

УДК 631.4-582.52, 6/9

ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ НЕКОТОРЫХ ДВУДОЛЬНЫХ И ОДНОДОЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ФИТОТЕСТИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ПОЧВ

О.М. Шабалина¹, Т.Н. Демьяненко²

¹Сибирский федеральный университет,

²Красноярский государственный аграрный университет

В работе рассмотрена возможность применения двудольных (салат посевной, клевер ползучий) и однодольных (пшеница, ячмень) растений для оценки фитотоксичности городских почв. Выявлено, что в условиях повышенного загрязнения среды происходит уменьшение всхожести семян и параметров проростков тест-культур. Отмечена индивидуальная реакция фитотестов на изменение параметров почв и загрязнение среды.

Ключевые слова: фитотестирование, городские почвы, коэффициент детерминации, индекс токсичности.

Введение. В связи со сложной экологической обстановкой зеленые насаждения играют важную роль в жизни современных городов. Однако растительность в городе находится под сильным антропогенным давлением, подвергается химическому, физическому и биологическому воздействию. В наиболее угнетенном состоянии находятся растительный покров магистралей, автотрасс, улиц с интенсивным автомобильным движением, бульваров центральной части городов. Именно в таких местах в почве накапливаются разнообразные соединения естественного и антропогенного происхождения, обуславливающие ее загрязненность и токсичность.

Определить степень токсичности почвы можно с помощью биотестирования [7; 9]. Для этих целей применяется биотест на фитотоксичность (фитотест), который способен адекватно реагировать на экзогенное химическое воздействие, что проявляется в морфологических и физиологических изменениях при росте и развитии растений. Считается, что фитотест информативен, высокочувствителен, характеризуется стабильностью получаемых результатов.

Фитотестирование как метод мониторинга почв является интегральным методом анализа, позволяющим оценить фитотоксичность почв. Для такого анализа используются

различные тест-растения, которые реагируют на неблагоприятные изменения в почве, воздухе и в других средах. При этом различные виды растений обладают различной чувствительностью к фитотоксикантам, однако до сих пор не проводилось исследований пригодности различных видов растений для фитотестирования городских почв.

Целью данной работы является оценка возможности использования салата посевного (*Lactuca sativa*), клевера ползучего (*Trifolium repens*), ячменя (*Hordeum sativum*) и пшеницы (*Triticum aestivum*) в качестве тест-объектов для фитотестирования городских почв.

Материалы и методы. Объектами исследования служили почвы придорожных газонов с посадками листовницы сибирской в различных по степени загрязнения районах г. Красноярска. Краткая характеристика точек отбора проб приведена в табл. 1.

Как видно из табл. 1, наиболее благоприятные условия складываются в двух районах – в Академгородке и на о. Татышев. Здесь отмечены низкий уровень загрязнения тяжелыми металлами и фтором, незначительное автотранспортное загрязнение, а рекреационная нагрузка не приводит к существенным нарушениям напочвенного покрова.

Таблица 1

Характеристика точек отбора проб

Точка отбора проб	Удаленность от проезжей части, м	Уровень загрязнения CO, мг/м ³ *	Состояние газона	Степень загрязнения почв тяжелыми металлами и фтором**
Академгородок	5–7	2,25	Без следов вытаптывания	Допустимое загрязнение
Речной вокзал	2–3	16,9	Тропиночная сеть около 10 % площади	Высокоопасное загрязнение
Часовня	5–10	1,13	Без следов вытаптывания	Умеренно опасное загрязнение
о. Татышев	15–20	0,02	Без следов вытаптывания	Допустимое загрязнение
Спутник	2–4	36,2	Тропиночная сеть около 30 % площади	Высокоопасное загрязнение

Примечания: 1. *Расчеты проведены по методике А.И. Федоровой, А.Н. Никольской [17].
2. **По данным В.А. Беседина [1].

Пробы почвы отбирали в трехкратной повторности из корнеобитаемого слоя с глубины 5–10 см. Определялись следующие физико-химические и биологические параметры почв: плотность сложения почвы, порозность, плотность твердой фазы, рН водной суспензии, содержание органического углерода (С, %) и интенсивность почвенного дыхания (ИПД).

Поскольку состав выхлопов автомобилей относительно постоянен [19], по содержанию в воздухе CO можно косвенно судить о количестве других загрязняющих веществ, в частности тяжелых металлов и, в конечном итоге, об общем уровне автотранспортного загрязнения в данной точке.

В работе использовали четыре тест-культуры – салат посевной, клевер белый, пшеницу и ячмень.

Для оценки фитотоксичности почв брали по 60 г почвы в трех повторностях, затем делали смешанную пробу, из которой изготавливали почвенную вытяжку. На полученной вытяжке методом рулонной культуры оценивали фитотоксичность почв [4; 5]. Высеивали по 100 семян каждой тест-культуры в трехкратной повторности. Определялась лабораторная всхожесть семян тест-культур и морфологические параметры проростков – длина корня и побега. Для каждого района рассчи-

тывался индекс токсичности [7]. В качестве экологического контроля использовали Академгородок, поскольку это окраинный район с благоприятным расположением относительно розы ветров, тогда как о. Татышев находится в центре города в непосредственной близости от алюминиевого производства (КрАЗ).

В процессе статистической обработки рассчитывали средние арифметические значения признаков и их статистические ошибки. Достоверность различий между средними значениями определялась с помощью однофакторного дисперсионного анализа.

Для оценки взаимосвязи между параметрами почв и признаками тест-культур использовался корреляционный анализ. При этом для оценки среднего уровня связей применяли коэффициент детерминации (R^2), усредненный по всей матрице или по отдельным признакам [14]. Для выявления характера скоррелированности признаков тест-культур с почвенными параметрами использовался метод корреляционных плеяд [18]. Для построения плеяд использовали только сильные связи ($r > 0,7$).

Средние индексы токсичности рассчитывали по методике Р.Р. Кабирова и соавт. [7].

Варианты опыта названы в соответствии с точками отбора проб.

Результаты и обсуждение. Проведенный анализ физических и физико-химических свойств почв показал, что наименьшими значениями плотности твердой фазы характеризуются почвы с острова Татышев и Речного вокзала (табл. 2). В последних значение ми-

нимально и связано с их высокой гумусированностью. Легкие песчаные почвы острова Татышев тоже достаточно обогащены гумусом. В почвах остальных объектов плотность твердой фазы представлена средними значениями для верхних гумусовых горизонтов.

Таблица 2

Данные физического, физико-химического и биологического анализа почв

Параметры почв	Академгородок	Речной вокзал	о. Татышев	Часовня	Спутник
Плотность сложения, г/см ³	1,028	1,018	0,974	1,125	1,115
Плотность твердой фазы, г/см ³	2,52	2,05	2,19	2,44	2,44
Порозность, %	59,17	50,45	55,49	53,93	54,39
pH	7,7	7,8	7,9	8,0	8,0
C _{орг} , %	4,3	7,6	6,7	6,8	4,8
ИПД, мгСО ₂ /100 г почвы	7,70	6,05	7,15	4,95	6,60

Плотность сложения характеризует способность почвы накапливать значительные запасы доступной влаги для растений при одновременном достаточном содержании воздуха. Хорошо оструктуренные почвы обладают значительной пористостью и низкой величиной плотности сложения. Как отмечается в литературе [8], оптимальная плотность сложения почвы для большинства культурных растений составляет 1,0–1,2 г/см³. Все изученные почвы отличаются оптимальной плотностью сложения. Наибольшим уплотнением характеризуются почвы Часовни и Спутника; на о. Татышев, где рекреационная нагрузка минимальна, плотность сложения почвы наименьшая и составляет менее 1 г/см³.

Порозность почв всех объектов близка к оптимальной, наибольшим значением этого показателя характеризуются почвы в Академгородке, наименьшим – на Речном вокзале.

В городских условиях почвы, как правило, подщелачиваются в результате применения антигололедных реагентов и попадания строительной пыли, содержащей карбонат кальция. Увеличение pH почв газонов связано также с поступлением большого количества пыли с автомагистралей, содержащей карбонаты Ca и Mg [6; 8; 13]. Все исследуемые почвы имеют значения pH более 7,5 и по

данному показателю относятся к слаботоксичным. Особенно неблагоприятные для растений значения pH отмечены в районах Часовни и Спутника.

Все изученные почвы достаточно гумусированы и относятся к плодородным. В Академгородке и на Речном вокзале содержание гумуса несколько ниже, чем в остальных районах.

Интенсивность почвенного дыхания – один из основных критериев при гигиенической оценке качества почв [3]. В условиях города существенно нарушаются показатели биологической активности почв, что связано с их загрязнением, переуплотнением и другими антропогенными воздействиями [10; 15; 16]. Наибольшими величинами интенсивности почвенного дыхания характеризуются почвы Академгородка и о. Татышев – наиболее чистых из исследуемых районов. Существенно снижены показатели почвенного дыхания в районе Часовни.

Оксид углерода (CO) – одно из наиболее токсичных для живых организмов веществ – попадает в воздух в основном с выхлопными газами автомобилей [12]. По гигиеническим нормативам Министерства здравоохранения РФ разовая ПДК оксида углерода в воздухе составляет 5 мг/м³ [11].

Расчет уровня СО, сделанный на основе подсчета количества проезжающих автомобилей в единицу времени [17], показал, что наибольшая концентрация угарного газа отмечается в районе кинотеатра Спутник – $36,2 \text{ мг/м}^3$ (табл. 1). Данное значение более чем в семь раз превышает ПДК, такой уровень загрязнения можно считать очень высоким. Более чем в три раза превышена ПДК и в районе Речного вокзала – $16,9 \text{ мг/м}^3$. В остальных районах концентрация СО находится в пределах допустимых значений.

Таким образом, пункты исследования существенно отличаются по уровню загрязнения, физическим, физико-химическим и биологическим свойствам почв. В целом

наиболее благоприятные условия складываются в Академгородке и на о. Татышев.

Оценка всхожести семян и морфометрических параметров проростков тест-культур наиболее часто используется в биотестировании почв с помощью высших растений [2; 7; 9].

Исследования показали, что статистически достоверно наибольшая всхожесть семян всех тест-культур (рис. 1) и средняя длина корня и побега проростков салата, пшеницы и ячменя (рис. 2, 3) наблюдались в вариантах опыта «Академгородок» и «о. Татышев». Средняя длина корня проростков клевера выше в вариантах «Академгородок», «о. Татышев» и «Спутник». По средней длине побега проростков клевера достоверных различий между вариантами опыта не обнаружено.



Рис. 1. Всхожесть семян тест-культур в различных вариантах опыта

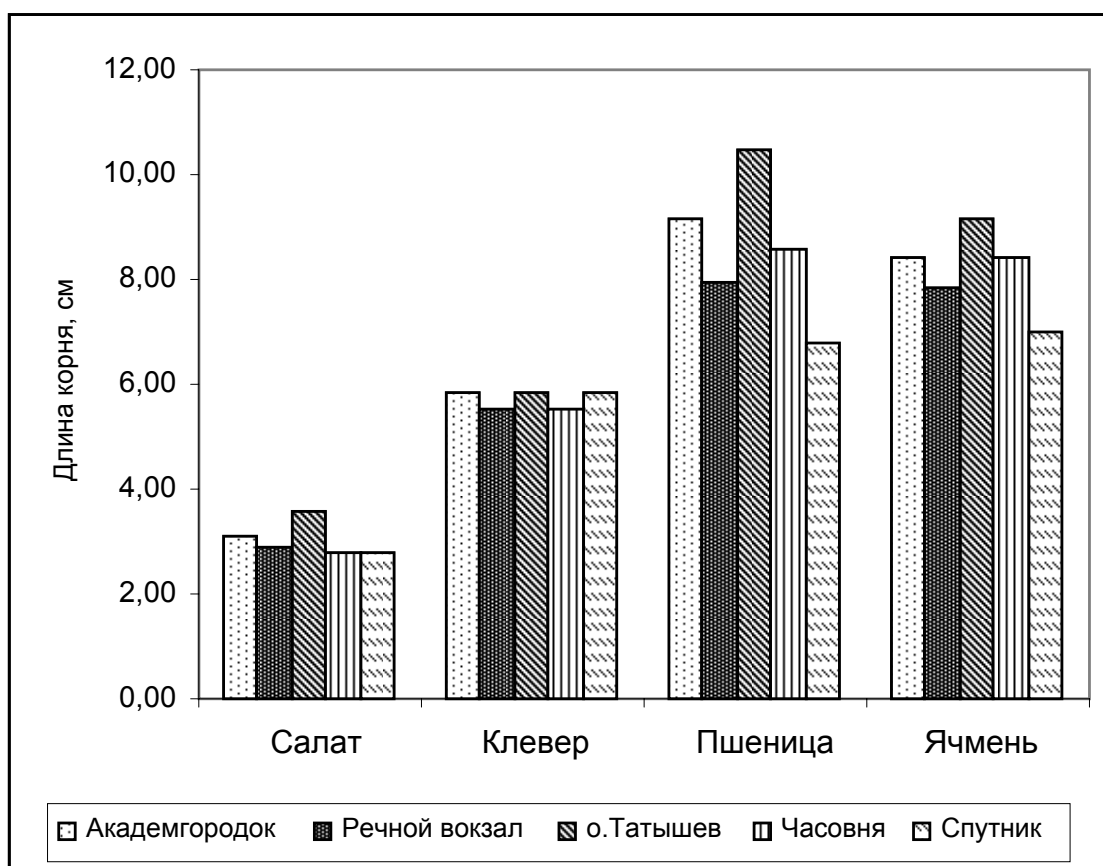


Рис. 2. Средняя длина корня проростков тест-культур в различных вариантах опыта

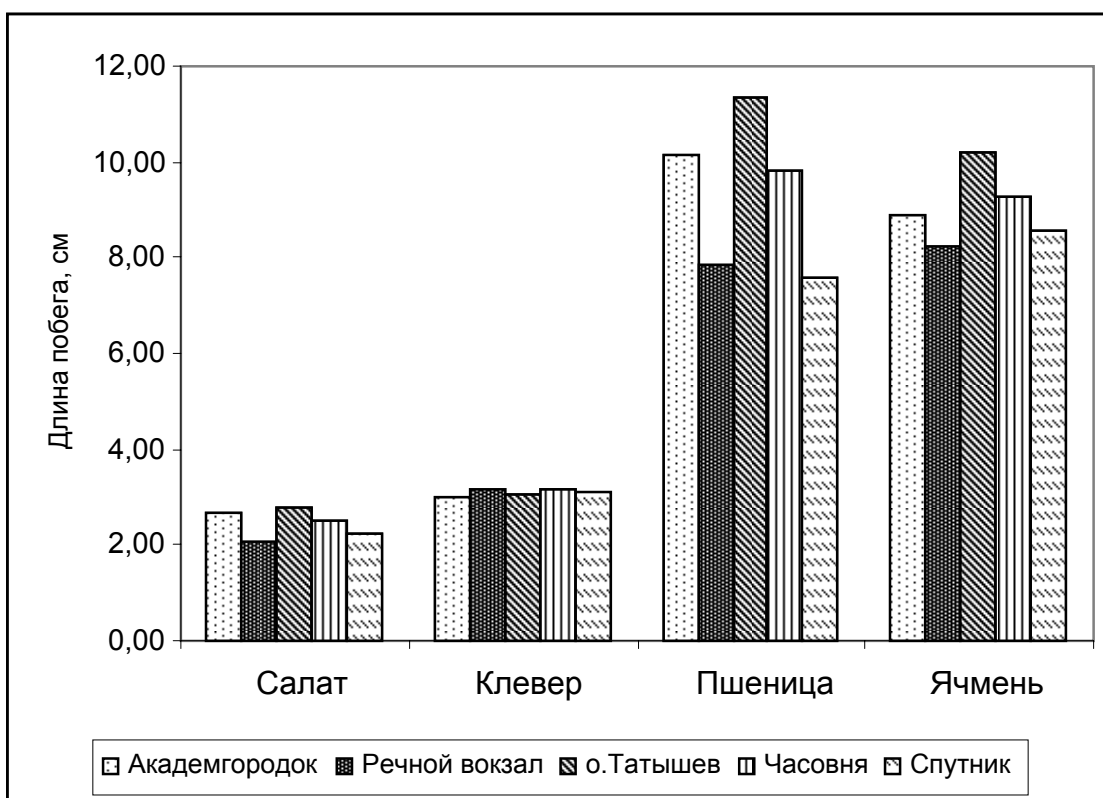


Рис. 3. Средняя длина побега проростков тест-культур в различных вариантах опыта

Отношение длины корня к длине побега показывает соотношение надземной и подземной части проростков. На рис. 4 видно, что у проростков двудольных растений – салата и клевера – длина корня в среднем в 1,5–2 раза превышает длину побега, что легко объясняется наличием у них хорошо развитого главного корня. Для однодольных растений характерна мочковатая корневая система, поэтому у проростков пшеницы и ячменя соотношение корня и побега почти во всех вариантах опыта меньше 1.

Тест-культуры различаются по характеру изменения данного параметра в различных вариантах опыта (рис. 4). Так, у проростков салата отмечено статистически достоверное увеличение длины корня относительно побе-

га в вариантах опыта «Речной вокзал» и «Спутник». Подобная реакция проростков может быть связана с повышенным уровнем загрязнения почв и согласуется с данными Р.Ф. Гариповой и А.Ж. Калиева [2], которые отметили стимуляцию корневого морфогенеза в ущерб развитию надземной части растения у проростков редиса при фитотестировании почв сельскохозяйственных полей орошения Оренбургского газохимического комплекса, загрязненных солями тяжелых металлов. Отмечено также увеличение относительной длины корня у проростков пшеницы в варианте «Речной вокзал» и, напротив, уменьшение данного показателя у проростков ячменя в варианте «Спутник».

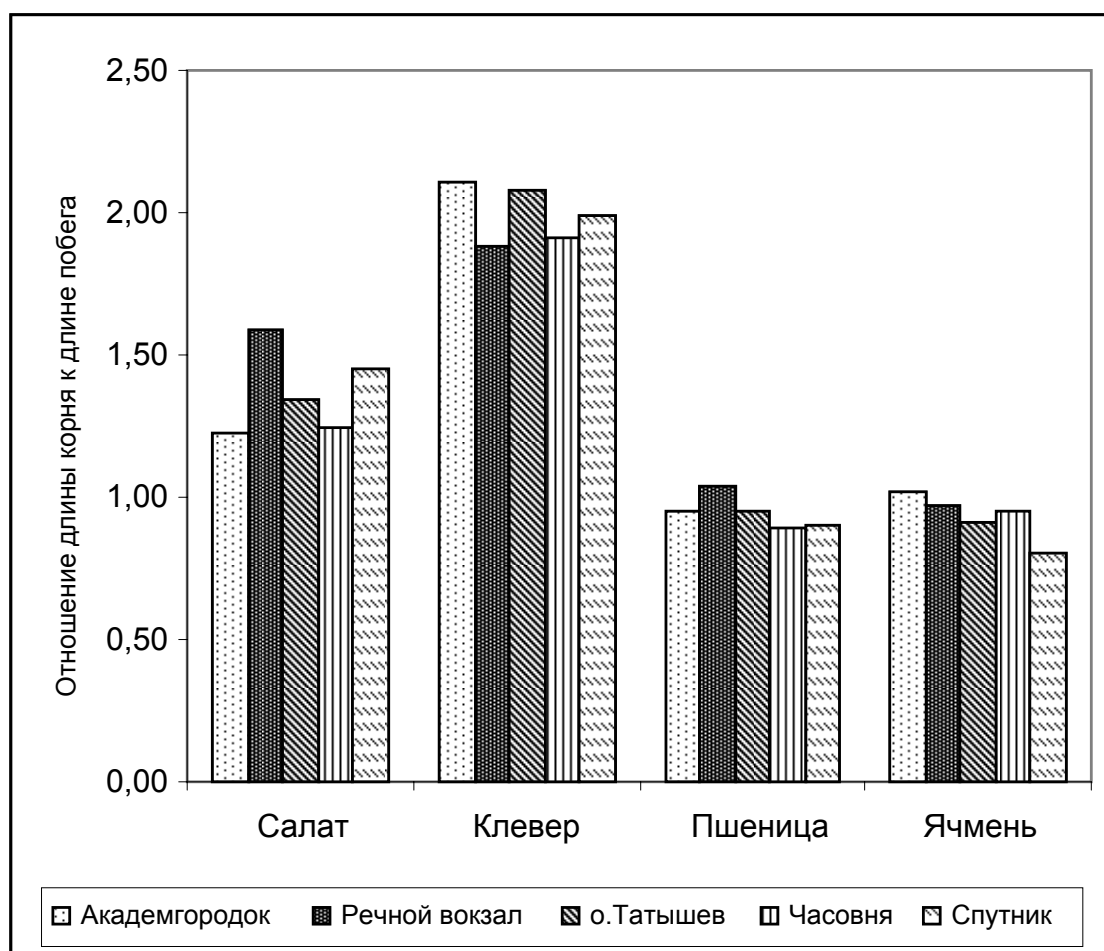


Рис. 4. Среднее отношение длины корня к длине побега проростков тест-культур в различных вариантах опыта

Корреляционный анализ позволяет выявить связь между уровнем автотранспортного загрязнения в точках отбора проб, свойствами почв и параметрами биотестов. Расчеты показали, что наибольшее влияние на параметры тест-культур оказывают уровень авто-

транспортного загрязнения ($R^2=0,36$), порозность ($R^2=0,39$) и плотность сложения ($R^2=0,32$) почвы, а также интенсивность почвенного дыхания ($R^2=0,31$). Именно с этими параметрами образуются сильные корреляционные связи у всех тест-культур (рис. 5–8).



Рис. 5. Структура связей между параметрами проростков салата, физическими, физико-химическими и биологическими свойствами почв и уровнем автотранспортного загрязнения



Рис. 6. Структура связей между параметрами проростков пшеницы, физическими, физико-химическими и биологическими свойствами почв и уровнем автотранспортного загрязнения

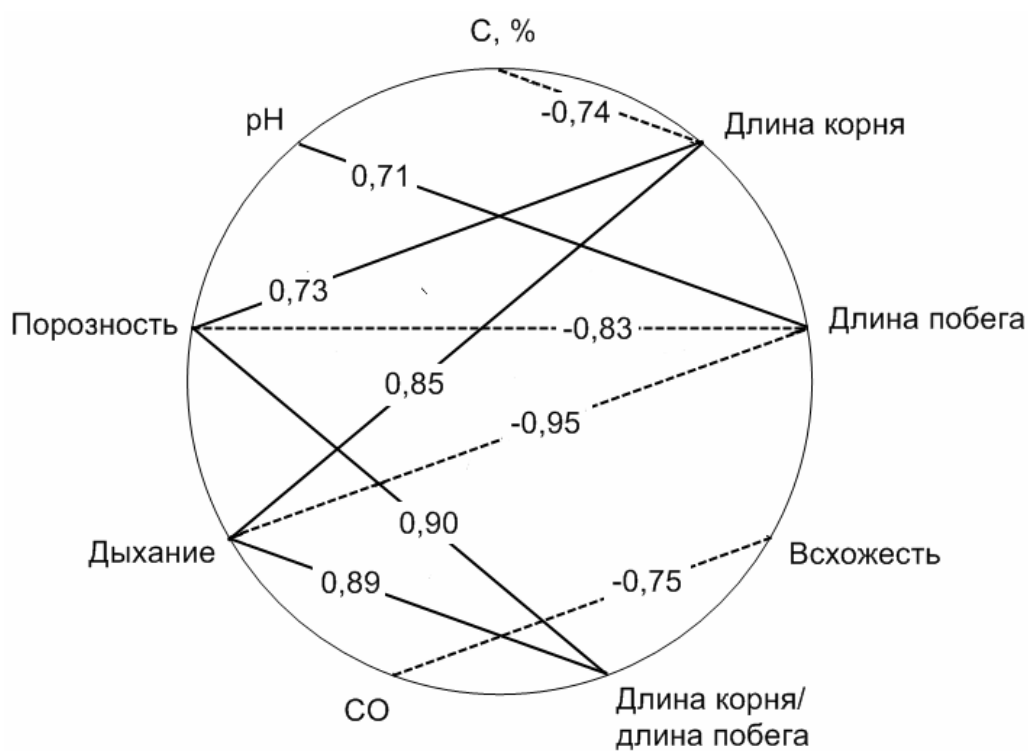


Рис. 7. Структура связей между параметрами проростков клевера, физическими, физико-химическими и биологическими свойствами почв и уровнем автотранспортного загрязнения

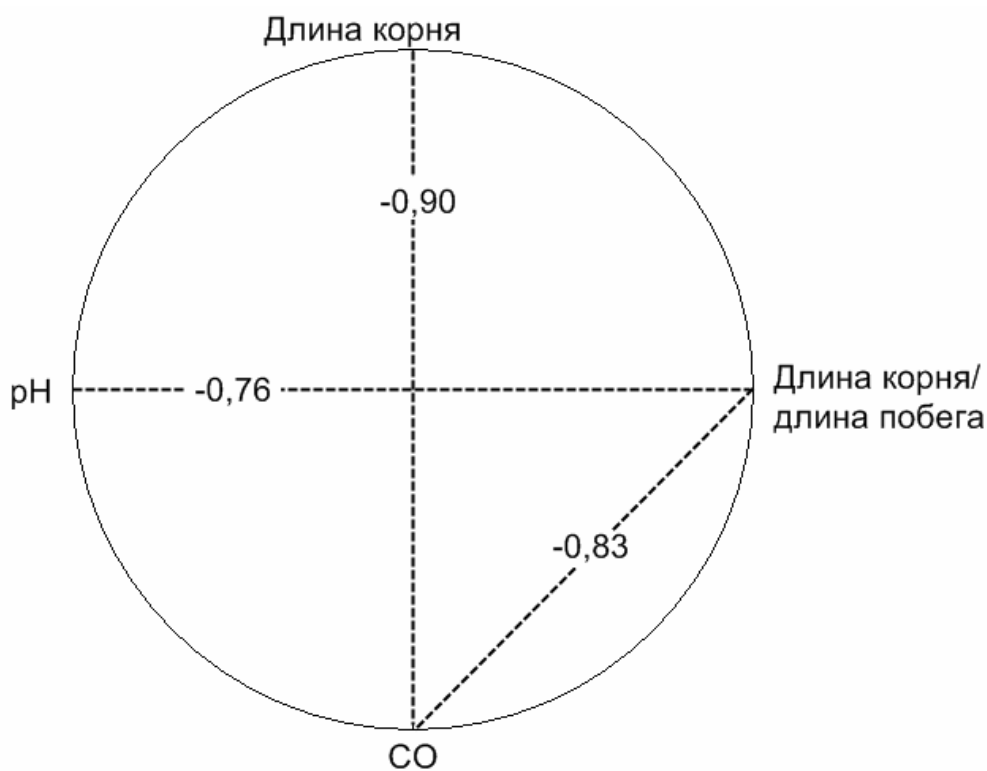


Рис. 8. Структура связей между параметрами проростков ячменя, физико-химическими и биологическими свойствами почв и уровнем автотранспортного загрязнения

Салат и пшеница весьма сходны по реакции на автотранспортное загрязнение и изменение физических, физико-химических и биологических свойств почв (рис. 5, 6). Всхожесть семян этих тест-культур положительно связана с интенсивностью почвенного дыхания. Длина корня проростков уменьшается при уплотнении почвы, а при увеличении плотности твердой фазы уменьшается его относительная длина. Кроме того, при увеличении автотранспортного загрязнения снижается длина корня и побега проростков салата, а при уменьшении порозности почвы снижаются всхожесть семян и длина побега проростков пшеницы.

Большим количеством и разнообразием корреляционных связей между тест-признаками и параметрами почв отличается клевер (рис. 7). В отличие от салата и пшеницы, для клевера не отмечено связей между параметрами проростков и физическими свойствами почв – плотностью сложения и плотностью твердой фазы. Однако появляются связи с рН почвы и содержанием в ней гумуса. По сравнению с пшеницей у клевера наблюдается противоположная реакция на изменение порозности почвы: при увеличе-

нии порозности уменьшается длина побега, но увеличивается относительная длина корня.

Структура корреляционных связей проростков ячменя по сравнению с другими тест-культурами наиболее проста (рис. 8). При увеличении автотранспортного загрязнения уменьшается длина корня и отношение длины корня к побегу. Также уменьшается относительная длина корня и при увеличении щелочности почвы.

Расчет средних индексов токсичности ($ИТ_{ср}$) почв в пунктах исследования для различных тест-культур в целом показал, что во всех пунктах исследования фитотоксичность почв находится на нормальном уровне ($ИТ_{ср}=0,91-1,1$) (рис. 9). При этом значения $ИТ_{ср}$ в варианте «о. Татышев» для всех тест-культур больше 1, т.е. фитотоксичность почвы в этом варианте ниже, чем в экологическом контроле – Академгородке. В то же время значения $ИТ_{ср}$, рассчитанные по пшенице и ячменю в варианте «Спутник», соответствуют IV классу токсичности (низкая токсичность).

Наиболее адекватную оценку общего уровня загрязнения дали однодольные культуры – пшеница и ячмень.

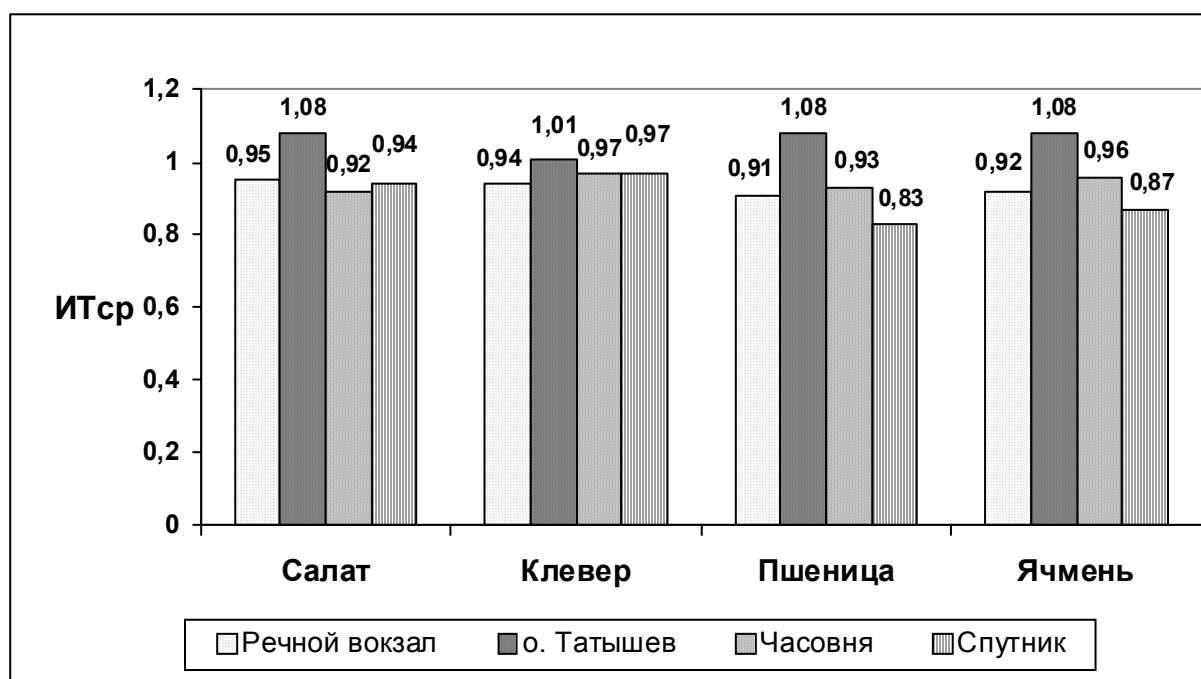


Рис. 9. Значения средних индексов токсичности почв в пунктах исследований, рассчитанных по различным тест-культурам

Выводы

1. В условиях повышенного загрязнения достоверно снижаются всхожесть семян и морфометрические параметры проростков всех тест-культур, за исключением клевера.

2. Изученные тест-культуры отличаются индивидуальной реакцией на изменение параметров почв и загрязнение среды, что отражается в особенностях структуры корреляционных связей. Салат и пшеница реагируют снижением основных параметров проростков на уплотнение почв и уменьшение интенсивности почвенного дыхания. Напротив, клевер не демонстрирует отчетливой реакции на физические параметры почв, но чувствителен к их физико-химическим свойствам – рН и содержанию гумуса. Для ячменя характерна сильная реакция на автотранспортное загрязнение.

3. Расчет индексов токсичности для каждой тест культуры показал, что все изученные тест-культуры в целом дают сходную оценку уровня фитотоксичности почв в пунктах исследований. Следует отметить, однако, что наиболее четкая реакция обнаруживается у однодольных культур – пшеницы и ячменя.

1. *Беседин, В.А.* Экологический кризис г. Красноярск. Цифры и факты / В.А. Беседин. – Красноярск, 1997. – 46 с.

2. *Гарипова, Р.Ф.* Биотестирование водных вытяжек почв, подвергшихся воздействию выбросов Оренбургского газохимического комплекса / Р.Ф. Гарипова, А.Ж. Калиев // Вестн. ОГУ. – 2004. – №4. – С. 90–92.

3. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест : методические указания. МУ 2.1.7.730-99. Минздрав России. – М., 1999.

4. ГОСТ 12038-84. Семена с/х культур. Методы определения всхожести. – 1984.

5. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. – М. : Стандартинформ, 2010.

6. *Добровольский, Г.В.* Почвы Москвы / Г.В. Добровольский, М.Н. Строганова // Наука в России. – 1996. – №4. – С. 69–72.

7. *Кабилов, Р.Р.* Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории / Р.Р. Кабилов, А.Р. Сагитова, Н.В. Суханова // Экология. – 1997. – №6. – С. 408–411.

8. Методические указания по оценке городских почв при разработке градостроительной и архитектурно-строительной документации. – 2003. – 36 с.

9. *Назаров, А.В.* Изучение причин фитотоксичности нефтезагрязненных почв / А.В. Назаров, С.А. Илларионов // Письма в международный науч. журн. «Альтернативная энергетика и экология». – 2005. – №1. – С. 60–65.

10. О новом подходе к исчислению размера ущерба, вызываемого захламливанием, загрязнением и нарушением городских земель / А.П. Сизов и др. // Почвоведение. – 2001. – №6. – С. 732–740.

11. Почва. Город. Экология / под ред. Г.В. Добровольского. – М., 1997. – 320 с.

12. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338-03 // Постановление Министерства здравоохранения РФ от 30 мая 2003 г. – №114.

13. *Ревелль, П.* Среда нашего обитания. Книга вторая. Загрязнение воды и воздуха / П. Ревелль, Ч. Ревелль. – М. : Мир, 1995. – 296 с.

14. *Решоткин, О.В.* Экологические особенности почв городских парков / О.В. Решоткин, О.И. Худяков // Проблемы региональной экологии. – 2007. – №2.

15. *Ростова, Н.С.* Изменчивость системы корреляций морфологических признаков. 1. Естественные популяции *LEUCANTHEMUM VULGARE* (ASTERACEAE) / Н.С. Ростова // Ботанический журн. – 1999. – №11. – С. 50–66.

16. *Скворцова, И.Н.* Зависимость некоторых показателей биологической активности почв от уровня концентрации тяжелых металлов / И.Н. Скворцова, С.К. Ли, И.П. Ворожейкина // Тяжелые металлы в окружающей среде. – М., 1980. – 121 с.

17. *Федорова, А.И.* Практикум по экологии и охране окружающей среды / А.И. Федорова, А.Н. Никольская. – М., 2001. – 288 с.

18. Шмидт, В.М. Математические методы в ботанике / В.М. Шмидт. – Л. : Изд-во Ленинградского ун-та, 1984. – С. 179–188.

19. Экология города / под. ред. В.В. Денисова. – М. : ИКЦ «Март», 2008. – 832 с.

EVALUATION OF THE APPLICABILITY OF CERTAIN DICOTYLEDONS AND MONOCOTYLEDONS PLANTS FOR FITOTESTING OF URBAN SOILS

O.M. Shabalina¹, T.N. Demyanenko²

¹Siberian Federal University,

²Krasnoyarsk State Agrarian University

The paper considers the possibility of using dicotyledons (lettuce, white clover) and monocots (wheat, barley) plants for assessment of phytotoxic urban soils. It was noted that under conditions of increased environmental pollution is reduced seed germination and parameters of seedlings of the test cultures. The estimation of these cultures suitability for diagnostics of motor transport pollution level and physical and chemical parameters of various urban soils are given.

Keywords: fitotesting, urban soils, coefficient of determination, index of toxicity.