УДК 630*116:550.4:550.83.093:574.2(476.7)

Екатерина Ивановна Ильютчик[1], Наталия Михайловна Матусевич[2]
[1] магистрант факультета естествознания
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина
[2]канд. биол. наук, доц., доц. каф. ботаники и экологии
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина
Ekaterina Ilyutchik[1], Natalia Matusevich[2]
[1]Master's Student of the Faculty of Natural Sciences
of Brest State A. S. Pushkin University
[2]PhD in Biological Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Botany and Ecology
of Brest State A. S. Pushkin University
e-mail: NMMatusevich@yandex.ru

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВ В АРЕАЛЕ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ АНОМАЛИИ «ЗЕЛЕНЫЙ БОР» ИВАЦЕВИЧСКОГО РАЙОНА МЕТОДОМ АЛЬГОИНДИКАЦИИ

Изучен состав почвенных водорослей в ареале геохимической аномалии «Зеленый Бор» (Ивацевичский район) юго-восточного и северо-восточного направления трансекты, выявлен спектр их жизненных форм. Обнаружено 16 родов водорослей, относящихся к 4 отделам, 8 классам, 12 порядкам. Спектр жизненных форм почвенных водорослей юго-восточного направления представлен в следующей формуле: $Ch_5H_3B_2C_1$. Спектр жизненных форм почвенных водорослей северо-восточного направления представлен в следующей формуле: $Ch_4C_4H_3B_3$.

Ключевые слова: *почвенные водоросли, состояние почвы, альгоиндикация, спектр жизненных форм, геохимическая аномалия «Зеленый Бор».*

Assessment of the Soil Condition in the Area of the Geochemical Anomaly «Zeleny Bor» of the Ivatsevichi District by the Method of Algoindication

The composition of soil algae in the area of the geochemical anomaly «Zeleny Bor» (Ivatsevichi district) of the south-eastern and north-eastern transects was studied, the spectrum of their life forms was revealed. 16 genera of algae belonging to 4 division, 8 classes, 12 orders were found. The spectrum of life forms of soil algae of the south-eastern direction is presented in the following formula: $Ch_5H_3B_2C_1$. The spectrum of life forms of soil algae of the north-eastern direction is presented in the following formula: $Ch_4C_4H_3B_3$.

Key words: *soil algae, soil condition, spectrum of the life forms, geochemical anomaly «Zeleny Bor».*

Введение

В настоящее время возрастает интерес к методам биодиагиостики состояния сред, среди которых особое место занимает почва – главный биохимический барьер на пути миграции загрязнителей в сопредельные среды. Использование микроорганизмов для биодиагностики загрязненных почв является перспективным направлением исследований.

Почвенные водоросли составляют неотъемлемую часть эдафона, имеют многочисленные трофические и топические связи, участвуют в почвообразовательном процессе, обладают специфической чувствительностью к различным видам антропогенного воздействия и быстрой ответной реакцией на изменение экологической ситуации [1; 2]. В связи с этим почвенные водоросли как объекты биодиагностики представляют значительный научный и практический интерес, но реакция почвенного альгоцианобактериального сообщества на загрязнение соединениями потенциально токсичных элементов изучена недостаточно. Кроме того, в приоритетном списке загрязнителей почвы одно из первых мест занимает свинец вследствие широкого использования, высокой токсичности и способности к аккумуляции в цепях питания живых организмов [3; 4].

В связи с этим интерес вызывает развитие почвенной биоты в местах геохимических аномалий, таких как «Зеленый Бор» Ивацевичского района. Выявление закономерностей в жизнедеятельности водорослей в конкретных условиях среды может позволить проводить аналитическую оценку биологического состояния почв.

Целью исследования является установление состава почвенных водорослей и оценка состояния почв в ареале геохимической аномалии «Зеленый Бор» Ивацевичского района методом альгоиндикации.

Материалы и методы

Исследуемая территория расположена в Ивацевичском районе Брестской области в 8,5 км к юго-западу от г. Ивацевичи, в 0,6 км к северо-востоку от поселка Зеленый Бор и в 2,2 км к юго-востоку от железнодорожной станции Нехачево. Территория промышленной площадки, где в 2015–2018 гг. несанкционированно размещалась зола свинцовая (изгарь) на протяжении длительного времени принадлежала АБЗ «Нехачево» ОАО «ДСТ № 4 г. Брест». В последние 5 лет собственник площадки неоднократно менялся. В геоботаническом отношении эта зона принадлежит к подзоне грабово-дубово-темнохвойных лесов Неманско-Предполесского округа Западно-Предполесского геоботанического района. Подзона грабово-дубово-темнохвойных лесов занимает центральную часть территории Беларуси; расположена между северной границей ареала граба и южной – сплошного распространения ели. Данная подзона является переходной между темнохвойными и широколиственными лесами и представляет собой арену активного взаимопроникновения бореальных и неморальных фитоценозов, что, в свою очередь, обусловливает повышенное разнообразие растительных сообществ и их высокую флористическую насыщенность. В геоморфологическом отношении подзона включает западную часть Белорусской гряды и приледниковые равнины, включая Прибужскую. Рассматриваемая территория при движении к югу постепенно переходит в Полесскую низменность. Западная часть подзоны лежит в бассейне Немана и Западного Буга, восточная – левых притоков Припяти [5]. Климат умеренно теплый и умеренно влажный. Средняя годовая температура – около +6,5 ^{0}C, среднегодовое количество осадков – около 595 мм. Преобладающие почвы – дерново-подзолистые, развивающиеся на водно-ледниковых песках и супесях; в меньшей степени представлены торфяно-болотные почвы. Как следует из метеорологических наблюдений, в теплый период года в локации доминируют воздушные потоки северо-западного и западного направлений. Открытая территория промплощадки способствовала сносу пылевых частиц с поверхности складированных отходов западными, юго-западными и северо-западными ветрами, в меньшей степени – северными, восточными и южными, что и послужило основным фактором формирования пространственного рисунка ареалов загрязнения лесного массива с вектором направления в сторону востока и юго-востока.

Согласно отчету о НИР «Особенности распределения и миграции тяжелых металлов в почвах и растительных объектах экосистем в ареале площадки складирования свинецсодержащих отходов (пос. Зеленый Бор Ивацевичского района) с разработкой рекомендаций по минимизации экологических рисков», выполненной в ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси», место исследования является одним из наиболее существенных экологических инцидентов последних лет на территории Брестской области – химическое загрязнение территории в районе поселка Зеленый Бор (Ивацевичский район) в ареале несанкционированного складирования золы свинцовой – одного из свинецсодержащих отходов, образующихся на ООО «Белинвестторг-Сплав» (г. Белоозерск) при рециклинге отработанных аккумуляторных батарей и производстве марочного свинца и сплавов (порядка 10 тыс. т в год). Объем складированных отходов ориентировочно оценивался в 10–12 тыс. т. За время хранения отходов (около 3-х лет)

произошло существенное загрязнение тяжелыми металлами почвогрунтов как самой площадки размещения отходов, так и прилегающей лесопокрытой территории.

На основании результатов, полученных в ходе обследования местности, были сделаны следующие выводы:

1) особое внимание необходимо уделить изучению загрязнения местности соединениями свинца в северо-восточном, юго-восточном направлении, поскольку пыль с поверхности складированных насыпью отходов на площадке хранения преимущественно сносилась ветром в этих направлениях по розе ветров;

2) возможный масштаб распространения пылевого загрязнения в западном направлении оценивается как незначительный, учитывая небольшие (до 5 %) объемы хранившихся в полузахороненном состоянии свинецсодержащих отходов на северо-западном углу промплощадки;

3) в локации установлена высокая неоднородность растительного покрова с выявлением более 20 типов биоценозов. Участки с развитым древостоем чередуются с открытыми местоположениями (разнотравно-осоковое низинное болото в северо-восточном секторе лесного массива) и участками с молодой лесной порослью, кустарниковой растительностью. Характер растительного покрова и микрорельеф местности оказали существенное влияние на проникновение воздушно-пылевого загрязнения в глубь лесного массива, в той или иной степени действуя как естественные преграды для переноса свинецсодержащей пыли.

Основываясь на этих данных, сформировано несколько трансект по основным направлениям розы ветров с целью отбора образцов почв и растений, последующих лабораторных испытаний и установления масштабов загрязнения лесного массива тяжелыми металлами. На каждой трансекте размещено 10 и более пробных площадок (ПП), на максимальном удалении до 350 м и более от торца промплощадки (рисунок 1). Это позволило провести анализ пространственного распределения загрязнения почв металлами по градиенту загрязнения; критерием загрязненности служило превышение уровня содержания тяжелых металлов в почвенном покрове в сравнении с ПДК.

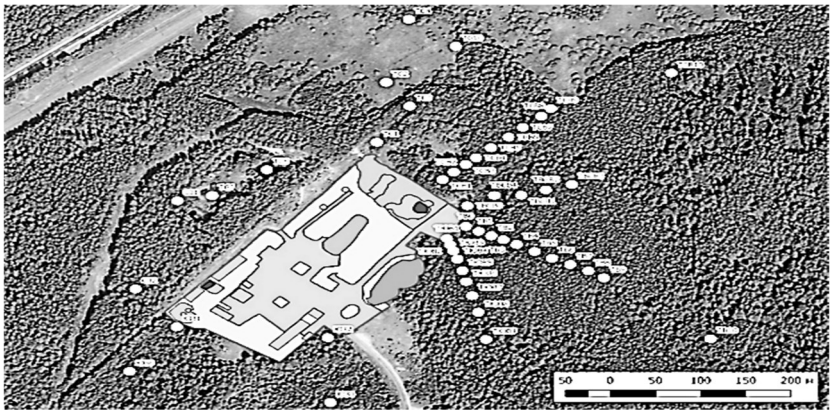

Рисунок 1 – Схема размещения ПП
в зоне потенциального загрязнения вокруг промплощадки

По результатам исследования особенностей пространственного распределения пылевых выбросов было произведено зонирование территории прилегающего к промплощадке лесного массива по степени загрязнения верхних горизонтов почвенного покрова (рисунок 2).

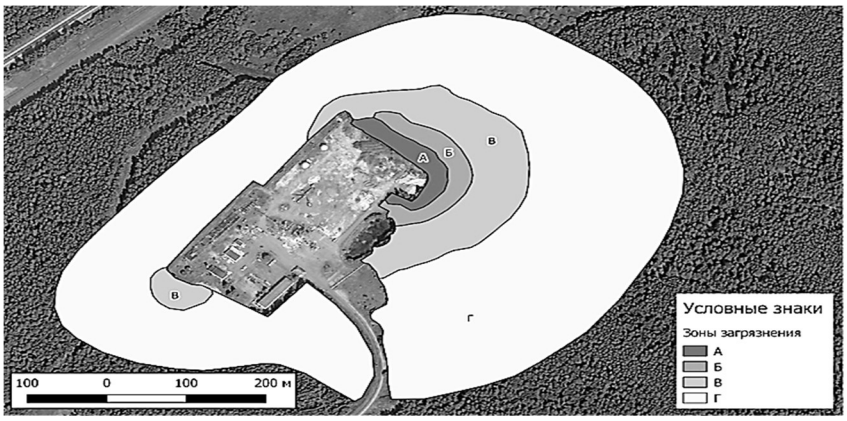

Рисунок 2 – Зонирование территории прилегающего к промплощадке лесного массива по степени загрязнения верхних горизонтов почвенного покрова

А. Зона очень высокого загрязнения, 0,54 га. На удалении 0–25–35 м от торца площадки хранения отходов в восток-северо-восточном, восточном, юго-восточном и южном направлениях. Валовое содержание свинца в подстилке: от 7 935 мг/кг до 1 600 мг/кг.

Б. Зона высокого загрязнения, 0,74 га. На удалении в интервале 30–60 м от торца площадки хранения отходов в восток-северо-восточном, восточном, юго-восточном и южном направлениях. Содержание свинца: от 1 600 мг/кг до 640 мг/кг.

В. Зона среднего загрязнения, 3,45 га. На удалении в интервале 60–150 м от торца площадки хранения отходов в восток-северо-восточном, восточном, юго-восточном и южном направлениях; участок на удалении 0–30 м в юго-западном направлении от двух емкостей для хранения нефтепродуктов; участок на удалении 0–30 м на северо-восточном углу площадки для складирования отходов. Содержание свинца: от 640 мг/кг до 160 мг/кг.

Г. Зона слабого загрязнения, оценочно 25–35 га. На удалении в интервале 150–250–300 м от торца площадки хранения отходов в восток-северо-восточном, восточном, юго-восточном и южном направлениях; участок леса на удалении в интервале 50–100 м в юго-западном направлении от двух емкостей для хранения нефтепродуктов; участок леса в северном направлении вдоль железнодорожной насыпи на удалении до 60–70 м; участок леса возле проходной и вдоль подъездной дороги (200–300 м вдоль дороги по направлению к пос. Зеленый Бор). Содержание свинца снижается по мере удаления: от 160 мг/кг до значений ниже ПДК для почв (32 мг/кг) [6].

ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси» на вышеуказанной территории организован научный стационар экологического мониторинга и заложены постоянные пробные площадки для долгосрочных наблюдений и отбора почвенных и растительных образцов в границах зон очень высокого и высокого загрязнений.

Отбор образцов почвы для последующего лабораторного анализа проводился по ГОСТ 17.4.4.02-2017 [7]. При выяснении особенностей пространственного загрязнения территории образцы отбирали из слоя подстилок и горизонта A_1 до глубины 10 см в пяти местах (методом конверта) и составляли смешанный образец.

Выявление таксономического состава производили при помощи метода прямого микроскопирования – непосредственного просмотра небольших порций почвы под микроскопом, препарат в капле воды дает представление о доминирующих видах [8; 9]. Располагая индексы жизненных форм в порядке убывания числа видов, получили спектр жизненных форм по Штиной и Голлербаху [10].

Результаты и их обсуждение

В почвах с целостным растительным покровом, загрязненных тяжелыми металлами, обнаружено 16 родов водорослей, относящихся к 4 отделам, 8 классам, 12 порядкам [11]. Для двух направлений можно выделить специфические роды. Так, только в юго-восточном направлении обнаружены роды *Palmella* Lyngb, *Coccomyxa* Schmidle. Роды *Nitzschia* Hass., *Pandorina* Bory, *Mesotaenium* Näg., *Elakatothrix* Wille выявлены только в северо-восточном направлении исследуемой трансекты. Распределение почвенных водорослей по экобиоморфам, или жизненным формам, характеризует экологические особенности водорослей независимо от их систематической принадлежности. Располагая индексы жизненных форм в порядке убывания числа видов, выявили спектры жизненных форм.

На шести пробных площадях юго-восточного направления трансекты было выявлено и определено 11 родов водорослей (таблица 1).

Таблица 1 – Почвенные водоросли юго-восточного направления

Отдел	Класс	Порядок	Род	Жизненная форма
Cyanophyta	*Chroococcophyceae*	*Chroococcales*	*Gloeocapsa* (Kütz.) Hollerb. Em.	*Ch*
	Hormogonio-phyceae	*Ocsillatoriales*	*Ocsillatoria* Vauch.	*Ch*
Bacillariophyta	*Pennatophyceae*	*Araphales*	*Fragilaria* Lyngb.	*B*
		Raphales	*Navicula* Bory	*B*
Xanthophyta	*Xanthotricho-phyceae*	*Tribonematales*	*Tribonema* Derbes et Solier	*H*
Chlorophyta	*Volvocophyceae*	*Chlamydomo-nadales*	*Chlamydomonas* Ehr.	*C*
	Protococco-phyceae	*Chlorococcales*	*Chlorella* Beyer.	*H*
			Palmella Lyngb.	*Ch*
			Coccomyxa Schmidle.	*Ch*
	Ulothricho-phyceae	*Chaetophorales*	*Pleurococcus* Menegh.	*H*
		Ulothrichales	*Elakatothrix* Wille	*Ch*

Спектр жизненных форм альгофлоры юго-восточного направления представляет собой сочетание четырех экобиоморф. Исходя из формулы $Ch_5H_3B_2C_1$ заметно преобладание Ch-биоморфы. Это пять представителей из отделов *Cyanophyta*и *Chlorophyta.* Ch-форма – это одноклеточные, образующие колонии водоросли, обитающие в подстилке и поверхностном слое почвы. Для них характерна стадия цисты для перенесения неблагоприятных условий, в т. ч. засухи, засоления и перенасыщения почвы потенциально токсичными элементами. Представители биоморфы H из отдела *Chlorophyta и Xantho-phyta*живут рассеянными среди почвенных частиц колониями, относительно устойчивы к неблагоприятным условиям. B- и C-водоросли, располагающиеся в самых верхних частях почвы, – диатомовые и зеленые водоросли. Как правило, они образуют достаточное количество слизи и существуют в ней, либо поселяются в слизистых чехлах других водорослей.

На шести пробных площадях северо-восточного направления трансекты было выявлено и определено 14 родов водорослей (таблица 2).

Таблица 2 – Почвенные водоросли северо-восточного направления

Отдел	Класс	Порядок	Род	Жизненная форма
Cyanophyta	*Chroococcophyceae*	*Chroococcales*	*Gloeocapsa* (Kütz.) Hollerb. Em.	*Ch*
	Hormogoniophyceae	*Ocsillatoriales*	*Ocsillatoria* Vauch.	*Ch*
Bacillario-phyta	*Pennatophyceae*	*Araphales*	*Fragilaria* Lyngb.	*B*
		Raphales	*Navicula* Bory	*B*
			Nitzschia Hass.	*B*
Xanthophyta	*Xanthotrichophyceae*	*Tribonematales*	*Tribonema* Derbes et Solier	*H*
Chloro-phyta	*Volvocophyceae*	*Chlamydomona-dales*	*Chlamydomonas* Ehr.	*C*
		Volvocales	*Pandorina* Bory	*C*
	Protococcophyceae	*Chlorococcales*	*Chlorella* Beyer.	*H*
	Conjugatophyceae	*Desmidiales*	*Closterium* Nitzsch.	*C*
		Mesotaeniales	*Mesotaenium* Näg.	*C*
	Ulothrichophyceae	*Chaetophorales*	*Pleurococcus* Menegh.	*H*
		Ulothrichales	*Elakatothrix* Wille	*Ch*
			Chlorhormidium Fott	*Ch*

Спектр жизненных форм эдафофильных водорослей на северо-восточном направлении представлен четырьмя биоморфами и описывается формулой Ch4C4.H3B3. Благодаря специфическим видам формула меняется в сторону увеличения С-форм водорослей, что свидетельствует о достаточном количестве доступной для живых организмов влаги.

В техногенно преобразованных экотопах ареала геохимической аномалии «Зеленый бор» выявлены разнообразные альгогруппировки, отличающиеся от таковых ненарушенных почв. Кроме того, для данного участка исследования характерно линейное увеличение разнообразия почвенных водорослей по мере удаления от источника загрязнения (рисунок 3). Реакция водорослей на загрязнение в условиях целостного и нарушенного почвенно-растительного покрова различна.

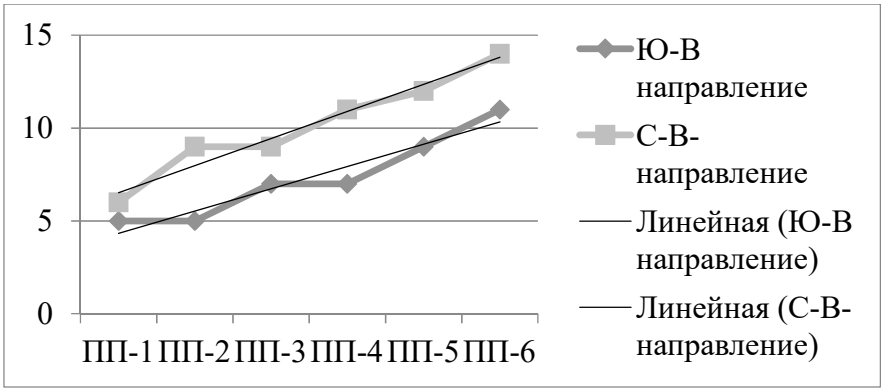

Рисунок 3 – Увеличение разнообразия почвенных водорослей по мере удаления от источника загрязнения

Заключение

В результате проведенного исследования уточнена таксономическая структура почвенных водорослей ареала геохимической аномалии «Зеленый Бор» (Ивацевичский район). Обнаружено и определено 16 родов, относящихся к 4 отделам, 8 классам, 12 порядкам. Наиболее многочисленным по числу родов оказался отдел *Chlorophyta*, который включает 10 родов, *Bacillariophyta* – 3 рода, *Cyanophyta* – 2 рода, *Xanthophyta* – 1 род. В юго-восточном направлении трансекты было обнаружено 11 родов, в северо-восточном направлении – 14 родов. Для двух направлений можно выделить специфические роды. Так, только в юго-восточном направлении обнаружены роды *Palmella* Lyngb, *Coccomyxa* Schmidle. Роды *Nitzschia* Hass., *Pandorina* Bory, *Mesotaenium* Näg., *Elakatothrix* Wille выявлены только в северо-восточном направлении исследуемой трансекты.

Установлена экологическая структура и определены спектры жизненных форм почвенных водорослей Спектр жизненных форм почвенных водорослей юго-восточного направления – $Ch_5H_3B_2C_1$. Спектр жизненных форм почвенных водорослей северо-восточного направления – $Ch_4C_4H_3B_3$. Доминирование Ch-формы объясняется тем, что ее составляют виды, способные вызывать «цветение почвы», отличающиеся исключительной выносливостью к различным экстремальным условиям, а также чрезвычайной конкурентоспособностью.

Из шести пробных площадок в юго-восточном направлении трансекты было установлено, что две из них относятся к очень высокозагрязненным, две – к высокозагрязненным, две – к среднезагрязненным почвам. В северо-восточном направлении трансекты из шести пробных площадок одна относится к очень высокозагрязненным, две – к высокозагрязненным и три – к среднезагрязненным.

Присутствие свинцового загрязнения обусловливает господство приспособленных к перенесению неблагоприятных условий среды широко распространенных видов-убиквистов из отдела Зеленые водоросли, характерных для ненарушенных торфяных почв. Диатомовые исчезают практически полностью, желто-зеленые представлены одним видом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доценко, К. А. Почвенные водоросли в агроценозах : монография / К. А. Доценко. – Краснодар : КубГАУ, 2017. – 109 с.

2. Кабиров, Р. Р. Роль почвенных водорослей в антропогенных экосистемах / Р. Р. Кабиров // Фундам. исслед. – 2004. – № 6. – С. 22–24.

3. Зенова, Г. М. Почвенные водоросли / Г. М. Зенова, Э. А. Штина. – М. : МГУ, 1990. – 80 с.

4. Водяницкий, Ю. Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами / Ю. Н. Водяницкий // Почвоведение. – 2010. – № 10. – С. 1276–1280.

5. Кулаковская, Т. Н. Почвы Белорусской ССР / Т. Н. Кулаковская ; под ред. Т. Н. Кулаковской. – Минск : Ураджай, 1974. – 328 с.

6. Особенности распределения и миграции тяжелых металлов в почвах и растительных объектах экосистем в ареале площадки складирования свинецсодержащих отходов (пос. Зеленый Бор Ивацевичского района) с разработкой рекомендаций по минимизации экологических рисков : отчет о НИР (заключ.) / Полес. аграр.-экол. ин-т НАН Беларуси ; рук. темы Н. В. Михальчук. – Брест, 2021. – 140 с. – № ГР 20200201.

7. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки почв для химического, бактериологического, гельминтологического анализа : ГОСТ 17.4.4.02-2017. – Введ. в действие Приказом Росстандарта от 17.04.2018 № 202-ст.

8. Кузяхметов, Г. Г. Методы изучения почвенных водорослей : учеб. пособие / Г. Г. Кузяхметов, И. Е. Дубовик. – Уфа : Башкир. ун-т, 2001. – 60 с.

9. Стрельская, О. Я. Низшие растения. Систематика : учеб. пособие для пед. инов по биол. и геогр. спец. / О. Я. Стрельская. – Минск : Выш. шк., 1985. – 240 с.

10. Штина, Э. А. Экология почвенных водорослей / Э. А. Штина, М. М. Голлербах. – М. : Наука, 1976. – 143 с.

11. Михеева, Т. М. Альгофлора Беларуси. Таксономический каталог / Т. М. Михеева. – Минск : БГУ, 1999. – 396 с.

REFERENCES

1. Docenko, K. A. Pochviennyje vodorosli v agrocenozakh : monografija / K. A. Docenko. – Krasnodar : KubGAU, 2017. – 109 s.

2. Kabirov, R. R. Rol’ pochviennykh vodorosliej v antropogiennykh ekosistiemakh / R. R. Kabirov // Fundam. isslied. – 2004. – № 6. – S. 22–24.

3. Zienova, G. M. Pochviennyje vodorosli / G. M. Zienova, E. A. Shtina. – M. : MGU, 1990. – 80 s.

4. Vodianickij, Yu. N. Formuly ocenki summarnogo zagriaznienija pochv tiazholymi mietallami i mietalloidami / Yu. N. Vodianickij // Pochvoviedienije. – 2010. – № 10. – S. 1276–1280.

5. Kulakovskaja, T. N. Pochvy Bielorusskoj SSR / T. N. Kulakovskaia ; pod red. T. N. Kulakovskoj. – Minsk : Uradzhaj, 1974. – 328 s.

6. Osobiennosti raspriedielienija i migracii tiazholykh mietallov v pochvakh i rastitiel’nykh objektakh ekosistiem v ariealie ploshchadki skladirovanija svinecsodierzhashchikh otkhodov (pos. Zielionyj Bor Ivacevichskogo rajona) s razrabotkoj riekomiendacij po minimizacii ekologichieskikh riskov : otchet o NIR (zakliuch.) / Polies. agrar.-ekol. in-t NAN Bielarusi ; ruk. tiemy N. V. Mikhal’chuk. – Briest, 2021. – 140 s. – № GR 20200201.

7. Miezhgosudarstviennyj standart. Okhrana prirody. Pochvy. Mietody otbora i podgotovki pochv dlia khimichieskogo, bakteriologichieskogo, giel’mintologichieskogo analiza : GOST 17.4.4.02-2017. – Vvied. v diejstvije Prikazom Rosstandarta ot 17.04.2018 № 202-st.

8. Kuziakhmietov, G. G. Mietody izuchienija pochviennykh vodorosliej : uchieb. posobie / G. G. Kuziakhmietov, I. Ye. Dubovik. – Ufa : Bashkir. un-t, 2001. – 60 s.

9. Striel’skaja, O. Ya. Nizshije rastienija. Sistiematika : uchieb posobije dlia pied. in.-tov po biol. i gieogr. spiec. / O. Ya. Striel’skaja. – Minsk : Vysh. shk., 1985. – 240 s.

10. Shtina, E. A. Ekologija pochviennykh vodorosliej / E. A. Shtina, M. M. Gollierbakh. – M. : Nauka, 1976. – 143 s.

11. Mikhiejeva, T. M. Al’goflora Bielarusi. Taksonomichieskij katalog / T. M. Mikhiejeva. – Minsk : BGU, 1999. – 396 s.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 16.01.2023