Дата поступления рукописи в редакцию: 13.04.2025 г. DOI: 10.24412/2782-3830-2025-4-343-348
Дата принятия рукописи в печать: 13.05.2025 г.

ИЛЬЯСОВ Олег Рашитович,
доктор биологических наук,
профессор кафедры техносферной безопасности,
Уральский государственный университет путей сообщения,
профессор кафедры техносферной и экологической безопасности,
Уральский государственный аграрный университет,
старший научный сотрудник Уральского научно-исследовательского ветеринарного института
ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН,
e-mail: ilyasov3@rambler.ru

ГАВРИЛИН Игорь Игоревич,
кандидат биологических наук,
заведующий кафедры техносферной безопасности,
Уральский государственный университет путей сообщения,
e-mail: i.gavrilin@list.ru

ЯЦЕНКО Александр Сергеевич,
кандидат медицинских наук,
доцент кафедры техносферной безопасности,
Уральский государственный университет путей сообщения,
e-mail: alexandr-yatsenko2012@yandex.ru

ПОПОВА Нина Павловна,
доцент кафедры техносферной безопасности,
Уральский государственный университет путей сообщения,
e-mail: ninapop@list.ru

МАЛЫШЕВА Светлана Викторовна,
старший преподаватель кафедры техносферной безопасности,
Уральский государственный университет путей сообщения,
e-mail: svm_e@mail.ru

ВЛИЯНИЕ БИОЦЕНОЗА ЭКОСИСТЕМ НИЗИННЫХ БОЛОТ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ РЕКУЛЬТИВАЦИЮ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Аннотация*. Нефть каждого месторождения имеет свой характерный состав в каждой климатической зоне и будет оказывать различное воздействие на природную среду. Соответственно и процессы самоочищения почв будут отличаться в зависимости от природно-климатических условий и состава загрязнителя. В статье рассмотрены современные способы рекультивации нефтезагрязненных верховых болот.*

Ключевые слова*: биоценоз, экосистема, загрязнения, рекультивация, торфяные почвы, болото.*

ILYASOV Oleg Rashitovich,
Doctor of Biological Sciences,
Professor of the Department of Technosphere Safety,
Ural State University of Railway Transport, Professor of the Department of Technosphere and Environmental Safety, Ural State Agrarian University,
Ural State Agrarian University, Senior Researcher,
Ural Research Veterinary Institute, Federal State Budgetary Scientific Institution,
Ural Federal Research Center,
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

GAVRILIN Igor Igorevich,
Candidate of Biological Sciences,
Head of the Department of Technosphere Safety,
Ural State University of Railway Transport

YATSENKO Alexander Sergeevich,
candidate of medical sciences,
associate professor of the department of technosphere safety,
Ural State University of Railway Transport

POPOVA Nina Pavlovna,
Associate Professor
of the Department of Technosphere Safety,
Ural State Transport University

MALYSHEVA Svetlana Viktorovna,
Senior Lecturer, Department of Technosphere Safety,
Ural State University of Railway Transport

THE INFLUENCE OF THE BIOCENOSIS OF LOWLAND BOG ECOSYSTEMS ON THE BIOLOGICAL RECLAMATION OF PEAT SOILS CONTAMINATED WITH OIL PRODUCTS

Annotation. *Oil from each deposit has its own characteristic composition in each climate zone and will have a different impact on the natural environment. Accordingly, the processes of soil self-purification will differ depending on the natural and climatic conditions and the composition of the pollutant. The article examines modern methods of reclamation of oil-polluted raised bogs.*

Key words: *biocenosis, ecosystem, pollution, reclamation, peat soils, swamp.*

Цель – исследование влияния биоценоза экосистем низинных болот на биологическую рекультивацию торфяных почв, загрязненных нефтепродуктами.

Задачи – провести разработку современных способов рекультивации нефтезагрязненных низинных болот с использованием биоценоза.

Методы исследования – для решения задач применялись методы статистических, химических и лабораторных исследований.

Что касается ликвидации нефтеразливов на низинных болотах, то следует учитывать и использовать возможности биоценоза экосистемы. Низинные торфяники, формирующиеся под мощной травянистой растительностью и лиственными породами деревьев и характеризующиеся высоким содержанием органического вещества и нейтральной реакцией среды. В травянистой растительности низинных болот преобладают корневищные и корнеотпрысковые растения: тростник, рогоз, осоки и др., которые наиболее устойчивы к нефтяному загрязнению. Слабо реагируют на загрязнение нефтью гидрофитная и водная растительность [1]. Исследователями, отмечалось [2, 3], что камыш озерный, рогоз узколистный, рогоз широколистный, тростник обыкновенный, осока водная, роголистник темнозеленый устойчивы к влиянию нефти до дозы 10 г/л воды, а нефть в дозе 1 г/л обладала стимулирующим эффектом на рост данных растений [4].

Роль прибрежно-водных растений в самоочищении воды от нефти достаточно велика: прежде всего фотосинтетическая аэрация поддерживает в среде достаточное количество кислорода, выделения экзометаболитов стимулируют развитие нефтеокисляющих бактерий, развитая поверхность растений увеличивает зону контакта между нефтью и бактериями. Так, содержание кислорода в зоне зарослей в 2—3 раза выше, чем на открытой части водоема; наибольшее насыщение воды кислородом отмечается в дневные часы во время интенсивных фотосинтетических процессов.

Прижизненные выделения высших водных растений (аминокислоты, углеводы, органические кислоты, летучие амины, витамины, органический углерод и др.) являются стимуляторами и питательной средой для нефтеокисляющих микроорганизмов.

Результаты выполненных авторами [5, 6] исследований динамики родового состава бактериоценозов воды, донных отложений и перифитона биологических загрузок в вегетационный и вневегетационный периоды представлены в *таблице 1.*

Таблица 1

Динамика родового состава бактериоценозов (в числителе – вневегетационный сезон, в знаменателе – вегетационный)

№ п/п	Место отбора проб	Родовой состав, % от общего содержания			
		Pseudomonas	*Micrococcus*	*Bacillus*	*Прочие*
		В донных отложениях			
1	Тростник	100/100	0/0	0/0	0/0
2	Рогоз	64/0	0/100	36/0	0/0
3	Валлиснерия	-/93	-/7	-/0	-/0
		На поверхности растений			
1	Тростник	89/100	11/0	0/0	0/0
2	Рогоз	96/100	0/0	4/0	0/0
3	Валлиснерия	100/100	0/0	0/0	0/0

На погруженном стебле тростника в вегетационный период развиваются бактерии рода Pseudomonas – 89 % и Micrococcus – 11 %. На поверхности донных отложений, сформированных тростником обыкновенным, в данный период бактериальная микрофлора представлена на 100 % родом Pseudomonas. Что касается рогоза широколистного, то бактерии рода Pseudomonas на поверхности его стебля также преобладают и составляют 96 % от всего видового состава бактериальной микрофлоры. На поверхности донных отложений, сформированных рогозом широколистным, процент бактерий рода Pseudomonas снижается до 64, а 36 % бактериальной микрофлоры составляют Bacillus. Численность бактерий составляла 10-6- 10-8 степени.

В ходе микробиологического исследования сред, отобранных в зарослях валлиснерии (вода, донные отложения и сам растительный материал) установлено, что перифитонные обрастания растений и поверхность донных отложений, сформированных зарослями валлиснерии, почти полностью представлены бактериальной микрофлорой рода Pseudomonas, а в воде содержатся практически в равных количествах бактерии рода Pseudomonas и Micrococcus.

Представители рода Pseudomonas широко распространены в почве и воде. У них наиболее часто обнаруживается способность к быстрому росту и деструкции углеводородов что объясняется присутствием у них широкого набора свойств, позволяющих эффективно разрушать данные соединения и использовать их в качестве источника углерода. Это наличие комплекса ферментов, окисляющих углеводороды (главным образом оксидаз); повышение уровня гидрофобности клеточной стенки при росте на углеводородах; способность к синтезу поверхностно-активных веществ (ПАВ), повышающих биодоступность гидрофобных веществ, входящих в состав нефти [7].

Кроме того, у многих псевдомонад, наряду с хромосомной ДНК, есть дополнительный генетический материал в виде плазмид биодеградации, которые играют важную роль в адаптации бактерий к изменяющимся условиям окружающей среды. Они содержат гены, ответственные за разложение различных органических веществ, в т.ч. н-алканов, моно- и полициклических ароматических углеводородов, гетероциклических соединений. Интродукция микроорганизмов, имеющих плазмиды биодеградации ароматических углеводородов, интенсифицирует процессы очищения от поллютантов путем передачи этих плазмид эндогенным микроорганизмам. Благодаря этим особенностям, бактерии р. Pseudomonas активно изучаются учеными всего мира с целью применения их в экологической биотехнологии [8].

В результате исследований определена динамика снижения концентрации углеводродов нефти во времени с рогозом широколистным, которая описывается уравнением кинетики реакции первого порядка:

$$C_\tau = C_0 \exp^{-0,14\tau}, \quad (1)$$

где: Cτ – концентрация в момент τ; C0 – исходная концентрация; τ – время, сутки

Снижение концентрации углеводородов нефти во времени с тростником обыкновенным описывается уравнением кинетики реакции первого порядка:

$$C_\tau = C_0 \exp^{-0,20\,\tau}, \quad (2)$$

где: τ – время, сутки

Кроме корневищных высших водных растений низинных болот, широко распространена и плавающее растение — ряска малая. Ряд авторов исследовали ее роль в доочистке нефтезагрязненных сточных вод и рекомендуют использовать ряску в качестве метода доочистки сточных вод, т.к. это более эффективный и дешевый вариант доочистки [9, 10].

Принято считать, что основным звеном в ряду деструкторов нефтепродуктов и других органических загрязнителей являются бактерии. Но, несмотря на это нельзя недооценивать роль растений, как низших, так и высших, в процессах деструкции нефтяного загрязнения. Как уже было сказано ранее, растения сами выступают в роли деструкторов. Часть нефтепродуктов утилизируется тканями растительных организмов.

В условиях загрязнения среды растение отвечает на внешние воздействия комплексом приспособительных реакций, различных по своему назначению в зависимости от уровня их организации. На уровне клетки происходит перестройка работы определенных метаболических центров, на уровне отдельных органов могут наблюдаться изменения некоторых их функций и, наконец, в целостном растительном организме в этом случае имеет место комплекс фенотипических приспособлений, которые на уровне вида проявляются в изменениях ритмов роста и развития организма [11].

Влияние токсических соединений (таких, как углеводороды, главным образом, алканы и циклоалканы, являющиеся компонентами неочищенной нефти; ароматические углеводороды, детергенты и другие) на растительные организмы различно. Водоросли отмечены как более чувствительные тест-организмы по сравнению с другими гидробионтами и используются в качестве тест-объектов при определении токсичности некоторых соединений. Однако надежность такой оценки зависит от класса соединений, вида водорослей и учтенных параметров.

Сравнительный анализ альгофлор почвенных и водных местообитаний низинных болот показал, что наименьшее флористическое различие имеют альгофлоры почв. Больше различий во флористическом составе наблюдается для альгофлоры водных местообитаний. Разнообразие достигает нескольких сотен видов. Зачастую ведущее положение занимают зеленые водоросли отдела Chlorophyta [12, 13, 14].

Авторами выполнены исследований по определению активности полифенолоксидазы зеленых водорослей отдела Chlorophyta. Данное исследование имеет большое значение в изучении трансформации наиболее токсичных составляющих нефти - полиароматиеких углеводородов.

Результаты исследований показали, что минимальное значение активности фермента полифенолоксидазы отмечается в самом начале вегетационного периода, т.е. вначале апреля месяца и составляет порядка 2,5 мг на 1 г сырого вещества талломных водорослей. Активность полифенолоксидазы в течение последующего месяца увеличивается практически на 20 %, а в следующем месяце (мае) достигает своего максимального значения 3,75 мг на 1 г сырого вещества талломных водорослей. Данный показатель активности фермента сохраняется в течение летнего периода, т.е. с июня по август месяц. В сентябре отмечается незначительное снижение активности полифенолоксидазы порядка 7 %, а в октябре данное снижение составляет 17 %.

В целом следует отметить тенденции достаточно быстрого нарастания активности полифенолоксидазы в весенне-летний период, что является положительной характеристикой для деструкции полиароматических углеводородов нефти.

Более разнообразный биоценоз низинных болот позволяет эффективно использовать его в процессах рекультивации нефтеразливов. Как и в случае рекультивации верховых болот, в алгоритм технологии рекультивации включается этап технической рекультивации с максимальным удалением нефтеразлива (*рис. 1*).



Рисунок 1. Алгоритм снижения содержания углеводородов в загрязненных торфяных грунтах

Выводы:

На основе выполненных исследований можно сделать вывод, что биоценозы обводненных мест низинных болот способны обезвредить остаточное содержание углеводородов нефти в процессах окисления, поглощения, осаждения.

Для рекультивации низинных торфяных почв этих болот следует после технического этапа рекультивации использовать агротехнический метод рекультивации, в частности гребневание, что позволяет активизировать деятельность аборигенной микрофлоры для деструкции нефтепродуктов, а также исключает необходимость приемов дополнительной аэрации торфа в гребнях. Благодаря уменьшению влажности и лучшей аэрации на созданных торфяных буртах и валах заселение травяной и древесной растительностью будет проходить интенсивнее.

Список литературы:

[1] Ilyasov O. Content of heavy metals in the bottom sediments of the wastewater of the processing enterprise / Kovaleva O., Sannikova N., Ilyasov O. - Текст: непосредственный. // В сборнике: E3S Web of Conferences. 22. Сер. “22nd International Scientific Conference on Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies, EMMFT 2020” 2021. С. 01009.

[2] Ильясов О.Р., Кошелев С.Н., Асонов А.М. Утилизация сточных вод животноводческих хозяйств в замкнутой водохозяйственной системе гидропоникума. / Вестник Курганской ГСХА. 2017. №1(21). С. 29-34.

[3] Ильясов О.Р., Кошелев С.Н., Кириллов М.В. Активный ил станции аэрации – биологический ресурс органических удобрений. / Аграрный вестник Урала. 2012. №4(96). С. 45-47.

[4] Морозов Н.В., Телитченко М.М. Ускорение очищения поверхностных вод от нефти и нефтепродуктов вселением в них макрофитов // Водные ресурсы. – 1977. – №6. – С. 120 – 131. Морозов Н.В., Телитченко М.М. Ускорение очищения поверхностных вод от нефти и нефтепродуктов вселением в них макрофитов // Водные ресурсы. – 1977. – №6. – С. 120 – 131.

[5] Бондаренко В.В., Гаврилин И.И., Шигапов А.М. и др. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка технологии защиты ландшафтных комплексов от загрязнения нефтепродуктами, поступающими с объектов железнодорожного транспорта. – Екатеринбург.: УрГУПС, 2014г.

[6] Четкова Н.Б. Защита водных объектов от загрязнения нефтепродуктами с помощью биоинженерных систем. Автореф. дис. канд. техн. наук. Екатеринбург. 2003. 22с.

[7] Панов А.В., Есикова Т.З., Соколов С.Л., Кошелева И.А., Боронин А.М. Влияние загрязнения почвы на состав микробного сообщества // Микробиология. 2013 Т. 82, № 2 С. 239–246.Панов А.В., Есикова Т.З., Соколов С.Л., Кошелева И.А., Боронин А.М. Влияние загрязнения почвы на состав микробного сообщества // Микробиология. 2013 Т. 82, № 2 С. 239–246.

[8] Экологическая биотехнология: Пер. с англ. / Под ред. К.Ф. Форстера, Д.А. Дж. Вейза. – Л.: Химия, 1990. – Пер. изд.: Великобритания, 1987. – 384 с.: ил.

[9] Чащина С.Б. Использование высших водных растений для доочистки сточных вод ОАО «Газпромнефть-онпз»: эйхорнии, ряски малой и валлиснерии спиралевидной // Омский научный вестник. - 2011. - №1 (104). - С.196-201.

[10] Валиев Р.Ш. Экологическая оценка изменения морфологии и электрических свойств растений рода ряскаLemna L. при воздействии абиотических факторов в процессе фиторемедиации воды// Дис. канд. биол. наук. по специальности 03.02.08: экология, Саратов, 2016. - 145 с.

[11] Гетко Н.В. Растения в техногенной среде: Структура и функция ассимиляц. аппарата. – Мн.: Наука и техника, 1989. – 208 с.

[12] Закиева, Г.Ф. Альгофлора низинных болот степной зоны: на примере Стерлибашевского района Республики Башкортостан: / Г.Ф. Закиева // Автореф. дис. ... канд. биолог. наук. - Уфа, 2007. - 32 с.

[13] Антипина Г.С. Водоросли как компонент растительности болот / Г.С. Антипина // Методы изучения болот и их охрана. - Вильнюс, 1986. - С. 41-44.

[14] Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. – 2017. – Вып. 79(82). Гидробиологические исследования болот. – 297 с. О водорослях болота в нижнем течении реки илезы (тарногский район, вологодская область) Н.Н. Макарёнкова, Д.А. Филиппов с.105-109.

Spisok literatury:

[1] Ilyasov O. Content of heavy metals in the bottom sediments of the wastewater of the processing enterprise / Kovaleva O., Sannikova N., Ilyasov O. - Tekst: neposredstvenny`j. // V sbornike: E3S Web of Conferences. 22. Ser. “22nd International Scientific Conference on Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies, EMMFT 2020” 2021. S. 01009.

[2] Il`yasov O.R., Koshelev S.N., Asonov A.M. Utilizaciya stochny`x vod zhivotnovodcheskix xozyajstv v zamknutoj vodoxozyajstvennoj sisteme gidroponikuma. / Vestnik Kurganskoj GSXA. 2017. №1(21). S. 29-34.

[3] Il`yasov O.R., Koshelev S.N., Kirillov M.V. Aktivny`j il stancii ae`racii – biologicheskij resurs organicheskix udobrenij. / Agrarny`j vestnik Urala. 2012. №4(96). S. 45-47.

[4] Morozov N.V., Telitchenko M.M. Uskorenie ochishheniya poverxnostny`x vod ot nefti i nefteproduktov vseleniem v nix makrofitov // Vodny`e resursy`. – 1977. – №6. – S. 120 – 131.Morozov N.V., Telitchenko M.M. Uskorenie ochishheniya poverxnostny`x vod ot nefti i nefteproduktov vseleniem v nix makrofitov // Vodny`e resursy`. – 1977. – №6. – S. 120 – 131.

[5] Bondarenko V.V., Gavrilin I.I., Shigapov A.M. i dr. Otchet o nauchno-issledovatel`skoj rabote «Razrabotka texnologii zashhity` landshaftny`x kompleksov ot zagryazneniya nefteproduktami, postupayushhimi s ob``ektov zheleznodorozhnogo transporta. – Ekaterinburg.: UrGUPS, 2014g.

[6] Chetkova N.B. Zashhita vodny`x ob``ektov ot zagryazneniya nefteproduktami s pomoshh`yu bioinzhenerny`x sistem. Avtoref. dis. kand. texn. nauk. Ekaterinburg. 2003. 22s.

[7] Panov A.V., Esikova T.Z., Sokolov S.L., Kosheleva I.A., Boronin A.M. Vliyanie zagryazneniya pochvy` na sostav mikrobnogo soobshhestva // Mikrobiologiya. 2013 T. 82, № 2 S. 239–246.Panov A.V., Esikova T.Z., Sokolov S.L., Kosheleva I.A., Boronin A.M. Vliyanie zagryazneniya pochvy` na sostav mikrobnogo soobshhestva // Mikrobiologiya. 2013 T. 82, № 2 S. 239–246.

[8] E`kologicheskaya biotexnologiya: Per. s angl. / Pod red. K.F. Forstera, D.A. Dzh. Vejza. – L.: Ximiya, 1990. – Per. izd.: Velikobritaniya, 1987. – 384 s.: il.

[9] Chashhina S.B. Ispol`zovanie vy`sshix vodny`x rastenij dlya doochistki stochny`x vod OAO «Gazpromneft`-onpz»: e`jxornii, ryaski maloj i vallisnerii spiralevidnoj // Omskij nauchny`j vestnik. - 2011. - №1 (104). - S.196-201.

[10] Valiev R.Sh. E`kologicheskaya ocenka izmeneniya morfologii i e`lektricheskix svojstv rastenij roda ryaskaLemna L. pri vozdejstvii abioticheskix faktorov v processe fitoremediacii vody`// Dis. kand. biol. nauk. po special`nosti 03.02.08: e`kologiya, Saratov, 2016. - 145 s.

[11] Getko N.V. Rasteniya v texnogennoj srede: Struktura i funkciya assimilyacz. apparata. – Mn.: Nauka i texnika, 1989. – 208 s.

[12] Zakieva, G.F. Al`goflora nizinny`x bolot stepnoj zony`: na primere Sterlibashevskogo rajona Respubliki Bashkortostan: / G.F. Zakieva // Avtoref. dis. ... kand. biolog. nauk. - Ufa, 2007. - 32 s.

[13] Antipina G.S. Vodorosli kak komponent rastitel`nosti bolot / G.S. Antipina // Metody` izucheniya bolot i ix oxrana. - Vil`nyus, 1986. - S. 41-44.

[14] Trudy` Instituta biologii vnutrennix vod im. I.D. Papanina RAN. – 2017. – Vy`p. 79(82). Gidrobiologicheskie issledovaniya bolot. – 297 s. O vodoroslyax bolota v nizhnem techenii reki ilezy` (tarnogskij rajon, vologodskaya oblast`) N.N. Makaryonkova, D.A. Filippov s.105-109.