

14. Искусственные леса степной зоны Украины. Харьков: ХГУ, 1960. 423 с.

15. Тарасов В.В. Флора Днепропетровської і Запорізької областей. Видання друге. Доповнене та виправлене. Дніпропетровськ: Ліра, 2012. 296 с.

16. Матвеев Н.М. Биоэкологический анализ флоры и растительности (на примере лесостепной и степной зоны). Самара: Издательство «Самарский университет», 2006. 311 с.

17. Матвеев Н.М. Оптимизация системы экоморф растений А.Л. Бельгарда в целях фитоиндикации эко-

топа и биотопа // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія. 2003. Вип. 11, т. 2. С. 105–113.

18. Смирнов В.Э., Ханина Л.Г., Бобровский М.В. Обоснование системы эколого-ценологических групп видов растений лесной зоны Европейской России на основе экологических шкал, геоботанических описаний и статистического анализа // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. 2006. Т. 111, вып. 2. С. 36–47.

19. Didukh Ya.P. The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication. Kyiv: Phytosociocentre, 2011. 176 p.

A.L. BELGARD AND N.M. MATVEEV'S ECOLOGICAL AND COENOTICAL GROUPS (COENOMORPHS) FOR THE FOREST-STEPPE AND STEPPE OF THE VOLGA RIVER REGION

© 2020

Nazarenko Nazar Nikolayevich, doctor of biological sciences, professor of Chemistry, Ecology and Chemistry Methodology Department

Pokhlebayev Sergey Mikhailovich, doctor of pedagogical sciences, professor of General Biology and Physiology Department

South Ural State Humanitarian Pedagogical University (Chelyabinsk, Russian Federation)

Abstract. The paper examines the coenomorphs scheme of vascular plants species by A.L. Belgard which was introduced for the Volga River Region flora by N.M. Matveev. The coenomorphs scheme assessment has been done for 752 vascular plants species of flora by an expert and statistical approach, which included three variants of classification (by N.M. Matveev and by A.L. Belgard with halophyte and psammophyte groups' identification and without it) with the use of discriminant analysis and phytoindication scales. It has been proved that it is possible to rate N.M. Matveev's coenomorphs in phytoindication scales for the forest-steppe and steppe of the Volga River Region. The biotope optimums of coenomorphs are identified for 12 edaphic and climatic factors. It is necessary to specify the halophyte coenomorph as a coenotical group of mesophytic biotopes of basic and alkaline soils with irregular and shallow moisture penetration of root zone and poor carbonate and sulphate salinization and specify the psammophyte coenomorph as a coenotical group of mesoxerophytic biotopes of subacid and poor nitrogen soils. The steppe-ruderal, meadow-ruderal and silvan-ruderal coenomorphs introduced by N.M. Matveev are not specific ecological and coenotical groups, they are not identified as ruderal and their identification as individual coenomorphs don't appear to have sufficient reasons. But these groups can be used as indicators of such biotopes: steppe on poor carbonate soils (steppe-ruderal group), mesophytic meadow (meadow-ruderal group), and not-shade (half-shade and half-light) sylvatic (silvan-ruderal group).

Keywords: coenomorphs; ecological and coenotical groups; coenotical structure; A.L. Belgard; N.M. Matveev; biotopes; ecological sets; bio-ecological analyzes; phytoindication; coenotic core and satellite species; discriminant analysis; abiotic factors; Volga River Region.

* * *

УДК 615.9 : 577.4

DOI 10.24411/2309-4370-2020-11113

Статья поступила в редакцию 18.01.2020

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗНЫХ ВИДОВ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПРОРАЩИВАНИЯ И СВЕРХМАЛЫХ ДОЗ БЕНЗОТРИАЗОЛА НА МОРФО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛУКОВ В МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

© 2020

Селезнева Екатерина Сергеевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии, биотехнологии и биоинженерии

Грязнова Мария Олеговна, студент биологического факультета

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва (г. Самара, Российская Федерация)

Аннотация. Адаптация растений проявляется в сохранении физиологических функций при действии различных экстремальных факторов окружающей среды. В модельных экспериментах мы проверили влияние совместного действия таких факторов, как спиртовые растворы бензотриазола в низких концентрациях (0,00001; 0,0001; 0,001 мг/мл) и контрастные положительные температуры (+12°C и +22°C) на всхожесть семян и ростовые процессы у трех видов луков (*Allium cepa*, *Allium fistulosum* и *Allium schoenoprasum*) отличающихся различными адаптационными возможностями. Обнаружили, что независимо от температуры проращивания с ростом концентрации растворов бензотриазола в избранном диапазоне концентраций наблюдается стимуляция всхожести семян у всех исследуемых видов по сравнению с контролем. Максимальным стимулирующим действием бензотриазол обладал в концентрации 0,001 мг/мл при проращивании семян при температуре +12°C. Влияние на ростовые процессы определяли по величине средней длины корней луков на пятый день роста. Обнаружили, что длина корней луков всех изученных видов при проращивании в раство-

рах бензотриазола при температуре +12°C достоверно не отличается от таковой в контроле. Проращивание семян при +22°C длина корней только у двух видов *Allium cepa*, *Allium fistulosum* была выше, чем в контроле. Обсуждаются возможные механизмы наблюдаемого явления.

Ключевые слова: *Allium cepa* L.; *Allium fistulosum* L.; *Allium schoenoprasum* L.; длина корней; всхожесть семян; выживаемость; контрастные положительные температуры; экотоксичность; сверхмалые дозы; бензотриазол; модельные эксперименты; ксенобиотики; ингибирование; стимулирование; толерантность; адаптации.

Введение

Последствия загрязнения биосферы широко используемыми химическими веществами интенсивно изучаются, однако многие вопросы, связанные с проблемами выживания организмов, подвергшихся их воздействию, остаются на сегодняшний день невыясненными. Особый интерес вызывают малые и сверхмалые дозы ксенобиотиков, попадающих в окружающую среду, потому что их действие мало изучено в лабораторных экспериментах. Между тем антропогенные поллютанты, попадая в биосферу в малых дозах, могут взаимодействовать с различными факторами окружающей среды, что приводит к неожиданным последствиям для организмов.

В экспериментальных исследованиях часто обнаруживается влияние неконтролируемых факторов, так называемого экологического «шума». Именно воздействие этого «шума» приводит к разбросу данных при оценке реакции организмов на ксенобиотик. Факторы, входящие в состав «шума», трудно определить из-за очень кратковременного воздействия или очень малых доз. В связи с этим все большую актуальность для прогнозирования возможных последствий загрязнения биосферы антропогенными соединениями приобретают исследования биологических эффектах поллютантов, попадающих в экосистемы в малых и сверхмалых дозах. По мнению некоторых авторов, проблема сводится к выяснению особенностей взаимодействия дозы – объект [1].

Для понимания последствий взаимодействия поллютантов в малых и сверхмалых и дозах и различных факторов окружающей среды необходимы специальные модельные эксперименты, с использованием тест-объектов, давно используемых в экотоксикологии, например виды рода *Allium*. Однако даже внутри этого рода разные виды обладают разными адаптационными возможностями, поэтому в модельных экспериментах необходимо исследование разных видов. Модельные антропогенные поллютанты, для анализа взаимодействия факторов окружающей среды с ксенобиотиками, должны обладать изученной токсичностью, а также давно и широко использоваться в различных отраслях человеческой деятельности. В связи с этим очень удобно использовать бензотриазол. Бензотриазол и его производные широко применяются как антикоррозийные средства [2–5], UV-фильтры [6] и лекарственные препараты [7]. Попадая в окружающую среду, бензотриазол и его дериваты способны накапливаться в организмах, влияя на их метаболизм и наследственность. Нам показалось интересным исследовать влияние данного поллютанта еще в более низких концентрациях при разных температурах проращивания, так как ранее было обнаружено, что использование бензотриазола в малой концентрации – 0,0001 мг/мл – при температуре +22°C стимулировало всхожесть семян и рост корней у *Allium fistulosum* [8, с. 107, 108].

Целью исследования был анализ реакций трех видов луков на организменном уровне (всхожесть се-

мян, рост корней) на проращивание их при двух контрастных температурах: +12°C и +22°C в спиртовых растворах бензотриазола трех концентраций 0,00001; 0,0001; 0,001 мг/мл.

Материалы и методы

Объекты исследования: *Allium cepa* (сорт Данилевский), *Allium fistulosum* (сорт Чиполлино), *Allium schoenoprasum* (сорт Чемал). Сорты были выбраны за высокую, по сравнению с другими сортами, всхожесть семян.

Использовали спиртовые растворы бензотриазола в концентрациях: 0,00001; 0,0001; 0,001 мг/мл. Растворителем служил 0,5% изопропиловый спирт.

Было поставлено 2 серии экспериментов.

1 серия. Семена исследуемых видов помещали на фильтровальную бумагу, пропитанную исследуемым раствором, и проращивали в термостате при +22°C.

В каждую чашку Петри помещали по 30 семян. Всего было по 3 повтора для анализа токсичности каждой концентрации бензотриазола. Контролем служили смена, проращиваемые в растворителе.

2 серия. Эксперимент проводился, как и в первой серии, но температура проращивания была +12°C.

Влияние факторов: растворы разных концентраций бензотриазола и контрастные температуры оценивали по двум показателям: всхожесть семян (%), средняя длина корней на 5 день роста (см).

Достоверность различий между сериями экспериментов и между разными видами оценивали с помощью двухфакторного дисперсионного анализа [9].

Результаты исследований

и их обсуждение

Результаты анализа влияния спиртовых растворов бензотриазола в разных концентрациях на всхожесть семян луков исследуемых трех видов при разных температурных режимах проращивания представлены на рис. 1.

Из полученных результатов видно, что все виды лука достоверно ($p < 0,000001$) по-разному реагируют на бензотриазол при разных температурах проращивания. Однако обнаруживаются общие негативные тенденции, выражающиеся в снижении всхожести при проращивании при температуре +12°C.

Проращивание при температуре +22°C в растворе бензотриазола 10^{-5} мг/мл показало слабое ингибирование всхожести, но при росте концентрации бензотриазола в диапазоне от 10^{-5} до 10^{-3} мг/мл достоверно растет ($p < 0,001$) стимулирующее действие бензотриазола.

Проращивание семян при низкой положительной температуре (+12°C) обнаруживает достоверное стимулирование всхожести при повышении концентрации с 10^{-5} до 10^{-3} мг/мл для 2-х видов: *A. cepa* и *A. fistulosum*. Вид *A. schoenoprasum*, отличившийся самой низкой всхожестью при температуре +22°C, продемонстрировал падение всхожести при температуре +12°C с ростом концентрации бензотриазола в избранном диапазоне концентраций.

Можно предположить, что столь низкие концентрации бензотриазола вызывают парадоксальные биологические ответы у всех исследуемых видов, выражающиеся в стимуляции всхожести в растворах бензотриазола при температуре +12°C по сравнению с контролем.

Для многих видов известно резкое понижение всхожести семян при положительно низких температурах [10, с. 25; 11, с. 29]. Авторы предположили, что низкие положительные температуры вызывают недоразвитие зародыша и впоследствии гибель организма. Прорастание семян является одним из малоизученных процессов с точки зрения биохимии и физиологии. Наиболее значимыми факторами, запускающими прорастание, служат влажность, температура почвы, аэрация и освещение [12].

Часто семена подвергаются холодной стратификации, что повышает их всхожесть [13, с. 16]. Ранее было показано, что оксидазные и оксигеназные системы в прорастающих семенах очень чувствительны к внешним факторам. Обработка примесью водорода во время предпосевной обработки семян активирует антиоксидантные системы, что связано с тем, что при понижении температуры все метаболические процессы в семенах замедляются, в том числе и выработка антиоксидантов, что приводит к повышению

повреждения тканей кислородом. Понижения активности пероксидазы можно избежать, используя низкомолекулярные соединения в предпосевных обработках пшеницы [14]. Предпосевная обработка семян душицы и календулы, обработанных препаратом Нано-Гро (фунгицид) повышало их всхожесть при температуре +14°C [15, с. 237]. Исследование влияния низких положительных температур на семена гречи выявило активацию ферментов антиоксидантной защиты [16]. Многие авторы полагают, что чувствительные к охлаждению виды часто имеют пониженную антиоксидантную систему ферментов по сравнению с устойчивыми видами [17].

Мы предположили, что бензотриазол в используемых нами сверхмалых дозах стимулирует антиоксидантные системы, повышая всхожесть семян, обеспечивая им выживаемость и ростовые процессы.

Для того чтобы оценить действие сверхмалых доз бензотриазола, мы проанализировали средние длины корней исследованных видов лука, пророщенных при контрастных температурах.

Результаты представлены на рис. 2.

Проведенный полный двухфакторный дисперсионный анализ показал, что все исследованные виды по-разному приспосабливаются к положительно низкой температуре (+12°C) ($p < 0,001$).

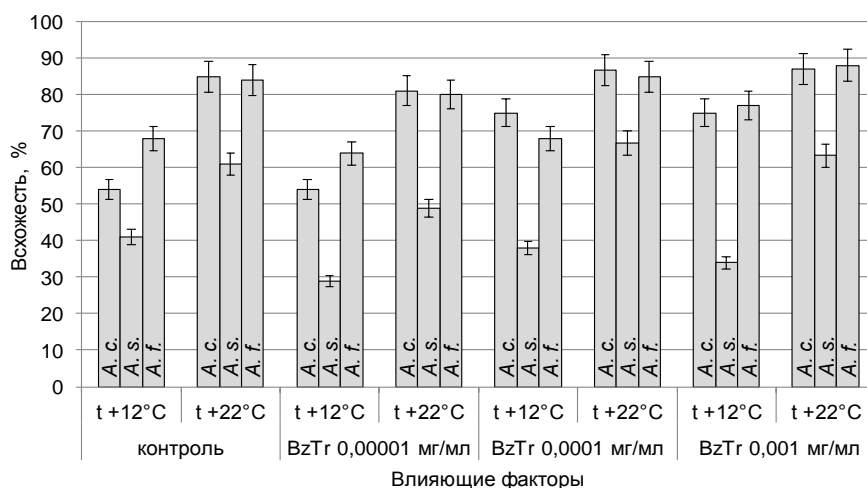


Рисунок 1 – Влияние бензотриазола (BzTr) в разных концентрациях на всхожесть семян разных видов лука при разных температурах. A. c. – *Allium cepa*, A. s. – *Allium schoenoprasum*, A. f. – *Allium fistulosum*

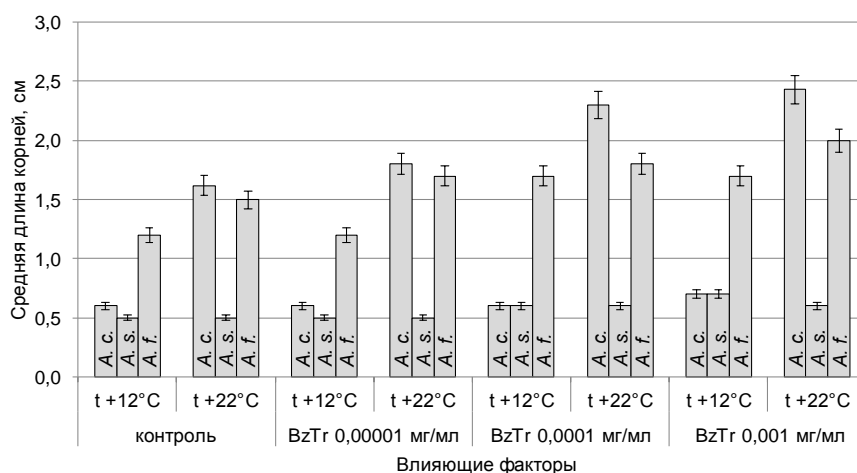


Рисунок 2 – Влияние малых и сверхмалых доз бензотриазола на среднюю длину корней лука при проращивании семян при разных температурных режимах. A. c. – *Allium cepa*, A. s. – *Allium schoenoprasum*, A. f. – *Allium fistulosum*

У *A. shoenoprasum* длина корней не изменилась под действием факторов бензотриазола, температурный режим проращивания также не повлиял на рост корней (рис. 2).

Ростовые процессы *A. sepa* оказались более чувствительны к проращиванию при разных температурных режимах. При температуре +12°C длина корней оказалась всего 0,6 см и не отличалась от контроля при этой же температуре, в то время как при температуре +22°C в контроле длина корней была 1,62 см. Мы обнаружили, что с ростом концентрации от 10⁻⁵ до 10⁻³ мг/мл бензотриазола растет его стимулирующее действие на рост корней этого вида ($p < 0,01$).

Ростовые процессы *A. fistulosum* оказались наименее чувствительными к разным температурам проращивания, но выявилась слабая тенденция стимуляции роста корней с ростом концентрации бензотриазола.

Абиотические факторы окружающей среды всегда влияют на жизнь растений. Особое значение для роста корней играют температура и химический состав почвы [18].

Виды растений, как правило, неспособные справиться со стрессорной нагрузкой, погибают. Известно, что часто внешние факторы при взаимодействии оказывают менее фатальное действие на живые организмы, чем каждый из них в отдельности [19; 20].

Полученные нами результаты говорят, что малые и сверхмалые дозы бензотриазола позволяют семенам исследованных видов лука справиться с проблемами прорастания при положительно низкой температуре (+12°C).

Выводы

1. Спиртовые растворы бензотриазола в концентрации с 10⁻⁵ до 10⁻³ мг/мл способствуют увеличению всхожести семян: *A. sepa* и *A. fistulosum* и в меньшей степени у *A. shoenoprasum* при температурном режиме +12°C.

2. Проращивание семян при температуре +22°C стимулирует всхожесть семян *A. fistulosum* и *A. shoenoprasum*. Для *A. sepa* с ростом концентрации бензотриазола растет его стимулирующее действие.

3. Средняя длина корней луков вида *A. sepa* и *A. shoenoprasum*, пророщенных при температуре +12°C в исследованных растворах бензотриазола, не отличалась от таковой в контроле.

4. Проращивание при температуре +22°C стимулирует ростовые процессы в растворах бензотриазола у видов *A. fistulosum* и *A. sepa*.

Список литературы:

1. Булатов В.В., Хохоев Т.Х., Дикий В.В., Заонегин С.В., Бабин В.Н. Проблема малых и сверхмалых доз в токсикологии. Фундаментальные и прикладные аспекты // Российский химический журнал. 2002. Т. XLVI, № 6. С. 58–62.

2. Агафонкин М.О. Ингибирование коррозии черных и цветных металлов в нейтральных средах 1,2,3-бензотриазолом и его композициями с солями карбоновых кислот: автореф дис. ... канд. хим. наук. М., 2011. 20 с.

3. Скрыпникова Е.А., Калужина С.Л., Провоторова Ю.И. Ингибирующее действие бензотриазола на локальную активацию меди в щелочно-нитратном растворе при различных температурах // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. Т. 18, вып. 5. С. 2321–1324.

4. Hong Y., Devagaralli V.K., Roy D., Babu S.U. Synergistic roles of dodecyl sulfate and benzotriazole in

enhancing the efficiency of CMP of copper // Journal of the Electrochemical Society. 2007. Vol. 154 (6). P. H444–H453.

5. Кузнецов Ю.И., Андреева Н.П., Агафонкин М.О. Адсорбция и защитные свойства 1,2,3-бензотриазола на сплаве МНЖ 5-1 в нейтральных растворах // Электрохимия. 2014. Т. 5, № 10. С. 1100–1105.

6. Zhang Z., Ren N., Li Y.F., Kunisue T., Gao D., Kannan K. Determination of benzotriazole and benzophenone UV filters in sediment and sewage sludge // Environmental Science and Technology. 2011. Vol. 45 (9). P. 3909–3916.

7. Ren Y., Zhang L.M., Zhou C.H., Geng R.H. Recent development of benzotriazole-based medicinal drugs // Medicinal Chemistry. 2014. Vol. 4. P. 640–662.

8. Селезнева Е.С. Анализ влияния бензотриазола на некоторые морфо-физиологические показатели *Allium fistulosum* // Самарский научный вестник. 2019. Т. 8, № 1 (26). С. 105–109.

9. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.

10. Балеев Д.Н., Бухаров А.Ф. Влияние температурного фактора на прорастание семян овощных зонтичных культур // Вестник РУДН. Серия: Агрохимия и животноводство. 2013. № 1. С. 19–28.

11. Михалик Т.А., Суницкая Т.В., Мохань О.В. Влияние температурного режима на всхожесть и энергию прорастания семян риса // Региональные проблемы. 2018. Т. 21, № 4. С. 28–31.

12. Стронг И.Г. Общее семеноведение полевых культур. М.: Колос. 1966. 155 с.

13. Бурченко Т.В., Лазарев А.В. Особенности прорастания семян *Geum urbanum* L. // Научные ведомости. Серия: Естественные науки. 2010. № 3 (74), вып. 10. С. 13–18.

14. Верхотуров В.В. Взаимное влияние пероксидазы и низкомолекулярных антиоксидантов при прорастании семян пшеницы: автореф дис. ... канд. биол. наук. Иркутск, 1999. 20 с.

15. Куркина Ю.Н., Пшеничная О.Г. Посевные качества семян лекарственных растений с противогрибковыми свойствами // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2011. № 9 (104), вып. 15. С. 234–237.

16. Шиленков А.В. Действие импульсного давления и низких температур на физиологические и биохимические процессы и урожай растений гречихи: дис. ... канд. биол. наук. Нижний Новгород, 2006. 128 с.

17. Костин В.И., Федорова И.Л., Чуваева С.С. Физиолого-биохимические аспекты ростовых процессов озимой пшеницы под влиянием ORGANIKALIFE // Вестник Ульяновской сельскохозяйственной академии. 2017. № 3 (39). С. 63–69.

18. Максимова Е.А., Косицына А.Л., Макурина О.Н. Влияние антропогенных факторов химической природы на некоторые эколого-биохимические характеристики растений // Вестник СамГУ. Естествознание. 2007. № 8 (58). С. 146–152.

19. Жуйкова Т.В., Безель В.С., Позолотина В.М., Северюхина О.А. Репродуктивные возможности растений в градиенте химического загрязнения среды // Экология. 2002. № 6. С. 432–437.

20. Чурюкин Р.С., Гераськин С.А. Проявление эффекта гормезиса у растений ячменя (*Hordeum vulgare* L.) в контрастных условиях произрастания при γ -облучении семян // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52, № 4. С. 820–829.

THE INFLUENCE OF GERMINATION TEMPERATURE AND ULTRA-LOW DOSES OF BENZOTRIAZOLE ON MORPHO-PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF ONIONS OF DIFFERENT SPECIES IN MODEL EXPERIMENTS

© 2020

Selezneva Ekaterina Sergeevna, candidate of biological sciences,
associate professor of Biochemistry, Biotechnology and Bioengineering Department
Gryaznova Maria Olegovna, student of Biology Faculty
Samara National Research University (Samara, Russian Federation)

Abstract. The adaptation of plants is manifested in the preservation of their physiological functions when exposed to various extreme environmental factors. In model experiments, we examined the influence of the combined action of such factors as alcohol solutions of benzotriazole in low concentrations (0,00001; 0,0001; 0,001 mg/ml) and contrasting positive temperatures (+12°C and +22°C) on germinating ability and growth processes of three species of onions (*Allium sulphur*, *Allium fistulosum* and *Allium schoenoprasum*) differing in various adaptive capabilities. It was found that, regardless of the germination temperature, with an increase in the concentration of benzotriazole solutions in a selected concentration range, stimulation of seed germination is observed for all studied species compared to the control. Benzotriazole had the maximum stimulating effect at a concentration of 0,001 mg/ml when germinating seeds at a temperature of +12°C. The effect on growth processes was determined by the average length of the roots of onions on the fifth day of growth. It was found that the length of the roots of onions of all studied species when germinating in benzotriazole solutions at a temperature of +12°C does not significantly differ from that in the control. When germinating seeds at +22°C, the root length of only two species (*Allium cepa*, *Allium fistulosum*) was higher than in the control. Possible mechanisms of the observed phenomenon are discussed.

Keywords: *Allium sulphur* L.; *Allium fistulosum* L.; *Allium schoenoprasum* L.; root length; germinating ability of seeds; survival; contrasting positive temperatures; ecotoxicity; ultra-low doses; benzotriazole; model experiments; xenobiotics; inhibition; stimulation; tolerance; adaptation.

* * *

УДК 581.1

DOI 10.24411/2309-4370-2020-11114

Статья поступила в редакцию 25.12.2019

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН Г. НИЖНЕГО НОВГОРОДА ПО УРОВНЯМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И БИОИНДИКАЦИОННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ЛИСТЬЕВ *BETULA PENDULA* ROTH

© 2020

Сидоренко Михаил Владимирович, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии
Юнина Валентина Петровна, старший преподаватель кафедры экологии
Ерофеева Елена Александровна, доктор биологических наук, доцент кафедры экологии
Савинов Александр Борисович, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии
Кузнецов Максим Дмитриевич, аспирант кафедры экологии
Новожилов Денис Алексеевич, аспирант кафедры экологии

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
(г. Нижний Новгород, Российская Федерация)*

Аннотация. В данной работе проводилась оценка экологического состояния рекреационных зон г. Нижний Новгород по уровню загрязнения почвы тяжелыми металлами (ТМ) и значениям биоиндикационных показателей березы повислой (*Betula pendula* Roth). Объектами исследования являлись 4 рекреационные зоны (ООПТ (памятники природы) – «Малиновая грядка» и «Щелоковский хутор», парки – «Дубки» и «Швейцария»). В качестве условно-контрольного биотопа рассматривался лесопарк «Щелоковский хутор», удаленный от источников загрязнения. Превышение нормативных показателей (в кратностях ПДК (ОДК)) по валовому содержанию тяжелых металлов наблюдалось в почвах только для никеля: в парке «Швейцария» – в 1,3 раза, в ООПТ «Малиновая грядка» – в 2,3 раза. Наиболее загрязненными тяжелыми металлами по суммарному показателю загрязнения (Зф) оказались почвы с категорией загрязнения – «умеренно опасные»: в ООПТ «Малиновая грядка» и в парке «Дубки». Биоиндикационные показатели листа *B. pendula* отклонялись от условной нормы на ряде изученных территорий. Так, качество среды, оцененное по интегральному показателю флуктуирующей асимметрии листа березы на территории ООПТ «Щелоковский хутор» и парка «Дубки», соответствовало 2 баллам (незначительное отклонение от нормы), на территории парка «Швейцария» – 3 баллам (среднее отклонение от нормы), а на ООПТ «Малиновая грядка» – 4 баллам (существенное отклонение от нормы). На двух наиболее загрязненных участках (парк «Дубки» и ООПТ «Малиновая грядка») отмечалось снижение содержания хлорофиллов в листе *B. pendula* относительно контроля (ООПТ «Щелоковский хутор»).

Ключевые слова: г. Нижний Новгород; рекреационная зона; почва; тяжелые металлы; медь; кобальт; никель; свинец; цинк; марганец; кадмий; хром; железо; ртуть; суммарный показатель загрязнения почв тяжелыми металлами; *Betula pendula* Roth; лист; флуктуирующая асимметрия; хлорофиллы; каротиноиды; биоиндикация.