36 до 26,44.

Распределения частот растений клевера ползучего, описываемых рядом качественных признаков, характеризовались статистически значимыми отличиями в разных местообитаниях: эмпирический χ^2 Пирсона при сравнении распределений частот расстояний с разной формой листа составил 1253,5; разным краем листочка — 589,3; с разным расположением «седого» пятна — 426,7; разным фенотипом — 1246,7; с разной окраской соцветия — 216,6, p -level во всех случаях составил 0,00.

Вышеуказанные выводы свидетельствуют о возможности использования *Trifolium repens* в качестве биоиндикатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куприянова М. Ю. Оценка городской среды методами фитоиндикации (на примере г. Чебоксары) / М. Ю. Куприянова, И. И. Семенова // Вестник ЧГПУ им. И. Я. Яковлева. — 2014. — № 4 (84). — С. 74—78.
2. 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.
3. Нахаева В. И. Генетический полиморфизм в популяциях *Trifolium repens*, произрастающих в различных условиях окружающей среды г. Омска / В. И. Нахаева, Т. В. Александрова, А. В. Рубцова // Успехи современного естествознания. — 2015. — № 1. — С. 49—53.
4. Экологический мониторинг / под ред. Т. Я. Ашихминой. — М.: Академический Проект, 2008. — 416 с.
5. Халафян А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных / А. А. Халафян. — М.: Бином, 2009. — 528 с.

© Сергеева Валентина Владимировна (salvia500@yandex.ru),

Кресамова Анна Александровна (anya.kresamova@mail.ru), Андреева Юлия Сергеевна (usb_work@list.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»