

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ В ЦЕЛЯХ ПОДДЕРЖАНИЯ РАВНОВЕСИЯ УРБОЭКОСИСТЕМЫ

А.Р. Никулина¹, Е.Д. Сачкова², Л.В. Бубнова²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Средняя общеобразовательная школа № 19, г. Иркутск, Российская Федерация

Информация о статье

Дата поступления

2 ноября 2020 г.

Дата принятия к печати

18 декабря 2020 г.

Дата онлайн-размещения

30 декабря 2020 г.

Ключевые слова

Биологическая активность почвы; урбоэкосистема; почвенная микробиота; уреазы; биоремедиация; нефтезагрязнение

Аннотация

Статья посвящена проблеме пространственного изменения биологической активности почв в пределах территорий, в различной степени подверженных антропогенной нагрузке. Изменение структуры и функций отдельных компонентов почвы вызывает перестройку в режимах функционирования урбоэкосистемы в целом и требует постоянного мониторинга. Для изучения способности городских почв к самовосстановлению проведена оценка биологической активности почв различных территорий Академгородка г. Иркутска. Использованы методики определения биологической активности почв с помощью показателей целлюлозолитической, протеазной и уреазной активности. Показано, что при антропогенном влиянии почвы различных территорий вырабатывают адаптивные механизмы, действие которых направлено на повышение резистентности к неблагоприятным воздействиям человека на окружающую среду (загрязнению нефтепродуктами, сокращению растительности). Данные, полученные в результате исследований, характеризуют способность изучаемых почв к самовосстановлению и могут быть использованы для разработки методов восстановления почв в пределах городской территории.

DETERMINING BIOLOGICAL ACTIVITY OF SOILS TO MAINTAIN THE BALANCE OF THE URBAN ECOSYSTEM

Anna R. Nikulina¹, Elizaveta D. Sachkova², Lyudmila V. Bubnova²

¹ Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, the Russian Federation

² Secondary School № 19, Irkutsk, the Russian Federation

Article info

Received

November 2, 2020

Accepted

December 18, 2020

Available online

December 30, 2020

Keywords

Biological activity of soil; urban ecosystem; soil microbiota; urease; bioremediation; oil pollution

Abstract

The article is devoted to the current problem of spatial changes in the biological activity of soils within the territories that are subject to various degrees of anthropogenic load. Changes in the structure and functions of separate components of soil causes restructuring in operation of the urban ecosystem in general and requires constant monitoring. To study the self-restoring capacity of urban soils, biological activity of soils in different areas of Academgorodok District of Irkutsk was evaluated. Methods of determination of biological activity of soils with the help of indicators of cellulolytic, protease and urease activity were used. It was shown that, under anthropogenic impact, soils of different areas develop adaptive mechanisms, the activity of which is aimed at enhancing resistance to human negative impact on the

environment (oil pollution, reduction of vegetation). The data obtained as a result of the research characterize the ability of the studied soils to self-repair and can be used to develop methods for soil restoration within an urban area.

Введение

В.И. Вернадский считал почву «основным субстратом жизни», «основным элементом биосферы» [1]. В настоящее время почвы различных территорий претерпевают все большие антропогенные изменения, что вызывает пристальное внимание исследователей. Особенно актуально изучение состояния почв в условиях холодного климата Сибири. Выход за пределы емкости среды в пределах уязвимых территорий может привести к невозможности возврата экосистемы в исходное состояние [2].

Почва играет важнейшую роль в природной среде обитания и жизнедеятельности человека, так как она — основное средство сельскохозяйственного производства, относящееся к невозобновляемым природным ресурсам. Почвенный покров — устойчивое природное образование. Его роль в жизни человека основана на том, что почва является особым продовольственным источником, обеспечивающим 95–97 % продовольственных ресурсов для населения планеты [3]. Роль почвы в сохранении биологического множества растений также велика.

В условиях возросшей антропогенной нагрузки на биосферу планеты почва, являясь элементом природной городской системы и находясь в динамичном равновесии со всеми другими компонентами, подвергается деградационным процессам. Потоки веществ, попадая в почву в результате деятельности человека, включаются в естественные циклы, нарушая нормальное функционирование почвенной биоты и, как следствие, всей почвенной системы. Среди различных биологических критериев оценки антропогенного влияния на почвы городской среды наиболее оперативными и перспективными являются биохимические показатели, дающие сведения о динамике важнейших ферментативных процессов в почве: синтезе и разложении органического вещества, нитрификации и других процессах [4].

Биологическая активность почвы, качественный и количественный состав почвенной микробиоты незамедлительно реагируют на любое антропогенное воздействие. Поэтому показатели почвенного покрова можно рассматривать как достоверные и информативные индикаторы, отражающие состояние окружающей среды.

Цель исследования

Цель нашего исследования состояла в том, чтобы оценить биологическую активность почв различных территорий иркутского Академгородка с использованием методики определения ферментативной активности почв для изучения способности городских почв к самовосстановлению.

Методы исследования

Авторами применена методика определения ферментативной активности почв (Л.И. Инишева), которая оценена с помощью показателей целлюлозолитической, протеазной и уреазной активности. Определение целлюлозолитической активности почвы произведено аппликационным методом, протеазной активности — методом, основанным на микробиологическом расщеплении желатинины, имеющейся в эмульсионном слое фотобумаги. Для определения уреазной активности почвы использован экспресс-метод Т.В. Аристовской, М.В. Чугуновой.

Основные результаты

Для исследований были отобраны пробы почвы в семи точках в районе Академгородка г. Иркутска (рис. 1). Это территории, расположенные в жилом массиве (точки 1 и 7), на р. Ангаре (точка 3 и точка 2 — Теплые озера), в лесном массиве (точки 4, 5, 6). Все точки находятся на территориях, в различной степени подверженных антропогенной нагрузке.

Биологическую активность почв (БАП) исследуемых территорий оценивали через показатели целлюлозолитической, протеазной и уреазной активности. Рассмотрение данных аспектов БАП дает возможность сформировать комплексное представление об активности почвенных микроорганизмов исследуемых территорий.

Целлюлозолитическая активность почвы позволяет судить об уровне ее плодородия и биогенности [5]. Определение целлюлозолитической активности почвы производили аппликационным методом [6]. Для этого в навеску почвы 100 г помещали тонкую льняную ткань размером 5 × 5 см. Контрольным образцом служила почва, взятая в лесном массиве за городом. По убыли в весе ткани через 30 суток культивирования судили об интенсивности

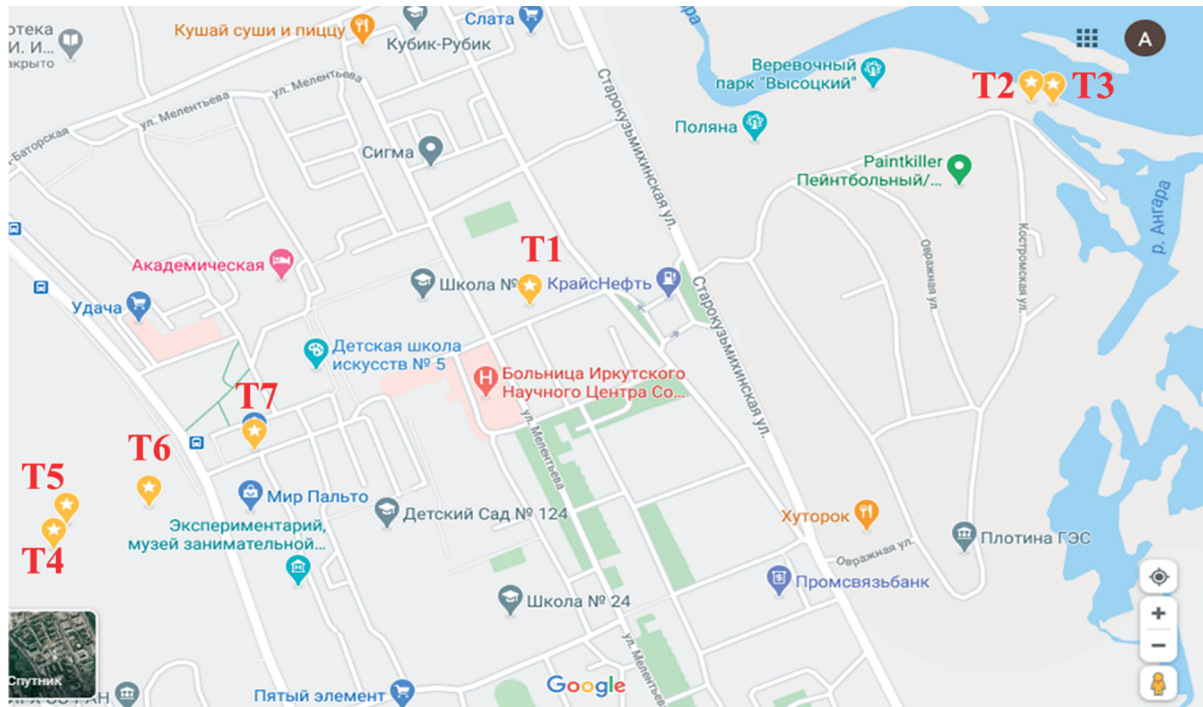


Рис. 1. Точки отбора образцов исследуемых почв

процесса разрушения клетчатки. Для оценки БАП по интенсивности разрушения клетчатки использовали шкалу Д.Г. Звягинцева (процент разложившегося полотна): очень слабая — менее 10 %, слабая — 10–30 %, средняя — 30–50 %, сильная — 50–80 %, очень сильная — более 80 %.

В результате эксперимента было показано (рис. 2), что наибольшему разрушению подверглось полотно в образцах 2 (10–15 см), 4 (5–10 см), 7 (5–10 см).

Высокая активность целлюлазы здесь объясняется богатством почв данных территорий азотом (точки 4 и 7), подвижными формами калия (точки 2 и 7) и фосфора (точки 2 и 7) — это установлено нами в ходе ранее проведенных экспериментов. В точках 2 и 4 высокой степени целлюлолитической активности почв способствует поступление в них прижизненных корневых выделений растений, которое стимулирует деятельность целлюлолитиков [4]. В данных точках на-

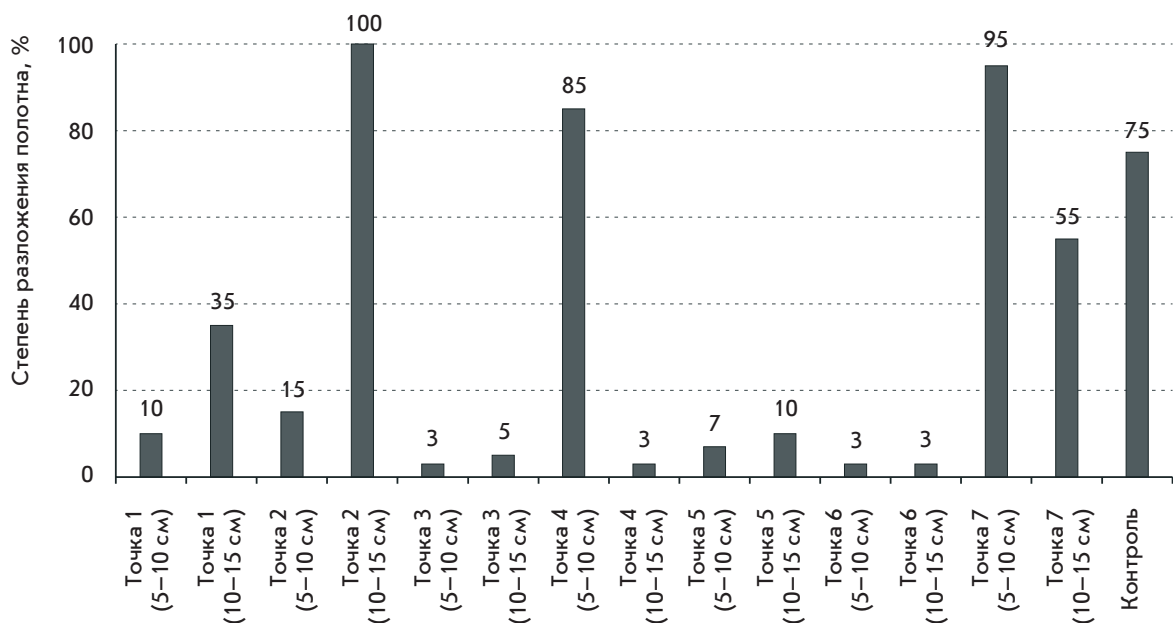


Рис. 2. Целлюлолитическая активность исследуемых образцов почвы

блюдается высокое обилие корней растений, корни создают сплошную каркасную сеть по стенкам разреза (данные получены в ходе полевых исследований). Полотно в образцах 3 (5–10 см), 4 (10–15 см), 6 (5–10 см) и 6 (10–15 см) имело наименьший процент разрушения, так как почвы данных территорий отличаются, вероятно, малым количеством микроорганизмов и органического вещества, бедностью азотом, подвижными формами фосфора и калия, небольшим количеством корневых выделений растений.

Ферменты протеазы в почве обуславливают динамику азота, который в доступной форме выделяется при последовательном расщеплении белковых веществ. Протеазы участвуют в активации этого процесса [1]. Протеазную активность почвы определяли при помощи фотобумаги, которую помещали в навеску почвы на четверо суток, каждый день вынимая ее, отмывая от почвы под слабой струей воды и высушивая. Метод основан на микробиологическом расщеплении желатины, имеющейся в эмульсионном слое фотобумаги. Результат оценивали визуально: чем сильнее разжижение желатинового слоя, тем выше протеазная активность почвы (такие зоны приобретают темную окраску) [7].

Интенсивность разложения фотобумаги в исследуемых образцах почвы показана в табл. 1. Наибольшая протеазная активность зарегистрирована в образцах 2, 5, 7 и контрольном. Низкая активность протеазы — у образцов 4 и 6.

Уреазная активность является одним из важнейших показателей БАП. Уреазная активность может быть использована как по-

казатель способности почвы к естественной биоремедиации, т.е. самоочищению, устойчивости почвы к ингибирующим факторам окружающей среды. Активность уреазы выше у плодородных почв, она повышается во всех почвах в периоды их наибольшей биологической активности, т.е. в июле — августе [3]. Для определения уреазной активности почвы использовали экспресс-метод Т.В. Аристовской, М.В. Чугуновой [8].

Суть метода состоит в изменении цвета индикатора, расположенного на внутренней крышке контейнера с исследуемым образцом почвы с добавлением карбамида.

Контролем служили образец почвы, взятый в лесном массиве за городом, без внесения карбамида, и образец с растворенным в воде карбамидом, без добавления почвы. Полоску универсального индикатора рН 0–12 пропитывали водой и помещали на внутреннюю сторону крышки контейнера. Затем визуально наблюдали за изменением цвета индикатора в течение 25 ч.

Для более точного определения результата эксперимента пользовались шкалой цветов (рис. 3), каждому цвету присваивали определенный балл (от наиболее слабой БАП — желтый цвет к наиболее сильной — насыщенный синий).

В ходе эксперимента установлено, что наиболее интенсивная окраска (синий) зафиксирована в точке 7 (рис. 4), причем скорость изменения цвета индикатора была одинакова на обеих глубинах, что свидетельствует о высокой БАП в данной точке.

Для почвы, взятой с данной территории, реакция выделения аммиака протекала

Таблица 1

Интенсивность разложения фотобумаги в исследуемых образцах почвы*

Исследуемый образец	Окраска образца
Точка 1 (5–10 см)	Темно-зеленый цвет с белыми и желтыми вкраплениями
Точка 1 (10–15 см)	Темно-зеленый цвет с белыми и желтыми вкраплениями
Точка 2 (5–10 см)	Бледно-желтый цвет с бледно-зелеными и белыми вкраплениями
Точка 2 (10–15 см)	Темно-зеленый цвет с бледно-желтыми вкраплениями
Точка 3 (5–10 см)	Бледно-зеленый цвет с коричневыми полосами
Точка 3 (10–15 см)	Бледно-желтый цвет
Точка 4 (5–10 см)	Белый цвет с бледно-желтыми пятнами
Точка 4 (10–15 см)	Бледно-желтый цвет
Точка 5 (5–10 см)	Бледно-желтый цвет с зелеными пятнами
Точка 5 (10–15 см)	Серый цвет с отдельными бледно-зелеными участками
Точка 6 (5–10 см)	Белый цвет с размытыми желтыми пятнами
Точка 6 (10–15 см)	Белый цвет с размытыми желтыми пятнами
Точка 7 (5–10 см)	Темно-оранжевый цвет с белыми вкраплениями
Точка 7 (10–15 см)	Белый цвет с темно-оранжевыми вкраплениями
Контроль	Бледно-оранжевый цвет с темно-зелеными и белыми пятнами

* Рассчитана на основе изучения протеазной активности почв.

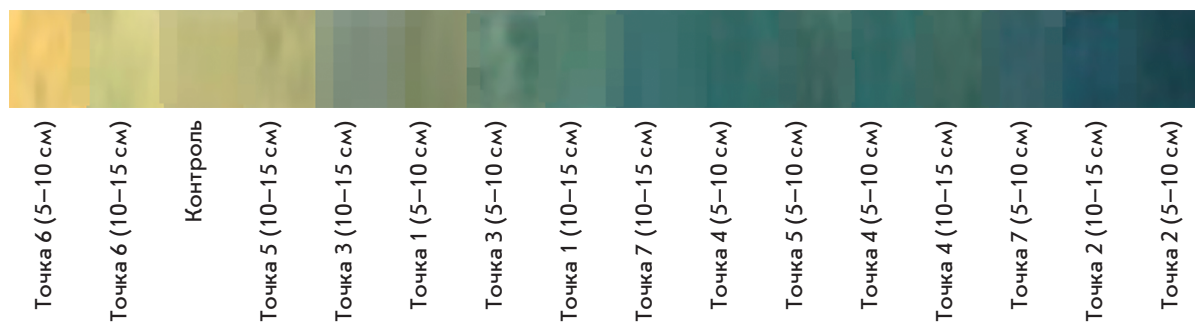


Рис. 3. Окраска индикатора при определении уреазной активности почвы

значительно быстрее (2 ч) по сравнению с другими исследуемыми образцами. Также высокая БАП отмечена в точке 1, однако скорость изменения цвета индикатора здесь значительно ниже.

Высокую биологическую активность почв, взятых в точках 1 и 7, можно объяснить тем, что почвы территорий, находящихся в городской черте и окруженных различными потенциальными источниками загрязнения, в том числе парковками для автомобилей (которые выделяют в окружающую среду остатки нефтепродуктов), испытывают большую техногенную и антропогенную нагрузку в отличие от почвенного покрова парков и лесов в черте города. Можно сделать вывод, что загрязнение почв небольшим количеством нефтепродуктов, поступающих от автомобилей, стимулирует уреазную активность почвенной микробиоты. Рост уреазной активности почвы может быть объяснен деятельностью углеводородокисляющих микроорганизмов, что подтверждается многими исследованиями [9].

Также высокие показатели БАП были отмечены в точках 2, 4, 5. Высокая БАП объясняется тем, что данные точки в меньшей

степени подвержены антропогенному влиянию, поскольку удалены от проезжей части, практически не посещаются людьми, точки 4 и 5 расположены в глубине лесного массива, а точка 2 — в заболоченной части реки.

Низкие показатели БАП наблюдались в точке 6. Цвет индикатора — желтый, бледно-зеленый. Реакция протекала значительно медленнее, чем в других пробах. Для появления первых признаков потребовалось значительно больше времени, например в точке 6 — 18 ч. Низкую БАП на данной территории можно объяснить высокой степенью антропогенной нагрузки: точка 6 расположена рядом с оживленной автомагистралью.

В контрольном образце цвет индикатора остался неизменным, выделение аммиака не происходило.

На следующем этапе была проведена оценка биологической активности почвы, загрязненной нефтью, посредством определения уреазной активности почвы. Сохранение или повышение биологической активности загрязненной почвы по сравнению с почвами, где отсутствует загрязнение, может говорить об их высокой биологической активности и

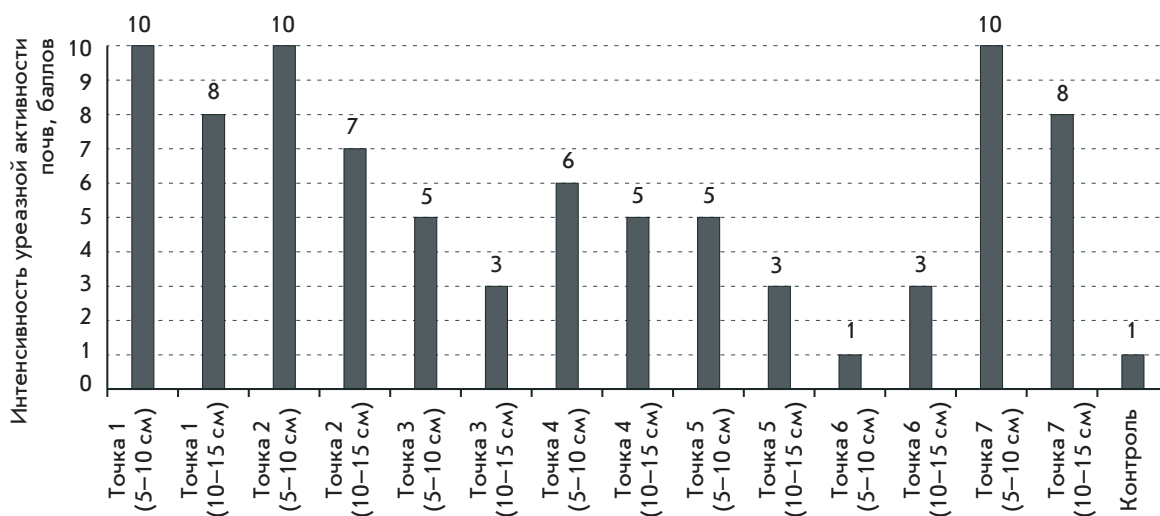


Рис. 4. Уреазная активность исследуемых образцов почв

значительном биоремедиационном потенциале, способности к самовосстановлению, что косвенно свидетельствует об устойчивости экосистемы на исследуемой территории [1].

Для проведения исследования брали навеску почвы 100 г, увлажняли ее до 60 % полной влагоемкости водопроводной водой, добавляли нефть в концентрации 3 %. В качестве контроля использовали лесную почву с нефтью (3 %), песок с добавлением нефти (3 %), нефть без внесения карбамида и почвы (3 мл) и карбамид без почвы и нефти (1 г/100 г почвы). Затем добавляли в емкости по 1 г (на 100 г почвы) растворенной в воде мочевины. Полоску универсального индикатора рН 0–12 пропитывали водой и помещали на внутреннюю сторону крышки контейнера. Далее наблюдали за изменением цвета индикатора. Наблюдение производили в течение трех суток при температуре 26 °С.

Для определения интенсивности изменения цвета индикатора также использовали шкалу цветов (см. рис. 3).

В результате эксперимента было установлено, что наибольшей биологической активностью в условиях нефтезагрязнения обладают образцы почвы под номерами 1, 2 и 7. В этих образцах наблюдалась насыщенно синяя окраска индикатора. Наименьшие показатели БАП отмечены в точке 3. После 24 ч культивирования низкая БАП отмечалась в точке 6 (табл. 2).

В целом наиболее биологически активные почвы расположены в точках 2

(берег реки) и 7 (жилой массив) — данные образцы выделялись по всем экспериментам. На берегу реки высокую БАП можно объяснить низкой степенью антропогенной нагрузки и, соответственно, практически не измененным хозяйственной деятельностью микробиоценозом. В точке 7, расположенной в жилом массиве в непосредственной близости от проезжей части, активность бактерий стимулируется внесением небольших доз нефтепродуктов. Таким образом, при антропогенном влиянии почвы различных территорий вырабатывают адаптивные механизмы, действие которых направлено на повышение резистентности к неблагоприятному воздействию человека на окружающую среду (загрязнению нефтепродуктами, сокращению растительности).

Выводы

Для поддержания экологического равновесия и сохранения потенциала самоочищения и самовосстановления почв городских территорий при воздействии антропогенных факторов, вызывающих деградационные процессы в почвенном покрове, необходимо проводить постоянные наблюдения за их состоянием. Полученные данные позволяют осуществить оценку почвенного покрова городской территории. Проведенная оценка БАП может быть использована для оперативной диагностики интенсивности почвенных процессов и характера их изменения в урбанизированных районах.

Таблица 2

Интенсивность изменения цвета индикатора при определении урезной активности загрязненных нефтью почв*

Исследуемый образец	Цвет через 24 ч	Цвет через трое суток
Точка 1	Насыщенный синий	Насыщенный синий
Точка 2	Темно-синий	Насыщенный синий
Точка 3	Бледно-синий	Бледно-синий
Точка 4	Светло-зеленый	Синий
Точка 5	Темно-зеленый	Темно-зеленый
Точка 6	Светло-зеленый, частично желтый	Синий
Точка 7	Синий	Насыщенный синий
Контроль (лесная почва)	Темно-зеленый	Синий
Контроль (песок с нефтью)	Бледно-зеленый	Бледно-зеленый
Контроль (нефть)	Бледно-зеленый	Бледно-зеленый
Контроль (карбамид)	Бледно-зеленый	Бледно-зеленый

* Рассчитана на основе методики Т.В. Аристовской, М.В. Чугуновой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гельцер Ю.Г. Показатели биологической активности в почвенных исследованиях / Ю.Г. Гельцер // Почвоведение. — 1990. — № 9. — С. 47–60.
2. Рубенчик Л.И. Микроорганизмы — биологические индикаторы / Л.И. Рубенчик. — Киев : Наукова думка, 1972. — 165 с.
3. Мирчинк Т.Г. Почвенная микробиология / Т.Г. Мирчинк. — Москва : Изд-во МГУ, 1988. — 220 с.

4. Крамаренко Т.Н. Ферментативная активность почв при различных антропогенных воздействиях : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.27 / Т.Н. Крамаренко. — Воронеж, 2003. — 163 с.
5. Влияние нефтяного загрязнения на некоторые компоненты агроэкосистемы / Ф.Х. Хазиев, Е.И. Новоселова, Н.А. Киреева, Г.Г. Кузьяхметов // Агробиохимия. — 1988. — № 2. — С. 56–61.
6. Забелина О.Н. Оценка экологического состояния почвы городских рекреационных территорий на основании показателей биологической активности (на примере г. Владимира) : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / О.Н. Забелина. — Владимир, 2014. — 147 с.
7. Мергель А.А. Роль корневых выделений растений в трансформации азота и углерода в почве / А.А. Мергель, А.В. Тимченко, В.Н. Кудеяров // Почвоведение. — 1996. — № 10. — С. 1234–1239.
8. Емцев В.Т. Микробиология : учебник / В.Т. Емцев, Е.Н. Мишустин. — 5-е изд., перераб. и доп. — Москва : Дрофа, 2005. — 445 с.
9. Аристовская Т.В. Экспресс-метод определения биологической активности почв / Т.В. Аристовская, М.В. Чугунова // Почвоведение. — 1989. — № 11. — С. 142–147.

REFERENCES

1. Geltser Yu.G. Indicators of Biological Activity in Soil Studies. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*, 1990, no. 9, pp. 47–60. (In Russian).
2. Rubenichik L.I. *Mikroorganizmy — biologicheskie indicatory* [Microorganisms — Biological Indicators]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1972. 165 p.
3. Mirchink T.G. *Pochvennaya mikrobiologiya* [Soil Microbiology]. Lomonosov Moscow State University Publ., 1988. 220 p.
4. Kramarenko T.N. *Fermentativnaya aktivnost' pochv pri razlichnykh antropogennykh vozdeistviyakh*. *Kand. Diss.* [Enzymatic Activity of Soils under Various Anthropogenic Influences. Cand. Diss.]. Voronezh, 2003. 163 p.
5. Khaziev F.Kh., Novoselova E.I., Kireeva N.A., Kuzyakhmetov G.G. Effect of Oil Pollution on Some Components of Agroecosystems. *Agrokhimiya = Agricultural Chemistry*, 1988, no. 2, pp. 56–61. (In Russian).
6. Zabelina O.N. *Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya pochvy gorodskikh rekreatsionnykh territorii na osnovanii pokazatelei biologicheskoi aktivnosti (na primere g. Vladimira)*. *Kand. Diss.* [Evaluation of Ecological Condition of Soil in Urban Recreational Areas on the Basis of Biological Activity Indicators (the Case of the City of Vladimir)]. Cand. Diss.]. Vladimir, 2014. 147 p.
7. Mergel A.A., Timchenko A.V., Kudeyarov V.N. The Role of Root Exudates in Transformation of Nitrogen- and Carbon-Bound Compounds in Soils. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*, 1996, no. 10, pp. 1234–1239. (In Russian).
8. Emtsev V.T., Mishustin E.N. *Mikrobiologiya* [Microbiology]. 5th ed. Moscow, Drofa Publ., 2005. 445 p.
9. Aristovskaya T.V., Chugunova M.V. Express Method for Determining the Biological Activity of Soils. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*, 1989, no. 11, pp. 142–147. (In Russian).

Информация об авторах

Никулина Анна Романовна — студент, Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: anna.2001-nik@mail.ru.

Сачкова Елизавета Дмитриевна — ученица десятого класса, средняя общеобразовательная школа № 19, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: elizametriya@mail.ru.

Бубнова Людмила Валентиновна — учитель географии, средняя общеобразовательная школа № 19, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: lukosol@mail.ru.

Для цитирования

Никулина А.Р. Определение биологической активности почв в целях поддержания равновесия урбоэкосистемы / А.Р. Никулина, Е.Д. Сачкова, Л.В. Бубнова. — DOI: 10.17150/2500-2759.2020.30(4).586-592 // Известия Байкальского государственного университета. — 2020. — Т. 30, № 4. — С. 586–592.

Authors

Anna R. Nikulina — Student, Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, the Russian Federation, e-mail: anna.2001-nik@mail.ru.

Elizaveta D. Sachkova — 10th Grade Student, Secondary School № 19, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: elizametriya@mail.ru.

Lyudmila V. Bubnova — Geography Teacher, Secondary School № 19, Irkutsk, the Russian Federation, e-mail: lukosol@mail.ru.

For Citation

Nikulina A.R., Sachkova E.D., Bubnova L.V. Determining Biological Activity of Soils to Maintain the Balance of the Urban Ecosystem. *Izvestiya Baikalskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*, 2020, vol. 30, no. 4, pp. 586–592. DOI: 10.17150/2500-2759.2020.30(4).586-592. (In Russian).