

УДК 574.21:581.45:582.657.24

Д.В. Сыщиков, И.В. Агурова, Ю.А. Штирц

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ ФОРМЫ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ *POLYGONUM MONSPELIENSE* THIÉBAUT EX PERS.

Государственное учреждение «Донецкий ботанический сад»

Проведена оценка влияния ряда почвенных параметров на изменчивость формы листовой пластинки *Polygonum monspeliense* Thiébaud ex Pers. в условиях лабораторного выращивания. Выявлена высокая степень корреляции с почвенными характеристиками для 8 из 10 анализируемых параметров формы листовой пластинки исследуемого вида. На морфологические показатели листовой пластинки *P. monspeliense* в наибольшей степени оказывают влияние содержание гумуса, различных форм азота и сумма обменных оснований.

Ключевые слова: листовая пластинка, форма, *Polygonum monspeliense*, почва, корреляция, биотестирование, биоиндикация

Цитирование: Сыщиков Д.В., Агурова И.В., Штирц Ю.А. Влияние почвенных параметров на изменчивость формы листовой пластинки *Polygonum monspeliense* Thiébaud ex Pers. // Промышленная ботаника. 2021. Вып. 21, № 2. С. 29–37.

Введение

Наиболее целесообразным методом интегральной оценки почвенных условий является биотестирование, в основе которого лежит определение реакции живых организмов на уровень техногенного воздействия и содержание загрязняющих веществ в субстрате. Кроме того, биотестирование дает возможность получать объективную информацию о состоянии почвы при минимальных материальных и физических затратах, без использования сложных и дорогостоящих аналитических методов [2, 12].

Основу метода фитотестирования составляет способность растений реагировать на изменение условий среды, что позволяет оценивать токсичность или биоактивность различных объектов [14, 21].

Чувствительность растений к внешним воздействиям проявляется в изменении биохимических реакций и отражается в морфологических параметрах роста и развития [13].

Фитотестирование как метод оценки почв используется для определения плодородия почв сельхозугодий, и относительно недавно в природоохранной сфере для оценки экологического качества природных сред (вод, почв). Фитотесты можно объединить в три группы методов: лабораторные, вегетационные и микроделяночные. Особую актуальность в экологической оценке приобретают лабораторные методы как наиболее экспрессные и экономичные [11].

По мнению ряда исследователей, адекватную оценку качества почв дает субстратное, или контактное биотестирование. Этот способ обеспечивает непосредственный контакт тест-организма с исследуемым образцом и, таким образом, позволяет установить уровень воздействия на него почвенных характеристик [11, 19, 21, 22].

В настоящее время применяется диагностика состава почв с использованием морфометрических показателей тест-культур [6–8, 13].

Ввиду вышесказанного является актуальным накопление сведений о влиянии различных почвенных факторов на формирование морфологических признаков растений с позиций возможности использования в целях биоиндикации и биотестирования.

Адаптивные процессы растений, вызванные условиями произрастания, приводят к существенным перестройкам ассимилирующего аппарата, который проявляет чувствительность к внешним воздействиям и обладает высокой пластичностью, ввиду чего морфологические изменения листа являются функциональным ответом на факторы окружающей среды [24, 25].

Цель и задачи исследований

Цель работы – оценка влияния почвенных параметров на изменчивость формы листовой пластинки *Polygonum monspeliense* Thiébaud ex Pers.

Для выполнения поставленной цели предусматривалось решение следующих задач:

- 1) выявление параметров формы листовой пластинки исследуемого вида, изменчивость которых в значительной степени связана с почвенными характеристиками;
- 2) выявление почвенных характеристик, в максимальной степени влияющих на форму листовой пластинки *P. monspeliense*.

Объекты и методики исследований

В качестве модельного вида для выращивания на почвенных образцах исследуемых участков был выбран *P. monspeliense*: данный вид встречается в самых разнообразных биотопах, что дает возможность использовать его в качестве биоиндикатора состояния почв и экосистем в целом. Ранее проведенные исследования с применением методов геометрической морфометрии показали целесообразность поиска информативных дескрипторов формы листовой пластинки *P. monspeliense* в их численном выражении для диагностики состояния почвенных условий [23].

В целях оценки возможности фитотестирования состояния почв в лабораторных условиях с использованием показателей формы листовой пластинки осуществляли посадку экспериментальных растений в образцы почв, отобранных на участках. Высадку *P. monspeliense* проводили в апреле 2019 г. в емкости из пищевого пластика объемом 460 мл, заполненные образцами почвы.

Местами для отбора почвенных образцов послужил ряд территорий с различной степенью антропогенной трансформации в пределах Донецко-Макеевской городской агломерации: склон отвала бывшей шахты № 12–18 «Наклонная» восточной экспозиции (Пролетарский район, г. Донецк); территория, прилегающая к южной части отвала шахты № 12–18 «Наклонная» (Пролетарский район, г. Донецк); выведенный из эксплуатации карьер по добыче строительного камня (балка Калиновая, Горняцкий район, г. Макеевка); территория ГУ «Донецкий ботанический сад»; территория, прилегающая к реке Богодуховая, загрязненная строительными отходами (Буденновский район, г. Донецк). Отбор образцов проводили в поверхностном слое почвы в вегетационные периоды 2018–2019 гг. Опытные экземпляры растений пересаживали с незначительного по площади локального участка на территории Донецкого ботанического сада, что позволило в определенной степени снизить генетическую разнородность опытных экземпляров. К моменту пересадки исследуемые растения имели 3–5 сформированных листовых пластинок, которые были помечены и в дальнейшем анализе не подвергались. В одну емкость высаживали по 7–8 растений. Густота посадки соответствовала плотности популяции *P. monspeliense*, из которой были взяты экспериментальные экземпляры. Дальнейший рост растений происходил в лабораторных условиях. Для полива, периодичность которого варьировала в зависимости от степени подсыхания поверхностного слоя, использовали дистиллированную воду. Один раз в два дня проводили поворот емкостей на 180° вокруг оси с целью более равномерного освещения экспериментальных растений. Сбор листовых пластинок осуществляли в начале второй декады июля. Учитывая то, что видовой особенностью *P. monspeliense* является значительное отличие листьев, сформировавшихся на побегах первого и второго порядков [15], анализу подвергали листовые пластинки, собранные с побегов первого порядка.

Объем каждой из выборок листовых пластинок *P. monspeliense*, выращенных на исследуемых почвенных образцах, составил 150 листьев. Листовые пластинки сканировали при помощи сканера Epson Perfection V33.

Проанализированы 10 параметров формы листовой пластинки *P. monspeliense*. Анализиру-

емые морфологические параметры условно можно разделить на две группы: 1) содержащие информацию о размерах и форме листовой пластинки (расстояние от верхушки до самой широкой части, минимальные площадь и периметр эллипса и круга, описанных вокруг листовой пластинки, площадь и периметр четырехугольника, описанного по точкам контура листовой пластинки); 2) безразмерные параметры, характеризующие форму листовой пластинки (показатель удлиненности, показатель относительного расположения самой широкой части, отношение ширины листовой пластинки в ее срединной части к максимальной ширине).

Вычисление показателя относительного расположения самой широкой части и показателя удлиненности листовой пластинки проводили по формулам, приведенным в работе В.Н. Исакова и др. [10]. Методические подходы, методика и целесообразность использования в ряде исследовательских направлений, в том числе, почвенно-экологических, характеристик геометрических фигур, выстроенных с учетом контура листовой пластинки как дескрипторов ее формы, детально описаны в работах Г.Н. Бузук [3], Г.Н. Бузук и др. [4, 5], О.А. Ёршик и др. [9], О.В. Созинова и др. [20], А.А. Погоцкой и др. [16]. Измерения параметров листовой пластинки выполнены с использованием программ TPSDig 2.10 и ImageJ 1.42G.

Проведена оценка влияния на изменчивость формы листовой пластинки следующих почвенных параметров: содержание подвижных фосфатов, гумуса, обменного аммония, нитратного азота, показатели актуальной и потенциальной (обменной и гидролитической) кислотности почвы, суммы обменных оснований, засоления.

Определение актуальной и потенциальной кислотности, суммы обменных оснований и степени засоления проводили общепринятыми методами [1, 17]. Содержание органического вещества – по методу Тюрина со спектрофотометрическим окончанием по Орлову-Гриндель [17]. Концентрацию аммонийного азота (обменного аммония) определяли колориметрически с реактивом Несслера [17]. Содержание нитратного азота проводили по методу Грандваль-Ляжу [17]. Определение подвижных форм фосфора – согласно методу Чирикова [17].

Оценку корреляции морфологических параметров листовой пластинки *P. monspeliense* с

почвенными характеристиками проводили с использованием коэффициента Пирсона. Предварительно для оценки возможности использования указанного коэффициента корреляции был проведен анализ соответствия распределения исследуемых параметров листовой пластинки и почвенных характеристик закону нормального распределения с использованием критериев Колмогорова-Смирнова, Лиллиефорса, Шапиро-Уилка. Статистическую обработку выполняли в пакете прикладных программ STATISTICA 6.0. Интерпретацию результатов проводили в соответствии с методическими подходами, изложенными в работе О.Ю. Ребровой [18]. При оценке силы корреляции использовали шкалу: слабая корреляция – значение коэффициента корреляции не превышает 0,25, умеренная корреляция – значение коэффициента корреляции составляет более 0,25 и менее 0,75, сильная корреляция – значение коэффициента корреляции составляет не менее 0,75 [18].

Результаты исследований и их обсуждение

Диапазон изменчивости почвенных характеристик исследуемых участков на протяжении вегетационных периодов 2018–2019 гг. отражен в таблице 1.

Значения морфологических показателей листовой пластинки *P. monspeliense*, выращенных на почвенных образцах исследуемых мониторинговых участков, отражены в таблицах 2–3.

Значения коэффициента корреляции параметров формы листовой пластинки *P. monspeliense* с почвенными характеристиками отражены в таблицах 4–5.

Содержание подвижных фосфатов

Сильная корреляция (коэффициент корреляции выше 0,75) показателей формы листовой пластинки в связи изменением содержания подвижных фосфатов в почвенных субстратах не отмечена.

Содержание гумуса

Отмечена сильная положительная корреляция со следующими показателями листовой пластинки (здесь и далее по тексту перечисление параметров идет по мере снижения коэффициента корреляционной связи): площадь четырехугольника, описанного по точкам контура листовой пластинки, минимальная площадь эллипса, описанного вокруг листовой пластинки, показатель

Таблица 1. Диапазон изменчивости почвенных характеристик исследуемых участков на протяжении вегетационных периодов 2018–2019 гг.

Почвенный параметр	I	II	III	IV	V
Содержание подвижных фосфатов (мг P ₂ O ₅ /100 г почвы)	24,06–28,67	0,70–1,78	2,23–3,85	10,81–19,32	10,56–18,45
Содержание гумуса, %	0,41–0,54	0,28–0,35	0,60–0,99	1,52–2,21	2,71–3,38
Содержание обменного аммония (мг N-NH ₄ /100 г почвы)	2,76–2,91	1,57–2,18	1,51–3,76	3,87–4,01	3,79–5,75
Содержание нитратного азота (мг N-NO ₃ /100 г почвы)	0,21–0,45	0,12–0,15	0,88–1,13	2,08–3,12	1,80–3,30
Обменная кислотность (мг-экв/100 г почвы)	0,068–0,070	1,420–1,510	0,061–0,063	0,012–0,015	0,010
Гидролитическая кислотность (мг-экв/100 г почвы)	2,06–2,13	10,87–10,94	1,45–1,57	1,68–1,73	0,84–0,86
Сумма обменных оснований (мг-экв/100 г почвы)	22,40–23,70	7,18–7,36	27,50–28,40	30,14–31,26	42,70–43,80
Актуальная кислотность	6,32–6,40	4,32–4,73	7,92–8,27	6,87–7,06	7,40–7,68
Засоление (г/100 г почвы)	0,24–0,33	0,19–0,34	0,27–0,38	0,29–0,31	0,25–0,28

Примечание: цифрами I–V отмечены места отбора почвенных образцов:

I – выведенный из эксплуатации карьер по добыче строительного камня (балка Калиновая, Горняцкий район, г. Макеевка);

II – склон отвала бывшей шахты № 12–18 «Наклонная» восточной экспозиции (Пролетарский район, г. Донецк);

III – территория, прилегающая к реке Богодуховая, загрязненная строительными отходами (Буденновский район, г. Донецк);

IV – территория ГУ «Донецкий ботанический сад»;

V – территория, прилегающая к южной части отвала шахты № 12–18 «Наклонная» (Пролетарский район, г. Донецк).

Таблица 2. Показатели, содержащие информацию о размере и форме листовой пластинки экземпляров *Polygonum monspeliense* Thiébaud ex Pers., выращенных на почвенных образцах исследуемых участков (указан доверительный интервал для P = 0,05)

Номер выборки	Расстояние от верхушки до самой широкой части, мм	Минимальная площадь эллипса, описанного вокруг листовой пластинки, мм ²	Минимальный периметр эллипса, описанного вокруг листовой пластинки, мм	Площадь четырехугольника, описанного по точкам контура листовой пластинки, мм ²	Периметр четырехугольника, описанного по точкам контура листовой пластинки, мм	Минимальная площадь круга, описанного вокруг листовой пластинки, мм ²	Минимальный периметр круга, описанного вокруг листовой пластинки, мм
I	9,59±0,759	135,11±12,066	34,24±1,195	80,06±7,145	49,15±1,585	490,21±46,267	73,59 ±3,521
II	6,39±0,417	81,67±7,957	29,00±0,789	51,76±5,036	38,08±1,049	264,19±23,031	56,38±1,753
III	8,34±0,639	151,84±12,854	39,82±1,275	95,31±9,312	47,76±2,069	404,20±37,301	69,25±2,959
IV	10,31±1,002	207,29±20,126	45,55±1,991	131,73±11,397	56,88±2,530	588,97±55,023	83,73±4,451
V	14,33±1,128	257,14±23,763	49,82±2,350	163,61±15,062	65,57±3,359	802,60±75,406	97,83±5,399

Примечание: номер выборки листовых пластинок соответствует исследуемым участкам, на которых произведен отбор почвенных субстратов (см. примечания к табл. 1).

Таблица 3. Безразмерные параметры, характеризующие форму листовой пластинки экземпляров *Polygonum monspeliense* Thiébaud ex Pers., выращенных на почвенных образцах исследуемых участков (указан доверительный интервал для $P = 0,05$)

Номер выборки	Показатель удлиненности	Показатель относительного расположения самой широкой части	Отношение ширины листовой пластинки в ее срединной части к максимальной ширине
I	$3,66 \pm 0,318$	$0,39 \pm 0,029$	$0,96 \pm 0,045$
II	$3,24 \pm 0,307$	$0,35 \pm 0,025$	$1,00 \pm 0,032$
III	$2,63 \pm 0,238$	$0,38 \pm 0,020$	$0,95 \pm 0,038$
IV	$2,87 \pm 0,214$	$0,41 \pm 0,047$	$0,97 \pm 0,027$
V	$3,09 \pm 0,188$	$0,46 \pm 0,018$	$0,99 \pm 0,009$

Примечание: номер выборки листовых пластинок соответствует исследуемым участкам, на которых произведен отбор почвенных субстратов (см. примечания к табл. 1).

относительного расположения самой широкой части листовой пластинки, минимальный периметр эллипса, описанного вокруг листовой пластинки, периметр четырехугольника, описанного по точкам контура, минимальные периметр и площадь круга, описанного вокруг листовой пластинки, расстояние от верхушки до самой широкой части (табл. 4–5).

подавляющее большинство из указанных параметров относятся к категории зависимых от размеров. Безразмерным показателем, характеризующим форму листовой пластинки, является относительное расположение самой широкой ее части.

Содержание обменного аммония

Отмечена сильная положительная корреляция со следующими показателями листовой пластинки: минимальные площадь и периметр эллипса, описанного вокруг листовой пластинки, площадь четырехугольника, описанного по точкам контура, периметр четырехугольника, описанного по точкам контура, показатель относительного расположения самой широкой части листовой пластинки, минимальные периметр и площадь круга, описанного вокруг листовой пластинки, расстояние от верхушки до самой широкой части.

Содержание нитратного азота

Отмечена сильная положительная корреляция со следующими показателями листовой пластинки: площадь четырехугольника, описанного по точкам контура листовой пластинки, минимальный периметр и площадь эллипса, описанного вокруг листовой пластинки, периметр четы-

рехугольника, описанного по точкам контура листовой пластинки, показатель относительного расположения самой широкой части листовой пластинки, минимальные периметр и площадь круга, описанного вокруг листовой пластинки, расстояние от верхушки до самой широкой части.

Обменная кислотность почвы

Сильная отрицательная корреляция выявлена с одним показателем листовой пластинки: периметр четырехугольника, описанного по точкам контура листовой пластинки.

Гидролитическая кислотность почвы

Сильная отрицательная корреляция выявлена со следующими показателями листовой пластинки: периметр четырехугольника, описанного по точкам контура листовой пластинки, минимальный периметр эллипса, описанного вокруг листовой пластинки, минимальные площадь эллипса и периметр круга, описанных вокруг листовой пластинки.

Сумма обменных оснований

Отмечена сильная положительная корреляция со следующими показателями листовой пластинки: периметр и площадь четырехугольника, описанного по точкам контура листовой пластинки, минимальные площадь и периметр эллипса, описанного вокруг листовой пластинки, минимальный периметр круга, описанного вокруг листовой пластинки, расстояние от верхушки до самой широкой части, минимальная площадь круга, описанного вокруг листовой пластинки, показатель относительного расположения самой широкой части.

Таблица 4. Значения коэффициента корреляции показателей, содержащих информацию о размере и форме листовой пластинки *Polygonum monspeliense* Thiébaud ex Pers., с почвенными характеристиками

Почвенный параметр / Параметр листовой пластинки	Расстояние от верхушки до самой широкой части, мм	Минимальная площадь эллипса, описанного вокруг листовой пластинки, мм ²	Минимальный периметр эллипса, описанного вокруг листовой пластинки, мм	Площадь четырехугольника, описанного по точкам контура листовой пластинки, мм ²	Периметр четырехугольника, описанного по точкам контура листовой пластинки, мм	Минимальная площадь круга, описанного вокруг листовой пластинки, мм ²	Минимальный периметр круга, описанного вокруг листовой пластинки, мм
Содержание подвижных фосфатов (мг P ₂ O ₅ /100 г почвы)	0,62	0,49	0,38	0,44	0,60	0,65	0,63
Содержание гумуса, %	0,91	0,97	0,95	0,98	0,94	0,93	0,94
Содержание обменного аммония (мг N-NH ₄ /100 г почвы)	0,92	0,97	0,97	0,97	0,95	0,92	0,94
Содержание нитратного азота (мг N-NO ₃ /100 г почвы)	0,82	0,95	0,96	0,96	0,91	0,87	0,90
Обменная кислотность (мг-экв/100 г почвы)	-0,67	-0,73	-0,74	-0,70	-0,75	-0,70	-0,73
Гидролитическая кислотность (мг-экв/100 г почвы)	-0,70	-0,76	-0,77	-0,73	-0,78	-0,73	-0,76
Сумма обменных оснований (мг-экв/100 г почвы)	0,93	0,96	0,95	0,95	0,96	0,93	0,95
Актуальная кислотность	0,59	0,70	0,76	0,69	0,67	0,59	0,63
Засоление (г/100 г почвы)	0,42	0,65	0,73	0,64	0,60	0,50	0,57

Актуальная кислотность почвы

Отмечена сильная положительная корреляция с минимальным периметром эллипса, описанного вокруг листовой пластинки.

Засоление почвы

Сильная корреляция показателей формы листовой пластинки в связи изменением засоления почвы в почвенных субстратах не отмечена.

Следует отметить, что сильная корреляция, выявленная для ряда параметров формы листовой пластинки исследуемого вида с анализируемыми почвенными характеристиками, делает их неинформативными для диагностики содержания поллютантов.

Таблица 5. Значения коэффициента корреляции безразмерных показателей, характеризующих форму листовой пластинки *Polygonum monspeliense* Thiébaud ex Pers., с почвенными характеристиками

Почвенный параметр / Параметр листовой пластинки	Показатель удлинённости	Показатель относительного расположения самой широкой части	Отношение ширины листовой пластинки в ее срединной части к максимальной ширине
Содержание подвижных фосфатов (мг P ₂ O ₅ /100 г почвы)	0,55	0,59	-0,12
Содержание гумуса, %	-0,32	0,96	0,30
Содержание обменного аммония (мг N-NH ₄ /100 г почвы)	-0,39	0,93	-0,01
Содержание нитратного азота (мг N-NO ₃ /100 г почвы)	-0,42	0,90	0,17
Обменная кислотность (мг-экв/100 г почвы)	0,22	-0,66	0,59
Гидролитическая кислотность (мг-экв/100 г почвы)	0,26	-0,69	0,56
Сумма обменных оснований (мг-экв/100 г почвы)	-0,30	0,92	-0,14
Актуальная кислотность	-0,55	0,57	-0,59
Засоление (г/100 г почвы)	-0,57	0,49	-0,61

Выводы

1. Отмечена высокая степень корреляции с почвенными характеристиками для 8 из 10 анализируемых морфологических параметров листовой пластинки *P. monspeliense*.

2. Из числа рассматриваемых почвенных характеристик на морфологические показатели листовой пластинки *P. monspeliense* в наибольшей степени оказывают влияние содержание гумуса, различных форм азота и сумма обменных оснований, на что указывает значительное количество связей с высоким значением коэффициента корреляции. Влияние потенциальной и актуальной кислотности почв на формирование морфологических признаков листовой пластики выявлено в меньшей степени. Не отмечено значимой корреляции анализируемых параметров формы листовой пластинки с содержанием подвижных фосфатов и степенью засоления почв.

3. Наиболее зависимыми от почвенных характеристик являются показатели, содержащие информацию о размере и форме листовой пластинки. Из трех анализируемых безразмерных показателей формы листовой пластинки выявлена корреляция показателя относительного расположения самой широкой части листовой пластинки с рядом из рассматриваемых почвенных характеристик: содержанием гумуса, различных форм азота и суммы обменных оснований. Для таких

безразмерных показателей формы как показатель удлинённости и отношение ширины листовой пластинки в ее срединной части к максимальной ширине значимой корреляции с рассматриваемыми почвенными показателями не выявлено.

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
2. *Бардина Т.В., Чугунова М.В., Бардина В.И.* Изучение экотоксичности урбаноземов методами биотестирования // Живые и биокосные системы. 2013. Вып. 5. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue5/article-8.pdf> (дата обращения 13.02.2018).
3. *Бузук Г.Н.* Морфометрия лекарственных растений. 1. *Vaccinium vitis-idaea* L.: изменчивость формы и размеров листьев // Вестник фармации. 2006. N 2(32). С. 1–13.
4. *Бузук Г.Н., Ёршик О.А., Кузьмичева Н.А.* Морфометрия лекарственных растений. 3. *Vaccinium myrtillus* L.: взаимосвязь размеров, формы и химического состава листьев // Вестник фармации. 2007. N 2(36). С. 1–13.
5. *Бузук Г.Н., Кузьмичева Н.А., Руденко А.В.* Морфометрия лекарственных растений. 2. *Vaccinium myrtillus* L.: взаимосвязь морфологических признаков и химического состава // Вестник фармации. 2007. N 1(35). С. 1–12.

6. Галактионова Л.В., Губайдуллина И.З. Использование морфометрических и биохимических показателей тест-культур для оценки токсичности наночастиц меди // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. N 3(65). С. 196–198.
7. Галактионова Л.В., Суздалева А.В. Экологическая оценка почвенного покрова урбанизированных территорий методами биодиагностики // Современные проблемы науки и образования. 2017. N 4. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=26560> (дата обращения 07.12.2020).
8. Еськова Е.Н., Коротченко И.С. Влияние гумата натрия на морфометрические показатели тест-культуры в условиях загрязнения почв тяжелыми металлами // Вестник КрасГАУ. 2014. N 3. С. 99–104.
9. Ёршик О.А., Бузук Г.Н., Созинов О.В. Морфометрия сабельника болотного: взаимосвязь размеров, формы и химического состава листьев // Вестник фармации. 2009. N 1(43). С. 18–32.
10. Исаков В.Н., Висковатова Л.И., Лейшовник Я.Я. Исследование морфологии листа древесных средствами автоматизации. Рига: Зинатне, 1984. 196 с.
11. Лисовицкая О.В., Терехова В.А. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения // Доклады по экологическому почвоведению. 2010. N 1(13). С. 1–18.
12. Мелехова О.П., Сарапульцева Е.И., Евсеева Т.И. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. Учебное пособие. М.: Академия, 2008. 228 с.
13. Митракова Н.В. Оценка биологической активности и токсичности почв и техногенных поверхностных образований в Пермском Прикамье: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Пермь, 2019. 18 с.
14. Николаева О.В., Терехова В.А. Совершенствование лабораторного фитотестирования для экотоксикологической оценки почв // Почвоведение. 2017. N 9. С. 1141–1152.
15. *Определитель* высших растений Украины / Доброчаева Д.Н., Котов М.И., Прокудин Ю.Н. и др. К.: Наук. думка, 1987. 548 с.
16. Погоцкая А.А., Бузук Г.Н., Созинов О.В. Морфометрия *Chelidonium majus* L.: взаимосвязь размеров, формы листа и содержания алкалоидов и фенольных соединений // Вестник фармации. 2010. N 3(49). С. 26–39.
17. *Практикум по агрохимии* / год ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
18. Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М.: Медиа Сфера, 2002. 312 с.
19. Селивановская С.Ю., Галицкая П.Ю. Оценка токсичности почв с использованием контактного метода биотестирования // Токсикологический вестник. 2006. N 4. С. 12–15.
20. Созинов О.В., Бузук Г.Н., Кузьмичева Н.А. Ценопопуляция мирта болотного (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench): взаимосвязь морфологии, фитохимического состава листьев и факторов среды // Вестник фармации. 2009. N 3(45). С. 1–10.
21. Терехова В.А. Биотестирование почв: подходы и проблемы // Почвоведение. 2011. N 2. С. 190–198.
22. Фомин Г.С., Фомин А.Г. Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам: справочник. М.: Протектор, 2001. 304 с.
23. Штирц Ю.А. Оценка изменчивости формы листовой пластинки *Polygonum monspeliense* Thiébaud ex Pers. методами геометрической морфометрии при выращивании на почвенных субстратах техногенных территорий // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2020. Т. 19, N 2. С. 225–228.
24. Zhongqiang L., Dan Y. Factors affecting leaf morphology: A case study of *Ranunculus natans* C.A. Mey. (Ranunculaceae) in the arid zone of northwest China // Ecological Research. 2009. Vol. 24, Iss. 6. P. 1323–1333.
25. Scheepens J.F., Frei E.S., Stöcklin J. Genotypic and environmental variation in specific leaf area in a widespread Alpine plant after transplantation to different altitudes // Oecologia. 2010. Vol. 164. P. 141–150.

Поступила в редакцию: 02.06.2021

THE INFLUENCE OF SOIL PARAMETERS ON THE VARIABILITY OF THE SHAPE OF THE LEAF BLADE OF *POLYGONUM MONSPELIENSE* THIÉBAUT EX PERS.

D.V. Syshchykov, I.V. Agurova, Yu.A. Shtirts

Public Institution «Donetsk Botanical Garden»

The influence of a number of soil parameters on the variability of the shape of the leaf blade of *Polygonum monspeliense* Thiébaud ex Pers. in laboratory cultivation conditions. A high degree of correlation with soil characteristics was revealed for 8 out of 10 analyzed parameters of the shape of the leaf blade of the studied species. The morphological parameters of the *P.monspeliense* leaf blade are most influenced by the content of humus, various forms of nitrogen, and the amount of exchange bases.

Key words: leaf blade, shape, *Polygonum monspeliense*, soil, correlation, biotesting, bioindication

Citation: Syshchykov D.V., Agurova I.V., Shtirts Yu.A. The influence of soil parameters on the variability of the shape of the leaf blade of *Polygonum monspeliense* Thiébaud ex Pers. // *Industrial Botany*. 2021. Vol. 21, N 2. P. 29–37.
