

Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

№ 1 (35). Март, 2020

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов

Редакционная коллегия

Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. Е. Веселов
Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
А. М. Макаров
А. Ю. Мейгал
В. К. Шитиков
В. Н. Якимов
A. Gugotek B.
J. B. Jakovlev
R. Krasnov
J. P. Kurhinen

Службы поддержки

А. А. Зорина
А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 453

E-mail: ecopri@psu.karelia.ru

<http://ecopri.ru>





УДК 631.4:579.26

ИНДИКАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКИХ ПОЧВ ПО НЕКОТОРЫМ ХИМИЧЕСКИМ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ (НА ПРИМЕРЕ Г. АСТРАХАНИ)

ПАРХОМЕНКО
Анна Николаевна

канд. биол. наук, ФГБОУ ВО Астраханский государственный технический университет, 414025, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, parhoman@mail.ru

Ключевые слова:

городские почвы
оценка почв
биологическая активность
ферментативная активность
экологическое состояние

Аннотация: Целью исследований являлось определение экологического состояния почв промышленной, селитебной и рекреационной зоны города Астрахани. В результате работы изучена биологическая и ферментативная активность исследуемых почвенных образцов. Низкую биологическую активность показали почвы территории нефтебазы № 5 ООО «ЛУКОЙЛ-НВНП». Низкую ферментативную активность – почвы селитебной зоны. Используя полученные результаты, рассчитали интегральный показатель биологического состояния исследуемых почв по 15 биологическим и биохимическим показателям. Максимальные значения ИПБС отмечены для почвы рекреационной зоны, минимальные – для почвы промышленной зоны (нефтебаза № 5 ООО «ЛУКОЙЛ-НВНП»), 81.2 и 26.2 % соответственно. Для обработки и анализа данных использовали кластеризацию по комплексу химических и микробиологических показателей. В результате образовалось три кластера. Минимальные различия химических и микробиологических показателей показаны для почв, отобранных на территории нефтебазы № 5 ООО «ЛУКОЙЛ-НВНП». Второй кластер образовали почвы селитебной зоны и ООО «Кондитерская фабрика «Карон»», третий – почвы, отобранные в рекреационной зоне города. Также установлено, что для определения экологического состояния городских почв промышленной и селитебной зон наиболее применимы микробиологические показатели по сравнению с биохимическими. Полученные результаты свидетельствуют, что экологическое состояние почв промышленной, селитебной зон и парка им. В. И. Ленина по значениям интегральных показателей можно характеризовать как высокоопасное.

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 15 июля 2019 года

Подписана к печати: 12 марта 2020 года

Введение

Почвы городских территорий выполняют целый ряд важнейших функций. Почвенный покров города имеет свойства поглощать газовые примеси от автотранспорта, промышленных предприятий, играя роль барьера от загрязняющих веществ и медленно накапливая загрязняющие вещества. В условиях

постоянно усиливающегося антропогенного давления почвы городов все более деградируют, нарушается их функционирование.

Бурное развитие нефтеперерабатывающей отрасли выступает одним из наиболее значимых факторов антропогенной нагрузки, т. к. при поступлении нефтепродуктов нарушается экологическое состояние по-

чвенных покровов из-за глубоких и часто необратимых изменений свойств и структуры почвенных биоценозов (Ручин и др., 2009; Хазиев, 2019). Почвы вокруг таких объектов, со временем все более накапливая загрязняющие вещества, характеризуются достаточно устойчивым уровнем загрязнения (Мотузова, Безуглова, 2007). Одним из старейших объектов этой отрасли является нефтебаза № 5 Астраханского филиала ООО «ЛУКОЙЛ-НВНП», которая расположена в центре г. Астрахани, активно функционирует в течение 136 лет и занимает территорию 27 га. Активное развитие автомобильного транспорта способствует увеличению строительства автозаправочных станций и является фактором негативного воздействия на почвы городских территорий. Все это приводит к нарушению нормального функционирования и загрязнению почвенных территорий компонентами, ранее для них не характерными.

Оценить происходящие изменения и охарактеризовать непосредственную реакцию организмов, сообществ или экосистем на те или иные антропогенные воздействия в почвах позволяют методы биологической индикации (Корикова и др., 2016; Белова и др., 2017; Галактионова, Суздалева, 2017). Доказана эффективность и целесообразность использования в биоиндикации таких критериев биологической активности почв, как численность и биомасса различных групп микроорганизмов, протекание основных биологических круговоротов важнейших элементов, ферментативная активность почв и некоторые другие показатели (Добровольский, Чернов, 2011; Корикова и др., 2016; Пархоменко, 2018). Для экологической оценки состояния почв городских территорий важно использовать показатели, отражающие протекание как биологических, так и биохимических процессов в почве.

Одним из таких показателей, по мнению некоторых авторов (Федорец, Медведева, 2009; Казеев, Колесников, 2012; Колесников и др., 2013), является интегральный показатель биологического состояния почвы (ИПБС). ИПБС позволяет оценить и обобщить ряд изменений большого количества параметров при различных антропогенных нагрузках. При этом снижение ИПБС, как правило, напрямую зависит от уровня влияния антропогенного фактора.

Поэтому особо актуальным направлением является оценка влияния различных антропогенных факторов на комплекс хими-

ческих и микробиологических показателей почв городских территорий.

Цель работы – исследование экологического состояния почв, отобранных в промышленной, селитебной и рекреационной зонах города Астрахани по некоторым химическим и микробиологическим параметрам.

Материалы

Объектами исследования являлись почвы промышленной, селитебной и рекреационной зон г. Астрахани (рис. 1). Пробы почвы промышленной зоны отбирали на территории нефтебазы № 5 Астраханского филиала ООО «ЛУКОЙЛ-НВНП» (непосредственно в местах отгрузки нефтепродуктов и перевалки железнодорожным транспортом (проба 1), в 20 м (проба 2) и в 100 м от источника загрязнения (проба 3) и около административного здания (проба 4) и ООО «Кондитерская фабрика "Карон"» (проба 5), расположенных в черте г. Астрахани. Проба 6 отобрана в селитебной зоне, Советский район г. Астрахани (ул. Менжинского, строительство производится с 2016 г., ранее на этой территории располагались постройки частного сектора).

В рекреационной зоне города отобраны: проба 7 – парк им. В. И. Ленина (основан в 1913 г., Трусовский район) и 8 – сквер им. Гейдара Алиева (основан 19 мая 2011 г., Кировский р-н).

Методы

Отбор проб почвы и экспериментальные исследования проводили стандартными и общепринятыми методами (Нетрусов, 2005). Отбор проб почвы производился в соответствии с требованиями ГОСТ 28168-89 (Атах, глубина 0–20 см) методом конверта.

Влажность почвы определяли как разницу веса влажной и сухой почвы и выражали в %. Почву высушивали в течение 6 ч в металлических бюксах при температуре 100–105 °С до постоянного веса. рН определяли потенциометрическим методом: к навеске воздушно-сухой почвы (20 г) добавляли 50 мл 1 н. раствора КСl (рН 5–6.0), полученный почвенный образец с раствором взбалтывали на ротаторе в течение 5 мин. Затем суспензию переносили в стаканчик, к которому присоединяли электроды. Спустя 2 мин анализа снимали показания рН-метра (Федорец, Медведева, 2009).

Определение содержания гумуса в исследуемых почвенных образцах проводили по

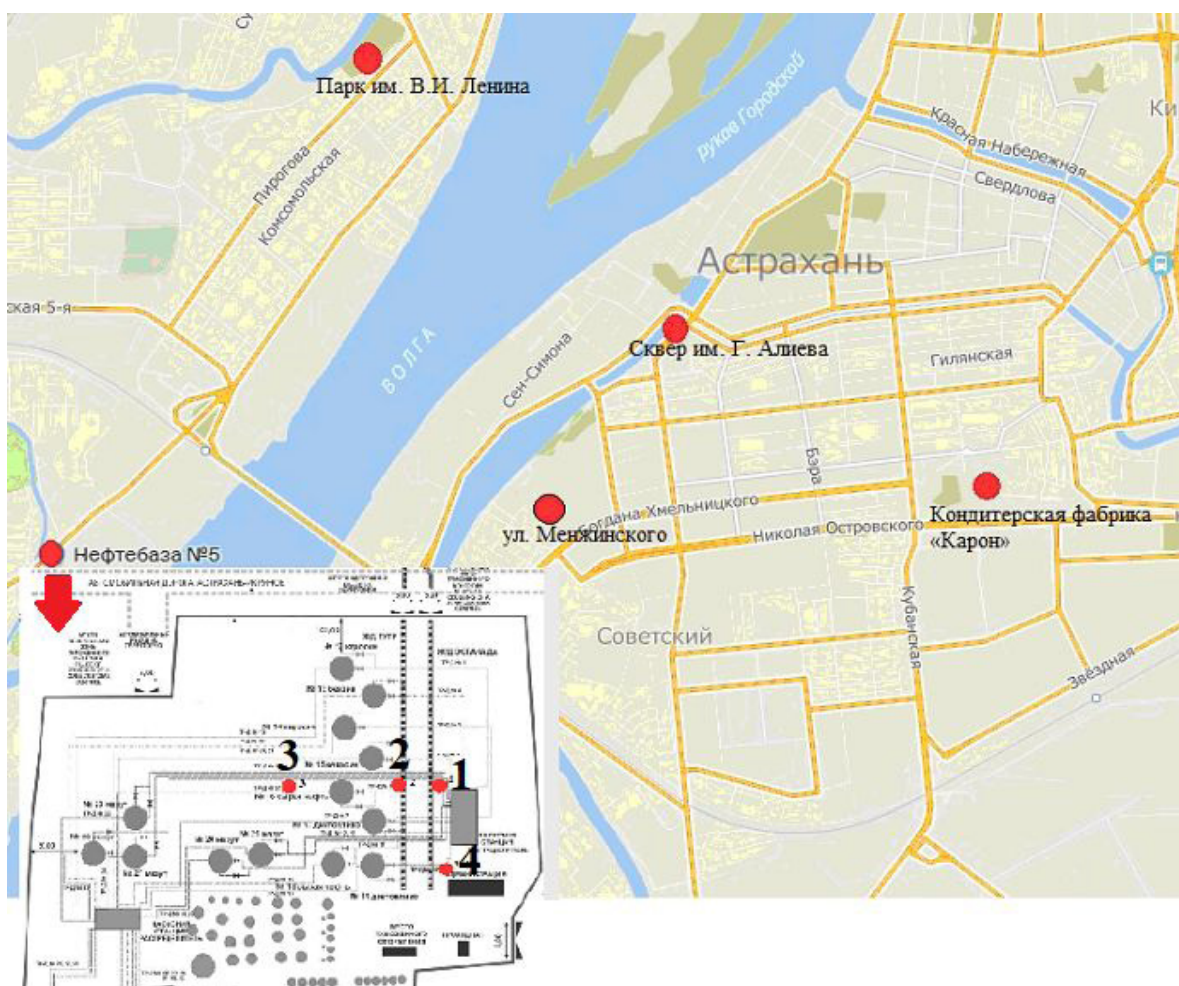


Рис. 1. Карта-схема г. Астрахани с местами отбора проб
Fig. 1. Map of Astrakhan with sampling site

методу Тюрина, который основан на окислении углерода гумуса раствором хромового ангидрида в H_2SO_4 и дальнейшем титровании образца 0.1 н раствором соли Мора. По содержанию углерода в почвенных образцах вычисляли процентное содержание гумуса (Федорец, Медведева, 2009).

Для определения активности каталазы к навеске исследуемого образца почвы (5 г) добавляли 100 мл 2 %-ного раствора H_2O_2 и помещали в эксикатор со льдом. Через 0.5, 1 и 2.5 часа экспозиции полученный раствор фильтровали и 5 мл фильтрата титровали раствором 0.1 н марганцовокислого калия с участием 5 мл 10 % H_2SO_4 до появления слабо-розовой окраски. Контролем служила почва (5 г), стерилизованная в автоклаве при 1.5 атм. в течение 2 ч. Ход работы с контролем тот же. Активность каталазы рассчитывали по разности между количеством O_2 в опытной и контрольной пробах и выражали в мл 0.1 н раствора $KMnO_4$, затраченного на титрование (Хазиев, 2005).

Для определения активности амилазы 10 г почвы обрабатывали 1.5 мл толуола и

через 15 мин приливали 20 мл 2 %-ного раствора крахмала и 20 мл 0.1 М фосфатного буфера (pH 5.5). Смесь тщательно встряхивали и ставили в термостат на 96 ч при 37 °С. За 1 ч до окончания инкубации объем смеси в колбе доливали до 100 мл водой, предварительно нагретой до 38 °С (толуол должен находиться выше метки). Полученную смесь фильтровали. Количество редуцирующих сахаров определяли методом йодометрического титрования по Гоффману и Зеегереру. Активность амилазы выражали в мл 0.1 М $Na_2S_2O_3$, израсходованной на титрование 20 мл раствора (Хазиев, 2005).

Активность протеазы определяли следующим образом. 1 г почвы помещали в стеклянную колбу объемом 50 мл, добавляли 5 мл 1 %-ного раствора казеина, приготовленного на фосфатном буфере (pH 7.4), и 0.2 мл толуола. Колбу тщательно встряхивали, закрывали пробкой и инкубировали в термостате при температуре 30 °С в течение суток, периодически встряхивая. После этого добавляли 5 мл воды и содержимое колбы фильтровали. К 5 мл фильтрата доливали 0.5

мл 0.1 н серной кислоты и 3 мл 20 %-ного сернокислого натрия для осаждения белков. Затем снова фильтровали и добавляли 1 мл 2 %-ного раствора нингидрина. Смесь тщательно взбалтывали и кипятили на водяной бане в течение 10 мин. Полученный окрашенный раствор доводили дистиллированной водой до 50 мл и фотоколориметрировали при 500–560 нм (зеленый светофильтр). Количество аминокислот в переводе на глицин находили по калибровочной шкале, составленной на чистый глицин. Активность протеазы выражали в мг глицина на 1 г почвы за 24 ч (Хазиев, 2005).

Активность уреазы определяли по экспресс-методу, учитывая время и скорость распада мочевины с образованием аммиака в исследуемых почвах (Федорец, Медведа, 2009).

Целлюлозоразлагающую активность определяли с помощью аппликационного метода. В течение 60 суток в исследуемых почвенных образцах экспонировали полоски стерильной льняной ткани (10 x 3 см), затем образцы извлекали, очищали от почвы и продуктов распада, подсушивали и по показателям разности веса рассчитывали убыль льняной ткани в % (Федорец, Медведа, 2009).

Учитывали численность микроорганизмов различных физиологических групп, выделенных из исследуемых почвенных образцов. Сапротрофы выделяли на мясопептонном агаре (МПА), нитрификаторы I и II фазы – на жидкой среде Виноградского для нитрифицирующих микроорганизмов, аэробные целлюлозолитики – на жидкой среде Омелянского, сахаролитики – на плотной среде Чапека, азотфиксаторы – на агаре Эшби. Кроме этого, методом прямого микроскопического учета определили количество бактерий в исследуемых почвах (Нетрусов, 2005).

Всего проанализировано 110 почвенных образцов. Повторность проведенных опытов – 3–5-кратная.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с помощью программ Microsoft Excel и Clusters3.xls for Windows.

Используя полученные экспериментальные данные, вычислили ИПБС по методике (Казеев, Колесников, 2012), которая позволяет оценить массив всех полученных результатов, независимо от единиц измерения каждого параметра. При расчетах за 100 % принимали максимальное значение каждо-

го из показателей и по отношению к нему в процентах выражали значение этого же показателя в других почвенных образцах.

Данный метод основан на подборе наиболее информативных показателей, отражающих особенности биологического состояния почв в зависимости от характера и степени антропогенного воздействия. Однако проблема выбора таких конкретных показателей решается исследователями с учетом специфики почв различных природных зон, уровня антропогенного преобразования почв, а также качественных и количественных характеристик такого воздействия (Добровольский, Чернов, 2011; Корикина и др., 2016; Галактионова, Суздалева, 2017). В исследованиях, проведенных ранее (Пархоменко, 2018), такой подход, с учетом природно-климатических условий Астраханской области, зарекомендовал себя положительно.

В ходе данного исследования, комплекс предлагаемых индикаторных параметров расширен и предложено использовать для расчета ИПБС исследуемых почвенных образцов 15 наиболее информативных биохимических и микробиологических показателей: влажность, pH, содержание гумуса, активность каталазы, уреазы, протеазы, амилазы, степень разложения целлюлозы, численность целлюлозолитиков, нитрификаторов I и II фазы, азотфиксаторов и сахаролитиков, численность бактерий.

По аналогичной схеме дополнительно рассчитали интегральный показатель биогенности (ИПБ) и интегральный показатель биологической активности (ИПБА), что позволило установить степень их вклада в обобщенные значения интегрального показателя биологического состояния данных почв.

ИПБ исследуемых почвенных образцов рассчитали по численности различных групп микроорганизмов, ИПБА – по показателям ферментативной активности с учетом значения влажности, pH солевой вытяжки и содержания гумуса.

Результаты

По органолептическим показателям проба 1, отобранная на территории нефтебазы № 5, непосредственно вблизи источника загрязнения, характеризуется высокой степенью загрязненности, т. к. имела черный цвет, однородную маслянистую консистенцию и сильно выраженный характерный запах нефти и нефтепродуктов. Для данного

образца характерно глубокое просачивание нефтепродуктов на всю глубину почвенного профиля и отсутствие каких-либо крупных частиц. Для пробы 2 характерен менее выраженный запах нефти и нефтепродуктов, черный цвет которой также обусловлен просачиванием нефтепродуктов вглубь профиля, полутвердая маслянистая консистенция; преобладали почвенные комочки среднего размера (1–3 мм). Вследствие длительного загрязнения нефтяными углеводородами данные пробы преобразовались в почвогрунты. Пробы 3 и 4 не обладали запахом, имели коричневатый цвет и твердую рассыпчатую консистенцию, отнесены к светло-каштановым почвам. Для проб 3 и 4 характерен легкий гранулометрический состав с преобладанием «физической глины» (78.0–80.0 % частиц < 0.01 мм), среднесуглинистые по Н. А. Качинскому (Корчагин и др., 2011). В отношении данных почв ранее проведено исследование некоторых химических и микробиологических показателей (Пархоменко, 2011), вследствие чего установлено, что проба 4 может считаться условно «чистой» (т. е. отобранной вне зоны загрязнения), т. к. в ней не выявлено содержания нефтяных углеводородов. Пробы 5 и 6 отличались частично нарушенным профилем, в почве обнаружены включения бытового характера (частицы полиэтилена, битое стекло) и строительного мусора. Основной частью данных почв являются пылеобразные частицы среднего диаметра (0.01–0.005), доля которых

составляла 54.6–65 %. Пробы 7 и 8 отнесены к антропогенно- преобразованным почвам, по своим свойствам близки к светло-каштановым, тяжелосуглинистым (82.0–85.0 % частиц диаметром < 0.01 мм).

Анализ ряда биохимических и микробиологических показателей исследуемых почв показал достоверное увеличение ($p \leq 0.05$) влажности, pH, интенсивность разложения целлюлозы и активности каталазы в образцах, удаленных от основного очага загрязнения (железнодорожные пути, проба 1). Данная тенденция прослеживается и в отношении таких групп микроорганизмов, как целлюлозолитики, нитрифицирующие I и II фазы: максимальная их численность отмечена в самой удаленной точке от пробы 1. Во всех остальных почвенных образцах, отобранных на территории нефтебазы, их численность оказалась значительно снижена, что свидетельствует об индикационных свойствах данных физиологических групп микроорганизмов (табл. 1).

Также установили, что более высокие значения практически всех исследуемых показателей характерны для почв, отобранных на территории ООО «Кондитерская фабрика «Карон»» и сквера им. Г. Алиева (проба 5 и 8), за исключением таких показателей, как численность азотфиксирующих микроорганизмов и активности амилазы, высокие значения которых наблюдались в почве селитебной зоны (проба 6) и парка им. В. И. Ленина (проба 7) соответственно (табл. 1).

Таблица 1. Химические и микробиологические показатели исследуемых почв

Показатели, ед. измерения	Исследуемые образцы почвы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Влажность, %	6.61	6.95	7.98	25.625	13.0	4.0	15.0	18.0
pH солевой вытяжки, ед.	6.0	6.4	7.0	7.0	6.0	5.0	7.4	6.8
Содержание гумуса, %	0	0	0	5.0	5.0	2.06	13.7	10.0
Каталаза, мл 0.1 н. р-ра $KMnO_4$	0.1	0.1	0.2	0.5	5.2	0.2	5.5	12.0
Протеаза, мг аминного азота	0.5	1.1	0.1	0.7	0.115	0.065	0.11	0.13
Амилаза, мл 0.1 М $Na_2S_2O_3$	0.96	0.15	0.83	0.25	4.5	2.0	5.9	6.5
Уреаза, усл. ед.	3.0	2.0	1.5	1.0	0.2	0	1.5	2.0

Таблица 1. Продолжение

Показатели, ед. измерения	Исследуемые образцы почвы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Разложение целлюлозы, %	0.1	0.1	18.75	40.0	53.0	27.0	44.0	67.0
Целлюлозолитики, кл/г	75	75	150	200	265	135	220	335
Сахаролитики, $\times 10^3$ КОЕ/г	17.0	4.2	3.17	50.0	22.5	7.9	9.0	5.66
Нитрификаторы I фазы, кл/г	0.1	0.1	75	150	150	100	180	200
Нитрификаторы II фазы, кл/г	75	150	200	200	200	150	220	250
Азотфиксаторы, %	10.0	25.0	30.0	2.0	53.0	95.0	21.0	85.0
Численность бактерий, $\times 10^6$ кл/г	3.5	0.02	1.5	15	19	19	5.7	22

Каталазная активность исследуемых почв значительно варьировала. Наиболее высока она в образцах почвы, отобранных в рекреационной зоне (5.5–12 мл 0.1 н р-ра KMnO_4). При этом минимальные значения данного показателя (0.1–0.2 мл 0.1 н р-ра KMnO_4) характерны для образцов 1, 2 и 6. Некоторые авторы (Хазиев, 2005) указывают на зависимость данного показателя от численности почвенной микробиоты. По данным проведенного прямого микроскопического учета бактерий в исследуемых образцах, отобранных на территории нефтебазы, выявлена тесная положительная корреляция между данными показателями ($r = 0.94$). В отношении остальных почвенных образцов эти показатели слабо коррелировали ($r = 0.21$).

Уреазная активность считается важнейшим показателем биологической активности почв, а также показателем самоочищающей способности почвы (Федорец, 2009). Значения данного показателя в проведенном эксперименте – это величина времени увеличения значений рН за 2 часа за счет разложения карбамида. Так, минимальная активность уреазы отмечена для проб почвы 5 и 6 (0–0.2 усл. ед.), в остальных пробах значения этого показателя варьировали в пределах 1.0–3.0 усл. ед. Как известно, увеличение уреазной активности в почве происходит прямо пропорционально увеличению степени загрязнения нефтью и нефтепродуктами. Так, в эксперименте по мере приближения отобранных образцов к источнику загрязнения на территории нефтеба-

зы, наряду с увеличением содержания нефтяных углеводородов (Пархоменко, 2011), увеличивалась и уреазная активность и достигала максимального значения в пробе 1.

Изучению влияния поллютантов на амилазную активность, которая дает представление об интенсивности разложения растительного материала в почве, посвящено не так много работ. Однако некоторые авторы (Киреева и др., 2001) отмечают снижение активности этого фермента при загрязнении почвы нефтяными углеводородами. Так, минимальные значения данного показателя наблюдались в пробах почв, отобранных на территории нефтебазы, и не превышали 0.96 мл 0.1 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, тогда как в пробах почвы рекреационной зоны этот показатель выше в 6–6.5 раза. Также выявлена тесная положительная корреляция между амилазной активностью и интенсивностью разложения целлюлозы в исследуемых почвах ($r = 0.80$).

ИПБС, а особенно степень его снижения, показывает влияние загрязняющих веществ на ее биологическую активность и в целом позволяет оценить экологическое состояние почвы. Разница между значениями ИПБС в каждом почвенном образце по сравнению с незагрязненной почвой до 10 % считается малоопасной, 10–25 – умеренно опасной, 25–30 – опасной и более 50 – очень опасной (Казеев, Колесников, 2012). Для определения ИПБС каждого из исследуемых почвенных образцов рассчитали относительный балл каждого из пятнадцати показателей, используемых в эксперименте (табл. 2).

Таблица 2. Изменение ИПБС, ИПБА, ИПБ почвы городских территорий

Относительные баллы, ед. измерения показателей	Исследуемые образцы почвы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Влажность, %	25.8	27.1	31.1	100	50.7	15.6	58.5	70.2
рН солевой вытяжки, ед.	81	86.5	94.6	94.6	81	67.6	100	92
Содержание гумуса, %	0	0	0	36.5	36.5	15	100	73
Каталаза, мл 0.1 н. р-ра KMnO_4	0.83	0.83	1.7	4.2	43.3	1.7	45.8	100
Протеаза, мг аминного азота	45.5	100	9.1	63.6	10.5	5.9	9.7	11.2
Амилаза, мл 0.1 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	14.8	2.3	12.8	3.9	69.2	30.8	90.8	100
Уреаза, усл. ед.	100	66.7	50	33.3	6.7	0	50	66.7
Разложение целлюлозы, %	0.1	0.1	28	59.7	79.1	40.3	65.7	100
Целлюлозолитики, кл/г	22.4	22.4	44.8	59.7	79.1	40.3	65.7	100
Сахаролитики, $\times 10^3$ КОЕ/г	34	8.4	6.3	100	45	15.8	18	11.3
Нитрификаторы I фазы, кл/г	0.05	0.05	37.5	75	75	50	90	100
Нитрификаторы II фазы, кл/г	30	60	80	80	80	60	88	100
Азотфиксаторы, %	10.5	26.3	31.6	2.1	55.8	100	22.1	89.5
Численность бактерий, $\times 10^6$ кл/г	15.9	0.09	6.8	68.1	86.4	86.4	25.9	100
ИПБ, %	19.1	16.9	30.9	59.9	65.3	56.6	48.4	85.8
ИПБА, %	33.5	35.5	28,4	49.5	47.1	22.1	65	76.6
ИПБС, %	26.3	26.2	29.6	54.7	56.2	39.3	56.7	81.2

Обсуждение

Анализ полученных данных показал достоверное снижение ИПБС ($p \leq 0.05$) в пробах 1–4, отобранных на территории нефтебазы, по мере приближения к источнику загрязнения: на 70.4 % (100 м), на 73.8 % (20 м) и на 73.7 % в почве, отобранной вблизи источника загрязнения, по сравнению с

незагрязненной почвой (см. табл. 2). В работах (Федорец, Медведева, 2009; Колесников и др., 2013) показано, что снижение ИПБС по сравнению с незагрязненной почвой более чем на 25 % говорит о высокой степени загрязнения почв и влечет за собой нарушение всех экологических функций почвы, в том числе физических свойств, таких как структура, плотность, влагоемкость, во-

допроницаемость, температура, теплопроводность и др.

Максимальное снижение ИПБС (на 73.7–73.8 %) отмечено в почвах нефтебазы, отобранных в непосредственной близости от источника загрязнения, что свидетельствует о высокой степени негативного воздействия нефтепродуктов, попадающих в почву при транспортировке и перегрузке, на биологические свойства почвы и ее функционирование.

Также отмечено достоверно высокое снижение ИПБС ($p \leq 0.05$) в пробе 6, отобранной в селитебной зоне (на 60 %), и в пробах 4, 5 и 7, что говорит о высокой степени де-

градации почв и влечет за собой нарушение важнейших экологических функций почвы, в том числе ее структуры, плотности, влагоемкости, водопроницаемости, температуры, теплопроводности и др., что показано в работах (Казеев, Колесников, 2012; Колесников и др., 2013). Меньшие отклонения отмечены для пробы 8 (на 18.8 %), что говорит об умеренно опасном уровне антропогенного воздействия.

В процентном соотношении рассчитали ИПБ и ИПБА, а также уровень их участия в формировании значения интегрального показателя биологического состояния исследуемых почв (см. табл. 2, рис. 2).

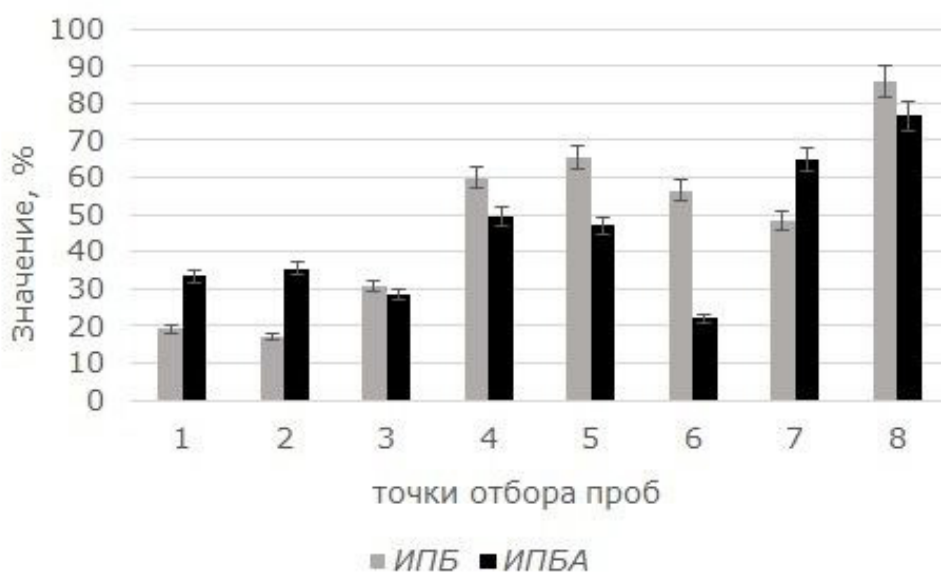


Рис. 2. Значение ИПБ и ИПБА в почвах: 1–4 – территории нефтебазы; 5 – ООО «Кондитерская фабрика "Карон"»; 6 – селитебной территории; 7 – парка им. В. И. Ленина; 8 – сквера им. Г. Алиева

Fig. 2. The value of integral indicators of biogenicity and biological activity in the soils: 1–4 – territory of the bulk plant; 5 – Confectionery plant «Karon»; 6 – residential zone; 7 – V. I. Lenin Park; 8 – H. Aliev public gardens

По значениям ИПБ также выявлена различная степень воздействия загрязнения нефтяными углеводородами на почвы: по мере приближения к источнику загрязнения ИПБ достоверно снижался ($p \leq 0.05$) на 69.1 % в 100 м от источника загрязнения, на 83.1 % в 20 м от источника загрязнения и на 80.9 % в почве вблизи источника загрязнения (см. табл. 2, рис. 2).

Максимальное снижение данного показателя (на 80.9–83.1 %) обусловлено прежде всего существенным угнетением развития почвенных микроорганизмов под влиянием загрязнения нефтепродуктами, что согласуется с данными некоторых авторов (Atlas, 1991; Мотузова, 2007; Elliott, 2007; Lehmann, Stahr, 2007; Obire, Anyanwu, 2009; Добровольский, Чернов, 2011; Bahrampour,

Moghanlo, 2012) и с нашими данными, полученными ранее (Пархоменко, 2010).

Также установили, что существенное снижение ИПБ (на 51.6 %) отмечено в почве парка им. В. И. Ленина (проба 7), заложенном в 1913 г. Это связано прежде всего с существенным подавлением численности почвенных бактерий, сахаролитиков и азотфиксирующих микроорганизмов в исследуемых почвах.

Значительное снижение ИПБА на 66.5–71.6 % характерно для всех образцов, отобранных на территории нефтебазы, причем важно отметить, что данный показатель проявил большую устойчивость к загрязняющим веществам, чем ИПБ. Максимальное достоверное снижение ИПБА ($p \leq 0.05$) на 77.9 % показано в почвах, отобранных на

селитебной территории, и связано с низким содержанием гумуса и влаги, низким уровнем активности таких ферментов, как уреазы, целлюлаза и протеазы. Также ИПБА снижался на 52.9 % в почвах, отобранных на территории фабрики «Карон» (проба 6) и на 35 % – в почве парка им. В. И. Ленина (проба 7).

В целом биохимические показатели, например, активность уреазы и протеазы, влажность и величина рН, оказались устойчивее к воздействию нефтепродуктов, чем микробиологические показатели, т. к. для почв, отобранных на территории нефтебазы (пробы 1–2), наблюдали большие значения ИПБА, чем ИПБ (см. табл. 2, рис. 2). Большая устойчивость биохимических показателей по сравнению с микробиологическими характерна для проб 1 и 2, максимально приближенных к очагу загрязнения, для пробы 3 соотношение ИПБ и ИПБА практически одинаково и составляет 30.9 и 28.4 % соответственно. При этом важно отметить, что данная закономерность также отмечена для

почвы территории парка им. В. И. Ленина, где значения ИПБ составили 48.4 %, а ИПБА – 65 %.

Такие биохимические показатели, как активность ферментов уреазы и протеазы, влажность, содержание гумуса в почвах селитебной территории и ООО «Кондитерская фабрика "Карон"», оказались более чувствительными к антропогенному воздействию, чем микробиологические показатели, т. к. для исследуемых почв наблюдали большие значения ИПБ, чем ИПБА (см. табл. 2, рис. 2). Для почвы сквера им. Г. Алиева (проба 8), основанного в 2011 г., характерны минимальные отклонения значения ИПБ, ИПБА и ИПБС в эксперименте (14.2; 23.4 и 18.8 % соответственно), что связано, вероятно, с более низким уровнем антропогенной нагрузки на данные почвы.

Обобщая полученные экспериментальные данные, построили дерево группировки исследуемых почв по комплексу наиболее информативных химических и микробиологических показателей (рис. 3).

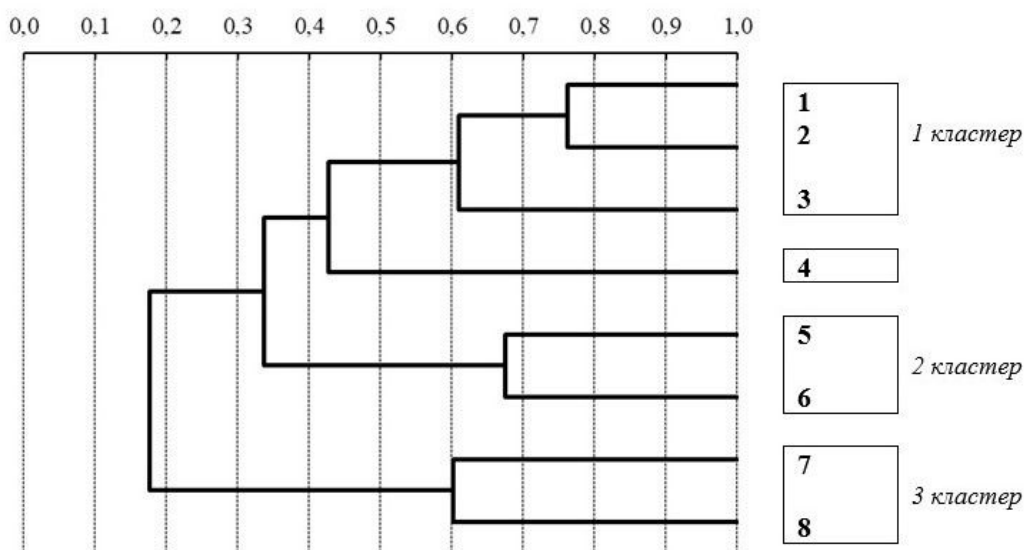


Рис. 3. Уровень сходства почвенных образцов по химическим и микробиологическим показателям
Fig. 3. Level of similarity of soil samples in chemical and microbiological parameters

Древовидная кластеризация отобранных образцов привела к образованию трех групп вариантов: первый с уровнем сходства 0.61–0.77 объединил пробы 1–3, отобранные на территории нефтебазы. При этом для проб 1 и 2, максимально приближенных к источнику загрязнения, характерен высокий уровень сходства – 0.77, т. е. по совокупности химических и микробиологических параметров данные почвы существенно отличаются от остальных проб. Также можно предположить, что вследствие длительного

воздействия нефтяных углеводородов в почвах нарушается протекание естественных процессов, в результате чего происходят существенные перестройки микробного ценоза. Во второй кластер с уровнем сходства 0.67 вошли пробы, отобранные в селитебной зоне и на территории ООО «Кондитерская фабрика "Карон"». Пробы, отобранные в рекреационной зоне города, образовали третий кластер со средним уровнем сходства (0.6).

Заключение

Функциональное состояние и продукционная способность почвы напрямую зависят от ее биологической активности. Поэтому остро стоит вопрос оценки состояния почвы в каждом конкретном случае.

Исследование химических и микробиологических параметров экологического состояния почв, отобранных в промышленной, селитебной и рекреационной зонах г. Астрахани показало, что в почвах нефтебазы с максимальной степенью антропогенной нагрузки на фоне низких значений ферментов каталазы, целлюлазы, амилазы более высокой была активность уреазы и протеазы. Для почвы селитебной зоны показаны низкие показатели как ферментативной, так и микробиологической активности данных почв, в том числе таких важнейших функциональных групп почвенной микробиоты, как целлюлозолитические и нитрифицирующие микроорганизмы, поддерживающие важнейшие экологические функции почвы.

Апробированный набор биохимических и микробиологических показателей для расчета ИПБС почвы позволяет более детально оценить ее состояние, чем использование только химических или микробиологических показателей.

Полученные экспериментальные данные о существенном воздействии негативных факторов на состояние и активность различных групп микроорганизмов и протекание важнейших процессов в почвах промышленной и селитебной зон города подтверждены и значениями ИПБС, которые в среднем в

1.5–3 и 2 раза ниже почвы рекреационной зоны.

В целом экологическое состояние почв промышленной, селитебной зоны и парка им. В. И. Ленина по значениям интегральных показателей можно оценить как высокоопасное, т. е. степень деградационных процессов данных территорий столь велика, что нарушены важнейшие функции почвы и она не способна поддерживать жизнеспособность биогеоценоза. Также установлено, что для биоиндикации почв городских территорий в промышленной и селитебной зонах наиболее применимы микробиологические показатели по сравнению с биохимическими. Для почв, испытывающих хроническое негативное воздействие (нефтебаза и парк им. В. И. Ленина), показана обратная зависимость. В почве сквера им. Г. Алиева, в отличие от почвы парка им. В. И. Ленина, основанного более ста лет назад, степень вклада биохимических и микробиологических показателей в ИПБС почв практически одинакова.

Результаты проведенных исследований можно использовать при мониторинге и биодиагностике состояния почвы городских территорий, при оценке степени антропогенного воздействия на почвы, а также в других природоохранных и производственных мероприятиях. Мониторинговые исследования почв г. Астрахани и Астраханской области имеют большое значение, т. к. на территории города и области функционируют крупные предприятия нефтегазовой отрасли и других отраслей промышленности, ведется активная городская застройка.

Библиография

- Белова М. Ю., Тихомирова Е. И., Абросимова О. В. Совершенствование экологического мониторинга городских почв по биологическим показателям с учетом овражно-балочной сети // Научные труды национального парка «Хвалынский». 2017. Вып. 9. С. 94–99.
- Галактионова Л. В., Суздалева А. В. Экологическая оценка почвенного покрова урбанизированных территорий методами биодиагностики // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 4. С. 171.
- ГОСТ 28168-8 Почвы. Отбор проб . М.: Стандартинформ, 2008. 6 с.
- Добровольский Г. В., Чернов И. Ю. Роль почвы в формировании и сохранении биологического разнообразия . М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 273 с.
- Казеев К. Ш., Колесников С. И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований . Ростов н/Д: Изд-во Южного федерального ун-та, 2012. 260 с.
- Киреева Н. А., Водопьянов В. В., Мифтахова А. М. Биологическая активность нефтезагрязненных почв . Уфа: Гилем, 2001. 376 с.
- Колесников С. И., Казеев К. Ш., Денисова Т. В. Методика оценки целесообразности и эффективности рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами по биологическим показателям // Инженерный вестник Дона. 2013. Т. 26. № 3 (26). С. 51.
- Корикова Н. О., Гусакова Н. В., Петров В. В. Оценка экологического состояния почвы городских территорий на основании показателей биологической активности (на примере г. Таганрога) // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2016. № 4. С. 87–91. DOI:

10.18522/0321-3005-2016-4-87-91

- Корчагин А. А., Мазиров М. А., Шушкевич Н. И. Физика почв: Лабораторный практикум . Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. 99 с.
- Мотузова Г. В., Безуглова О. С. Экологический мониторинг почв . М.: Академический Проект: Гаудеамус, 2007. 237 с.
- Нетрусов А. И. Практикум по микробиологии . М.: Академия, 2005. 608 с.
- Пархоменко А. Н. О необходимости микробиологической диагностики почв, испытывающих антропогенное воздействие // Юг России: экология, развитие. 2010. № 4. С. 88–91.
- Пархоменко А. Н. Влияние загрязнения нефтепродуктами и серой на микрофлору почв аридной зоны (на примере Астраханской области): Дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2011. 181 с.
- Пархоменко А. Н. Эколого-биологическое состояние почв Астраханской области в условиях антропогенного воздействия // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8. № 1. С. 129–134. DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-1-129-134
- Ручин А. Б., Мещеряков В. В., Спиридонов С. Н. Урбоэкология для биологов . М.: КолосС, 2009. 195 с.
- Федорец Н. Г., Медведева М. В. Методика исследования почв урбанизированных территорий . Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 84 с.
- Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии . М.: Наука, 2005. 252 с.
- Хазиев Ф. Х. Структурно-функциональная связь биоразнообразия наземных экосистем с почвами // Экобиотех. 2019. Т. 2. № 1. С. 19–35. DOI 10.31163/2618-964X-2019-2-1-19-35
- Atlas R. M. Microbial hydrocarbon degradation – bioremediation of oil spills // J. Chem. Tech. Biotechnol. 1991. Vol. 52. P. 149–156.
- Bahrapour T., Moghanlo Sarvi V. Evaluation of soil biological activity after soil contaminating by crude oil // International Journal of Agriculture: Research and Review. 2012. Vol. 2 (6). P. 671–679.
- Elliott G. Effects of inhibitors of microbial activity on urea hydrolysis and nitrification in a soilless potting medium // Horticulture. 2007. № 3. P. 23–27.
- Lehmann A., Stahr K. Nature and Significance of Anthropogenic Urban Soils // J. of Soils & Sediments. 2007. Vol. 7(4). P. 247–260.
- Obire O., Anyanwu E. C. Impact of various concentrations of crude oil on fungal populations of soil // Int. J. Environ. Sci. Tech. 2009. № 6. P. 211–218.

INDICATION OF THE ECOLOGICAL STATUS OF URBAN SOILS BASED ON SOME CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL INDICATORS (ON THE EXAMPLE OF ASTRAKHAN)

PARKHOMENKO
Anna Nikolaevna

Ph.D., Astrakhan State Technical University, parhoman@mail.ru

Keywords:

urban soils
soil assessment
biological activity
enzyme activity
ecological state

Summary: The aim of the research was to determine the ecological status of soils in the industrial, residential and recreational areas of the Astrakhan city. As a result, biological and enzymatic activity of the studied soil samples was studied. Soils in the territory of LUKOIL-NVNP oil depot No. 5 showed low biological activity. Low enzymatic activity was shown by soils of the residential area. Using the obtained results, we calculated an integral indicator of the biological state of the studied soils based on the complex of 15 microbiological and biochemical parameters. The maximum values of the integral indicator of biological state (IIBS) of soil were marked for soils of recreational area, minimal - for soils of industrial area (tank farm No. 5 OOO «LUKOIL-NWNP»). They were 81,2% and 26,2 %, respectively. For data processing and analysis we used clustering based on a set of chemical and microbiological indicators. As a result, 3 clusters were formed. Minimum differences in chemical and microbiological parameters were established for soils selected in the territory of LUKOIL-NVNP oil depot No. 5. The second cluster was formed by the soils of the residential area and Confectionary plant «Karon», the third - by the soils selected in the recreational area of the city. It was also established that microbiological indicators were most applicable to determine the ecological state of urban soils in the industrial and residential areas compared to biochemical ones. The obtained results show that the ecological status of soils in the industrial, residential zone and V.I. Lenin Park can be characterized as highly dangerous by the values of integral indicators.

Received on: 15 June 2019

Published on: 12 March 2020

References

- Atlas R. M. Microbial hydrocarbon degradation – bioremediation of oil spills, *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 1991. Vol. 52. P. 149–156.
- Bahrampour T., Moghanlo Sarvi V. Evaluation of soil biological activity after soil contaminating by crude oil, *International Journal of Agriculture: Research and Review.* 2012. Vol. 2 (6). R. 671–679.
- Belova M. Yu. Tihomirova E. I. Abrosimova O. V. Improvement of ecological monitoring of urban soils on biological indicators taking into account gully-beam network, *Nauchnye trudy nacional'nogo parka «Hvalynskiy».* 2017. Vyp. 9. P. 94–99.
- Dobrovol'skiy G. V. Chernov I. Yu. The role of soil in the formation and conservation of biological diversity. M.: Tovarischestvo nauchnyh izdaniy KMK, 2011. 273 p.
- Elliott G. Effects of inhibitors of microbial activity on urea hydrolysis and nitrification in a soilless potting medium, *Horticulture.* 2007. No. 3. R. 23–27.
- Fedorec N. G. Medvedeva M. V. Methods of research of soils of urban territories. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy centr RAN, 2009. 84 p.
- Galaktionova L. V. Suzdaleva A. V. Assessment of the soil cover of the urbanized territories by the methods of biodiagnostic, *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya.* 2017. No. 4. P. 171.
- Haziev F. H. Methods of soil enzymology. M.: Nauka, 2005. 252 p.
- Haziev F. H. Structural and functional connection of biodiversity ground ecosystems with soils, *Ekobiotech.* 2019. T. 2. No. 1. P. 19–35. [DOI 10.31163/2618-964X-2019-2-1-19-35](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2019-2-1-19-35)
- Kazeev K. Sh. Kolesnikov S. I. Biagnostics of soils: the methodology and research methods. Rostov n/D: Izd-vo Yuzhnogo federal'nogo un-ta, 2012. 260 p.
- Kireeva N. A. Vodop'yanov V. V. Miftahova A. M. Biological activity of oil contaminated soils. Ufa: Gilem, 2001. 376 p.
- Kolesnikov S. I. Kazeev K. Sh. Denisova T. V. Methods to evaluate the effectiveness of remediation of soils

- contaminated with oil and oil products by biological indicators, *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2013. T. 26. No. 3 (26). P. 51.
- Korchagin A. A. Mazirov M. A. Shushkevich N. I. Soil physics: laboratory workshop. Vladimir: Izd-vo Vladim. gos. un-ta, 2011. 99 p.
- Korikova N. O. Guskova N. V. Petrov V. V. Assessment of environmental status of soils of urban areas on the basis of indicators of biological activity (on the example of Taganrog), *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Estestvennye nauki*. 2016. No. 4. P. 87–91. DOI: [10.18522/0321-3005-2016-4-87-91](https://doi.org/10.18522/0321-3005-2016-4-87-91)
- Lehmann A., Stahr K. Nature and Significance of Anthropogenic Urban Soils, *J. of Soils & Sediments*. 2007. Vol. 7(4). P. 247–260.
- Motuzova G. V. Bezuglova O. S. Environmental monitoring of soils. M.: Akademicheskij Proekt: Gaudeamus, 2007. 237 p.
- Netrusov A. I. Workshop on microbiology. M.: Akademiya, 2005. 608 p.
- Obire O., Anyanwu E. C. Impact of various concentrations of crude oil on fungal populations of soil, *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 2009. No. 6. P. 211–218.
- Parhomenko A. N. About necessity of microbiological diagnostics of the soils experienced to anthropogenic impact, *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*. 2010. No. 4. P. 88–91.
- Parhomenko A. N. Ecological and biological properties of soils of the Astrakhan region in the conditions of anthropogenic impact, *Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya*. 2018. T. 8. No. 1. P. 129–134. DOI: [10.21285/2227-2925-2018-8-1-129-134](https://doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-1-129-134)
- Parhomenko A. N. Vliyanie zagryazneniya nefteproduktami i seroy na mikrofloru pochv aridnoy zony (na primere Astrahanskoy oblasti): *Dip. ... kand. biol. nauk*. Ufa, 2011. 181 p.
- Ruchin A. B. Mescheryakov V. V. Spiridonov S. N. Urboekology for biologists. M.: KolosS, 2009. 195 p.
- Soils. Soil sampling. M.: Standartinform, 2008. 6 p.