Дата поступления рукописи в редакцию: 22.03.2025
Дата принятия рукописи в печать: 11.04.2025
10.24412/2224-9133-2025-3-44-50

ИЛЬЯСОВ Олег Рашитович,
доктор биологических наук, профессор кафедры техносферная безопасность
Уральский государственный университет путей сообщения,
профессор кафедры техносферной и экологической безопасности
Уральский государственный аграрный университет, старший научный сотрудник
Уральский научно-исследовательский ветеринарный институт
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

БЕЛИНСКИЙ Станислав Олегович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры техносферной безопасности,
Уральский государственный университет путей сообщения,
e-mail: sbelinsky@usurt.ru

КРУПЕНИН Сергей Сергеевич,
кандидат технических наук,
доцент кафедры техносферной безопасности,
Уральский государственный университет путей сообщения,
e-mail: sskrupenin@yandex.ru

ГУЩИНА Наталья Владимировна,
старший преподаватель кафедры техносферной безопасности,
Уральский государственный университет путей сообщения,
e-mail: voropaevan@mail.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ

Аннотация*. Загрязнение природной среды нефтью и продуктами ее переработки - одна из сложных и многоплановых проблем. Ни один другой загрязнитель, как бы опасен он ни был, не может сравниться с нефтью по широте распространения, количеству источников загрязнения, величине единовременных нагрузок на все компоненты природной среды во время аварий скважин и нефтепроводов. Несмотря на то, что технология добычи и транспортировки нефти постоянно совершенствуется с учетом защиты окружающей среды, актуальность проблемы не снижается. В статье рассмотрена экологическая оценка последствий нефтяного загрязнения почвы.*

Ключевые слова*: экология, оценка, загрязнения, нефть, почва.*

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

BELINSKY Stanislav Olegovich,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Technosphere Safety,
Ural State University of Railway Transport

KRUPENIN Sergey Sergeevich,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Technosphere Safety,
Ural State University of Railway Transport

GUSHCHINA Natalia Vladimirovna,
Senior Lecturer, Department of Technosphere Safety,
Ural State University of Railway Transport

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE CONSEQUENCES OF OIL POLLUTION OF SOIL

Annotation. *Pollution of the natural environment by oil and its refined products is one of the complex and multifaceted problems. No other pollutant, no matter how dangerous it is, can compare with oil in terms of the breadth of its distribution, the number of pollution sources, the magnitude of one-time loads on all components of the natural environment during well and pipeline accidents.*

Despite the fact that the technology of oil production and transportation is constantly being improved taking into account environmental protection, the urgency of the problem does not decrease. The article considers the environmental assessment of the consequences of oil pollution of the soil.

Key words*: ecology, assessment, pollution, oil, soil.*

Цель – рассмотрение значения загрязнения литосферы нефтепродуктами.

Задачи – провести экологическую оценку последствий нефтяного загрязнения почвы.

Методы исследования – аналитический метод исследования. Анализ научной и научно-методической литературы по проблеме внедрения практических навыков в образовательной среде.

Загрязнение природной среды нефтью и продуктами ее переработки - одна из сложных и многоплановых проблем [1]. Ни один другой загрязнитель, как бы опасен он ни был, не может сравниться с нефтью по широте распространения, количеству источников загрязнения, величине единовременных нагрузок на все компоненты природной среды во время аварий скважин и нефтепроводов. Несмотря на то, что технология добычи и транспортировки нефти постоянно совершенствуется с учетом защиты окружающей среды, актуальность проблемы не снижается.

Нефтяное загрязнение отличается от многих других антропогенных воздействий тем, что оно дает не постепенную, а, как правило, «залповую» нагрузку на среду, вызывая быструю ответную реакцию.

Действие нефтяных компонентов особенно сказывается на изменении экологической обстановки: пропитывая почву, обволакивая корни, листья, стебли растений и проникая сквозь мембраны клеток, нефть нарушает водно-воздушный баланс среды и организмов, обмен веществ и трофические связи [2].

Токсичность нефти объясняется присутствием летучих ароматических углеводородов таких как толуол, ксилол, бензол и ряда других фракций нефти. Однако они легко испаряются. Более тяжелые элементы нефти, такие как многоядерные ароматические углеводороды, наносят куда больший вред т.к. воздействуют на окружающую среду более продолжительное время вследствие адсорбции на твердых частицах.

Для исходных нефтей характерен большой набор ароматических углеводородов - от низкокольчатых (нафталины, фенантрены) до многокольчатых - со структурой 3,4-бенз(а)пирена (приложение). Среди голоядерных ПАУ (полициклических ароматических углеводородов) боль-

шое внимание обычно уделяется 3,4-бенз(а) пирену как наиболее распространенному представителю канцерогенных веществ во всех природных средах. По этому соединению судят об отрицательном воздействии нефти на биологические системы вследствие максимальной его токсичности и канцерогенности.

Содержание ароматических углеводородов в нефти чаще всего составляет 20-40%. Биодеградация характерна для лёгких полиаренов, содержащих 2-3 ароматических кольца. Высококонденсированные ПАУ окисляются очень медленно. Длительное время ПАУ сохраняются в почве и содержащиеся в нефти канцерогенные вещества бензпиренового ряда, трудно поддающиеся микробиологическому разложению, которые впоследствии смогут накапливаться в растительности [3].

Под действием углеводородов нефти (в основном ароматических) резко тормозится ферментативная активность почв [4].

Выделяют три наиболее общих этапа трансформации нефти в почвах: 1) физико-химическое и частично микробиологическое разложение алифатических углеводородов; 2) микробиологическое разрушение главным образом низкомолекулярных структур разных классов, новообразование смолистых веществ; 3) трансформация высокомолекулярных соединений: смол, асфальтенов, полициклических углеводородов. Длительность всего процесса трансформации нефти в разных почвенно-климатических зонах различна: от нескольких месяцев до нескольких десятков лет.

В целом, в биодеградации нефтяных углеводородов, основная роль принадлежит бактериальной микрофлоре. Все реакции микробиологического превращения углеводородов являются окислительными. Предельная восстановленность этих веществ делает необходимым для их окисления присутствие кислорода [5].

В ряду исследований, выполненных авторами [6], были включены варианты снижения концентрации нефти в темно-серой лесной почве при условии ее периодического рыхления и без рыхления почвы.

Рыхление загрязненных почв увеличивает диффузию кислорода в почвенные агрегаты, снижает концентрацию углеводородов в почве в результате улетучивания легких фракций, обеспечивает разрыв поверхностных пор, насыщенных нефтью, но в то же время способствует равномерному распределению компонентов нефти в почве и увеличению активной поверхности. Обработка почвы создает мощный биологически активный слой с улучшенными агрофизическими свойствами. В почве при этом создается оптимальный водный, газовоздушный и тепловой режим, растет численность микроорганизмов и их активность, усиливается активность почвенных ферментов, увеличивается энергия биохимических процессов.

Результаты исследования ряда авторов [7] по влиянию бенз(а)пирена на микрофлору почвы показывают явное снижение численности аммонификаторов в почве при повышении содержания бензапирена в почве. Отмечается очевидное повышение численности азотфиксаторов и грибов на фоне концентрации бенз(а)пирена порядка 10 ПДК [8], что объясняется авторами как некоторое временное стимулирующее действие углеводорода. Однако при концентрации бензапирена порядка 10 ПДК, численность азотфиксаторов снижается более чем в 6 раз в сравнении с вариантом 10 ПДК и практически в 4 раза по сравнению с контрольным вариантом.

Численность грибов на фоне 20 ПДК по бенз(а)пирену остается на уровне контрольного варианта, что важно поскольку данный вид микрофлоры также принимает участие в деструкции углеводородов нефти.

Авторами [9] выполнены исследования на влияние бензапирена в почве на рост растений и ферментативную активность почвы по активности полифенолоксидазы, которые поступают в почву в виде прижизненных выделений корней растений и микроорганизмов. Почвенные ферменты имеют преимущественно микробное происхождение [10]. Полифенолоксидаза осуществляет окисление фенолов за счёт кислорода воздуха до хинонов, которые способны к быстрой полимеризации, конденсации и образованию гумусоподобных веществ. Эти ферменты могут находиться в почве, как в свободном, так и в связанном состоянии. Основная функция полифенолоксидаз – участие в биосинтезе гумусовых кислот за счет катализа реакций окислительной полимеризации ароматических соединений с участием кислорода воздуха [11–13].

Результаты исследования роста растений на субстратах и активности полифенолоксидазы почвогрунтов по вариантам исследования приведены в таблице.

Таблица. Исследование токсичности почвогрунтов

Показатели					
Содержание бенз(а)пирена	50 ПДК	40 ПДК	25 ПДК	10 ПДК	5 ПДК
Ориентировочная всхожесть семян, %	0,0	0,02	50,0	72,0	80,0
Высота растений, см	0,0	0,0	2,0	4,5	6,0
Активность ПФО, мг/г	0,8	1,1	2,1	2,7	3,0

Время экспозиции, т.е. выращивания травы от момента посева на субстраты - почвогрунты различной степени загрязненности углеводородами - 2 недели.

Из данных таблицы видно, что грунты, сильно загрязненные углеводородами, токсичны для произрастания на них растений. Так, в вариантах с содержанием в грунтах бенз(а)пирена 1,0 - 0,8 мг/кг семена вообще не проросли.

В варианте, когда концентрация бенз(а) пирена в 2 раза ниже, семена проросли, однако растения достигли высоты в среднем до 2 см (при всхожести – 50 %).

Следует отметить тот факт, что, очевидно, токсичность грунтов в данных исследованиях из всей группы углеводородов почвогрунтов, определяется бенз(а)пиреном, так как в указанном варианте концентрация его снизилась лишь в 2 раза, а нефтепродуктов более чем в 20 раз.

В варианте с концентрацией бенз(а)пирена 0,1 мг/кг, т.е. 5 ПДК, высота растений составляла порядка 6 см при всхожести 80 %. (Контрольная всхожесть семян – 92 %).

Активность полифенолоксидазы возрастает с уменьшением степени загрязнения почвогрунтов углеводородами, и, прежде всего, бенз(а) пиреном вследствие более благоприятных условий для развития почвенной микрофлоры. Судя по данным формирования микрофлоры и активности полифенолоксидазы, наличие значительной массы углеводородов в почвогрунтах, и, в частности, бенз(а)пирена не способствует интенсивному развитию микрофлоры в силу ряда причин. Основными из этих причин могут быть как токсичное воздействие на почвенную микрофлору самих соединений углеводородов, так и трудность их использования для микроорганизмов как бактериями, и почвенными грибами. В целом активность полифенолоксидазы в почве в варианте с максимальным содержанием бензапирена и отсутствие рстений снижается в 3,7 раза по сравнению с вариантом наименьшего содержания бензапирена.

Полифенолоксидазы (ПФО) – преимущественно микробного происхождения, имеются у многих почвенных грибов. Эти ферменты могут находиться в почве, как в свободном, так и в связанном состоянии. Процессы окислительной полимеризации ароматических соединений выполняется за счет кислорода воздуха [14].

Стадии биодеградации для всех классов углеводородов нефти включают:

1.Трансформацию молекулы.

2.Фрагментацию (разложение) молекулы на простые соединения.

3.Минерализацию или превращение сложного вещества в простое.

Каждая группа углеводородов окисляется определенными видами микроорганизмов, алканы окисляются представителями группы аэробных грамотрицательных бактерий родов: Pseudomonas, Methylococus, Methylobacter, Methylosinus. Твердые парафины, газообразные углеводороды, ароматические углеводороды, окисляются бактериями родов: Arthrobacter, Bacillus, Brevibacterium, Nocardia, Pseudomonas, Rhodococus, спорогенными дрожжами родов Candida, Cryptococcus, Rhodotorula, Rhodosporidium, Sporobolomyces, Totulopsis, Trichosporon Сила токсического действия на микроорганизмы .нефтяных фракций увеличивается в следующей последовательности: парафины, циклопарафины, ароматические углеводороды [15].

В процессе биоразложения соединений нефти, изменяется состав загрязнителя, содержание низкомолекулярных алканов, циклоаканов и аренов уменьшается, в почве остаются в основном высокомолекулярные соединения и конденсированные арены [16].

Скорость деградации ПАУ обратно пропорциональна числу колец в молекуле. Ферментативная атака колец ПАУ происходит только в аэробных условиях [17].

Наиболее часто способность к быстрому росту и деструкции углеводородов обнаруживается у представителей р. Pseudomonas. Бактерии рода Pseudomonas в отношении полиаренов обладают большим катаболическим потенциалом. Они в зависимости от сложности структуры полностью утилизируют или частично трансформируют ПАУ [18].

Оказалось, что разные штаммы Pseudomonas способны расщеплять более 100 органических соединений [19].

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. Виды Pseudomonas доминируют в ризосфере [20].

Основной причиной, которая затрудняет микробиологическое разложение нефтепродуктов, является гидрофобность молекул углеводородов, приводящая как к их сорбции на различных поверхностях и переходу в биологически труднодоступную форму, так и к невозможности эффективного контакта с микробными клетками, имеющими, как правило, гидрофильную внешнюю оболочку. Устранить это препятствие способны биосурфактанты – разнообразные поверхностно-активные вещества, синтезируемые микроорганизмами.

Авторами [9] выполнены исследования по влиянию бензапирена на микробиологическое состояние почвы. Результаты исследований микробиоты почвы при концентрации бензапирена 0,1 мг/кг почвы т.е. превышение ПДК в 5 раз и 1,0 мг/кг., т.е. с превышением ПДК в 50 раз представлены.

Как отмечалось ранее, повышение концентрации бензапирена в почве резко отрицательно влияет на растения и снижает наличие полифенолоксилазы в почве выполняющей обезвреживание для биоты почвы ряда токсичных компонентов нефти путем их окисления.

Что касается обезвреживания трудноокисляемого бензапирена, как и других голоядерных полициклических ароматических углеводородов, то их биодеградацию выполняет бактериальная микрофлора в аэробных условиях.

В интервале концентраций бензапирена в почве от 0,1 до 1,0 мг/кг т.е. превышении ПДК от 5 до 50 раз, существенного снижения как численности грибов так и численности бактерий не отмечалось.

Снижение микофлоры составило 8,0 % а снижение бактериальной микрофлоры 7,2%.

Микроорганизмы начинают катаболическую атаку на ПАУ, а ферменты, выделянмые с корневыми экссудатами растений, участвуют в деградации микробных метаболитов - окисленных производных ПАУ.

Плазмиды содержат гены, ответственные за разложение различных органических веществ, в т.ч. н-алканов, моно- и полициклических ароматических углеводородов, гетероциклических соединений и использовать их в качестве источника углерода [21].

Выводы:

При оценке последствий нефтяного загрязнения почвы не всегда можно сказать, вернется ли экосистема к устойчивому состоянию или будет необратимо деградировать. Во всех мероприятиях, связанных с ликвидацией последствий загрязнения, с восстановлением нарушенных земель, необходимо исходить из главного принципа: не нанести экосистеме больший вред, чем тот, который уже нанесен при загрязнении. Суть восстановления загрязненных экосистем – максимальная мобилизация внутренних ресурсов экосистемы на восстановление своих первоначальных функций. Самовосстановление и рекультивация представляют собой неразрывный биогеохимический процесс.

Очевидно, что вне зависимости от типа нефтезагрязненных почв, для процессов улетучивания легких токсичных фракций нефти и биодеградации оставшихся в почве нефтяных углеводородов необходимо обеспечить доступ кислорода воздуха. Самым простым приемом является рыхление загрязненных почвогрунтов. Коррекция оптимального значения pH почвы и минерального состава выполняется по необходимости в соответствии с pH и плодородием конкретного типа почвы, а также с учетом климатических условий региона.

Список литературы:

[1] Асонов А.М., Ильясов О.Р. Фитофильтр для очистки сточных вод. Патент на изобретение / RU 2149836 C1, 27.05.2000. Заявка № 98119203/12 от 21.10.1998.

[2] Ильясов О.Р. Биозащита водоисточников на сельскохозяйственных водосборах от загрязнения стоками птицеводческих предприятий. / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Уральская государственная сельскохозяйственная академия. Екатеринбург, 2004.

[3] Чугунова М.В. Особенности биодеградации нефти в почвах Северо-Запада России / М.В. Чугунова, Н.В. Маячкина, Л.Г. Бакина, Л.П. Капелькина // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. - 2011. - № 5 (1). - С. 110-117.

[4] Хомякова Д.В. Состав углеводородокисляющих микроорганизмов нефте-загрязненных почв Усинского района Республики Коми: диссер. канд. биол. наук.: 03.00.07 / Хомякова Дина Викторовна - М., 2003. - 113 с.

[5] Winquist E. et al. Bioremediation of PAH-contaminated soil with fungi – From laboratory to field scale // Int. Biodeterior. Biodegrad. 2014. Vol. 86. P. 238-247.

[6] 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.

[7] Скугорева С. Г., Домрачева Л. И., Кутявина Т. И., Абдухаллилов О. М., Забубенина Ю. С., Ашихмина Т. Я. Оценка токсичности почвы, загрязненной бенз[а]пиреном // Принципы экологии. 2022. № 3. С. 61–69

[8] ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве».

[9] Бондаренко В.В., Липкиндт Т.А. Технология защиты водных объектов и почвогрунтов от загрязнения углеводородами предприятий железнодорожного транспорта. Отчет о НИР. Рег. № 0120.0501172, 2006. 110с.

[10] В.В. Лапа, Н.А. Михайловская, С.А. Касьянчик, Т.В. Погирницкая Ативность оксидаз в высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при разных уровнях минерального питания сельскохозяйственных культур. Почвоведение и агрохимия № 2(57) 2016 С.124-133.

[11] Tabatabai MA. Soils enzymes. Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties. Soil Science Society of America. 1994;5:775–833.

[12] Тюрин, И.В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии / И.В. Тюрин. – М.: Наука, 1965. – 319 с.

[13] Александрова, Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л.Н. Александрова. – Л.: Наука, 1980. – С. 122–133.

[14] Гулько, А.Е. Фенолоксидазы почв: продуцирование, иммобилизация, активность / А.Е. Гулько, Ф.Х. Хазиев // Почвоведение. – 1992. – № 11. – С. 55–67.

[15] В.Г. Алехин, В.Т. Емцев, Е.А. Рогозина, А.И. Фахрутдинов // Биологические ресурсы и природопользование: сборник научных трудов. – Нижневартовск: Изд-во Нижневартовского пед. ин-та, 1998, Вып. 2. – С. 95–105.

[16] Оборин, А.А. Нефтезагрязненные биогеоценозы: монография / А.А. Оборин.- УрО РАН: Перм. гос. техн. ун-т – Пермь: 2008. –511 с.

[17] Александров А.Ю. Влияние состава среды и условий культивирования на рост углеводородокисляющих микроорганизмов: дис. ... канд. биол. наук. Волгоград, 2010.

[18] Рогозина Е.А., Тимергазина И.Ф., Моргунов П.А. Очистка нефтезагрязненных почв бактериями рода Pseudomonas – основой биопрепаратов Нафтокс 12-р и Нафтокс 48-У // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т. 9, № 2. С. 1-18.

[19] Русанов, А.М. Динамика биохимических процессов в почвах при нефтяном загрязнении / А.М. Русанов,Т.С. Шорина // Вестник ОГУ. 2009 №10. 2009 С. 600-603.

[20] Анохина Т.О. Ризосферные плазмидосодержащие бактерии рода Pseudomonas, стимулирующие рост растений и деградирующие полициклические ароматические углеводороды: автореф. дис. … канд. биол. наук: 03.01.06. Пущино, 2011. 24 с.

[21] Павликова Т.А. Деградация нефти ассоциацией аэробных углеводородокисляющих микроорганизмов в различных типах почв: дис. ... канд. биол. наук. М., 2004.

Spisok literatury:

[1] Asonov A.M., Il’yasov O.R. Fitofil’tr dlya ochistki stochnyh vod. Patent na izobretenie / RU 2149836 C1, 27.05.2000. Zayavka № 98119203/12 ot 21.10.1998.

[2] Il’yasov O.R. Biozashchita vodoistochnikov na sel’skohozyajstvennyh vodosborah ot zagryazneniya stokami pticevodcheskih predpriyatij. / Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora biologicheskih nauk / Ural’skaya gosudarstvennaya sel’skohozyajstvennaya akademiya. Ekaterinburg, 2004.

[3] Chugunova M.V. Osobennosti biodegradacii nefti v pochvah Severo-Zapada Rossii / M.V. Chugunova, N.V. Mayachkina, L.G. Bakina, L.P. Kapel’kina // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. - 2011. - № 5 (1). - S. 110-117.

[4] Homyakova D.V. Sostav uglevodorodokislyayushchih mikroorganizmov nefte-zagryaznennyh pochv Usinskogo rajona Respubliki Komi: dicser. kand. biol. nauk.: 03.00.07 / Homyakova Dina Viktorovna - M., 2003. - 113 s.

[5] Winquist E. et al. Bioremediation of PAH-contaminated soil with fungi – From laboratory to field scale // Int. Biodeterior. Biodegrad. 2014. Vol. 86. P. 238-247.

[6] Bondarenko V.V., Gavrilin I.I., Shigapov A.M. i dr. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Razrabotka tekhnologii zashchity landshaftnyh kompleksov ot zagryazneniya nefteproduktami, postupayushchimi s ob"ektov zheleznodorozhnogo transporta. – Ekaterinburg.: UrGUPS, 2014g.

[7] Skugoreva S. G., Domracheva L. I., Kutyavina T. I., Abduhallilov O. M., Zabubenina Yu. S., Ashihmina T. Ya. Ocenka toksichnosti pochvy, zagryaznennoj benz[a]pirenom // Principy ekologii. 2022. № 3. S. 61–69

[8] GN 2.1.7.2041-06 «Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) himicheskih veshchestv v pochve».

[9] Bondarenko V.V., Lipkindt T.A. Tekhnologiya zashchity vodnyh ob"ektov i pochvogruntov ot zagryazneniya uglevodorodami predpriyatij zheleznodorozhnogo transporta. Otchet o NIR. Reg. № 0120.0501172, 2006. 110s.

[10] V.V. Lapa, N.A. Mihajlovskaya, S.A. Kas'yanchik, T.V. Pogirnickaya Ativnost' oksidaz v vysoko okul'turennoj dernovo-podzolistoj legkosuglinistoj pochve pri raznyh urovnyah mineral'nogo pitaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur. Pochvovedenie i agrohimiya № 2(57) 2016 S.124-133.

[11] Tabatabai MA. Soils enzymes. Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties. Soil Science Society of America. 1994;5:775–833.

[12] Tyurin, I.V. Organicheskoe veshchestvo pochvy i ego rol' v plodorodii / I.V. Tyurin. – M.: Nauka, 1965. – 319 s.

[13] Aleksandrova, L.N. Organicheskoe veshchestvo pochvy i processy ego transformacii / L.N. Aleksandrova. – L.: Nauka, 1980. – S. 122–133.

[14] Gul'ko, A.E. Fenoloksidazy pochv: producirovanie, immobilizaciya, aktivnost' / A.E. Gul'ko, F.H. Haziev // Pochvovedenie. – 1992. – № 11. – S. 55–67.

[15] V.G. Alekhin, V.T. Emcev, E.A. Rogozina, A.I. Fahrutdinov // Biologicheskie resursy i prirodopol'zovanie: sbornik nauchnyh trudov. – Nizhnevartovsk: Izd-vo Nizhnevartovskogo ped. in-ta, 1998, Vyp. 2. – S. 95–105.

[16] Oborin, A.A. Neftezagryaznennye biogeocenozy: monografiya / A.A. Oborin.- UrO RAN: Perm. gos. tekhn. un-t – Perm': 2008. –511 s.

[17] Aleksandrov A.Yu. Vliyanie sostava sredy i uslovij kul'tivirovaniya na rost uglevodorodokislyayushchih mikroorganizmov: dis. ... kand. biol. nauk. Volgograd, 2010.

[18] Rogozina E.A., Timergazina I.F., Morgunov P.A. Ochistka neftezagryaznennyh pochv bakteriyami roda Rseudomonas – osnovoj biopreparatov Naftoks 12-r i Naftoks 48-U // Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika. 2014. T. 9, № 2. S. 1-18.

[19] Rusanov, A.M. Dinamika biohimicheskih processov v pochvah pri neftyanom zagryaznenii / A.M. Rusanov,T.S. Shorina // Vestnik OGU. 2009 №10. 2009 S. 600-603.

[20] Anohina T.O. Rizosfernye plazmidosoderzhashchie bakterii roda Pseudomonas, stimuliruyushchie rost rastenij i degradiruyushchie policiklicheskie aromaticheskie uglevodorody: avtoref. dis. … kand. biol. nauk: 03.01.06. Pushchino, 2011. 24 s.

[21] Pavlikova T.A. Degradaciya nefti associaciej aerobnyh uglevodorodokislyayushchih mikroorganizmov v razlichnyh tipah pochv: dis. ... kand. biol. nauk. M., 2004.