

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 581.15+502.175:504.054 (470.331)

DOI: 10.26456/vtbio214

ФЕНЕТИЧЕСКАЯ ФИТОИНДИКАЦИЯ И БИОТЕСТИРОВАНИЕ ПОЧВ В РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОНАХ Г. ТВЕРИ

А.Б. Савинов¹, А.Ф. Мейсунова², А.А. Нотов², Д.А. Новожилов¹

¹Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород

²Тверской государственный университет, Тверь

Исследованы фенофонды ценопопуляций подорожника большого (*Plantago major* L.) и сныти обыкновенной (*Aegopodium podagraria* L.) в рекреационных зонах г. Твери с разным уровнем загрязнения почв тяжелыми металлами (ТМ). Параллельно проведено биотестирование почв модельных биотопов по параметрам развития семян тест-растений – горчицы белой (*Sinapis alba* L.), кресс-салата (*Lepidium sativum* L.), сорго черного (*Sorghum nigrum* L.) в соответствии с ГОСТ Р ИСО 18763-2019. По мере возрастания суммарной токсической нагрузки на биотопы среднее число фенотипов у сныти и подорожника снижается. Однако доля редких фенотипов у сныти возрастает, а у подорожника уменьшается. Общие показатели фенетического разнообразия (среднее число и доля редких фенотипов) у сныти коррелируют с суммарной токсической нагрузкой на почвы в большей степени, чем у подорожника. Параметры развития семян разных видов тест-растений неоднозначно отражают фитотоксичность почв. В большей степени с суммарным содержанием ТМ в почве коррелируют показатели всхожести семян и размеры корней проростков у горчицы. Данные по фитоиндикации биотопов на основе фенетических показателей ценопопуляций сныти и, в меньшей степени подорожника, в целом согласуются с результатами биотестирования почв.

Ключевые слова: *Plantago major*, *Aegopodium podagraria*, фены листьев, рекреационные зоны, почва, тяжелые металлы, фитоиндикация, биотестирование.

Введение. Парки с посадками интродуцированных и аборигенных древесных растений, а также расположенные в пределах городов фрагменты естественных лесных экосистем, являются важными экологическими (рекреационными) зонами города. Однако в их почвах аккумулируются поллютанты, источником которых становятся автотранспорт и промышленные предприятия (Дабахов, Чеснокова, 2010; Мейсунова, Нотов, 2020). Вследствие этого почвы

приобретают в разной степени выраженную фитотоксичность, которую важно оценивать и контролировать. Для этого используются различные методы биоиндикации и фитотестирования (с набором разных видов-биоиндикаторов и тест-объектов), которые иногда сочетают для получения интегральных показателей токсичности почв (Терехова и др., 2014).

Ранее мы оценивали фитотоксичность почв рекреационных зон Нижнего Новгорода, сочетая методы фитотестирования и фитоиндикации с использованием морфологических количественных признаков и качественных показателей (фенов) листьев травянистых и древесных растений (Савинов и др., 2018, 2021; Savinov et al., 2019; Савинов, Новожилов, 2020, 2021). Эти исследования показали, что различные растения-индикаторы и тест-объекты отражают уровень фитотоксичности почв в разной степени. Для выяснения специфики реагирования индикаторных видов на различные экотоксиканты необходимы аналогичные комплексные исследования в городских рекреационных зонах с иными экологическими характеристиками, в других городах, географически удаленных друг от друга.

В этой связи нами проведено изучение фитотоксичности почв рекреационных зон г. Твери на основе фитотестирования и анализа изменения фенофондов листьев аборигенных ценопопуляций сныти обыкновенной (*Aegopodium podagraria* L.) и подорожника большого (*Plantago major* L.). Модельные рекреационные зоны являются памятниками природы регионального значения, что повышает актуальность оценки состояния компонентов их экосистем (Мейсурова, Нотов, 2016). Их можно анализировать по градиенту загрязнения почв тяжелыми металлами. Результаты этих исследований обобщены в данной статье.

Материал и методы. Изучены ценопопуляции *P. major* и *A. podagraria* в четырех биотопах в лесопарках с разной рекреационной нагрузкой и уровнем техногенного загрязнения. В их числе: 1) условно-контрольный биотоп 1 в памятнике природы Первомайская роща в Пролетарском районе Твери (преобладают сосняки); 2) биотоп 2 в памятнике природы Комсомольская роща в Заволжском районе (варианты смешанного леса); 3) биотоп 3 в памятнике природы Бобачёвская роща в Московском районе (различные типы сосняков с фрагментами разнотравных березняков и осинников); 4) биотоп 4 в памятнике природы Берёзовая роща в Московском районе (фрагменты естественных и искусственных насаждений) (табл. 1).

Таблица 1
Характеристика пунктов отбора (ПО) образцов сняты обыкновенной и почв
в г. Твери (по: Мейсунова, Нотов, 2020)

ПО	Название	Тип РЗ	Координаты	Потенциальные источники загрязнения	Zc, отн. ед.
1	Первомайская роща (Пролетарский р-н)	ПП	56°50'38" с.ш. 35°49'40" в.д.	<i>энергетика</i> : Тверская ТЭЦ-1; <i>машиностроение</i> : ООО «Тверьстроймаш», ОАО «Тверской завод электроаппаратуры — ЭЛТОР»; <i>производство стройматериалов</i> : ООО «ЖБИ-1», ООО «Комбинат ЖБИ-2», ООО «ЖБИ Стройкомплект»; <i>химическая отрасль</i> : ОАО «Тверской полиграфический комбинат», несколько воинских частей; <i>автотранспорт</i> : выезд на Старицкое шоссе	1.90
2	Комсомольская роща (Заволжский р-н)	ПП	56°52'18" с.ш. 35°49'10" в.д.	<i>машиностроение</i> : ОАО «Тверской вагоностроительный завод», ОАО Центросвармаш ОАО «Ритм»; <i>производство стройматериалов</i> : ОАО «Тверской домостроительный комбинат»; <i>автотранспорт</i> : выезд на федеральную автомобильную трассу М10	3.33
3	Бобачевская роща (Московский р-н)	ПП	56°49'48" с.ш. 35°59'14" в.д.	<i>машиностроение</i> : ОАО «Тверской экскаваторный завод», ЗАО «Тверской экспериментально-механический завод», ООО «Калининский энергомеханический завод»; ЗАО ПФК «Тверьдизельагрегат»; <i>химическая отрасль</i> : ОАО «Тверьхимволокно – Полиэфир», ОАО «Тверьхимволокно – Вискоза», ОАО «Сибур-ПЭТФ», ООО «Гематек»; <i>энергетика</i> : Тверская ТЭЦ-4; <i>автотранспорт</i>	4.50
4	Березовая роща (Московский р-н)	ПП	56°48'18" с.ш. 36°01'39" в.д.	<i>химическая отрасль</i> : ООО «ПОЛИПЛАСТ»; <i>автотранспорт</i> : выезд на федеральную автомобильную дорогу М10	5.99

Примечание. РЗ – рекреационная зона; ПП – памятник природы регионального значения; Zc – величина суммарного загрязнения почв.

В почвах указанных биотопов с помощью АЭС-ИСП-спектрометра iCAP 6300 Duo (Thermo Scientific, США) по стандартной методике выявлено валовое содержание 23 элементов, среди которых макро- (Ca, K, Mg, Na) и микроэлементы (Al, Ba, Be, Cu, Fe, Li, Mn,

Mo, Zn), тяжелые металлы и металлоиды (ТМ) (As, Cd, Cr, Pb, Sb, Sn, Sr, Ti, V, W) (ПНДФ ..., 98; Мейсунова, Нотов, 2020; Мейсунова и др., 2021). На основании этих данных и с учетом фоновых концентраций металлов для почв ЦФО (Загрязнение..., 2021) величины суммарного загрязнения почв (Z_c , отн. ед.) (МУ..., 1999) в биотопах 1–4 составили 1.90, 3.33, 4.50, 5.99 соответственно, что соответствует допустимому уровню загрязнения почвенного покрова (табл. 1).

Пробы почв из биотопов 1–4 тестировали на фитотоксичность по стандартной методике (ГОСТ..., 2019). Тест-растениями были: 1) горчица белая (*Sinapis alba* L.), сорт "Рапсодия" (производитель ФГБНУ «Ивановский НИИСХ»), 2) сорго черное (*Sorghum nigrum* L.), сорт "Сафари" (производитель ООО «Группа компаний «Гавриш»), 3) кресс-салат (*Lepidium sativum* L.), сорт "Пикант" (производитель ООО «Агрофирма «СеДеК»).

В июле 2020 г. в биотопах 1–4 в пределах пробных площадок размером 20 × 20 м регистрировали фены: 1) листьев подорожника в случайной выборке у 54–66 генеративных растений (g_1), 2) листьев сныти в случайной выборке у 50–105 генеративных растений (g_1) на основе ранее полученных данных о фенофонах *P. major* и *A. podagraria* (Савинов и др., 2021; Савинов, Новожилов, 2021). Фенетическое разнообразие ценопопуляций этих видов растений (среднее число фенов, доля редких фенов) оценивали с использованием традиционных формул (Животовский, 1991). Объем собранного материала: надземные части (листья) – 234 образцов, почва – 12 проб. Статистический анализ результатов исследований проводили с помощью программ Microsoft Excel, БИОСТАТИСТИКА 4.03, используя критерий Стьюдента.

Результаты и обсуждение. При наличии допустимого уровня загрязнения почвенного покрова (величина Z_c менее 16) в изученных рекреационных зонах г. Твери (ПО 1–4) выявлено высокое разнообразие фенов у сныти обыкновенной и подорожника большого (табл. 2, 3).

Анализ фенофонов ценопопуляций сравниваемых видов показал, что наибольшим разнообразием фенов листа обладает сныть (табл. 2). Общее число обнаруженных у сныти фенов в 4 раза выше, чем у подорожника (табл. 2, 3). У подорожника выявлено 6 фенов, а у сныти – 24, среди которых 7 фенов, которые ранее в подобных исследованиях не отмечали. Это представленные на рисунке фены А2В, А2SL, AL2, АСR1, АСR2, АСВ, АСS (рис. 1). Однако подобные различия фенетического разнообразия у сравниваемых видов обусловлены, прежде всего, спецификой строения листьев этих видов растений.

Таблица 2
Характеристики фенофондов ценопопуляций сныти в рекреационных зонах г. Твери

Коды фенов и характеристики	Частоты фенов в биотопах 1–4			
	1 (контроль)	2	3	4
A1	0,36	0,68	0,74	0,49
A1B2	0,02	–	–	–
A2	0,29	0,04	0,02	0,29
A2B	–	0,02	–	–
A2C	0,02	–	–	–
A2SL	0,02	0,02	–	–
A3	0,05	0,08	0,02	–
A4	0,05	–	0,02	0,03
A4B2	0,02	0,02	–	–
AB2	0,09	0,04	–	0,05
ACB	–	–	–	0,02
ACR1	–	–	0,02	–
ACR2	–	–	0,02	–
ACS	–	–	0,02	–
AD1	–	–	–	0,02
AL1	–	–	0,02	–
AL2	0,02	0,02	0,02	–
AML	0,02	–	0,04	–
AR1	–	–	0,02	–
AR2	–	–	–	0,02
AR3	–	0,08	0,07	–
AR4	0,04	0,02	–	0,05
AS1	–	–	–	0,02
ASR1	–	–	–	0,02
Объем выборки	105	53	57	59
Число фенов	12	10	12	10
Среднее число фенов, μ	$8,47 \pm 0,74$	$6,00 \pm 0,67^*$	$6,26 \pm 0,79$	$6,37 \pm 0,63^*$
Доля редких фенов, h	$0,85 \pm 0,05$	$0,88 \pm 0,04$	$0,89 \pm 0,04$	$0,89 \pm 0,04$

Примечание. 1 – Первомайская, 2 – Комсомольская, 3 – Бобачевская, 4 – Березовая рощи; *– $p < 0,05$ по отношению к биотопу 1.

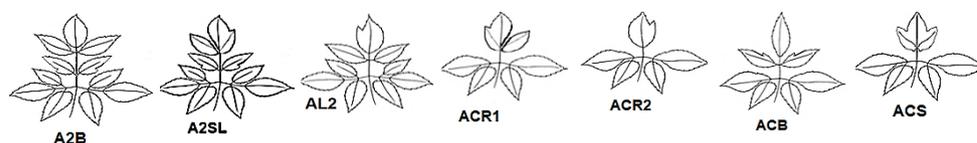


Рис. 1. Новые фены, отмеченные в ценопопуляциях сныти в рекреационных зонах г. Твери

Таблица 3

Характеристики фенофондов ценопопуляций подорожника в рекреационных зонах г. Твери

Коды фенов и характеристики	Частоты фенов в биотопах 1–4			
	1 (контроль)	2	3	4
P3	–	0,02	–	–
P5	0,45	0,71	0,09	0,39
P7	0,43	0,23	0,7	0,50
P9	0,05	–	0,15	0,02
PL6	–	0,03	0,04	0,07
PR4	–	0,02	–	–
PR6	0,03	–	–	–
PR8	0,03	–	–	–
PL8	–	–	0,02	0,02
Объем выборки	58	66	54	54
Число фенов	5	5	5	5
Среднее число фенов, μ	$3,70 \pm 0,29$	$3,02 \pm 0,30^*$	$3,45 \pm 0,32$	$3,53 \pm 0,31$
Доля редких фенов, h	$0,74 \pm 0,23$	$0,60 \pm 0,20$	$0,69 \pm 0,24$	$0,71 \pm 0,24$

Примечание. 1 – Первомайская, 2 – Комсомольская, 3 – Бобачевская, 4 – Березовая рощи; * – $p < 0,05$ по отношению к биотопу 1.

У каждого вида выявлено по два широко распространённых фена, которые встречаются во всех биотопах (ПО 1–4). У сныти это фены A1 и A2, у подорожника – P5, P7. Сопоставление результатов анализа фенетического разнообразия у модельных видов в Твери и Нижнем Новгороде позволило выявить определенное сходство в распространении основных фенов. В ценопопуляциях сныти в рекреационных зонах Нижнего Новгорода (Савинов и др., 2021) и Твери обнаружено 17 общих из 34 фенов (около 50 % от общего числа). Для ценопопуляций Нижнего Новгорода специфичны 10 фенов, а для ценопопуляций Твери – 7 фенов (рис. 1). В ценопопуляциях подорожника в рекреационных зонах Нижнего Новгорода (Савинов, Новожилов, 2021) и Твери выявлено 8 общих из 9 фенов (89%). В ценопопуляциях Твери отмечен только один специфичный фен (PL8).

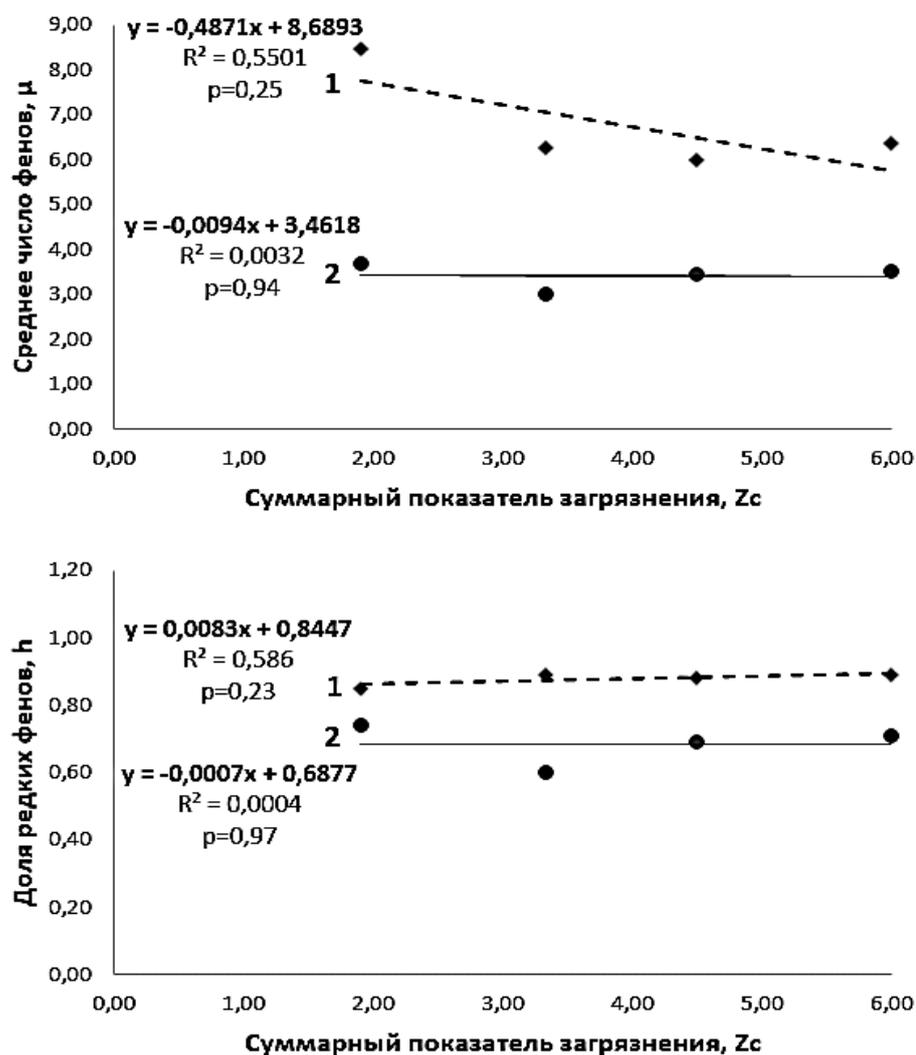


Рис. 2. Зависимость фенетических показателей ценопопуляций сныти (1) и подорожника (2) от величины суммарного загрязнения почв (Z_c)

Различия в уровнях содержания элементов в почвенном покрове биотопов 1–4 соотнесены с фенетическим разнообразием ценопопуляций изученных видов. Выяснено, что в рекреационных зонах Твери вдоль градиента возрастания суммарной токсической нагрузки на биотопы с ценопопуляциями сныти и подорожника среднее число фенов снижается. У сныти доля редких фенов увеличивается, а у подорожника уменьшается (табл. 2, 3, рис. 2). При этом у сныти, в отличие от подорожника, проявлялась тенденция к корреляции показателей фенетического разнообразия (среднего числа

фенов, доли редких фенов) с величинами суммарной токсической нагрузки на почвы (рис. 2).

Таблица 4
Результаты биотестирования почв рекреационных зон г. Твери

Показатели тест-растений	Биотопы			
	1 (контроль)	2	3	4
Энергия прорастания семян, %	<u>80,0±0,00</u> <u>93,33±3,33</u> 80,0±10,0	<u>70,0±5,80</u> <u>93,33±6,70</u> 80,0±5,80	<u>83,30±8,80</u> <u>90,67±3,33</u> 80,0±0,00	<u>66,6±3,30</u> <u>93,33±6,67</u> 30,0±5,80
R _п , %	–	<u>12,50</u> <u>0,00</u> 0,00	<u>-4,17</u> <u>-3,57</u> 0,00	<u>16,67</u> <u>0,00</u> 62,50
Всхожесть семян %	<u>96,70±3,33</u> <u>100,0±0,00</u> 90,33±6,70	<u>70,0±5,80</u> <u>93,33±6,70</u> 100,0±0,00	<u>93,33±6,70</u> <u>96,70±3,33</u> 86,70±3,33	<u>86,70±3,33</u> <u>93,33±6,70</u> 96,70±3,33
R _в , %	–	<u>27,61</u> <u>6,70</u> -7,18	<u>3,52</u> <u>3,30</u> 7,07	<u>10,34</u> <u>6,70</u> -3,64
Длина корня, см	<u>4,19±0,87</u> <u>5,06±0,51</u> 0,86±0,12	<u>4,68±0,84</u> <u>4,18±0,45</u> 0,93±0,10	<u>5,64±0,75</u> <u>5,33±0,64</u> 0,82±0,14	<u>3,29±0,52</u> <u>4,13±0,44</u> 0,26±0,02*
R _к , %	–	<u>-11,69</u> <u>17,38</u> -8,71	<u>-34,61</u> <u>-5,33</u> 4,18	<u>21,39</u> <u>18,49</u> 69,45
Длина стебля, см	<u>1,56±0,23</u> <u>1,52±0,16</u> –	<u>1,81±0,22</u> <u>1,51±0,11</u> –	<u>2,21±0,28</u> <u>1,83±0,17</u> –	<u>1,51±0,17</u> <u>1,69±0,18</u> –
R _с , %	–	<u>-15,76</u> <u>1,21</u> –	<u>-41,36</u> <u>-19,90</u> –	<u>3,01</u> <u>-10,79</u> –

Примечание. Процентное замедление: R_п – энергии прорастания; R_в – всхожести семян; R_к – длины корня; R_с – длины стебля; первая строка – данные для горчицы, вторая – для кресс-салата, третья – для сорго; * – p<0,01

В почвах всех изученных биотопов содержание меди, цинка, мышьяка, хрома и свинца выше принятых значений ПДК (Постановление ..., 2021). Однако в почвах биотопов 3–4 отмечено наибольшее число элементов с максимальными значениями

концентраций. Среди них макро- (Ca, K, Mg, Na) и микроэлементы (Al, Be, Cu, Fe, Li), а также ТМ (Cr, Pb, Sn, Sr, Ti, V).

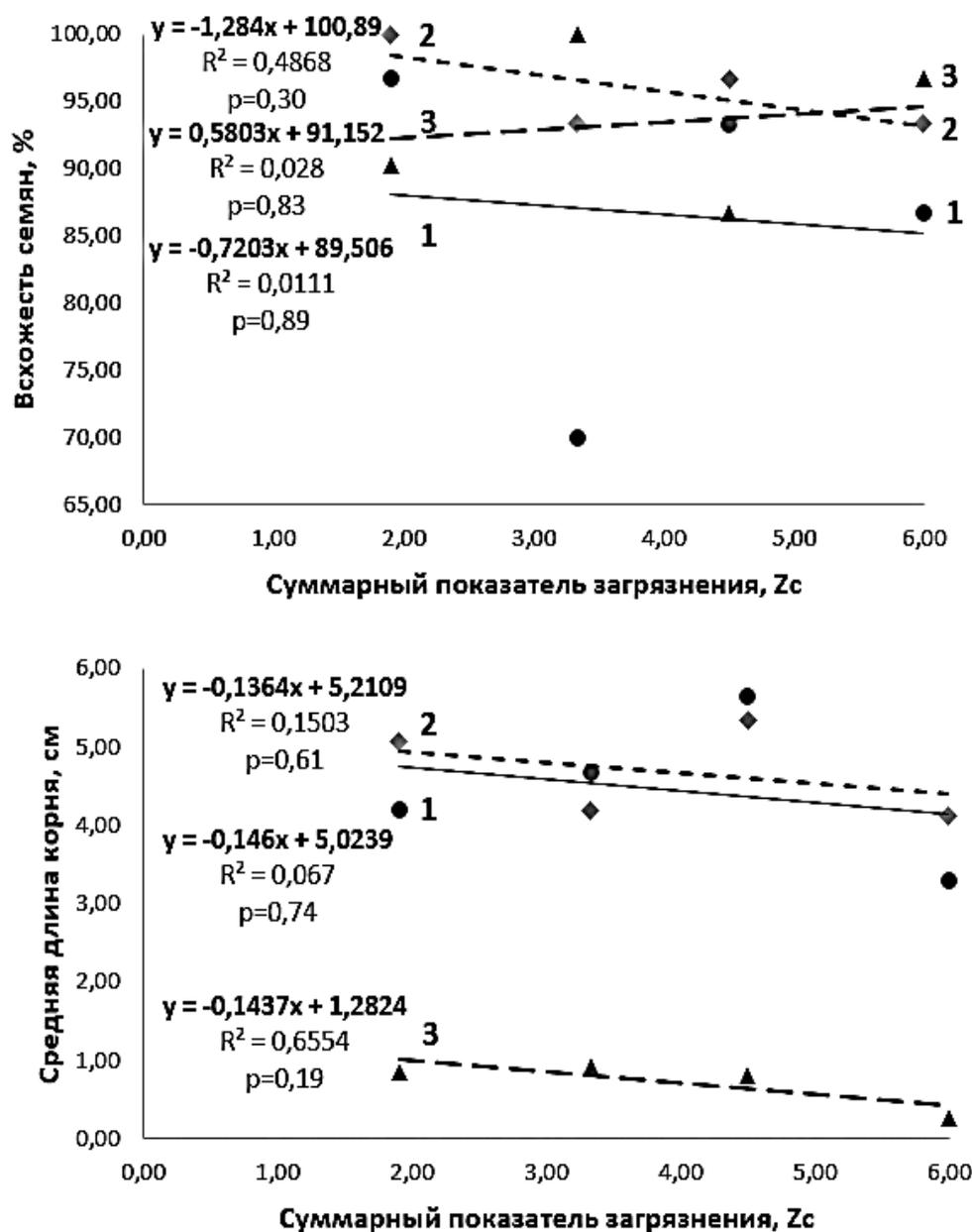


Рис. 3. Зависимости показателей развития тест-растений (1 – горчицы, 2 – кресс-салата; 3 – сорго) на почвах из рекреационных зон г. Твери

Результаты биотестирования почв биотопов сныти и подорожника показали, что рекомендованные (ГОСТ..., 2019) виды

тест-растений и разные параметры развития их семян неоднозначно характеризуют качество тестируемых почв рекреационных экосистем Твери (табл. 4, рис. 3).

В частности, в отличие от горчицы, у кресс-салата проявлялась тенденция к корреляции с величинами суммарного загрязнения почв показателей всхожести семян, а у сорго – с размерами корней проростков (рис. 3).

Заключение. Несмотря на отмеченные особенности изменений фенетических параметров у сныти и подорожника, а также специфику развития видов тест-растений можно дать следующую интерпретацию результатов. 1. Данные по фитоиндикации биотопов с использованием фенетических показателей ценопопуляций сныти (и в меньшей степени – подорожника) в основном согласуются с данными биотестирования почв этих биотопов. 2. Существующий градиент суммарной токсической нагрузки ТМ на почвы рекреационных экосистем Твери отражает степень фитотоксичности почв. 3. Фитотоксичность почв возрастает в следующем ряду почв модельных рекреационных зон: Первомайская роща – Комсомольская роща – Бобачевская роща – Березовая роща. 4. Относительно низкий уровень загрязнения почвенного покрова определяет высокое разнообразие фенотипов у изученных растений. 5. Фенетические показатели достаточно объективно отражают экологическое состояние биотопов даже при низком уровне загрязнения почв, что может представлять интерес при мониторинговых исследованиях на начальных стадиях загрязнения тяжелыми металлами.

Список литературы

- ГОСТ Р ИСО 18763-2019 2019. Качество почвы. Определение токсического воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений. М.: Стандартинформ. 22 с.
- Дабахов М.В., Чеснокова Е.В. 2010. Тяжелые металлы в почвах парков заречной части Нижнего Новгорода // Вестн. Нижегород. ун-та им. Н.И. Лобачевского. № 2 (1). С. 109-116.
- Животовский Л.А. 1991. Популяционная биометрия. М.: Наука. 271 с.
- Загрязнение почв российской федерации токсикантами промышленного происхождения в 2020 году. 2021. Обнинск: Тайфун. 128 с.
- Мейсунова А.Ф., Нотов А.А. 2020. Оценка индикаторной способности некоторых лишайников при экологическом мониторинге металлов с использованием атомно-эмиссионного спектрального анализа // Журнал прикладной спектроскопии. Т. 87. № 1. С. 97-107.
- Мейсунова А.Ф., Нотов А.А. 2016. Содержание металлов в лишайниках на особо охраняемых природных территориях, сопряженных с урбоэкосистемами // Журнал прикладной спектроскопии. Т. 83, № 4. С. 794-802.

- Мейсурова А.Ф., Савинов А.Б., Янсон А.Н. 2021. Комплексный анализ фенотипических изменений и элементного состава сныти обыкновенной в городских условиях // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. Краснодар: КубГАУ. С. 670-673.
- МУ 2.1.7.730-99. 1999. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России. 19 с.
- ПНДФ 16.1:2.3:3.11-98. 2005. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. М.: Государственный комитет РФ по охране окружающей среды. 30 с.
- Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 N 2 Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». М. 988 с.
- Савинов А.Б., Никитин Ю.Д., Ерофеева Е.А. 2018. Биоиндикационный аспект изменчивости листьев *Acer negundo* L. при загрязнении городских почв тяжелыми металлами // Проблемы региональной экологии. № 5. С. 45-47.
- Савинов А.Б., Новожилов Д.А. 2020. Оценка фитотоксичности почв парков Нижнего Новгорода на основе биотестирования // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. Пенза: Наука и Просвещение. С. 47-50.
- Савинов А.Б., Новожилов Д.А., Басуров В.А. 2021. Биоиндикационный аспект анализа фенофонов *Aegopodium podagraria* L. в рекреационных экосистемах Нижнего Новгорода // Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. Пенза: Наука и Просвещение. С. 18-22.
- Савинов А.Б., Новожилов Д.А. 2021. Анализ фенофонов *Plantago major* L. в рекреационных экосистемах Нижнего Новгорода // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. Пенза: Наука и Просвещение. С. 20-23.
- Терехова В.А., Пукальчик М.А., Яковлев А.С. 2014. «Триадный» подход к экологической оценке городских почв // Почвоведение. № 9. С. 1145-1152.
- Savinov A.B., Erofeeva E. A., Nikitin Yu. D. 2019. Morphological variability and biochemical parameters of leaves in cenopopulations of *Aegopodium podagraria* L. (Apiaceae, Apiales) under various levels of soil contamination by heavy metals // Biol. Bull. V. 46. № 10. P. 1347-1352.

PHENETIC PHYTOINDICATION AND BIOTESTING OF SOILS IN RECREATION ZONES OF TVER CITY

A.B. Savinov¹, A.F. Meysurova², A.A. Notov², D.A. Novozhilov¹

¹Lobachevsky Nizhny Novgorod State University, Nizhny Novgorod

²Tver State University, Tver

The phenofonds of *Plantago major* L. and *Aegopodium podagraria* L. cenopopulations in recreation zones of Tver with different levels of soil contamination with heavy metals (HM) were studied. In parallel, biotesting of soils of model biotopes was carried out according to the parameters of test plants seeds development – *Sinapis alba* L., *Lepidium sativum* L., *Sorghum nigrum* L. in accordance with ISO 18763:2016. With an increase in the total toxic load on biotopes, the average number of phenes in *P. major* and *A. podagraria* decreases. However, the share of rare phenes increases in *A. podagraria*, and decreases in *P. major*. The general indicators of phenetic diversity (average number and proportion of rare phenes) in *A. podagraria* correlate with the total toxic load on soils to a greater extent than in *P. major*. The development parameters of seeds of different species of test plants ambiguously reflect the phytotoxicity of soils. To a greater extent, the indicators of seed germination and the seedlings root size in *S. alba* correlate with the total content of HM in the soil. The data on the phytoindication of biotopes based on the phenetic indices of the cenopopulations of *A. podagraria* and, to a lesser extent, *P. major*, are generally consistent with the results of soil biotesting.

Keywords: *Plantago major*, *Aegopodium podagraria*, phenes of leaf, recreation zones, soil, heavy metals, phytoindication, biotesting.

Об авторах:

САВИНОВ Александр Борисович – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии Института биологии и биомедицины, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (ННГУ), 603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, корп. 1; e-mail: sabcor@mail.ru.

МЕЙСУРОВА Александра Федоровна – доктор биологических наук, декан биологического факультета, заведующая кафедрой ботаники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33; e-mail: alexandrauraz@mail.ru.

НОТОВ Александр Александрович – доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33; e-mail: anotov@mail.ru.

НОВОЖИЛОВ Денис Алексеевич – аспирант кафедры экологии Института биологии и биомедицины, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (ННГУ), 603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, корп. 1; e-mail: deninovozhilo@yandex.ru.

Савинов А.Б. Фенетическая фитоиндикация и биотестирование почв в рекреационных зонах г. Твери / А.Б. Савинов, А.Ф. Мейсурова, А.А. Нотов, Д.А. Новожилов // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2021. № 3(63). С. 114-126.