

**ОЦЕНКА САМООЧИЩАЮЩЕЙСЯ СПОСОБНОСТИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ
СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ****Н.Ю. Гречищева, А.А. Запорожская, Н. Алтанбагана**

Наталья Юрьевна Гречищева*, Анастасия Андреевна Запорожская, Номинтуя Алтанбагана

Кафедра промышленной экологии, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Ленинский пр-т., 65, Москва, Российская Федерация, 119991

E-mail: yanat2@mail.ru*, wlasjashka@mail.ru, nomintuya.altanbagana@gmail.com

Поиск экологически безопасных и экономически выгодных методов восстановления нефтезагрязненных почв, основанных на стимулировании и воспроизведении природных процессов самоочищения, в настоящее время особенно актуален. В работе произведена оценка самоочищающей способности почв, основанной на активации процессов микробиологической деятельности путем внесения различных стимулирующих агентов – гумата, сидерата и минерального удобрения - аммофоски. Внесение стимуляторов показало увеличение каталазной активности как для торфяной почвы с содержанием нефтяных углеводородов 185 г/кг, так и для арктической почвы, характеризующейся более низким углеводородным загрязнением 30 г/кг. Наибольшим значением каталазной активности характеризовалась торфяная почва при внесении минерального удобрения ($3,9 \text{ O}_2 \text{ мин}^{-1} \text{ г}^{-1}$) и арктическая почва при внесении сидерата ($1,75 \text{ мл O}_2 \text{ мин}^{-1} \text{ г}^{-1}$). Закономерно было зафиксировано увеличение численности микроорганизмов в соответствующих образцах почв – $5,49 \cdot 10^4$ КОЕ/мл и $6,0 \cdot 10^4$ КОЕ/мл. Повышение уровня биodeградации нефтезагрязненных почв в исследуемых образцах при внесении стимулирующих агентов может служить подтверждением увеличения самоочищающей способности почв. В результате проведения эксперимента уровень биodeградации нефтезагрязнения арктической почвы увеличился до $22,1 \pm 1,8\%$ при внесении сидерата и до $12,7 \pm 0,9\%$ торфяной почвы при внесении минерального удобрения – аммофоски по сравнению с контрольными образцами, где уровень биodeградации соответствовал 6%. Рекомендовано для стимулирования природных процессов самоочищения для сильно загрязненных торфяных почв с содержанием нефтяных углеводородов более 10% использовать минеральное удобрение – аммофоску. Для активации потенциала самовосстановления низко загрязненных почв арктического региона с уровнем нефтезагрязнения до 5%, со слабой аборигенной активностью, использовать сидераты без дополнительных мероприятий.

Ключевые слова: нефтезагрязнение, самоочищающая способность почв, биodeградация, гуматы, каталазная активность

Для цитирования:

Гречищева Н.Ю., Запорожская А.А., Алтанбагана Н. Оценка самоочищающей способности нефтезагрязненных почв северных регионов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 10. С. 114–120. DOI: 10.6060/ivkkt.20236610.6770.

For citation:

Grechishcheva N.Yu., Zaporozhskaya A.A., Altanbagana N. Assessment of the self-cleaning ability of oil-contaminated soils of the northern regions. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 10. P. 114–120. DOI: 10.6060/ivkkt.20236610.6770.

ASSESSMENT OF THE SELF-CLEANING ABILITY OF OIL-CONTAMINATED SOILS OF THE NORTHERN REGIONS

N.Yu. Grechishcheva, A.A. Zaporozhskaya, N. Altanbagana

Natalya Yu. Grechishcheva, Anastasia A. Zaporozhskaya, Nomintuyaa Altanbagana

Department of Industrial Ecology, National University of Oil and Gas «Gubkin University», Leninsky ave., 65, Moscow, 119991, Russia

E-mail: yanat2@mail.ru*, wlasjashka@mail.ru, nomintuya.altanbagana@gmail.com

The search for environmentally safe and cost-effective methods of restoring oil-contaminated soils based on the stimulation and reproduction of natural self-purification processes is currently particularly relevant. The paper evaluates the self-cleaning ability of soils based on the activation of microbiological activity processes by introducing various stimulating agents - humate, siderate and mineral fertilizer – ammophoski. The introduction of stimulants showed an increase in catalase activity both for highly polluted peat soil with an oil pollution level of 185 g/kg, and for slightly polluted (oil content of 30 g/kg) – arctic soil. The highest value of catalase activity was characterized by peat soil when applying mineral fertilizer ($3.9 \text{ O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$) and arctic soil when applying siderate ($1.75 \text{ O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$). Naturally, an increase in the number of microorganisms was recorded in the corresponding soil samples – $5.49 \cdot 10^4$ CFU/ml and $6.0 \cdot 10^4$ CFU/ml. An increase in the level of biodegradation of oil-contaminated soils in the studied samples with the introduction of stimulating agents can serve as confirmation of an increase in the self-cleaning ability of soils. As a result of the experiment, the level of biodegradation of oil pollution of the Arctic soil increased to $22.1 \pm 1.8\%$ when applying siderate and up to $12.7 \pm 0.9\%$ of peat soil when applying mineral fertilizer – ammophoski compared with control samples, where the level of oil biodegradation corresponded to 6%. It is recommended to use mineral fertilizer – ammophoska to stimulate natural self-purification processes for highly polluted peat soils with a content of petroleum hydrocarbons of more than 15%. To activate the self-cleaning ability of low-polluted soils of the Arctic region with an oil pollution level of up to 5%, with weak aboriginal activity, use siderates without additional measures.

Key words: oil pollution, self-cleaning ability of soils, biodegradation, humates, catalase activity

ВВЕДЕНИЕ

Нефть и продукты ее переработки принадлежат к наиболее распространенному классу загрязняющих веществ почвенных и водных сред. Это связано с огромными объемами добычи и переработки нефти, сопряженных с большими экологическими рисками из-за опасности поступления нефти в объекты окружающей среды в результате аварий на буровых скважинах и средствах транспортировки нефти. При этом существующие методы ликвидации последствий загрязнения нефтью и нефтепродуктами, включающие применение комплекса механических, физико-химических и биологических способов очистки, не всегда отвечают требованиям экологической безопасности из-за угрозы вторичного загрязнения. Особенно актуальна эта проблема для России, основные нефтеносные районы которой расположены в зоне вечной мерзлоты и на Арктическом шельфе. Именно в данных регионах находятся наиболее уязвимые

экосистемы с минимальным потенциалом самовосстановления из-за низких температур и наличия ледяного покрова, замедляющих процессы испарения и биodeградации нефти. Почвы из северных регионов отличаются слабым развитием почвенных процессов, неразвитостью почвенного профиля, разреженностью растительного покрова, состоящего преимущественно из мхов, лишайников и сине-зеленых водорослей. Мощность гумусового горизонта неравномерна: содержание гумуса в верхних горизонтах может достигать до 12%, уменьшаясь в нижних горизонтах до 1,5%, и зависит от глубины сезонного протаивания многолетней мерзлоты, достигая в летние месяцы 30-50 см. При низкой интенсивности биологического круговорота углерода и в условиях, способствующих консервации растительных остатков, наблюдается довольно высокое (десятки процентов) накопление углерода в виде малоразложившихся остатков, однако гумусообразование в этих условиях идет с

низкой интенсивностью и образуется гумус фульватного типа, с высоким содержанием алифатических и углеводных структур. Для почв, формирующихся в условиях тайги, как например, дерново-подзолистых почв, основным источником органического вещества является обогащенный лигнином опад хвойных деревьев. Соответственно, доминируют микробные сообщества, специализирующиеся на переработке, в первую очередь, лигнина. В связи с этим, вероятно, идет накопление алифатических и углеводных структур. Механический состав почв северных регионов включает илистую фракцию, которая преобладает над супесчаной и легкосуглинистой [1-5].

Поиск экологически безопасных методов ликвидации последствий нефтяного загрязнения для северных регионов представляется весьма важным. В связи с этим была исследована оценка способности самоочищения выбранных нефтезагрязненных почв северных регионов, основанная на оценке изменения параметров биологической активности почв при внесении стимулирующих агентов. Из параметров биологической активности почв наиболее широко используются биохимические показатели, в первую очередь показатели ферментативной активности, поскольку почвы являются «каталитической матрицей биосферы» [6-8]. Для этой цели была проведена оценка каталазной активности почв, характеризующая общую метаболическую активность почвенной микрофлоры. Каталаза – фермент, относящийся к классу оксидоредуктаз, широко распространен в природе, встречается почти во всех живых клетках, присутствует в почве. Биосферная значимость каталазы, простота и воспроизводимость методов ее определения обусловили широкое применение показателя каталазной активности почв в фундаментальных и прикладных исследованиях [9-13]. Дополнительно оценивали численность микроорганизмов во всех исследуемых образцах, а также изменение уровня биодegradации нефтяного загрязнения за время проведения эксперимента в присутствии и отсутствие стимуляторов.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве объекта исследования выступали два вида нефтезагрязненной почвы: нефтезагрязненная дерново-подзолистая почва, отобранная на месте бывшего склада горюче-смазочных материалов Ямало-Ненецкого автономного округа западного побережья Обской губы (арктическая почва) с рН водной вытяжки $7,08 \pm 0,10$ и содержанием нефтяных углеводородов 30 г/кг, и торфяная

почва Мегионского месторождения Нижневартовского района Ханты-Мансийского автономного округа с рН водной вытяжки $6,72 \pm 0,10$ и содержанием нефтяных углеводородов 185 г/кг.

В качестве стимулирующих агентов микробиологической активности данных почв использовали препарат гуминовых веществ угля – Сахалинский гумат, сидерат – белую горчицу и удобрение – аммофоску.

Высокий инновационный потенциал применения гуминовых веществ в технологиях восстановления нефтезагрязненных веществ подтверждается многочисленными патентованными технологиями и регламентами [14-15]. Известно, что составляющими процессами очистки нефтезагрязненных почв с использованием гуминовых веществ может быть как физико-химическое связывание токсикантов, так и их антистрессорное действие [16]. Однако в зависимости от источника происхождения, способа выделения и концентрации вносимых препаратов гуминовые вещества могут оказывать различное действие (как отрицательное, так и положительное) на бактериальные препараты, которые достаточно селективны в отношении источника гуминовых веществ [17].

Коммерческий препарат отечественного производства Сахалинский гумат («Биомир 2000», РФ) применяли в качестве адаптогена и стимулятора роста аборигенной микрофлоры при концентрации 0,1% масс. Препарат широко представлен на рынке, представляет собой смешанный гумат К/Na, произведенный путем механохимической обработки бурого угля. Препарат был охарактеризован методом элементного анализа, который был выполнен в лаборатории микроанализа химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова на элементном анализаторе-1106 фирмы *Carlo Erba Strumentazione* (Италия). Полученные данные по содержанию С, Н, N, пересчитывали на беззольное безводное вещество. Содержание кислорода вычисляли по разности между общей массой органического вещества в препарате и массой остальных элементов. Из данных элементного анализа рассчитывали атомные соотношения Н/С и О/С, которые являются косвенными характеристиками ненасыщенности и окисленности гуминовых препаратов, соответственно. В табл. 1 представлен С,Н,N-анализ Сахалинского гумата.

Белая горчица, используемая в качестве сидерата, характеризуется высокой всхожестью семян, способствует обогащению почвы азотом, органикой, замедляет ее ощелачивание, извлекает из почвы и накапливает фосфаты и другие труднорастворимые макроэлементы. Преимуществом белой

горчицы является хорошая приспособляемость к различным типам почв. Она способна аккумулировать нефтяное загрязнение, а также тяжелые металлы, такие как никель и кадмий, устойчива к загрязнению медью [18, 19].

Таблица 1

Элементный состав и зольность препарата Сахалинский гумат

Table 1. Elemental composition and ash content of examples of Sakhalin humate

| Препарат | Содержание, % масс. | | | | Атомные соотношения | | Зольность, % |
|-------------------|---------------------|-----|---|------|---------------------|------|--------------|
| | С | Н | N | О | Н/С | О/С | |
| Сахалинский гумат | 51,8 | 2,7 | - | 45,5 | 0,69 | 0,66 | 30 |

В качестве удобрения применяли аммофоску ("РосХимАгро"). Комплексное, твердое, гранулированное ($N_{70}:P_{60}:K_{30}$) удобрение в дозе, обеспечивавшей внесение 80 мг азота, 70 мг фосфора и 36 мг калия на 1 кг грунта. Аммофоска, при наличии в почве продуктов нефти, активизирует рост колоний азотобактера, что способствует более полному усваиванию легкодоступных форм углеродсодержащих органических соединений.

Все стимуляторы аборигенной микрофлоры вносили разово в начале эксперимента. Общая продолжительность эксперимента составила 4 недели. Средняя температура воздуха при проведении экспериментов поддерживалась в диапазоне 17 ± 3 °С, что соответствовало средне климатическим температурам воздуха северных районов в летние периоды. Пробы отбирали до внесения стимуляторов и через каждые две недели после внесения. Было проведено три серии экспериментов. Все почвы в емкостях увлажнялись по мере необходимости.

Схема постановки эксперимента включала следующие модели:

Почва+вода – контроль (К); почва+гумат (П+Г); почва+сидерат (П+С); почва+аммофоска (П+А). В усредненной пробе, отобранной из трех кювет от каждого варианта, анализировали рН, каталазную активность и численность микроорганизмов.

Каталазную активность определяли по методу Ф.Х. Хазиева [20]. Численность микроорганизмов определяли методом посева почвенной суспензии на питательную плотную среду МПА (мясопептонный агар) [21]. Определение массовой концентрации нефтепродуктов в грунтах проводили гравиметрическим методом [22]. Для определения рН почвенных проб использовали стандартные агрохимические методы [23].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение каталазной активности исследуемых образцов нефтезагрязненных почв в присутствии различных стимуляторов представлено на рис. 1(а, б).

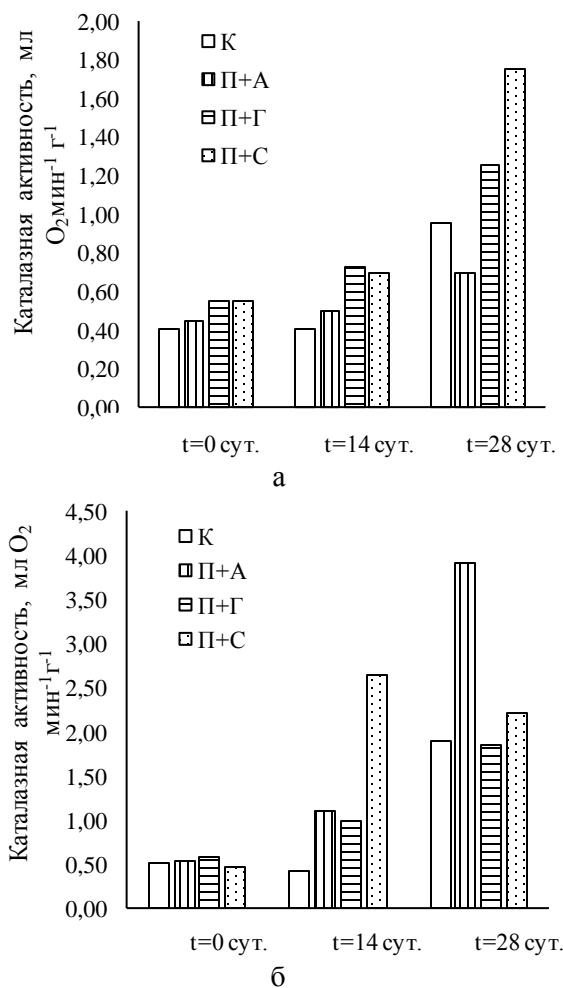


Рис. 1. Изменение активности каталазы арктической (а) и торфяной (б) нефтезагрязненной почвы за время проведения эксперимента

Fig. 1. Dynamics of the catalase activity in the arctic (a) and peat (b) oil contaminated soils during the experiment

Как видно из рис. 1а, добавление стимуляторов в нефтезагрязненную арктическую почву приводило к повышению ее каталазной активности как в самом начале эксперимента, так и по окончании эксперимента по сравнению с контролем. При этом наиболее существенными стимуляторами выступали гумат и семена белой горчицы. К концу эксперимента (t = 28 сут.) наиболее заметно увеличилось значение активности каталазы в образцах почвы с сидератом, которые дали небольшие всходы после 10 дней эксперимента. Однако к окончанию эксперимента наблюдалось их увядание. Несмотря на данный факт, всхожесть семян

сидерата было достаточным условием для повышения ферментативной активности нефтезагрязненной арктической почвы.

Внесение стимуляторов в нефтезагрязненную торфяную почву (рис. 1б) также показало увеличение ее ферментативной активности на всем протяжении эксперимента. Через 14 дней после начала эксперимента наблюдалось значительное увеличение каталазной активности почвы в образцах с сидератом, по сравнению с другими образцами. При этом всхожесть семян наблюдалась уже на 5 день эксперимента, что, видимо, и послужило причиной увеличения активности каталазы. Однако к концу эксперимента наблюдалось увядание ростков горчицы, как и в соответствующих образцах нефтезагрязненной арктической почвы. В отличие от арктической, для торфяной почвы это привело к снижению к концу эксперимента каталазной активности этих образцов в присутствии сидерата. Видимо, высокий уровень загрязнения торфяной почвы, по сравнению с арктической, способствовал угнетению как ростков горчицы, так и ферментативной активности. По окончании эксперимента наиболее высокими значениями каталазной активности характеризовались образцы торфяной почвы в присутствии аммофоски. Стоит отметить, что для арктической низко загрязненной почвы присутствие гумата также способствовало повышению каталазной активности по сравнению с другими образцами. Данный эффект, по-видимому, обусловлен стимулирующим влиянием гумата на микрофлору в условиях низкого загрязнения нефтепродуктами. Также простое увлажнение контрольных образцов обоих видов почв способствовало увеличению их каталазной активности к моменту окончания эксперимента по прошествии 28 дней.

Микробиологический мониторинг численности микроорганизмов показал двукратное увеличение их количества за время эксперимента в образцах арктической почвы с внесенным сидератом, по сравнению с контрольным образцом (рис. 2а), что соответствует вышеприведенным данным по возрастанию каталазной активности.

При этом исходные образцы при $t = 0$ сут. характеризовались достаточно низкой численностью аборигенной микрофлоры – 5000 КОЕ/мл. Внесение гумата также увеличивало активность микроорганизмов арктической почвы, но несколько в меньшей степени, по сравнению с присутствием сидерата. Стоит отметить, что наблюдаемое слабое влияние удобрения на численность

микроорганизмов может быть связано с недостаточной концентрацией внесенного раствора аммофоски.

Аналогичные закономерности по изменению численности микрофлоры были получены для образцов нефтезагрязненной торфяной почвы (рис. 2б). За время эксперимента ($t = 28$ сут.) наблюдается общая тенденция увеличения численности микроорганизмов во всех исследуемых образцах. При этом наибольшим увеличением микробиологической активности характеризовались образцы, с внесенным удобрением, что согласуется с вышеприведенными данными по возрастанию каталазной активности в соответствующих образцах.

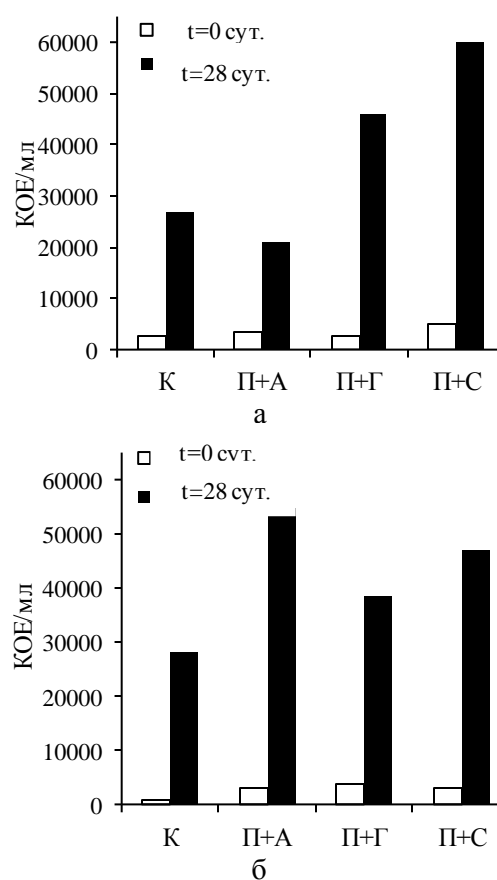


Рис. 2 Изменение численности микроорганизмов арктической (а) и торфяной почв (б) за время проведения эксперимента
Fig. 2. Change in the number of microorganisms in the arctic (a) and peat soils (b) during the experiment

Оценка уровня биodeградации нефтяного загрязнения, проведенная для образцов исследуемых почв, характеризующихся наибольшим увеличением за время эксперимента, как каталазной активности, так и численностью микроорганизмов, приведена в табл. 2.

Уровень деградации нефти (X) оценивали как относительное уменьшение содержания нефтепродуктов в образцах почв в присутствии сидерата (для арктической почвы) и аммофоски (для торфяной почвы) (С) по сравнению с концентрацией нефтепродуктов в контрольном образце (С₀):

$$X = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100 \% \quad (1)$$

Таблица 2

Влияние стимуляторов аборигенной активности микроорганизмов на уровень биодеградации нефтяного загрязнения исследуемых почв

Table 2. The effect of stimulators of the native activity of microorganisms on the level of biodegradation of oil pollution of the studied soils

| Уровень биодеградации нефтяного загрязнения почв за время проведения эксперимента (t, сут.), % | | | |
|--|---------------|----------------|-----------------|
| Арктическая почва | | Торфяная почва | |
| К t = 28 | П+С t = 28 | К t = 28 | П + А t = 28 |
| 6,3±1,4 | 22,1±1,8 | 5,1±1,4 | 12,7±0,9 |

Представленные данные по изменению уровня биодеградации нефтяного загрязнения исследуемых почв служат подтверждением вышеприведенных результатов об изменении биологической активности почв в присутствии стимуляторов – семян горчицы, в случае арктической почвы и аммофоски – для торфяной почвы. Так, внесение стимуляторов способствовало явной активации аборигенной микрофлоры: уровень деградации нефти менее загрязненной арктической почвы в присутствии сидерата составил 22,1±1,8% по сравнению с 6,3±1,4% в контрольном варианте, а более загрязненной торфяной – 12,7±0,9% в присутствии аммофоски по сравнению с 5,1±1,4% в контрольном варианте. Удобрение является более эффективным стимулятором аборигенной микрофлоры высокозагрязненной нефтепродуктами почвы по сравнению с сидератом и гуматом, в то время как для менее загрязненной почвы достаточным условием активации микробиологической активности является внесение сидератов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гречищева Н.Ю., Перминова И.В., Холодов В.А., Мещеряков С.В. // *Журн. общей химии*. 2017. Т. 87. № 9. С. 2166-2180. DOI: 10.1134/S1070363217090432.
2. Почвоведение. Типы почв, их география и использование. Под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. М.: Высш. шк. 1988. Ч. 2. 368 с.

ВЫВОДЫ

Внесение стимуляторов (гумата, аммофоски и сидерата) показало увеличение каталазной активности во всех исследуемых образцах почв по сравнению с контролем как для сильно загрязненной торфяной почвы, так и для слабо загрязненной нефтяными углеводородами арктической почвы. Полученные результаты позволяют расположить почвенные образцы по увеличению их каталазной активности в следующий ряд: К < П + Г < П + С < < П + А для торфяной почвы и К < П + А < П + Г < < П + С для арктической почвы. Максимальные значения составили: 3,9 мл О₂ мин⁻¹·г⁻¹ для торфяной почвы и 1,75 мл О₂ мин⁻¹·г⁻¹ – для арктической почвы.

Внесение стимуляторов (гумата, аммофоски и сидерата) показало увеличение численности микроорганизмов нефтезагрязненных почв в той же закономерности, что и возрастание ферментативной активности. В почвах, где происходит наибольшее увеличение активности каталазы, закономерно выросло больше всего микроорганизмов. Соответствующие значения составили: 5,49·10⁴ КОЕ/мл для образца П + А торфяной почвы и 6,0·10⁴ КОЕ/мл – для образца П + С арктической почвы.

Повышение уровня биодеградации нефтяного загрязнения почв в присутствии сидерата и аммофоски подтверждает эффективность данных стимуляторов в отношении потенциала самовосстановления исследуемых почв, обусловленного увеличением биологической активности соответствующих почвенных образцов. Таким образом, для повышения способности самоочищения торфяных почв с уровнем нефтезагрязнения 10% и выше рекомендуется внесение минерального удобрения – аммофоски. Для активации потенциала самовосстановления арктических почв при уровне нефтезагрязнения до 5% достаточно посадка сидерата без дополнительных мероприятий.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

REFERENCES

1. Grechishcheva N.Yu., Perminova I.V., Kholodov V.A., Meshcheryakov S.V. // *Zhurn Obshch. Khim.* 2017. V. 87. N. 9. P. 2166-2180 (in Russian). DOI: 10.1134/S1070363217090432.
2. Soil science. Types of soils, their geography and use. Ed. by V.A. Kovdy, B.G. Rozanov. M.: Vyssh. shk. 1988. Part 2. 368 p. (in Russian).

3. Холодов В.А., Константинов А.И., Кудрявцев А.В., Перминова И.В. // *Почвоведение*. 2011. № 9. С. 1064–1073.
4. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во Моск. Ун-та. 1990. 325 с.
5. Извекова Т.В., Кобелева Н.А., Сулаева О.Ю., Гушдин А.А., Гриневич В.И., Рыбкин В.В., Платова А.С. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 12. С. 105-110. DOI: 10.6060/ivkkt.20216412.6467.
6. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов: Изд-во Юж. Федерал. ун-та. 2012. 260 с.
7. Хазиев Ф.Х. // *Вестн. Акад. наук Респ. Башкортостан*. 2015. Т. 20. № 2. С. 14–24.
8. Герасимов А.О. // *Регионал. экология*. 2019. Т. 3. № 57. С. 7-25. DOI: 10.30694/1026-5600-2019-3-7-25.
9. Логинов О.Н., Силищев Н.Н., Бойко Т.Ф., Гилимзянова Н.Ф. Биотехнологические методы очистки окружающей среды от техногенных загрязнений. У.: Реактив. 2000. 100 с.
10. Шемелинина Т.Н., Новоселова Е.И., Киреева Н.А., Маркарова М.Ю. // *Вестн. Оренбург. гос. ун-та*. 2007. № 75. С. 432-434.
11. Новоселова Е.И. // *Вестн. Оренбург. гос. Ун-та*. 2007. № 75. С. 246-247.
12. Гасанова У.О. // *МНИЖ*. 2019. Т. 3. № 81. С. 52-58. DOI: 10.23670/IRJ.2019.81.3.007.
13. Перминова Е.М., Лаптева Е.М. // *Аграр. вестн. Урала*. 2018. Т. 5. № 172. С. 44-53.
14. Вайсман Я.И., Глушанкова И.С., Рудакова Л.В., Куми В.В., Токарев И.П. // *Нефт. хоз-во*. 2013. № 10. С. 128-131.
15. Фомичева Н.В., Смирнова Ю.Д., Рабинович Г.Ю. // *Изв. вузов. Приклад. химия и биотехнол.* 2022. Т. 12. № 2. С. 310-320. DOI: 10.21285/2227-2925-2022-12-2-310-320.
16. Якименко О.С., Терехова В.А. // *Почвоведение*. 2011. № 11. С. 1334-1343.
17. Гречищева Н.Ю., Перминова И.В., Мещеряков С.В. // *Экология и пром-сть России*. 2016. Т. 20. № 1. С. 30-36. DOI: 10.18412/1816-0395-2016-1-30-36.
18. Мишанькин А.Ю. // Матер. VIII Всеросс. науч. студ. конф. с элем. науч. шк. им. М.К. Коровина. Т.: ТПУ. 2015. С. 48-50.
19. Плешакова Е.В., Дубровская Е.В., Турковская О.В. // *Биотехнология*. 2005. № 1. С. 42-50.
20. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука. 2005. 252 с.
21. Лысак В.В., Желдакова Р.А. Микробиология: методические рекомендации к лабораторным занятиям и контроль самостоятельной работы студентов. Мн.: БГУ. 2002. 100 с.
22. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах почв гравиметрическим методом [Электронный ресурс]: ПНД Ф 16.1.41-04. Введен 2004-04-23. Режим доступа: <http://gostf.com/normativ/1/4293846/4293846504.htm>.
23. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амелянчик О.А. Практикум по агрохимии. М.: МГУ. 2001. 689 с.
3. Kholodov V.A., Konstantinov A.I., Kudryavtsev A.V., Perminova I.V. // *Pochvovedenie*. 2011. N 9. P. 1064-1073 (in Russian).
4. Orlov D.S. Humic acids of soils and the general theory of humification. M.: Izd-vo Mosk. Un-ta. 1990. 325 p. (in Russian).
5. Izvekova T.V., Kobeleva N.A., Sulaeva O.Yu., Gushdin A.A., Grinevich V.I. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 12. P. 105-110. DOI: 10.6060/ivkkt.20216412.6467.
6. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Soil biodiagnosics: methodology and research methods. Rostov: Izd-vo Yuzh. federal. Un-ta. 2012. 260 p. (in Russian).
7. Khaziev F.H. // *Vestn. Acad. Nauk Resp. Bashkortostan*. 2015. V. 20. N 2. P. 14-24 (in Russian).
8. Gerasimov A.O. // *Regional. Ekolog.* 2019. N 3 (57). P. 7-25 (in Russian). DOI: 10.30694/1026-5600-2019-3-7-25.
9. Loginov O.N., Silishchev N.N., Boyko T.F. Gilimzyanova N.F. Biotechnological methods of environmental purification from technogenic pollution. U.: Reagent. 2000. 100 p. (in Russian).
10. Shchemelinina T.N., Novoselova E.I., Kireeva N.A., Markarova M.Yu. // *Vestn. Orenburg. Gos. Univ.* 2007. N 75. P. 432-434 (in Russian).
11. Novoselova E.I. // *Vestn. Orenburg. Gos. Univ.* 2007. N 75. P. 246-247 (in Russian).
12. Gasanova U.O. // *MNIZH*. 2019. N 3 (81). P. 52-58 (in Russian). DOI: 10.23670/IRJ.2019.81.3.007.
13. Perminova E.M., Lapteva E.M. // *Agrar. Vestn. Urala*. 2018. N 5 (172). P. 44-53 (in Russian).
14. Vaysman Ya.I., Glushankova I.S., Rudakova L.V., Kumi V.V., Tokarev I.P. // *Neft. Khoz-vo*. 2013. N 10. P. 128-131 (in Russian).
15. Fomicheva N.V., Smirnova Yu.D., Rabinovich G.Yu. // *Izv. Vuzov. Priklad. Khim Biotekhnol.* 2022. V. 12. N 2. P. 310-320 (in Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2022-12-2-310-320.
16. Yakimenko O.S., Terekhova V.A. // *Pochvovedenie*. 2011. N 11. P. 1334-1343 (in Russian).
17. Grechishcheva N.Yu., Perminova I.V., Meshcheryakov S.V. // *Ekologiya Prom-st' Ross.* 2016. V. 20. N 1. P. 30-36 (in Russian). DOI: 10.18412/1816-0395-2016-1-30-36.
18. Mishankin A.Yu. // *Materials of the VIII All-Russian Scientific Student Conference with elements of the M.K. Koro-vin Scientific School*. T.: TPU. 2015. P. 48-50 (in Russian).
19. Pleshakova E.V., Dubrovskaya E.V., Turkovskaya O.V. // *Biotechnologiya*. 2005. N 1. P. 42-50 (in Russian).
20. Khaziev F.H. Methods of soil enzymology. M.: Nauka. 2005. 252 p. (in Russian).
21. Lysak V.V., Zheldakova R.A. Microbiology: methodological recommendations for laboratory classes and control of independent work of students. Mn.: BSU. 2002. 100 p. (in Russian).
22. Quantitative chemical analysis of soils. Methodology for measuring the mass concentration of petroleum products in soil samples by gravimetric method [Electronic resource]: MON F 16.1.41-04. Introduced 2004-04-23 (in Russian). Access mode: <http://gostf.com/normativ/1/4293846/4293846504.htm>.
23. Mineev V.G., Sychev V.G., Amelianchik O.A. Practicum on agrochemistry. M.: MGU. 2001. 689 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 24.11.2022
Принята к опубликованию 29.05.2023

Received 24.11.2022
Accepted 29.05.2023