

4. Экологическое образование и устойчивое развитие. Состояние, цели, проблемы и перспективы: материалы международной научно-методической конференции, 24–25 февраля 2022 г., г. Минск, Республика Беларусь: электронный сборник / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та. – М.: МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, 2022. – 555 с.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ФИТОИНДИКАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

MODERN METHODS OF PHYTOINDICATION OF TECHNOGENIC POLLUTION OF NATURAL ECOSYSTEMS BY HEAVY METALS

Е. Г. Бусько^{1,2}, Е. В. Акшевская^{1,2}

Eu. Buśko^{1,2}, E. Akshevskaya^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ

*²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
Минск, Республика Беларусь
giv@iseu.by*

¹Belarusian State University, BSU

*²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus*

Представлен метод биоиндикации экосистем тяжелыми металлами. Экологическая значимость этого метода по сравнению с иными типами биоиндикации подтверждена рядом преимуществ. Подчеркивается механизм накопления тяжелых металлов в мохообразных. Выполнена оценка современных лабораторных методов по определению тяжелых металлов в растительности. Представлена методика определения тяжелых металлов (меди, кобальта, свинца) в мохообразных. На основании современных исследований показана значимость как выбора видов мохообразных, так и описанной методики при определении тяжелых металлов в атмосфере, что подтверждает актуальность данной темы.

The method of bioindication of ecosystems by heavy metals is presented. The ecological significance of this method in comparison with other types of bioindication is confirmed by a number of advantages. The mechanism of accumulation of heavy metals in mosses is emphasized. The evaluation of modern laboratory methods for the determination of heavy metals in vegetation was carried out. The method of determination of heavy metals (copper, cobalt, lead) in mossy is presented. On the basis of modern research, the importance of both the selection of moss-like species and the described methodology for the determination of heavy metals in the atmosphere is shown, which confirms the relevance of this topic.

Ключевые слова: техногенное загрязнение, экологический мониторинг, биоиндикация, мохообразные, тяжелые металлы.

Keywords: technogenic pollution, ecological monitoring, bioindication, Bryophyta, heavy metals.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-165-169>

Современное развитие промышленности, энергетики, транспорта, рост населения, урбанизация и химизация всех сфер деятельности человека приводят к загрязнению биосферы, что ведет к нарушению нормального функционирования природных экосистем. Таким образом, все вышеуказанное подчеркивает необходимость постоянного экологического мониторинга отдельных компонентов биосферы.

В настоящее время существует множество методов индикации загрязнения отдельных компонентов окружающей среды – атмосферы, воды, почв, снежного покрова, растений и др. Это как физические, химические, технические методы, так и биологические. Сегодня биоиндикация является актуальной областью экологических исследований. Однако теория биоиндикации до сих пор не была сформулирована до конца, что подтверждает актуальность представленной темы.

Биоиндикация – основной инструмент биологического мониторинга, метод оценки качества среды обитания и состояния биологических систем с использованием живых организмов, поскольку последние наиболее чувствительны к различным видам антропогенного воздействия, она дает наиболее достоверную картину об уровне загрязнения окружающей среды.

Существует множество видов биоиндикации – в зависимости от используемых систематических групп живых организмов выделяют альгоиндикацию (индикаторы – водоросли), лишеноиндикацию (лишайники), фитоиндикацию (высшие сосудистые растения), дендроиндикацию (древесные виды), зооиндикацию (животные), а также бриоиндикацию (мохообразные) [1]. В Беларуси особенно часто в качестве биоиндикатора используют лишайники и древесные виды.

Однако, по нашему мнению, метод бриоиндикации имеет ряд преимуществ:

1. В настоящее время подчеркивается значимость известных заключений, такие как корреляция между содержанием тяжелых металлов в окружающей среде и фитомассе мохообразных, что часто используется в экологическом мониторинге под названием «moss technique», или «моховая техника».

2. Мхи можно выявлять в любое время года, так как эти растения являются пойкилогидрическими, т. е. насыщенность их тканей влагой может меняться в широких пределах, в зависимости от условий окружающей среды, вплоть до полного высыхания, что не мешает им сохранять свою жизнеспособность.

3. Во многих природных и техногенных ландшафтах часто наблюдаются случаи низкого проективного покрытия травостоя, но при этом моховой ярус достаточно развит. Тогда бриоиндикация – единственный способ экологической оценки такого рода [4].

Механизм накопления тяжелых металлов в мхах обусловлен отсутствием или сильным уменьшением кутикулы у этих растений, что приводит к проникновению ионов через ее поверхность непосредственно к ионообменным местам на стенках клеток. Поскольку поверхность листьев содержит лишь один слой клеток, осуществляется очень тесный контакт с окружающей атмосферой, и именно этим путем питательные вещества и тяжелые металлы поступают внутрь тканей. При сравнении аккумуляции тяжелых металлов различными видами растений некоторые исследователи отмечают существенно более высокий уровень накопления тяжелых металлов лишайниками и, особенно, мохообразными в зоне воздействия предприятий металлургии (рис. 1–3). Кроме того, тесно сидящие ветви и образование плотно сомкнутого растительного покрова позволяют мхам эффективно фильтровать воздух, поглощая основное количество пыли из атмосферы. Так, установлено, что почти 100 % начального поступления тяжелых металлов перехватываются мхом, причем в дальнейшем около 20 % могут вымываться атмосферными осадками [3].

В последние десятилетия проводились исследования, касающиеся выбора видов мохообразных для определения тяжелых металлов в атмосфере. В качестве индикаторов тяжелых металлов рекомендованы эпифитные бриофиты *Hypnum revolutum* (Mitt.) Lindb., *Distichium capillaceum* L., *Orthotrichum fallax* L.; а также широко применяются и эпигейные виды: *Dicranum scoparium*, *Pottia bryoides*, *Tortula inermis* (Brid.) Mont., *Hylocomium splendens* (Hedw.) B. S. G., *Pohlia nutans*, *Pleurozium schreberi*, *Funaria hygrometrica* и многие другие.

Нами были проанализированы современные лабораторные методы по определению тяжелых металлов и фтора химическими методами в почвах, растениях и водах при изучении степени загрязнения окружающей среды.

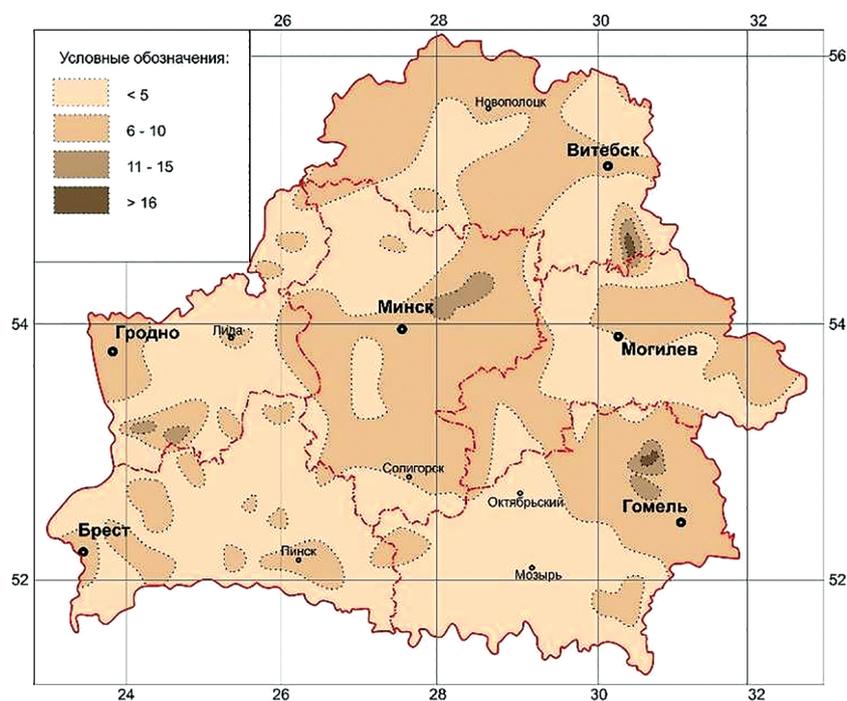


Рисунок 1 – Карта-схема содержания меди в растительности Беларуси [5]

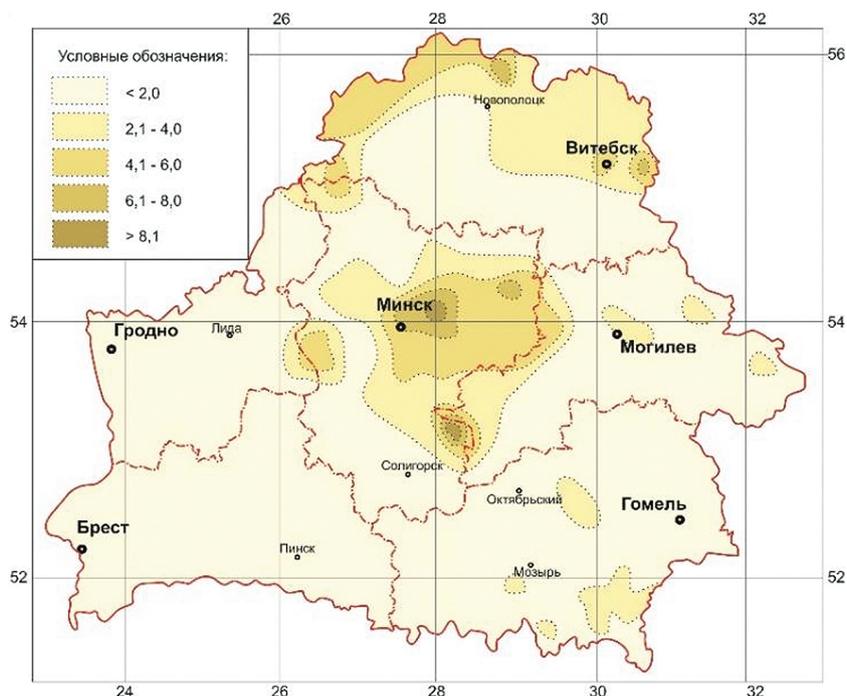


Рисунок 2 – Карта-схема содержания кобальта в растительности Беларуси [5]

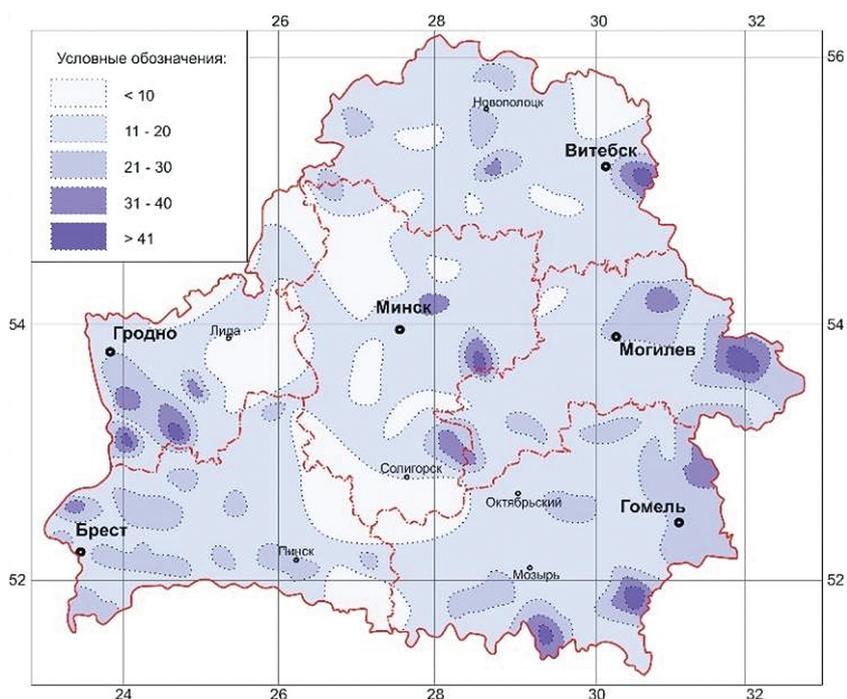


Рисунок 3 – Карта-схема содержания свинца в растительности Беларуси [5]

Методика определения тяжелых металлов (Cu, Co, Pb) в мохообразных

1. **Подготовка биоматериала.** Растения высушивают до воздушно-сухого состояния и тонко измельчают на мельнице типа «Пируэт». Навеску 2 г. помещают в платиновую чашку (объем 50 мл, диаметр 4 см), ставят в холодный муфель, постепенно поднимая температуру до 500 °С, и озоляют при этой температуре 4 часа. Чашки вынимают из муфеля, охлаждают и обрабатывают золу, добавляя бидистиллят и азотную кислоту. Затем, высушивают на закрытой электрической плитке при невысокой температуре и снова помещают в муфель на 15–20 мин. Полученную золу обрабатывают 2 раза соляной кислотой, высушивая на закрытой электрической плитке. Затем золу растворяют при нагревании в 10 мл 10% раствором HCl и фильтруют через фильтр (белая лента), промывая водой, подкисленной HCl. Если на фильтре остается заметный осадок, фильтр с осадком переносят в платиновую чашку или тигель, подсушивают на электрической плитке и помещают в муфель, прокаливая при температуре 500 °С. Когда остаток в тигле станет белым, его обрабатывают несколькими каплями воды, соляной кислоты

и 2–3 мл фтористоводородной кислоты, выпаривают на закрытой электрической плитке и снова обрабатывают фтористоводородной кислотой. Двух обработок фтористоводородной кислотой бывает вполне достаточно, чтобы полностью удалить SiO_2 . Остаток растворяют при нагревании в 10% растворе соляной кислоты и полученный раствор присоединяют к основному раствору. Раствор зол помещают в мерную колбу емкостью 50 мл и доводят до метки бидистиллированной водой. В полученном растворе определяют тяжелые металлы, иногда для определения можно пользоваться аликвотной частью раствора, но часто на определение одного элемента химическим методом расходуется весь раствор. Озольять сразу большую навеску не рекомендуется, поскольку при этом могут происходить заметные потери тяжелых металлов.

2. Определение меди. Зольный раствор, соответствующий 1–2 г растительного материала, переносят в капельную воронку емкостью 100 мл. Прибавляют 2 капли раствора фенолфталеина и 5–10 мл 10% раствора лимоннокислого аммония, перемешивают и прибавляют по каплям концентрированный аммиак до получения слабого розового окрашивания. Затем добавляют из бюретки 15 мл свежеприготовленного раствора диэтилдитиокарбамата свинца в CCl_4 и встряхивают 10 минут. Дают фазам разделиться и фильтруют органическую фазу через сухой, свободный от следов меди, фильтр в кювету фотоколориметра с толщиной просматриваемого слоя в 1 или 2 см и измеряют оптическую плотность при 453 нм против CCl_4 . По полученным для стандартных растворов величинам оптических плотностей строят градуировочную кривую, по которой устанавливают содержание меди в испытуемых растворах.

3. Определение кобальта. Содержание кобальта в растениях обычно очень низкое, поэтому его определение с нитрозо-R-солью затруднено недостаточной чувствительностью реакции. Для определения кобальта в растениях могут быть рекомендованы ПААФ (2,2-пиридилазо-5-диэтиламинофенол) и ПААК (5,2-пиридилазо-2-моноэтиламино-крезол). В стакан емкостью 50 мл помещают раствор зол, отвечающий 2,5 г растительного материала, осторожно выпаривают и растворяют остаток в 10 мл 0,3 М раствора HCl . Приливают 2,5 мл 20 % лимоннокислого натрия, 2,5 мл 3 М раствора уксуснокислого натрия. Тщательно перемешивают, pH раствора должно быть близким 5. Прибавляют 1 мл 0,05% раствора ПААФ или ПААК, перемешивают. Через 10 минут приливают 1 мл насыщенного раствора трилона Б, снова перемешивают и ставят на 30 минут на водяную баню, нагретую до температуры 80 °С. Охлажденный раствор переносят в капельную воронку емкостью 100 мл, на которой намечен объем 20 мл, и доводят объем раствора бидистиллированной водой до метки. Приливают 5 мл хлороформа и встряхивают в течение 5 минут. После разделения слоев нижний органический слой сливают в кювету фотоколориметра. Колориметрирование рекомендуется выполнять на приборе «Спекол» для ПААФ при 570 нм и для ПААК при 350 нм (кювета с просматриваемым слоем 3 см). В качестве холостого раствора используют раствор, содержащий все реактивы, кроме кобальта. Для построения калибровочного графика в стаканчики емкостью 50 мл помещают по 10 мл стандартного рабочего раствора кобальта, содержащего 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,5 и 1,0 мкг Co .

4. Определение свинца. Содержание свинца в растениях в среднем составляет 0,5 мкг/г, поэтому для его определения приходится работать с большой навеской. 10–15 г измельченных и высушенных до абсолютно сухого состояния растений помещают в фарфоровую чашку и сжигают в муфеле при температуре 450 °С. Золу обрабатывают азотной кислотой, высушивают на водяной бане и ставят на 15–20 минут в муфель. Осветленную золу растворяют в соляной кислоте, как описано выше. Солянокислый раствор зол помещают в капельную воронку на 100 мл, добавляют 5–10 мл 10% лимоннокислого аммония и раствор нейтрализуют аммиаком до перехода окраски индикатора в синюю (тимоловый синий), pH раствора отвечает 9–10. Приливают 5 мл 0,01 % раствора дитизона в CCl_4 и интенсивно встряхивают в течение 5 мин. Дают фазам разделиться и сливают дитизиновый слой в чистую капельную воронку. Операцию экстракции дитизином повторяют до тех пор, пока дитизон не перестанет менять свою первоначальную зеленую окраску. К собранным дитизионатным экстрактам приливают 2 раза по 10 мл 0,02 н раствора HCl и встряхивают, при этом свинец и цинк переходят в водную фазу. Водную фазу помещают в капельную воронку. Прибавляют несколько капель фенолового красного и нейтрализуют раствором соды до перехода окраски индикатора в оранжевую. Добавляют 2 мл 10% раствора желтой кровяной соли, затем 2 мл 1% раствора гидросиламина и 2 мл 10 % раствора лимоннокислого аммония, перемешивают и нейтрализуют раствором соды до малинового окрашивания фенолового красного (pH 8,5–9,0). Добавляют 10 мл 0,001 % раствора дитизона в CCl_4 , энергично встряхивают в течение 30 сек и после разделения фаз сливают дитизиновый слой, содержащий дитизионат свинца, непосредственно в кювету фотоколориметра с просматриваемым слоем в 1–2 см и немедленно фотоколориметрируют при 520 нм против раствора CCl_4 . Строят калибровочную кривую, беря стандартные растворы с содержанием свинца 2; 2,5; 10 мкг/мл.

В заключение следует отметить, что некоторые из представленных методов не проходили экспериментальной проверки и были представлены лишь по литературным источникам. Исходя из этого существует перспективное научное направление в указанной области. Представленные нами методики требуют проверки и доработки, а также необходимо определить специфичность методов для мохообразных. Разумеется, использование представленных методик возможно для любых видов растений, однако экологическая значимость мохообразных в вопросах техногенного загрязнения экосистем тяжелыми металлами подтверждена рядом современных исследований и будет подтверждаться в новых экспериментах, накапливая опыт в продолжении изучения техногенного загрязнения экосистем в мире.

ЛИТЕРАТУРА

1. Steinees, E. Environmental Science and Technology / S. N. Meijer, W. A. Ockeneden, E. Steinees, B. P. Corrigan and K. C. Jones. 37. 2003. – P. 454.
2. Акатьева, Т. Г. Оценка качества атмосферного воздуха в с. Армизонское Тюменской области методом биоиндикации // Вестник Нижневарттовского государственного университета. №1/2020. – С. 151–156.
3. Баркан, В. Ш. Содержание тяжелых металлов в доминантных видах мхов как индикатор аэротехногенной нагрузки / В. Ш. Баркан, И. В. Лянгузова // Лапландский государственный биосферный заповедник. Экология, № 2. – 2018. – С. 119–126.
4. Богданова, Я. А. О выявлении экологических оптимумов мохообразных / Я. А. Богданова, Е. С. Корчиков, Н. В. Прохорова // Самарский научный вестник. –2016. № 1 (14). – С. 10–14.
5. Бусько, Е. Г. Техногенное загрязнение лесных экосистем Беларуси / Е. Г. Бусько, Е. А. Сидорович, Ж. А. Рупасова, К. Д. Чубанов, Н. М. Арабей, К. К. Кирковский, Н. И. Пикулик // Наука и техника, 1995. – С. 317.

СОСТОЯНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СОХРАНЕНИЯ ПОПУЛЯЦИИ *POTENTILLA RUPESTRIS* L.

STATUS AND OPTIMISATION OF THE *POTENTILLA RUPESTRIS* L. POPULATION

Т. В. Юнкевич¹, А. Г. Чернецкая^{2,3}
T. V. Yunkevich¹, A. G. Chernetskaya^{2,3}

¹Полесский государственный университет, г. Пинск, Республика Беларусь
tatyana_yunkevich@mail.ru

²Белорусский государственный университет, БГУ

³Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
alla.chernetskaya@iseu.by, chealval@gmail.com

¹Polessky state university, Pinsk, Republic of Belarus

²Belarusian State University, BSU

³International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU,
Minsk, Republic of Belarus

За последнее время значительно сократились размеры популяций видов растений: по площади ареала и численность особей, подверженных наибольшему риску исчезновения (виды I–II категорий охраны), что свидетельствует о регрессивном типе сукцессионной динамики этих популяций и необходимости принятия срочных специальных мер охраны и реинтродукции.

В статье представлены результаты оценки состояния и оптимизации сохранения популяций охраняемых растений на примере вида I категории охраны *Potentilla rupestris* L.

Recently, the size of plant species populations has significantly decreased: in terms of area and the number of individuals at greatest risk of extinction (species of protection categories I–II), indicating a regressive type of successional dynamics of these populations and the need to take urgent special protection and reintroduction measures.

The article presents the results of assessment of the state and optimization of conservation of populations of protected plants by the example of species of protection category I, *Potentilla rupestris* L.

Ключевые слова: мониторинг охраняемых растений, лекарственные растения, редкие и охраняемые растения, категории охраны, *Potentilla rupestris* L.

Keywords: protected plant monitoring, medicinal plants, rare and protected plants, protection categories, *Potentilla rupestris* L.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-169-172>

В составе отечественной и иностранных фармакопей насчитываются сотни лекарственных средств произведенных на основе растительного сырья. В последнее время особо возрастает интерес к лекарственным средствам из растений. Около 80 % мирового населения применяет растительные препараты. Из всех видов высших сосудистых растений планеты около 80000 имеют лекарственное значение [1]. Лекарственные растения являются категорией особо уязвимой вследствие интенсивной, нерациональной, недостаточно контролируемой заготовки сырья. При введении в культуру лекарственных растений – мере, являющейся крайне необходимой в условиях быстрого истощения дикорастущих ресурсов [1] – учет разнообразия природных популяций является также важным.