

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Брянский государственный аграрный университет»
Институт экономики и агробизнеса

Кафедра агрохимии, почвоведения и экологии

Смольский Е.В., Силаев А.Л.

**Оценка воздействия углеводородного загрязнения
на окружающую среду
(на примере почвенной экосистемы)**

Брянская область, 2022

УДК 504.05:631.4 (07)

ББК 20.1:40.3

С 51

Смольский, Е. В. Оценка воздействия углеводородного загрязнения на окружающую среду (на примере почвенной экосистемы): учебное пособие / Е. В. Смольский, А. Л. Силаев. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2022. – 68 с.

Учебное пособие написано в соответствии с программой дисциплины «Оценка воздействия на окружающую среду» и отвечает требованиям Федерального государственного образовательного стандарта РФ. Издание предназначено для студентов сельскохозяйственных вузов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение (профиль Агроэкология), также оно будет полезно специалистам, работающим в сельскохозяйственной сфере.

Целью учебного пособия является формирование знаний и представлений о последствиях воздействия антропогенной и иной деятельности на компоненты природной среды, научить принципам и методам оценки воздействия этой и иной деятельности на окружающую природную среду в Российской Федерации как одного из видов деятельности в области охраны окружающей среды.

Пособие реализует компетенции для направления подготовки 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение: ПКС-2: способен анализировать материалы почвенного, агрохимического и экологического состояния агроландшафтов и ПКС-5: готов организовывать экологический контроль (мониторинг) состояния компонентов агроэкосистемы и безопасности растениеводческой продукции.

Рецензент: Мамеева В.Е. – к. с.-х. н., доцент кафедры агрохимии, почвоведения и экологии ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Рекомендовано к изданию методической комиссией института экономики и агробизнеса Брянского государственного аграрного университета протокол № 3 от 11 февраля 2022 г.

© Смольский Е.В., 2022

© Силаев А.Л., 2022

© Брянский ГАУ, 2022

Содержание

Введение	4
1. Нефть: происхождение, состав, свойства, добыча, транспортировка в юго-западном регионе России	5
2. Влияние нефти на почвенную экосистему	7
3. Устойчивость почвенных экосистем к нефтяному загрязнению, их способность к самоочищению	13
4. Природно-климатические условия формирования дерново-подзолистой почвы и методы определения воздействия нефти	20
5. Влияние нефти на строение и свойства дерново-подзолистой почвы.....	24
5.1. Изменение строения почвенного профиля	24
5.2. Влияние нефти на физические свойства почвы	27
5.3. Химические показатели нефтезагрязнённой почвенной экосистемы ..	30
5.4. Влияние нефти на физико-химических свойства экосистемы дерново-подзолистой почвы.....	33
5.5. Биологические свойства нефтезагрязнённой почвенной экосистемы..	36
6. Оценка деградации и устойчивости экосистемы дерново-подзолистой почвы, загрязнённой нефтью	41
6.1. Деградация и устойчивость почвенной экосистемы	41
6.2. Самоочищающая способность экосистемы дерново-подзолистой почвы от нефтяного загрязнения	48
7. Экономическая оценка экологического вреда от загрязнения почвы нефтью и научное обоснование подхода к её рекультивации	50
7.1. Экономическая оценка вреда от загрязнения дерново-подзолистой почвы нефтью	50
7.2. Научное обоснование подхода к восстановлению экосистемы дерново-подзолистой почвы, загрязнённой нефтью.....	54
Заключение.....	57
Список литературы.....	59

Введение

Использование больших запасов нефти, которыми обладает Россия, обостряет экологическую ситуацию не только в районах нефтедобычи, но и в областях юго-запада Нечернозёмной зоны страны, по территории которых её транспортируют. По территории Брянской области проходят три трубопровода. Два из них диаметром 1220 мм и один 820 мм. В г. Брянск находится железнодорожный терминал по наливу нефти, а около г. Унеча – головная нефтеперекачивающая станция (Экологический..., 2002).

Практика свидетельствует, что, к сожалению, вероятность возникновения аварий, сопровождающихся разливом нефти, велика. О крупных авариях при транспортировке нефти обычно сообщают в средствах массовой информации, особенно если пострадали водные экосистемы. Однако по своим последствиям не менее опасны и многочисленные «мелкие» аварии, в результате которых нефть в разных количествах разливается на поверхность почвенных экосистем, частично или полностью уничтожая всё живое.

Особую экологическую опасность представляют аварии на нефтепроводах, где в отличие от локально расположенных предприятий, трудно предусмотреть меры по защите окружающей среды. Нефтяное загрязнение, обусловленное аварией, отличается от многих других техногенных воздействий тем, что оно даёт не постепенную, а залповую нагрузку на почвенную экосистему, вызывая быструю ответную реакцию.

Ликвидация последствий аварийных разливов нефти – большая производственно-экологическая проблема. Для её решения выпущен ряд правительственных постановлений, обязывающих недропользователей принимать меры, предотвращающие разливы нефти при транспортировке, а если они произошли, то своевременной их локализовать.

Технологии локализации и сбора нефти с поверхности почвенных экосистем разнообразны, хорошо разработаны и широко используются. Однако вопросы восстановления качества нефтезагрязнённых почвенных экосистем требуют дальнейших исследований. Так, их ориентировочно допустимой концентрацией (ОДК) предлагают считать (Пиковский, 2003) такой уровень, при котором в данных природных условиях почвенная экосистема в течение одного года восстанавливает продуктивность, а негативные последствия для её биоты самопроизвольно ликвидируются.

Восстановление нефтезагрязнённых почвенных экосистем затруднено отсутствием конкретных нормативов, регламентирующих степень их очистки от нефти. Эта задача «спущена» на региональный уровень, что вполне закономерно, поскольку нормативы по загрязнению зависят от большого числа местных природных факторов и особенно различий в строении, составе и свойствах конкретных почв. Поэтому установление этого количества нефти с учётом времени её нахождения на поверхности почвы является актуальной экологической задачей в каждом природном регионе.

В условиях Брянской области оценены деградация и устойчивость экосистемы дерново-подзолистой почвы к различному нефтяному загрязнению, поз-

воляющие нормировать его уровень. Рассчитан экономический ущерб и даны практические рекомендации по восстановлению экосистемы.

1. Нефть: происхождение, состав, свойства, добыча, транспортировка в юго-западном регионе России

Нефть – собирательный термин сложных природных смесей газообразных, жидких и твёрдых углеводородов, их различных производных и органических соединений. Она представляет собой неоднородную маслянистую горючую жидкость от светло-жёлтого до чёрного цвета и с различным запахом в зависимости от происхождения и состава.

М.В. Ломоносов в 1763 г. впервые указал на «рождение оной бурой материи... из остатков растений под действием тепла Земли». В 1866 г. французский химик М. Бертло высказал предположение, что нефть образуется в недрах Земли при воздействии углекислоты на щелочные металлы. В 1871 г. французский химик Г. Биассон выступил с идеей о происхождении нефти путём взаимодействия воды, CO_2 , H_2S с раскалённым железом.

В.Д. Соколов в 1889 г. изложил гипотезу космического происхождения нефти, согласно которой исходным материалом для возникновения нефти служили углеводороды, содержащиеся в газовой оболочке пра-Земли. По мере остывания планеты углеводороды поглотились расплавленной магмой. При формировании земной коры они проникли в осадочные породы в газообразном состоянии, конденсировались и образовали нефть.

Д.И. Менделеев, разделявший вначале представление об органическом происхождении, впоследствии склонялся к мысли о происхождении её в результате реакций, идущих на больших глубинах, при высоких температурах и давлениях, между углеродистым железом и водой, просачивающейся с поверхности Земли.

В.И. Вернадский (1934) доказал исключительную способность организмов концентрировать в литосфере огромные запасы углерода и его колоссальную роль в геологических процессах. В 50-60-е гг. прошлого века в нашей стране (Н.А. Кудрявцев, В.Б. Порфирьев, Г.Н. Доленко и др.) и за рубежом (английский учёный Ф. Хойл и др.) возродили различные гипотезы неорганического (космического, вулканического, магматогенного) происхождения нефти. Однако они не были поддержаны на 6-м (1963 г.), 7-м (1967 г.) и 8-м (1971 г.) Международных нефтяных конгрессах.

Убедительные доказательства биогенной природы нефти были получены в результате детального изучения эволюции молекулярного состава углеводородов и их биохимических предшественников в исходных организмах, в органическом веществе осадков и пород и в различных нефтях из залежей. Установлено, что нефть – результат литогенеза. Она представляет собой жидкую (в своей основе) гидрофобную фазу продуктов фоссилизации (захоронения) органического вещества (керогена) в водно-осадочных отложениях. Важным явилось обнаружение в составе нефти хемофоссилий – весьма своеобразных, часто сложно построенных молекулярных структур явно биогенной природы, то есть

унаследованных (целиком или в виде фрагментов) от органического вещества (Дегазация Земли..., 2002).

Основные элементы в составе нефти – углерод 83-87 % и водород 12-14 % (Бокрис, 1982). В заметных количествах в неё входят сера (до 6-14 %), азот (0,02-1,7 %) и кислород (0,005-3,6 %), также содержатся некоторые микроэлементы и тяжёлые металлы (Пиковский, 1988; Ситникова и др., 1992).

Состоит нефть почти из 3000 ингредиентов. Углеводороды, входящие в её состав, являются, главным образом, алканами с прямыми и разветвлёнными цепями. В небольших количествах в нефти содержатся гетеро- и карбоциклические, а также кислородсодержащие соединения. В состав нефти входят парафиновые и нафтеновые углеводороды 50-90 %, ароматические углеводороды – от 1 до 20 %, кислородсодержащие соединения – около 5 %, органические соединения серы – 1-5 %, смолы и асфальтены – от 3 до 12 %. Каждое из названных соединений является токсикантом (Аугуст, 1971; Вредные..., 1976; Mitchel et al., 1972; Griffin et al., 1977; Hadson et al., 1977).

Плотность нефти 0,6-1,0 г/см³. Её сорта с плотностью до 0,9 г/см³ называют лёгкими, а с большей плотностью – тяжёлыми. Температура застывания нефти определяется её составом и варьирует от +11 (парафиновая) до -20 °С (беспарафиновая). Температура кипения обычно ниже 100 °С, а теплота сгорания – 40000-46000 кДж/кг (Геологический..., 1955).

Россия занимает первое место в мире по запасам нефти. Её основные месторождения расположены в Тюменской области, Татарстане, Башкирии, на Северном Кавказе и Сахалине (Экологические..., 1980).

Себестоимость добычи нефти в пересчёте на условное топливо в 3-4 раза ниже, чем угля. Она удобна для транспортировки на большие расстояния. Эти особенности объясняют всё возрастающие масштабы её применения. По прогнозам, с 2000 по 2020 гг. нефти будет потреблено столько, сколько её разведано на Земле.

При добыче, транспортировке и переработке теряется около 50 млн. тонн нефти, которые приводят к загрязнению окружающей среды, оказывая токсическое воздействие на экосистемы (Израэль и др., 1986). С поступлением нефти в окружающую среду наряду с процессами микробиологического и химического разложения происходит её испарение. Причём выброс летучих органических соединений достигает 40 % от общего объёма потерь. Это служит источником загрязнения атмосферы и почвенных экосистем (Бокрис, 1982).

Транспортировка нефти на экспорт осуществляется преимущественно двумя видами транспорта: трубопроводным и морским. Трубопровод «Дружба», транспортирующий нефть в страны Европы, является крупнейшим в мире. Его протяженность около 6 тысяч километров. Нефтепровод диаметром 1020 мм идёт от г. Самары до западной границы РФ в Брянской области. В России магистраль нефтепровода проходит по территориям восьми областей и 32 районов (рис. 1).

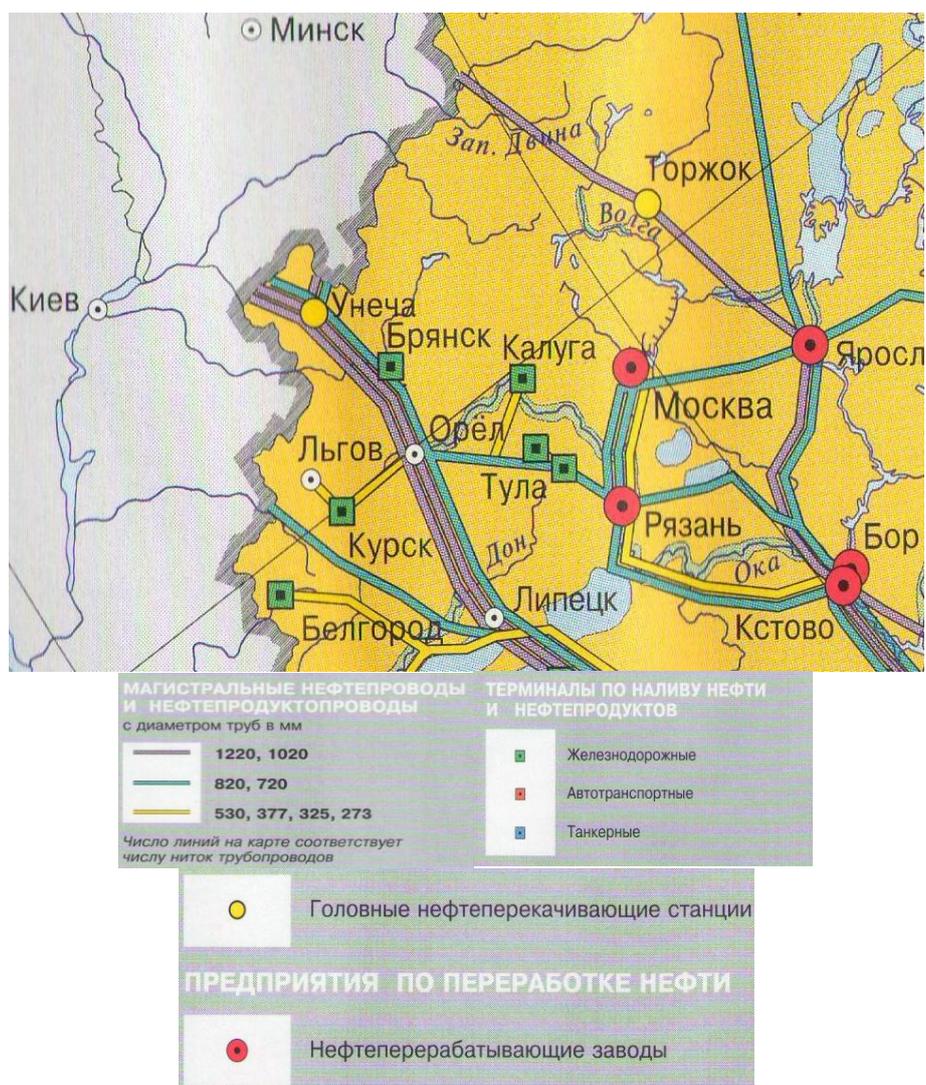


Рисунок 1 – Расположение нефтетранспортирующих и нефтеперерабатывающих объектов на юго-западе Нечернозёмной зоны России (Экологический..., 2002).

На территории Брянской области нефтяной поток разветвляется: основная труба 1020 мм идёт на запад в Беларусь, где нефтепровод «Дружба» разделяется на две ветки, северную, идущую через Польшу в Германию и южную – через Украину в Чехию и Венгрию. Труба диаметром 800 мм идёт в Вентспилс (ветвь Унеча – Полоцк – Мажейкяй – Вентспилс, рис. 1).

По нефтепроводной системе «Дружба» в страны ближнего и дальнего зарубежья транспортируется почти 50 % идущей на экспорт российской нефти. В последние годы только по основному западному направлению перекачивалось до 70-80 млн. тонн в год.

2. Влияние нефти на почвенную экосистему

Среди веществ загрязнителей биосферы нефть и нефтепродукты признаны приоритетными (Shukla, 1990). Аварийные разливы на предприятиях добычи, переработки и транспортировки нефти приводят к длительному загрязне-

нию природных ландшафтов. Попадая в почву, эти поллютанты изменяют её физико-химические свойства, снижают плодородие, в значительной степени подавляют жизнедеятельность биоты (Киреева и др., 2001).

Почва аккумулирует загрязнения в большей степени, чем атмосфера и природные воды (Звягинцев, 1989). Твёрдая фаза почвы является главным сорбентом нефти, а почвенно-грунтовые воды выполняют функцию диспетчера между ней и всеми остальными компонентами окружающей среды, включая биотические (Андерсон, 1979; Андерсон и др., 1980; Восстановление..., 1988; Коронелли, 1996; Солнцева, Никифорова, 1988; Солнцева и др., 1996; Халимов и др., 1996).

Нефтяное загрязнение нарушает экологическое равновесие почвы. Это выражается в изменении физико-химических параметров нефтезагрязненной почвы, создании анаэробнобиозиса, агрегации структурных отдельностей и т.д. (Гилязов, 1999; Габбасова, 2001; Киреева и др., 2001). Всё это вместе изменяет экологическое состояние агроэкосистемы (Хазиев и др., 1988).

Негативное воздействие нефти на почвенную экосистему обусловлено как непосредственной деградацией почвенного покрова на участках разлива нефти, так и воздействием её компонентов на сопредельные среды (растительный покров, поверхностные и грунтовые воды, животный мир). Вследствие чего продукты трансформации нефти обнаруживаются на различных объектах биосферы. После разлива нефти на поверхность почвы с течением времени происходит испарение летучих фракций и просачивание вглубь почвенного профиля жидких компонентов. В результате на поверхности почвы и в самой верхней части её профиля остаются в основном высокомолекулярные соединения (твёрдые парафины, смолы, алсфальтены), а также продукты деградации нефти. Они все вместе образуют на поверхности почвы весьма устойчивые к разложению корочки, а при многократных разливах тяжелой нефти – твёрдые покровы. Такое «запечатывание» почвенного профиля ухудшает водно-воздушные свойства почв, нередко приводит к заболачиванию и смене окислительно-восстановительных условий, что замедляет разложение нефти, просочившейся в нижележащие горизонты (Солнцева, Пиковский, Никифорова, 1985).

Оценка влияния нефти на экосистемы тесно связана с проблемой её трансформации в почвенных экосистемах. Первоначальное воздействие загрязнителя испытывает поверхностный гумусовый горизонт, который действует как комплексный геохимический фильтр, удерживающий большую часть загрязнителя (Рэуце, 1986).

М.А. Глазовская и Ю.И. Пиковский (1985) установили существенные различия миграционных процессов в почвах разных природных зон. На них влияет большое количество факторов, и зависит они как от свойств почвенной экосистемы (температуры, влажность, реакция среды и др.), так и свойств поступающей нефти (химического состава, вязкости, объемной массы, температуры затвердевания и др.).

Попавшая на поверхность почвы нефть перемещается под действием гидродинамических, капиллярных и гравитационных сил, соотношение которых неодинаково не только в разных биоклиматических условиях, но и в разных почвенных экосистемах одной и той же территории. Более того, они не-

одинаковы и в разных генетических горизонтах одной и той же почвы (Солнцева, 1988).

Основным механизмом проникновения нефти в более плотные суглинистые горизонты является миграция битуминозных веществ по системам ослабленных зон – «каналам» миграции и диффузии загрязнителя из канала в прилегающую почвенную массу (Солнцева, 1982).

Различные части почвенной экологической системы, называемые генетическими горизонтами, имеют определённый цвет, гранулометрический состав, структуру и другие морфологические признаки, в целом определяющие ряд её свойств. Горизонт аккумуляции органических веществ формируется в верхней части профиля за счет отмирающей биомассы растений. Элювиальный горизонт образуется в процессе интенсивного разрушения минеральной части почвы и вымывания продуктов разрушения в нижележащую часть профиля. Иллювиальный горизонт формируется ниже элювиального или гумусового и служит переходом к почвообразующей породе. При техногенном загрязнении генетические горизонты выполняют важную экологическую функцию – детоксикацию поллютантов (Можайский, 2005).

И.И. Солнцева (1982) отмечает следующие наиболее важные особенности, характерные для морфологии дерново-подзолистых почв, загрязненных нефтью:

- резкая фрагментарность изменения морфологических признаков на самых близких расстояниях из-за неравномерности распределения загрязнителя в почвенной массе;

- увеличение общего числа железистых новообразований, начиная с самых верхних горизонтов, наиболее выраженное в горизонте В;

- заметное увеличение плотных новообразований органо-минеральной природы. Количество их на 1 см² в элювиальных горизонтах загрязненных почв составляет 14-20 при 4-6 и незагрязненных аналогах. Состав этих новообразований закономерно меняется вниз по профилю: увеличивается минеральная составляющая и уменьшается количество битумных веществ.

Вышеизложенное способствует формированию резко укороченного, но очень контрастного профиля распределения битумных веществ (Солнцева, 1998).

Имеет место усиление суспензионного переноса – потёчность глинисто-органической массы и микропедотурбация материала, создающая характерный рисунок этих натёчных образований (Деградация..., 2002).

Степень изменения морфологических признаков почвы вследствие нефтяного загрязнения отражает масштабы изменений её свойств. Под воздействием этого поллютанта существенно изменяются также физические, химические, биологические свойства почвенных экосистем, что еще раз подчеркивает совершенно особый характер этого вида загрязнения.

Нефть, обладает ярко выраженными гидрофобными свойствами, передаёт их почвенным частицам. В результате чего количество нефти 150 мл/кг и выше резко изменяет водно-воздушный режим почвенной экосистемы. С одной стороны, сокращается впитывание воды, и за счёт этого увеличивается её поверх-

ностный сток. С другой – гидрофобность верхнего нефтезагрязнённого слоя сокращает транспирацию воды из нижележащих горизонтов и за счёт уплотнения ограничивает их газовый обмен. Вследствие этого в нижние горизонты часто избыточно увлажнены с признаками заболачивания. Гидрофобные свойства изменяются при загрязнении лишь тяжёлыми фракциями нефти, тогда как лёгкие – и широком диапазоне количеств загрязнителя, практически не влияют на физические свойства почвы (Халимов и др., 1996).

Образование на поверхности почвенных частиц нефтяной пленки, обусловливает значительное снижение способности почвы впитывать и удерживать влагу, что приводит к снижению гигроскопической влажности, водопроницаемости и влагоёмкости по сравнению с фоновыми аналогами.

Вследствие вытеснения воздуха нефтью изменяется воздушный режим почв. Масса почвенных частиц и растительные остатки слипаются, образуя трудно разделяемую массу, вплоть до образования твёрдых покровов.

Таким образом, в результате нефтяного загрязнения кардинально отменяется водно-воздушный режим почвенных экосистем (Деградация..., 2002).

Параметры агрофизических свойств остаются неудовлетворительными из-за высокой дезагрегированной почвенной структуры, уменьшения влагоемкости и повышения коэффициента водопрочности вследствие гидрофобизации почв (Габбасова и др., 2002).

Благодаря нейтральной и слабощелочной реакции нефти в процессе загрязнения происходит подщелачивание почвенного раствора, рН среды увеличивается (Гилязов, 1980).

В загрязненных почвах наблюдается уменьшение емкости поглощения (Гайнутдинов и др., 1988), утрата поглотительной способности связана с обволакиванием почвенных коллоидов нефтяной пленкой.

В почвах, загрязненных нефтью, происходит изменение содержания и состава гумуса. При загрязнении наблюдается увеличение общего содержания углерода. Качественный состав гумуса также претерпевает изменения: уменьшается относительное содержание гуминовых и фульвокислот, в 1,5-3 раза увеличивается содержание негидролизуемого остатка (Деградация..., 2002), Последний подвергается очень медленному разложению и надолго выпадает из биологического круговорота, что является одной из причин ухудшения плодородия почв. Но другим данным (Андерсон, Мукатанов, Бойко, 1980) доля фульвокислот возрастает. Большое значение в данном случае играет состав нефти.

Загрязнение нефтью приводит к росту соотношения C : N. По данным С.Т. Odu (1978) в загрязненной почве отношение C : N может достигать 400-420 по сравнению с 17 для незагрязненной почвы.

Органическая природа нефти определяет специфику гумусного состояния загрязненных почв. Сразу после загрязнения содержание углерода в почвах возрастает адекватно количеству привнесенной нефти, начинаются процессы радиальной и латеральной дифференциации распределения органического углерода.

Основные закономерности распределения органического углерода для различных типов почв и природных зон нефтедобывающих регионов страны проанализированы Н.П. Солнцевой (1998). Она указывает на формирование

двух разнонаправленных групп процессов: физико-химического выветривания и микробиологической деструкции нефти. Их взаимодействие с почвенными компонентами приводит к изменению качественных и количественных характеристик органического вещества.

В условиях естественного самовосстановления загрязненных почв процессы деструкции нефти протекают медленно, не ясен вопрос о возможности восстановления качественного состава органического вещества. В составе гумуса свежезагрязненных серых лесных почвах значительно увеличивается содержание второй и третьей фракций гуминовых кислот и негидролизуемого остатка при незначительном изменении количества фульвокислот, причем доза нефти не имеет существенного значения. В загрязненных серо-бурых почвах Апшерона через 40 и 100 лет сохраняется превышение содержания общего углерода на 3,8-8,0 % по сравнению с фоновыми, соответственно преобразован групповой и фракционный состав гумуса (Бочарниковой, 1990).

Наблюдаемые изменения в общем содержании $C_{орг}$ и фракционно-групповом составе гумуса можно было бы оценить как улучшение гумусного состояния почв. Однако нельзя не учитывать, что это связано только с приносом углерода нефти, а не с процессами гумификации. Более того, качество гумуса по ряду показателей ухудшается. Прежде всего, гумус сильно обедняется азотом, что проявляется в расширении отношения $C : N$. В исследованиях Е.Е. Орловой с соавт. (1997) показано, что в нефтезагрязненных почвах уменьшается оптическая плотность гуминовых кислот и степень их окисленности, то есть гумус в качественном отношении деградирует.

Таким образом, гумусное состояние почв отличается от фонового повышенным содержанием органического углерода, изменением состава гумуса, увеличением абсолютного содержания всех фракций гуминовых кислот и негидролизуемого остатка, обеднением гумуса азотом, то есть ухудшением его качества.

Модифицирующее воздействие нефтяного загрязнения на химические свойства почв, как правило, связано с сопутствующими поллютантами, а не собственно с нефтью. Изменение агрохимических свойств почвы обусловлено частичной иммобилизацией биогенных элементов микроорганизмами, окисляющими углеводороды (Деградация..., 2002).

В.С. Гузев с сотр. (1989) указывают, что нефть опосредовано влияет на макро- и микроорганизмы за счёт изменения водно-воздушного баланса почвы и может приводить к полному подавлению их жизнедеятельности. Лимитирующим фактором для роста бактерий может оказаться нехватка молекулярного кислорода, возникающая из-за нефтяного загрязнения (Bartha, 1986). Под воздействием нефти в почве меняются видовой состав и численность микромикробов (Киреева и др., 2003).

Воздействие различных фракций нефти на состояние почвенной микробиоты неодинаково. Легкие компоненты нефти, обладающие повышенной токсичностью для живых организмов, составляющие основу бензина и дизельного топлива, в низких концентрациях практически не влияют на почвенную микробиоту, а в больших – являются основным субстратом для углеводородоксиля-

ющих микроорганизмов. Тяжелые фракции нефти, входящие в состав моторного масла и гудрона, нетоксичны для гетеротрофных микроорганизмов, но и не метаболизируются ими. Благодаря высокой температуре застывания, существенно влияющей на физические свойства почвы, происходит усиленное размножение микроорганизмов – бактерий, фиксирующих азот, денитрифицирующих и сульфатовосстанавливающих, которые используют нефть в качестве источника углерода и энергии, приводя к минерализации и частичному окислению (Халимов и др., 1996).

Попадание нефти и нефтепродуктов в почву приводит к изменению активности основных ферментов, участвующих в важных биологических процессах (Исмаилов, 1988), и тем самым неоднозначно влияет на азотный, фосфорный и углеводородный обмен, вызывая снижение активности ряда ферментов. Это позволяет судить об изменении обмена азота, фосфора и углерода в почве (Киреева и др., 1997а; Киреева и др., 1997б; Киреева и др., 1998).

Возрастание токсичности почвы при загрязнении нефтью объясняется как действием самой нефти (Киреева и др., 2001), так и изменением комплекса микромицетов в направлении увеличения доли фитотоксичных видов и стимулирования образования ими фитотоксинов (Киреева и др., 2000). Удельный вес фитотоксичных форм в микробоценозах почвы – один из показателей качественного состава микробных ассоциаций по признаку их физиолого-биохимического влияния на высшие растения (Деградация..., 2002).

Наибольшее влияние на уровень фитотоксичности в нефтезагрязненной почве оказывали легкие фракции нефти, которые даже в малых дозах ингибировали рост растений на 100 % (Водопьянов, 2004)

Нефть нарушает функционирование естественных экосистем, происходит катастрофическая деградация сельскохозяйственных угодий. В нефтезагрязненных почвах замедляется рост и развитие растений, значительно снижается урожайность сельскохозяйственных культур (Гилязов, 1999; Киреева и др., 2001; Киреева и др., 2003). Это связано, в первую очередь, с прямым фитотоксичным действием нефти на растения.

Исследованиями ряда авторов (Хазиев и др., 1988; Шилова, 1988; Киреева и др., 1996; Blankenship, Larson, 1978) показано, что в нефтезагрязненных почвах происходит замедление роста и развития растений, снижение урожайности сельскохозяйственных культур.

К настоящему времени изучению влияния нефтяного загрязнения на свойства почв посвящено довольно много работ (Гилязов, 1980; Мукатанов, 1980; Демидиенко и др., 1983; Хазиев и др., 1988; Киреева, 1994). Однако, комплексный эффект нефтяного загрязнения на почву, связанный с различными механизмами повреждающего действия основных составляющих нефти на её морфологические признаки, физические, физико-химические, агрохимические и биологические свойства, требует дальнейшего исследования в зональном аспекте.

3. Устойчивость почвенных экосистем к нефтяному загрязнению, их способность к самоочищению

Аварийные разливы нефти превращают почвы в техногенные пустыни. Согласно устоявшемуся мнению, процесс самоочищения нефтезагрязненных почв идет не менее 10-25 лет (Оборин и др., 1988).

В.В. Докучаев (1949) указывал, что почва, как естественно-историческое природное тело, динамична. Поэтому важно знать возможное время её существование, а также условия и характер изменения во времени.

Н.Б. Хитров (2002) отмечает, что широкое развитие деградации почв в условиях нарастающего антропогенного воздействия требует принятия мер по их охране для поддержания естественных механизмов функционирования биосферы и условий жизни. Одновременно с этим, необходимо разработать стратегию поведения и технологии воздействия на почву, обеспечивающие её рациональное и долговременное использование без негативных последствий. Возникает необходимость выбора эталонов нормального состояния почв и ведение почвенного мониторинга.

Н.Б. Хитров (2002), указывает, что устойчивость почв состоит из совокупности взаимно дополняющих частных понятий, таких как:

- инертность отдельных компонентов почвы как способность не взаимодействовать с поступающими извне химическими агентами;
- стойкость отдельных компонентов, горизонтов и почвы в целом как способность сохранять длительное время состав и свойства при химическом воздействии;
- относительная стабильность (постоянство) основных групп твердых компонентов почвы и их соотношения, а также видового состава микробиоценоза при небольших колебаниях внешних воздействий;
- прочность почвы и отдельных её компонентов как способность сопротивляться внешним механическим воздействиям, не деформируясь необратимо выше заданного предела, то есть не разрушаясь;
- живучесть ценоза почвенных живых организмов как способность сохранять структуру и характер функционирования сообщества при возмущении его состояния;
- постоянство (инвариант) комплекса качественных признаков почвы, определяющий её генетический облик в течение относительно длительного периода времени;
- сохранение своего пространственного положения;
- буферность как способность почвы поддерживать относительное постоянство отдельных характеристик при небольшом изменении своего состава;
- надежность функционирования почвы в составе геосистемы как способность почвы выполнять входные, внутренние и выходные функции, сохраняя во времени значения ряда параметров, обеспечивающих поддержания состояния и функционирование других компонентов геосистемы;
- устойчивость функционирования почвы, обеспечивающую поддержание и обновление внутреннего состава, строения и характера связей между компо-

нентами в условиях колебания внешних факторов почвообразования;

- инерционность изменения после некоторых воздействий, заключающуюся не в скачкообразном, в постепенном, относительно замедленном на начальных этапах изменений свойств почвы при наличии внешнего воздействия;

- способность к восстановлению состава, структуры и функционирования после возмущения исходного состояния.

Понятие устойчивости в каждом конкретном случае отражает целостные (эмерджентные) свойства объекта. Это означает, что в общем случае устойчивость системы в целом не является простой суммой устойчивости отдельных её компонентов. Для каждого иерархического уровня строения педосферы присущи особые механизмы, обеспечивающие устойчивость рассматриваемых объектов к внешним по отношению к ним объектам.

По мнению Н.Б. Хитрова (2002), критерии оценки устойчивости почв, имеющиеся в литературе, могут быть объединены в несколько групп:

- критические значения воздействий, вызывающие разрушения системы или перевод её в необратимо неустойчивое или другое устойчивое состояние;

- параметры системы (инвариант), остающиеся неизменными при различных возмущениях системы на протяжении значительной части её характерного времени;

- параметры динамики основных характеристик системы;

- критерии устойчивости по Ляпунову, орбитальной, асимптотической и структурной устойчивости на основе математических моделей изучаемых систем;

- критерии, основанные на отборе наиболее чувствительных характеристик почвы к данному виду воздействия;

- критерии, основанные на относительном изменении какого-либо свойства или характеристики почвы.

Механизмы, обеспечивающие устойчивость почв к внешним воздействиям, включают:

- многообразие компонентов почвы (разнообразие минеральных компонентов, гумусовых веществ и продуктов их взаимодействия, биоразнообразие внутрипочвенного ценоза), которое обеспечивает возможность сравнительно быстрой замены одного компонента другим для выполнения одной и той же функции почвы;

- механическую прочность, упругость, эластичность твёрдофазных компонентов почвы и структурных связей между ними;

- способность к поглощению и удерживанию в течение относительно продолжительного промежутка времени веществ и энергии;

- относительную изоляцию некоторых частей почвы за счет наличия других её частей, обладающих пониженными коэффициентами тепло-, массо- и энергопереноса;

- «поточность» системы, то есть наличие возможности удаления легко растворимых компонентов за пределы почвы в результате вертикального и или горизонтального промывания;

- возможность сохранения общих внешних условий, обеспечивающих активное существование почвенных процессов, поддерживающих и способству-

ющих периодическому обновлению состава, свойств и строения данной почвы (Хитров, 2002).

Способность почвы восстанавливать своё естественное состояние определяют, как регенеративную способность, которая зависит от времени формирования её профиля и может быть позитивной или негативной с позиций утилитарной оценки. Деградированные почвы не способны к регенерации своего «преддеградационного» профиля. Его восстановление возможно только путём повторного окультуривания (Лебедева, Тонконогов, 2002).

Н.Б. Хитров (2002) выделяет два вида устойчивости: резистентную и регенерационную. Резистентная устойчивость – способность сохранять свойства при наличии воздействия, а регенерационная – способность восстанавливать свойства после прекращения воздействия.

Количественной мерой устойчивости каждого уровня служит изменение содержания его компонентов в ответ на внешнее воздействие. Мерой устойчивости может быть и время, за которое восстанавливается структура отдельных уровней почвенной системы после внешнего воздействия (Мотузова, 2002).

Д.С. Булгаков с сотр. (2002) выделяют потенциальную устойчивость почвы к антропогенным воздействиям, которая определяется её свойствами. Кроме того, она зависит и от положения почвы в рельефе. Потенциальная устойчивость имеет комплексный, многокомпонентный характер и является её фундаментальным свойством. При различных видах воздействий задействуются в неодинаковой степени все компоненты устойчивости. Между ними, как правило, существует функциональная зависимость.

В реальных условиях потенциальная устойчивость почвы всегда проявляется через её фактическую устойчивость, которая зависит от трёх основных факторов:

- потенциальной устойчивости;
- состояния почвы в данный отрезок времени в конкретных условиях;
- характера и интенсивности антропогенного воздействия на почву.

По совокупности чисто антропогенных воздействий, устойчивость почвы никогда не бывает полной, хотя при слабых антропогенных воздействиях почва почти не изменится. При массивных антропогенных воздействиях понятия устойчивости почвы теряет смысл. Почва при этом может быть уничтожена и её устойчивость влияет только на затраты времени и средств при этих воздействиях (Булгаков и др., 2002).

Устойчивость почв к антропогенному загрязнению, в частности к загрязнению нефтью, в значительной степени определяется интенсивностью и скоростью процессов самовосстановления или самоочищения (Орлова, Лабутова, 2002). Самоочищение почвы – это совокупность природных процессов, направленных на уменьшение в ней загрязнителей (Чугунова, Капелькина, 2002).

Интенсивность разложения нефти напрямую зависит от обеспеченности почвы биогенными элементами, легкоусвояемыми биологически активными веществами и наличием микроорганизмов – нефтедеструкторов (Исмаилов, 1988; Киреева, 1994; Стабникова и др., 1995; Киреева и др., 1996; Аринбасаров и др., 1999; Паничкина и др., 1999; Аринбасаров и др., 2001; Барышникова и др.,

2001; Кобзев, 2001). Активация процессов естественного самоочищения, в основе которых лежит деятельность микроорганизмов, приводит к быстрому разрушению углеводородов нефти (Методы ..., 1991; Коронелли, 1996).

Существенная роль растений в очищении почв обусловлена их способностью поглощать и трансформировать химические токсиканты, активировать деятельность микробного сообщества почв и, как следствие, интенсифицировать биохимические и химические процессы удаления чужеродных соединений (Meagher, 2000; Kramer, Chardonens, 2001).

Особый биотоп представляет собой ризосфера растений. Она может играть важную роль в детоксикации поллютантов (Lee, Banks, 1993; Reilley et al, 1996; Vinet et al, 2000; Criquet, 2000; Piutti et al, 2002).

Важнейшими факторами, определяющими длительность периода самоочищения почвы, являются климатические условия, гранулометрический состав, влагоёмкость, обеспеченность питательными веществами, прежде всего азотом и фосфором (Кодина, 1988; Пиковский и др., 2003).

После испарения летучих компонентов нефти идет химическое и биологическое разложение основной массы разлитой нефти (Лозановская и др., 1998). И.М. Исмаилов и др. (1988) указывают, что большое значение для ускорения разрушения загрязнителей органического происхождения в почве имеют состав и строение этих веществ.

Естественное самоочищение почв от углеводородного загрязнения является длительным процессом, который продолжается от нескольких лет до десятилетий в зависимости от региона.

Нефть на земной поверхности оказывается в качественно новых условиях существования: из сугубо анаэробной обстановки с очень замедленными темпами геохимических процессов она попадает в аэрируемую среду. В естественных условиях самоочищения почвы нефть быстро теряет низкомолекулярные алканы, легколетучие ароматические вещества (Гилязов, 1999).

Главным окисляющим агентом в условиях земной поверхности является молекулярный кислород. В то же время дыхание почв чутко реагирует на нефтяное загрязнение. Сначала микрофлора подавлена большим количеством углеводородов, и интенсивность дыхания почвы несколько снижается, с увеличением численности микроорганизмов интенсивность дыхания возрастает (Исмаилов, 1988).

Рельеф влияет на структуру условий увлажнения почв и перераспределения поверхностных почвенных и грунтовых вод и снега, на направление геохимических потоков и вынос их на поверхность. Он имеет большое значение для процессов перемещения и трансформации нефти.

Почвообразующие породы данной территории, определяющие гранулометрический состав почв, влияют на нефтепроницаемость, которая обусловлена размерами и формой пор, расположением частиц грунта, наличием и размерами капилляров, трещин и корневых ходов. В верхних горизонтах почв, вследствие значительного объема порово-трещинного пространства, происходит главным образом фронтальное просачивание нефти, которая может почти полностью насыщать массу этих горизонтов, тогда как интенсивность проникновения

нефти в более глубокие горизонты зависит от их гранулометрического состава. В случае переслаивания грунтов разного гранулометрического состава резко падает интенсивность радиальной миграции нефти вследствие неодинакового капиллярного давления в слоях, что обуславливает возникновение энергетического барьера (Солнцева, 1998).

В Нечерноземной зоне условия разложения и рассеяния органических загрязняющих веществ существенным образом различаются по ландшафтно-геохимическим районам. На юге, где распространены в основном распаханые почвы, очень велика опасность переноса загрязнителей с поверхностным и внутрипочвенным стоком в местные низменности и водоёмы (Глазовская, 1988). Этому обстоятельству способствуют расчлененный рельеф, преобладание почв тяжелого гранулометрического состава. Темп разложения органических загрязнителей в заболоченных и болотных почвах намного ниже, чем на незаболоченных территориях. Это связано с понижением микробиологической активности, обусловленной неблагоприятным водным режимом и окислительно-восстановительными условиями.

Важным фактором в разложении нефти является температура. Согласно правилу Вант-Гоффа, с повышением температуры на каждые 10 °С скорость химических реакций возрастает в 2-3 раза. Оптимальной температурой для нефтеокисляющих микроорганизмов является 25-30 °С, при 20 °С активность бактерий снижается в 2-3 раза, при 10 °С в 4-6 раз и при 5 °С практически отсутствует. Следовательно, при увеличении температуры почвы разложение нефти будет происходить быстрее. В свою очередь, температура является основным показателем теплового режима почвы, который характеризует тепловое состояние почвы и определяется преимущественно радиационным балансом местности. Радиационный баланс изменяется в зависимости от широты местности и времени года. В тундре среднегодовые значения радиационного баланса составляют 20 ккал/см², в южной тайге – 30 ккал/см², в черноземной зоне – 30-50 ккал/см², в тропиках – превышают 75 ккал/см² (Добровольский и др., 1985).

Промерзшая почва остается практически непроницаемой для нефти. Просачивание ее начинается по мере оттаивания. Н.П. Солнцева (2002) уточняет, что в условиях криозоны процессы передвижения минеральных и органических компонентов нефти происходят в мерзлых грунтах вследствие сохранения пленок незамерзшей воды, которая остаётся подвижной в течение всего холодного периода.

Водный режим почвы, определяемый климатом, рельефом и литологией материнских пород, оказывает огромное влияние на процессы разложения, миграции и накопления нефти в почве. Во-первых, чем сильнее увлажнена почва, тем меньше возможность внутрипочвенного закрепления нефти и тем выше активность ее радиального и латерального перемещения, включая поверхностный смыв (Солнцева, 1998). Во-вторых, при оптимальном соотношении тепла и влаги в почве биохимическая трансформация органических загрязнителей происходит активнее.

Другим важным фактором ускорения самоочищения нефтезагрязненной почвы является использование биологических методов активации микроорганизмов. Углекислородоокисляющие микроорганизмы минерализуют нефть до

CO₂ и H₂O или превращают их в соединения, утилизируемые другими группами микроорганизмов. Скорость и интенсивность окисления углеводов микроорганизмами очень высока (Исмаилов, 1988). Так, за 1 год в почве перерабатывается около 30–40 % исходного количества нефти, причем свойства нефтяных веществ значительно изменяются, приближаясь к составу гумуса, характерного для этого типа почв. В течение 9 месяцев восстанавливается нитрификация и численность всех системных и физиологических групп микроорганизмов (Ахмедов и др., 1982).

Чем выше потенциал самоочищения почв, тем скорее пойдет процесс их восстановления при одинаковой нагрузке и составе загрязняющих веществ и тем большую разовую нагрузку они выдерживают, чтобы этот процесс не прекратился. От потенциала самоочищения почв зависят: нормирование допустимых концентраций загрязняющих веществ, выбор способа рекультивации загрязненных земель, организация наблюдения за состоянием почв.

Разнообразии почвенных и климатических условий на территории России, изменение потенциальной способности почв к самоочищению от очень низкой до очень высокой требует дифференцированного подхода к разработке нормирования загрязнения почв нефтепродуктами для разных природных зон.

Для различных природных условий пределы допустимого уровня загрязнения почв нефтью должны быть установлены, исходя из дифференциации возможных ответных реакций среды на загрязнение. Этим целям служат карты районирования России и сопредельных государств по типам возможных изменений природной среды при нефтедобыче (Глазовская и др., 1983; Глазовская, 1988) и по потенциальной опасности загрязнения земель углеводородами (Пиковский и др., 2000). Глазовская (1988) разделяет почвы территории России по потенциальной самоочищающей способности на следующие категории:

I. Мерзлотно-тундрово-таежные районы: холодный климат, мерзлотные условия в почвах, широкое развитие торфяников и восстановительных условий в почвенном профиле – низкая и очень низкая способность почв к самоочищению;

II. Таежно-лесные районы: умеренный климат, высокая влажность, вегетационный период от 3 до 5 месяцев – средняя способность почв к самоочищению;

III. Лесостепные и степные районы: умеренный и теплый климат, длительный (свыше 5 месяцев) вегетационный период – высокая и очень высокая способность почв к самоочищению при высокой влажности, средняя – при пониженной влажности;

IV. Полупустынные и пустынные районы: теплый климат, низкая влажность почв – высокая способность самоочищения при умеренной дозе осадков, средняя – при низкой дозе осадков.

Ю.И. Пиковский с сотр. (2000) считают главными факторами способности почв России к самоочищению от углеводов следующие:

1) условия биологического и физико-химического разложения углеводов в почвах;

2) условия механического рассеяния углеводов.

Закреплению углеводов в почвенном профиле способствуют, в основном, сорбционные и механические барьеры, препятствующие дальнейшей

миграции поллютантов. Главные сорбционные барьеры – это органогенные и гумусовые горизонты почв. Количество аккумулированных углеводов находится в прямой зависимости от мощности и гумусности этих горизонтов.

В качестве общих критериев территориального разделения почв по способности к аккумуляции углеводов принято сочетание сорбционных барьеров с распространением постоянного мерзлого слоя в почве. Очень важно также учитывать фактор «нефтеёмкости» почв, на который обратила внимание Н.П. Солнцева (1998).

Главные факторы, определяющие потенциальную способность почв к выносу углеводов за пределы почвенного профиля, – это годовое количество осадков (активная компонента миграции) и водный режим почв, определяющий характер промывания почвенного профиля (Пиковский и др., 2003).

Выделяют следующие зоны территориального деления почв России по потенциальной способности самоочищения от углеводородного загрязнителя (Пиковский и др., 2003):

а) почвы с самым низким потенциалом самоочищения (низкая скорость деградации и слабое рассеяние) распространены на самом севере Азиатской части России (п-ова Ямал, Тазовский, Гыданский, низменности Северо-Сибирская, Яно-Индибирская, Колымская);

б) почвы с низкой скоростью разложения углеводов, но с умеренным и сильным их рассеянием занимают север Европейской территории России (Кольский п-ов, о. Новая Земля, Тиманский кряж, Мезенская, Малоземельская и Большеземельская тундра, Полярный и Северный Урал), большую часть Западно-Сибирской низменности между Уралом и Енисеем, все Средне-Сибирское плоскогорье между рр. Енисей и Лена, включая районы Прибайкалья и Присяня, а также территории Северо-Востока России, большей части Камчатки и севера Сахалина;

в) почвы с умеренной скоростью разложения углеводов и одновременно с сильным их рассеянием встречаются отдельными массивами на Восточно-Европейской равнине и юге Западной Сибири;

г) почвы с наиболее высоким потенциалом самоочищения от углеводов занимают значительную часть Европейской территории России (за исключением самых северных районов и полупустынных земель Нижнего Поволжья и Калмыкии), горные и предгорные территории Алтая, Западных Саян, Забайкалья, Приморья, Южного Сахалина;

д) почвы с высокой скоростью разложения, но с умеренным рассеянием углеводов занимают, в основном, полупустынные районы прикаспийской низменности, Нижнего Поволжья, Калмыкии.

Итак, изучение современного состояния вопроса по теме диссертации свидетельствует, что формирование техногенных почвенных экосистем вдоль нефтепроводов делает крайне актуальным исследование их устойчивости и способности к самоочищению в случае аварийных выбросов нефти. А для этого необходимо располагать комплексной информацией о фактическом состоянии каждой почвенной экосистемы конкретного региона вследствие разного по количеству и продолжительности нефтяного загрязнения.

4. Природно-климатические условия формирования дерново-подзолистой почвы и методы определения воздействия нефти

Ключевой экосистемный почвенный участок по оценке воздействия углеводородного загрязнения на почвенную экосистему расположен в Выгоничском районе Брянской области. Объектом исследования являлась широко распространённая в регионе экосистема дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы на покровном суглинке, испытывающая различное по количеству и продолжительности загрязнение нефтью.

Экосистема дерново-подзолистой почвы по строению дифференцирована на две части – элювиальную и иллювиальную. Преобладающей механической фракцией является крупная пыль. Под влиянием почвенных процессов верхняя часть почвенного профиля становится более песчано-пылевой, по сравнению с нижележащей (Воробьев, 1993). Она имеет кислую реакцию среды. Ёмкость катионного обмена 13-16 мг-экв на 100 г почвы. Содержание гумуса и подвижного фосфора среднее, а обменного калия в горизонте A_1 – низкое, в горизонте A_1A_2 – очень низкое (табл. 1).

Таблица 1 – Агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы

Показатель	Горизонт A_1	Горизонт A_1A_2
$pH_{\text{сол}}$	4,52	4,60
НГ, мг×экв/100 г	5,82	4,42
S, мг×экв/100 г	10,13	9,29
V, %	63,5	67,8
Гумус, %	5,93	4,22
$N_{\text{общ}}$, %	0,92	0,64
P_2O_5 , мг/100 г	5,96	4,37
K_2O , мг/100 г	4,33	2,33

Таким образом, по своим показателям экосистема изучаемой дерново-подзолистой почвы является типичной для региона.

Климат Брянской области умеренно-континентальный с теплым летом и умеренно холодной зимой, с достаточным увлажнением. В течение всего года преобладает континентальный воздух умеренных широт, арктический и тропический воздух. В районе преобладают ветры южного, юго-западного и западного направлений. Чередующаяся смена волн теплого и холодного воздуха (особенно заметная в мае) создает неустойчивую погоду, вызывает грозовые дожди летом, кратковременные оттепели зимой. Приток атлантических умеренных масс обуславливает мягкость зимы при значительной облачности, возврат холодов весной, поздние весенние заморозки. Континентальные, горячие и сухие массы воздуха приносят засушливую погоду летом. Поступление такой же воздушной массы в сентябре-октябре вызывает возврат тепла (Агроклиматические ресурсы, 1972; Природное районирование, 1975).

Основные климатические показатели представлены в таблице 2.

Почвы начинают промерзать в ноябре, достигая своего максимального значения в марте – 65-90 см. Мощность снежного покрова 23 см.

Продолжительность вегетационного периода (в пределах среднесуточных температур + 5 °С и выше) составляет на севере области 182 дня, на юге 188 дней. Период активной вегетации (со средними суточными температурами воздуха выше + 10 °С) составляет 140-145 дней. Он начинается в конце апреля - начале мая и заканчивается в сентябре. Длительность безморозного периода – 130-150 дней (первая половина мая - конец сентября).

Таблица 2 – Основные климатические показатели района

Показатели	Величина
Среднегодовая температура воздуха, °С	4,7
Средняя температура января, °С	- 8,8
Средняя температура июля, °С	18,0
Максимальная температура воздуха, °С	37
Абс. минимум температуры воздуха, °С	- 40
Среднегодовая сумма осадков, мм	610
Средняя сумма осадков в теплый период года (май-сентябрь), мм	345
Число дней со снежным покровом	132
Сумма положительных температур за период с температурой выше 10 °С	2200
Наибольшее годовое количество осадков, мм	961
Наименьшее годовое количество осадков, мм	388
Наибольшее месячное количество осадков	238 (VII)
Наименьшее месячное количество осадков	0 (IV, VIII)

Коэффициент увлажнения, представляющий собой отношение количество осадков за год к испаряемости равен 1,1-1,2 (Агроклиматические ресурсы, 1972; Природное районирование, 1975). В целом климат территории Брянской области создает благоприятные условия для формирования почв с промывным водным режимом.

Методологической основой исследований служили концепция экологического мониторинга, системный подход к изучению объектов природы, учение о почвообразовательных процессах, метод почвенно-режимных наблюдений, профильный, морфологический и сравнительно-географический методы.

Влияние нефти на экосистему дерново-подзолистой почвы изучали в двух модельно-полевых опытах, заложенных на естественном кормовом угодье по следующим схемам.

Опыт 1. Нахождение нефти на поверхности почвы в течение 6 часов:

- вариант 1 – почва не загрязнена нефтью (контроль, фон);
- вариант 2 – почва загрязнена нефтью в количестве 4 л/м²;
- вариант 3 – почва загрязненная нефтью в количестве 8 л/м²;
- вариант 4 – почва загрязненная нефтью в количестве 16 л/м²;
- вариант 5 – почва загрязненная нефтью в количестве 32 л/м².

Опыт 2. Нахождение нефти на поверхности почвы в течение 1 года:

- | | |
|-----------|--|
| вариант 1 | – почва не загрязнена нефтью (контроль, фон); |
| вариант 2 | – почва загрязненная нефтью в количестве 4 л/м ² ; |
| вариант 3 | – почва загрязненная нефтью в количестве 8 л/м ² ; |
| вариант 4 | – почва загрязненная нефтью в количестве 16 л/м ² ; |
| вариант 5 | – почва загрязненная нефтью в количестве 32 л/м ² . |

Расположение делянок в опытах рендомизированное, повторность – 6-кратная. Процесс закладки опытов представлен на рисунках 2-4.



Рисунок 2 – Кассеты ячеек, подготовленные для залива разных количеств нефти на поверхность дерново-подзолистой почвы



Рисунок 3 – Моделирование разлива различных количеств нефти на поверхность почвы



Рисунок 4 – Вид поверхности дерново-подзолистой почвы в модельно-полевом опыте после разлива на неё различных количеств нефти

Состояние почвы оценивали с помощью стандартного набора показателей. Для их определения отбирали пробы почвы по ГОСТ 17.4.3.01–83 и подготавливали для лабораторных исследований по ГОСТ 17.4.4.02–84. В специализированной лаборатории кафедры экологии, агрохимии и почвоведения Брянской ГСХА определяли физические, физико-химические, химические и биологические показатели почвы.

Физические показатели. Плотность почвы, плотность твёрдой фазы почвы и пористость определяли по общепринятым методикам (Вадюнина, 1986), общую удельную поверхность почвы определяли по её равновесной влажности над насыщенным раствором серной кислоты – по Кутилеку (Растворова, 1983).

Химические показатели. Содержание общего углерода ($C_{\text{общ.}}$) определяли по Никитину с колориметрическим окончанием по Орлову-Гриндель (Практикум..., 2001). Для характеристики уровня загрязнения почвенной экосистемы нефтью использовали содержание техногенного углерода, который определяли по разности между содержанием общего углерода в нефтезагрязнённой почвенной экосистеме и её фоновым аналогом.

Содержание общего азота ($N_{\text{общ.}}$) – по Кьельдалю с колориметрическим окончанием с реактивом Несслера. Подвижные формы фосфора и калия – по методу Кирсанова с последующим определением P_2O_5 колориметрически, K_2O на пламенном фотометре.

Физико-химические показатели. $pH_{\text{вод.}}$ – ГОСТ 26423–85, pH_{KCl} – ГОСТ 26483–85, гидролитическая кислотность (Нг) – ГОСТ 26212–91, сумма обменных оснований (S) – по Каппену-Гильковицу. Ёмкость катионного обмена (ЕКО) рассчитывали по формуле: $ЕКО = S + Нг$. Степень насыщенности почвы основаниями (V) определяли по формуле: $V = S : (S + Нг) \times 100\%$ (Практикум..., 2001).

Биологические показатели. Суммарную биомассу почвенных микроорганизмов определяли регидратационным методом (Благодатский, 1987; Ганжара, 2002). Дыхание почвенной экосистемы – по Карпачевскому (Практикум..., 2001). Фитотоксичность почвенной экосистемы, загрязнённой нефтью, определяли по всхожести семян тест-растения (кресс-салат). Фитотоксичным считали

такое количество нефти, при котором прорастает меньше 50% семян кресс-салата (Халимов, 1996).

Устойчивость почвенной экосистемы к нефтяному загрязнению, определяли как запас буферности исходной природной почвенной системы, то есть способность к сохранению нормального её функционирования (при 6 часовом загрязнении) и как способность к восстановлению исходных свойств природной почвы (при годовом загрязнении).

Использовали три основных методологических подхода к оценке экологических последствий на природные среды:

1) возмещение нанесённого ущерба, выраженного в денежной форме и рассчитанного как затраты на освоение новых земель, равнозначных выводимым из сельскохозяйственного оборота;

2) по массе загрязняющих веществ, выделенных в природные среды;

3) по степени загрязнения или деградации природных объектов, определенных на основе данных мониторинга.

Статистический анализ результатов исследования проводили на компьютере с использованием программ Excel 2003, Straz.

5. Влияние нефти на строение и свойства дерново-подзолистой почвы

5.1. Изменение строения почвенного профиля

При оценке строения почвенной экосистемы кормового угодья рекомендуют принимать во внимание мощность гумусовой части профиля, расположение и свойства почвенных горизонтов, особенно обладающих неблагоприятными свойствами (Агроэкологическая оценка земель..., 2005).

Строение профиля фоновой и нефтезагрязнённой дерново-подзолистых почв изучали, используя эколого-генетическую классификацию (Классификация..., 1977).

Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва на покровном суглинке имеет следующее строение (табл. 3).

Изменения, возникающие в почвенной экосистеме при загрязнении нефтью, касаются практически всех её морфологических признаков. Их выраженность зависит от интенсивности загрязнения, свойств самой экосистемы и особенностей её использования. Сильное химическое загрязнение вызывает резкое изменение состава почвенных мигрантов и почвенного поглощающего комплекса и влияет на состав почвенной биоты, вплоть до ее частичного или полного уничтожения.

Таблица 3 – Строение почвенной экосистемы
по эколого-генетической классификации

Горизонт		Морфологические признаки
индекс	мощность, см	
A ₁	3-10	Лесная подстилка.
A ₁ A ₂	10-26	Гумусовый, серый, супесчаный, слабопластичный, непрочнокомковатый, слабоуплотненный, есть корни, граница волнистая, переход ясный.
A ₂	26-30	Элювиально-аккумулятивный, легкосуглинистый, светло-серый, непрочно-комковатый, граница размытая, переход заметный.
A ₂ B	30-83	Элювиальный, белесоватый, легкосуглинистый, бесструктурный, слабоуплотненный, граница волнистая, переход ясный.
B ₁	83-138	Элювиально-иллювиальный, пестрый, бурые и белые тона, легкосуглинистый, непрочно-мелкоорехованный с белесой присыпкой, граница карманная, переход ясный.
B ₂	138-180	Иллювиальный, бурый, тяжелосуглинистый, сильноуплотнен, ореховато-комковатый, коричневые пятна, граница волнистая, переход заметный.
BC	180-200	Переходный, иллювированная порода, бурый, легкосуглинистый, уплотнен, непрочно-комковатый, граница волнистая, переход заметный.
C	200-220	Почвообразующая порода, покровный суглинок.

При поступлении нефти в почвенный профиль начинается процесс её фракционирования. Существуют два основных типа миграции нефти по профилю: фронтальное просачивание и гравитационное стекание по каналам миграции. Для верхней части профиля характерен первый тип, что приводит к равномерному пропитыванию почвенной толщи загрязнителем. В более глубокие горизонты нефть проникает по ходам корней, трещинам и другим пустотам. Этим горизонтам свойственно неравномерное распределение нефти. В почвах лёгкого гранулометрического состава происходит фронтальное просачивание нефти на глубину 1,5-2 м (Деградация..., 2002).

При загрязнении поверхности экосистемы дерново-подзолистой почвы различными количествами нефти в течение 6-часовов наблюдали следующее.

Опыт 1, вариант 2. Нефть в количестве 4 л/м²:

- следы нефти в лесной подстилке;
- в горизонте A₁ местами тёмноокрашенные пятна, языки и затёки нефти проникают на глубину 3-7 см;
- A₁A₂ не изменился.

Опыт 1, вариант 3. Нефть в количестве 8 л/м²:

- лесная подстилка залита нефтью;
- горизонт A₁ тёмноокрашен от 2 до 4 см, языки и затёки нефти проникают на глубину до 8 см;

- горизонт A_1A_2 стал влажным;
- видны мёртвые насекомые.

Опыт 1, вариант 4. Нефть в количестве 16 л/м²:

- лесная подстилка залита нефтью;
- горизонт A_1 темноокрашен: слой цвета асфальта мощностью 2-6 см сменяется темно-коричневым – от 4 до 8 см;
- переход от горизонта A_1 к A_1A_2 незаметен, языки и затёки нефти проникают на глубину до 12 см;
- горизонт A_1A_2 стал влажным;
- видны мёртвые насекомые.

Опыт 1, вариант 5. Нефть в количестве 32 л/м²:

- лесная подстилка залита нефтью;
- горизонт A_1 темноокрашен: слой цвета асфальта мощностью 5-7 см сменяется темно-коричневый – от 4 до 8 см;
- переход от горизонта A_1 к A_1A_2 незаметен, языки и затёки нефти проникают на глубину до 20 см;
- горизонт A_1A_2 стал влажным;
- видны мёртвые насекомые.

После одного года нахождения различных количеств нефти на поверхности экосистемы дерново-подзолистой почвы наблюдали следующие изменения морфологических признаков.

Опыт 2, вариант 2. Нефть в количестве 4 л/м²:

- лесная подстилка темноокрашена, покрытость поверхности почвы зелеными растениями около 40%;
- горизонт A_1 темноокрашен до 5-7 см, ниже преобладают серые оттенки, рыхлый, запах углеводородов; переход к A_1A_2 постепенный;
- горизонт A_1A_2 не изменился;
- в профиле присутствуют живые насекомые и черви.

Опыт 2, вариант 3. Нефть в количестве 8 л/м²:

- лесная подстилка чёрного цвета, покрытость поверхности почвы зелёными растениями около 20-30%;
- горизонт A_1 темноокрашен с 7 до 9 см, рыхлый, запах углеводородов, переход к A_1A_2 заметен по цвету;
- в горизонте A_1A_2 запах углеводородов;
- в профиле встречаются живые черви.

Опыт 2, вариант 4. Нефть в количестве 16 л/м²:

- лесная подстилка чёрного цвета, покрытость поверхности почвы зелёными растениями около 20%;
- горизонт A_1 темноокрашен, в 10-13 см преобладают чёрные тона, которые постепенно сменяются темно-коричневыми и серыми, запах углеводородов, переход к A_1A_2 виден по цвету;
- в горизонте A_1A_2 запах углеводородов;
- в профиле нет насекомых и червей.

Опыт 2, вариант 5. Нефть в количестве 32 л/м²:

– лесная подстилка чёрного цвета, встречаются единичные зелёные растения;

– горизонт A_1 тёмноокрашен, в 15-17 см преобладают чёрные тона, которые постепенно сменяются тёмно-коричневыми и серыми, запах углеводов, переход к A_1A_2 незаметен;

– в горизонте A_1A_2 запах углеводов;

– в профиле видны мёртвые насекомые.

Для характеристики почвенных экосистем, загрязненных нефтью, важным показателем является глубина её проникновения, от которой зависит самоочищение и технология рекультивационных работ. Глубина проникновения, в первую очередь, обусловлена количеством поллютанта, попавшим на поверхность почвы. Установлено, что при загрязнении экосистемы дерново-подзолистой почвы нефтью 4 л/м^2 она проникает за 6 часов на глубину в среднем до 5 см, а при 32 л/м^2 – до 20 см.

5.2. Влияние нефти на физические свойства почвы

К физическим свойствам почвы относят её плотность, плотность твёрдой фазы, пористость и удельную поверхность.

Плотность почвы является её основной физической характеристикой, определяющей соотношение твёрдой, жидкой и газовой фаз. Поэтому она влияет на водный, воздушный и тепловой режимы, отражает сочетание и функциональную связь между агрофизическими факторами почвенного плодородия. Плотность твёрдой фазы почвы зависит от соотношения в ней органических и минеральных веществ (Кауричев, 1989).

Плотность и плотность твёрдой фазы почвы определяют её общую пористость, размеры пор, соотношение капиллярной и некапиллярной пористости, скорость впитывания и удержания влаги, соотношение воды и воздуха в почве. От неё зависит интенсивность передвижения химических элементов с растворами, илистыми и глинистыми частицами в почвенной толще, а также доступность влаги для растений (Ганжара, 2001).

Дисперсное состояние почвы оценивают по величине её общей удельной поверхности, которая представляет собой суммарную поверхность всех почвенных частиц, выраженную в квадратных метрах на 1 г почвы. Этот показатель, характеризующий степень измельчения твёрдого вещества, оказывает влияние на все почвенные свойства. Будучи взаимосвязан с минералогическим составом, он косвенно характеризует валовой химический состав почвы.

Дисперсностью обуславливается площадь контакта твёрдой фазы почвы с заполняющими её поры жидкой и газовой фазами и с живым веществом. Чем сильнее раздроблена твёрдая фаза почвы, тем заметнее проявляются в ней процессы сорбции влаги, молекул и ионов почвенного раствора, тем прочнее закрепляется органическое вещество. От дисперсности почвы, от размеров её частиц зависят размеры и форма пор между ними, а характер порового пространства, в свою очередь, влияет на водные, воздушные и тепловые свойства и режим почвы (Растворова, 1983).

При 6-часовом загрязнении дерново-подзолистой почвы различными количествами нефти наблюдали следующие изменения физических свойств (табл. 4).

Таблица 4 – Физические свойства дерново-подзолистой почвы при загрязнении её нефтью в течение 6 часов

Вариант	Плотность почвы, г/см ³		Плотность твёрдой фазы, г/см ³		Пористость почвы, %	Удельная поверхность почвы, м ² на 1 г		
	среднее	отклонение от фона	среднее	отклонение от фона		среднее	отклонение от фона	
Горизонт А ₁ (3-10 см)								
Фон	1,42	-	2,84	-	60,00	61,31	-	
4 л/м ²	1,27	-0,15	2,19	-0,65	42,01	47,70	-13,61	
8 л/м ²	1,13	-0,29	2,17	-0,67	47,93	33,70	-27,61	
16 л/м ²	1,20	-0,22	1,87	-0,97	33,69	22,69	-38,62	
32 л/м ²	1,18	-0,24	1,75	-1,09	32,67	18,32	-42,99	
<i>НСР₀₅</i>	0,16		0,47		-	6,55		
горизонт А ₁ А ₂ (10-26 см)								
Фон	Не определяли		2,60	-	Не определяли		47,02	-
4 л/м ²			2,52	-0,08			35,20	-11,82
8 л/м ²			2,51	-0,09			26,87	-20,15
16 л/м ²			2,48	-0,12			17,87	-29,15
32 л/м ²			2,23	-0,37			20,85	-26,17
<i>НСР₀₅</i>			0,14				9,54	

Плотность почвы в горизонте А₁ фона составила 1,42 г/см³. Нефть в количестве 4 л/м² существенно не изменяла эту величину, а 8-32 л/м² значительно снижала (табл. 4).

Плотность твёрдой фазы почвы в горизонте А₁ фона составила 2,84 г/см³. Нахождение на поверхности почвы нефти в количестве до 32 л/м² существенно снижало этот показатель. В горизонте А₁А₂ фона плотность твёрдой фазы составила 2,60 г/см³. Нахождение на поверхности почвы нефти в количестве 4-16 л/м² существенно не изменяло эту величину, а 32 л/м² значительно её снижало (табл. 4).

Пористость почвы в горизонте А₁ фона составила 60%. Н.А. Качинский (1970) предложил выделять следующие диапазоны по пористости почвы: отличная – 65-55%; удовлетворительная – 55-50%; неудовлетворительная – менее 50%; чрезмерно низкая – 40-25%. Нахождение на поверхности дерново-подзолистой почвы нефти в количестве 4-8 л/м² снизило её пористость до неудовлетворительной, 16-32 л/м² – до чрезмерно низкой (табл. 4).

Удельная поверхность экосистемы фоновой дерново-подзолистой почвы составила в А₁ 61,31 и в А₁А₂ 47,02 м² на 1 г. Загрязнения нефтью существенно снижало их, что обусловлено обволакиванием ею почвенных частиц и их слипанием (табл. 4).

При годовом загрязнении дерново-подзолистой почвы различными количествами нефти наблюдали следующие изменения физических свойств (табл. 5).

Таблица 5 – Физические свойства дерново-подзолистой почвы при загрязнении её нефтью в течение года

Вариант	Плотность почвы, г/см ³		Плотность твёрдой фазы, г/см ³		Пористость почвы, %	Удельная поверхность почвы, м ² на 1 г		
	среднее	отклонение от фона	среднее	отклонение от фона		среднее	отклонение от фона	
Горизонт А ₁ (3-10 см)								
Фон	1,35	-	2,50	-	46,00	60,18	-	
4 л/м ²	1,22	-0,13	2,38	-0,12	48,74	52,19	-7,99	
8 л/м ²	1,28	-0,07	2,37	-0,13	45,99	44,79	-15,39	
16 л/м ²	1,31	0,04	2,27	-0,23	42,29	25,69	-34,49	
32 л/м ²	1,31	0,04	2,30	-0,20	43,04	22,54	-37,64	
<i>НСР₀₅</i>	0,06		0,11		-	5,13		
Горизонт А ₁ А ₂ (10-26 см)								
Фон	Не определяли		2,56	-	Не определяли		43,49	-
4 л/м ²			2,57	0,01			39,81	-3,68
8 л/м ²			2,55	-0,02			37,32	-6,17
16 л/м ²			2,53	-0,03			22,62	-20,87
32 л/м ²			2,51	-0,05			19,64	-23,85
<i>НСР₀₅</i>			0,13				4,92	

Плотность почвы в горизонте А₁ фона составила 1,35 г/см³. Нахождение на поверхности почвы 4-8 л/м² нефти значительно снижало эту величину, а 16-32 л/м² существенно её не изменяло (табл. 5).

Плотность твёрдой фазы почвы в горизонте А₁ фона составила 2,50 г/см³. Нахождение на поверхности почвы нефти в количестве до 32 л/м² существенно снижало эту величину. В горизонте А₁А₂ фона плотность твёрдой фазы составила 2,56 г/см³. Нахождение на поверхности почвы нефти в количестве до 32 л/м² существенно снижало эту величину (табл. 5).

Пористость почвы в горизонте А₁ фона составила 46%. Нахождение на её поверхности нефти снижало эту величину (табл. 5).

Удельная поверхность почвы в горизонтах А₁ фона составила 60,18 м² на 1 г. Нахождение на поверхности почвы нефти в количестве до 32 л/м² существенно снижало эту величину. В горизонте А₁А₂ фона удельная поверхность почвы составила 43,49 м² на 1 г. Нахождение на поверхности почвы 4 л/м² нефти существенно не изменяло эту величину, а 8-32 л/м² значительно её снижало (табл. 5).

Итак, установлено следующее статистически значимое влияние разлитой нефти на физические свойства экосистемы дерново-подзолистой почвы:

при 6 часовом загрязнении:

- в горизонте А₁ 8-32 л/м² нефти уменьшают плотность, а 4-32 л/м² – плотность твёрдой фазы и удельную поверхность;

- в горизонте A_1A_2 32 л/м² нефти уменьшают плотность твёрдой фазы, а 4-32 л/м² – удельную поверхность;

при годовом загрязнении:

- в горизонте A_1 4-8 л/м² нефти уменьшают плотность почвы; 4-32 л/м² – плотность твёрдой фазы и удельную поверхность;

- в горизонте A_1A_2 8-32 л/м² – уменьшают удельную поверхность почвы.

Вероятно, изменение физических свойств обусловлено внесением с нефтью органического вещества, которое поменяло соотношения минеральной и органической части в почвенной экосистеме, а также обволакиванием нефтью почвенных частиц и их слипанием.

5.3. Химические показатели нефтезагрязнённой почвенной экосистемы

Содержание и запасы органического вещества в почвах традиционно служат основными критериями оценки почвенного плодородия, а в последние годы все больше рассматриваются и с точки зрения экологической устойчивости почв как компонента биосферы.

Органическое вещество в целом и отдельные его группы разносторонне влияют на агрономические свойства и режимы почв. Органическое вещество почв в большой мере определяет пищевой режим почв, их физические и физико-химические свойства, особенно поглотительную способность, буферность, структурное состояние, влагоёмкость и др.

Оценка содержания гумуса в почвах дифференцирована в зональном аспекте. Для дерново-подзолистых почв выделяют следующие виды по содержанию гумуса в верхнем горизонте: слабогумусированные – менее 0,5%, малогумусированные – 0,5-1,5, среднегумусированные – 1,5-2,5, повышеногумусированные – 2,5-3,5, многогумусные – более 3,5%.

Одним из показателей гумусового состояния почв является отношение C : N, т. е. обогащённость азотом. По этому показателю выделяют следующие диапазоны обогащённости гумуса азотом: очень высокая < 5, высокая 5-8, средняя 8-11, низкая 11-14, очень низкая >14 (Агроэкологическая оценка земель..., 2005).

Как известно загрязнение почв нефтью приводит к установлению в почве режима резкого дефицита азота для микроорганизмов, что является одним из основных лимитирующих факторов быстрого самовосстановления почвы. Известно, что в загрязнённых нефтью почвах во многих случаях наблюдается резкое усиление процессов биологической азотфиксации (Исмаилов, 1988).

Причины ингибирования азотными удобрениями микробиологической азотфиксации в пахотных почвах вполне объяснимы: обогащение почвы доступным азотом делает процесс связывания молекулярного азота для азотфиксирующих микроорганизмов энергетически невыгодным, и они переходят на субстратный тип питания. Из сельскохозяйственной практики хорошо известно, что внесение даже средних доз минеральных азотных удобрений приводит к резкому ингибированию процессов биологической азотфиксации в почвах (Базилинская, 1989, Чеканова, 1988).

Содержание в почве общего углерода и азота, подвижного фосфора и обменного калия характеризует её потенциальную способность обеспечивать энергией многочисленные процессы, проходящие в почве, а растения – этими важнейшими макроэлементами питания (Агроэкологическая оценка земель..., 2005).

При 6-часовом загрязнении дерново-подзолистой почвы различными количествами нефти наблюдали следующие изменения химических показателей (табл. 6).

Содержание общего углерода в горизонтах A_1 и A_1A_2 фона составило соответственно 2,30 и 1,48%. Эти величины существенно увеличивались в обоих горизонтах по мере загрязнения нефтью (табл. 6).

Содержание общего азота в горизонтах A_1 и A_1A_2 фона составило соответственно 0,71 и 0,59%. Нахождение нефти на поверхности почвы в количестве 4 л/м² существенно не изменяло этот показатель в обоих горизонтах, а 8-32 л/м² – значительно увеличивало их.

Нахождение на поверхности дерново-подзолистой почвы 4-8 л/м² нефти снизило в горизонте A_1 обогащенность гумуса азотом до низкой, а 16-32 л/м² – до очень низкой. Нефть в количестве 4-16 л/м² снизила в горизонте A_1A_2 этот показатель до среднего диапазона, а 32 л/м² – до низкого (табл. 6).

Таблица 6 – Химические показатели дерново-подзолистой почвы при загрязнении нефтью в течение 6 часов

Вариант	$C_{\text{общ}}$		$N_{\text{общ}}$		$C : N$	P_2O_5		K_2O	
	%					мг на 100 г почвы			
	среднее	отклонение от фона	среднее	отклонение от фона		среднее	отклонение от фона	среднее	отклонение от фона
Горизонт A_1 (3-10 см)									
Фон	2,30	-	0,71	-	3,24	5,96	-	4,33	-
4 л/м ²	8,59	+6,29	0,73	+0,02	11,77	6,26	+0,30	2,75	-1,58
8 л/м ²	11,83	+9,53	0,90	+0,19	13,14	4,98	-0,98	3,02	-1,31
16 л/м ²	14,43	+12,13	0,86	+0,15	16,79	5,36	-0,60	2,36	-1,97
32 л/м ²	19,94	+17,64	1,42	+0,71	14,04	4,49	-1,47	1,85	-2,48
HCP_{05}	2,18		0,13		-	1,44		0,65	
Горизонт A_1A_2 (10-26 см)									
Фон	1,48	-	0,59	-	2,51	4,37	-	2,33	-
4 л/м ²	5,65	+4,17	0,65	+0,06	8,55	5,10	+0,73	1,67	-0,66
8 л/м ²	6,13	+4,65	0,77	+0,18	7,96	5,17	+0,80	1,58	-0,75
16 л/м ²	6,71	+5,23	0,83	+0,24	8,08	4,51	+0,14	1,33	-1,00
32 л/м ²	12,10	+10,62	0,97	+0,48	12,47	3,81	-0,56	1,43	-0,90
HCP_{05}	1,45		0,08		-	1,08		0,47	

Содержание подвижного фосфора в горизонте A_1 фона составило 5,96 мг на 100 г почвы. Нахождение на поверхности почвы нефти в количестве 4-16

л/м² существенно не изменяло эту величину, а 32 л/м² значительно её снижало. В горизонте А₁А₂ фона содержание подвижного фосфора составило 4,37 мг на 100 г почвы. Нахождение на поверхности почвы нефти в количестве 4-32 л/м² существенно не изменяло это показатель.

Содержание обменного калия в горизонтах А₁ и А₁А₂ фона составило соответственно 4,33 и 2,33 мг на 100 г почвы. Эти величины существенно снижались по мере возрастания количества нефти (табл. 6).

При годовом загрязнении дерново-подзолистой почвы различными количествами нефти наблюдали следующие изменения химических показателей (табл. 7).

Таблица 7 – Химические показатели дерново-подзолистой почвы при загрязнении нефтью в течение года

Вариант	С _{общ}		N _{общ}		C : N	P ₂ O ₅		K ₂ O	
	%					мг на 100 г почвы			
	среднее	отклонение от фона	среднее	отклонение от фона		среднее	отклонение от фона	среднее	отклонение от фона
Горизонт А ₁ (3-10 см)									
Фон	2,50	-	0,70	-	3,57	5,53	-	4,75	-
4 л/м ²	2,74	0,24	0,76	0,06	3,61	5,54	0,01	1,92	-2,83
8 л/м ²	4,72	2,22	1,01	0,31	4,67	5,85	0,32	1,51	-3,24
16 л/м ²	7,83	5,33	1,03	0,33	7,60	4,12	-1,41	1,01	-3,74
32 л/м ²	8,36	5,86	0,96	0,26	8,71	2,50	-3,03	0,75	-4,00
HCP ₀₅	0,61		0,21		-	1,42		0,56	
Горизонт А ₁ А ₂ (10-26 см)									
Фон	1,54	-	0,66	-	2,33	4,00	-	2,42	-
4 л/м ²	1,38	-0,16	0,46	-0,20	3,00	5,82	1,82	1,75	-0,67
8 л/м ²	1,59	0,05	1,18	0,52	1,35	4,88	0,88	1,75	-0,67
16 л/м ²	2,17	0,63	1,36	0,70	1,60	3,78	-0,22	1,50	-0,92
32 л/м ²	3,78	2,24	1,43	0,77	2,64	3,80	-0,20	1,08	-1,34
HCP ₀₅	0,38		0,22		-	0,68		0,51	

Содержание общего углерода в горизонтах А₁ фона составило соответственно 2,50%. Нахождение на поверхности почвы 4 л/м² нефти существенно не изменяло эту величину, а 8-32 л/м² значительно её увеличивало. В горизонте А₁А₂ фона общий углерод составил 1,54%. Нахождение на поверхности почвы 4-8 л/м² нефти существенно не изменяло эту величину, а 16-32 л/м² значительно её увеличивало (табл. 7).

Содержание общего азота в горизонтах А₁ и А₁А₂ фона составило соответственно 0,92 и 0,64%. Нахождение на поверхности почвы 4 л/м² нефти существенно не изменяло эти величины, а 8-32 л/м² значительно их увеличивало. Выделять следующие диапазоны по отношению C:N, т.е. обогащенностью азо-

том: очень высокая < 5, высокая 5-8, средняя 8-11, низкая 11-14, очень низкая >14. Нахождение на поверхности дерново-подзолистой почвы нефти в количестве 16-32 л/м² снизило обогащенность азотом до высокой в горизонте А₁, нефть не влияло на обогащенность азотом в горизонте А₁А₂ (табл. 7).

Содержание подвижного фосфора в горизонте А₁ фона составило 5,53 мг на 100 г почвы. Нахождение на поверхности почвы 4-8 л/м² нефти существенно не изменяло эту величину, а 16-32 л/м² значительно её снижало. В горизонте А₁А₂ фона содержание подвижного фосфора составило 4,00 мг на 100 г почвы. Нахождение на поверхности почвы 4-8 л/м² нефти значительно увеличивало эту величину, а 16-32 существенно её не изменяло л/м² (табл. 7).

Содержание обменного калия в горизонтах А₁ и А₁А₂ фона составило соответственно 4,75 и 2,42 мг на 100 г почвы. Эти величины существенно снижались по мере возрастания количества нефти (табл. 7).

Итак, установлено следующее статистически значимое влияние разлитой нефти на химические показатели экосистемы дерново-подзолистой почвы:

при 6 часовом загрязнении:

- в горизонте А₁ 4-32 л/м² нефти увеличивают общий углерод и уменьшают обменный калий, 8-32 л/м² увеличивают общий азот, а 32 л/м² уменьшают подвижный фосфор;
- в горизонте А₁А₂ 4-32 л/м² нефти увеличивают общий углерод и уменьшают обменный калий, а 8-32 л/м² увеличивают общий азот;

при годовом загрязнении:

- в горизонте А₁ 8-32 л/м² нефти увеличивают общий углерод и азот, 32 л/м² уменьшают подвижный фосфор, а 4-32 л/м² – обменный калий;
- в горизонте А₁А₂ 16-32 л/м² увеличивают общий углерод, а 8-32 л/м² – общий азот, 4-8 л/м² увеличивают подвижный фосфор, а 4-32 л/м² – уменьшают обменный калий.

Вероятно, изменение химических показателей обусловлено внесением с нефтью органического вещества, которое поменяло соотношения С : N в почвенной экосистеме, а также обволакиванием нефтяной плёнкой ППК.

5.4. Влияние нефти на физико-химических свойства экосистемы дерново-подзолистой почвы

Роль ППК в формировании свойств почв была раскрыта академиком К.К. Гедройцем и подтверждена работами многих других учёных. Они показали, что основной характеристикой ППК является его ЕКО, которая обуславливает содержание и состав обменных катионов, в частности количество кальция, магния, водорода и алюминия.

Емкость катионного обмена является одной из интегральных агрономических и экологических характеристик почв. Емкостью катионного обмена в значительной степени обусловлена буферность почв. С ней связывается устойчивость почв к антропогенным воздействиям, в частности, к химическому загрязнению (Агроэкологическая оценка земель..., 2005).

Состав поглощённых катионов определяет не только физико-химические

свойства почв, но и структурное состояние и зависящие от него водно-физические свойства и воздушный режим. Катионы кальция и магния способствуют формированию водоустойчивых агрегатов, водорода и алюминия – распылению структурных отдельностей и кислотному разрушению почвенных минералов.

Кислая реакция почв оказывает негативное влияние на условия питания растений. При кислой реакции в почве недостаточно катионов кальция, магния, молибдена и др. элементов, в то же время проявляется токсичное влияние катионов водорода и, особенно, алюминия и марганца. При этом нарушается питание растений фосфором и азотом, кислая среда подавляет деятельность полезной микрофлоры, угнетающе действует на процессы аммонификации и нитрификации.

При 6-часовом загрязнении дерново-подзолистой почвы различными количествами нефти наблюдали следующие изменения физико-химических свойств (табл. 8).

Таблица 8 – Физико-химические показатели дерново-подзолистой почвы при загрязнении нефтью в течение 6 часов

Вариант	pH _{вод}		pH _{сол}		Нг		S		ЕКО, мг экв/100 г	V, %
	мг экв/100 г									
	среднее	отклонение от фона	среднее	отклонение от фона	среднее	отклонение от фона	среднее	отклонение от фона		
Горизонт А ₁ (3-10 см)										
Фон	5,03	-	4,52	-	5,82	-	10,13	-	15,95	63,5
4 л/м ²	5,14	+0,11	4,21	-0,31	5,22	-0,60	8,18	-1,95	13,40	61,4
8 л/м ²	5,18	+0,15	4,33	-0,19	5,36	-0,46	7,82	-2,31	13,18	59,3
16 л/м ²	5,21	+0,18	4,30	-0,22	5,03	-0,79	6,90	-3,23	11,93	57,8
32 л/м ²	5,19	+0,16	4,36	-0,16	5,18	-0,64	6,15	-3,98	11,33	54,2
НСР ₀₅	0,10		0,09		0,61		0,67		-	-
Горизонт А ₁ А ₂ (10-26 см)										
Фон	5,50	-	4,60	-	4,42	-	9,29	-	13,71	67,8
4 л/м ²	5,47	-0,03	4,49	-0,11	4,43	+0,01	8,89	-0,40	13,32	66,7
8 л/м ²	5,45	-0,05	4,49	-0,11	4,77	+0,05	8,08	-1,21	12,85	62,9
16 л/м ²	5,38	-0,12	4,44	-0,16	5,11	+0,69	5,52	-2,77	10,63	51,4
32 л/м ²	5,42	-0,08	4,32	-0,28	5,31	+0,89	3,49	-5,80	8,80	39,5
НСР ₀₅	0,14		0,10		0,35		0,81		-	-

ЕКО и степень насыщенности основаниями в горизонте А₁ фона составили соответственно 15,95 мг · экв/100 г и 63,5%, а в горизонте А₁А₂ – 13,71 мг · экв/100 г и 67,8%. Нахождение на поверхности почвы нефти в количестве от 4 до 32 л/м² обуславливало стойкое снижение этих величин (табл. 8).

pH_{вод} в горизонте А₁ фона составил 5,03. Нахождение на поверхности почвы нефти в изучаемых количествах существенно увеличивало эту величину.

В горизонте A_1A_2 фона $pH_{\text{вод.}}$ составил 5,50. Разлив нефти на поверхности почвы существенно не изменял эту величину.

$pH_{\text{сол.}}$ в горизонте A_1 и A_1A_2 фона соответственно составил 4,52 и 4,60. Нахождение на поверхности почвы нефти в изучаемых количествах существенно снижало эту величину (табл. 8).

Гидролитическая кислотность в горизонтах A_1 и A_1A_2 фона составила соответственно 5,82 и 4,42 мг · экв/100 г. Нахождение нефти на поверхности почвы в количестве 4-8 л/м² существенно не изменяло эти показатели, а 16-32 л/м² значительно их снижало.

Сумму обменных оснований в горизонте A_1 фона составила 10,13 мг · экв/100 г. Эта величина существенно снижалась по мере возрастания количества нефти. В горизонте A_1A_2 фона сумма обменных оснований составила 9,29 мг · экв/100 г. Нахождение на поверхности почвы 4 л/м² нефти существенно не изменяло эту величину, а 8-32 л/м² значительно её снижало (табл. 8).

При годовом загрязнении дерново-подзолистой почвы различными количествами нефти наблюдали следующие изменения физико-химических свойств (табл. 9).

Таблица 9 – Физико-химические показатели дерново-подзолистой почвы при загрязнении нефтью в течение года

Вариант	$pH_{\text{вод}}$		$pH_{\text{сол}}$		Нг		S		ЕКО, мг экв/100 г	V, %
	среднее	отклонение от фона	среднее	отклонение от фона	мг экв/100 г					
					среднее	отклонение от фона	среднее	отклонение от фона		
Горизонт A_1 (3-10 см)										
Фон	4,73	-	4,22	-	5,68	-	10,57	-	16,25	65,0
4 л/м ²	4,69	-0,04	4,13	-0,09	5,52	-0,16	10,47	-0,10	15,99	65,5
8 л/м ²	4,76	0,03	4,17	-0,05	5,27	-0,41	9,77	-0,80	15,04	65,0
16 л/м ²	4,99	0,26	4,27	0,05	4,93	-0,75	7,56	-3,01	12,49	60,5
32 л/м ²	4,92	0,19	4,26	0,04	5,07	-0,61	6,99	-3,58	12,06	58,0
HCP_{05}	0,16		0,15		0,26		0,45		-	-
Горизонт A_1A_2 (10-26 см)										
Фон	4,92	-	4,10	-	4,45	-	10,06	-	14,51	69,3
4 л/м ²	4,94	0,02	4,12	0,02	4,40	-0,05	9,71	-0,35	14,11	68,8
8 л/м ²	4,95	0,03	4,14	0,04	3,95	-0,50	8,92	-1,14	12,87	69,3
16 л/м ²	4,81	-0,11	4,13	0,03	3,63	-0,82	7,21	-2,85	10,84	66,5
32 л/м ²	4,82	-0,12	4,15	0,05	3,35	-1,10	4,90	-5,16	8,25	59,4
HCP_{05}	0,12		0,07		0,41		0,58		-	-

ЕКО и *степень насыщенности основаниями* в горизонте A_1 фона составили соответственно 16,25 мг экв/100 г и 65,0%, а в горизонте A_1A_2 – 14,51 мг

экв/100 г и 69,3%. Нахождение на поверхности почвы нефти в количестве от 4 до 32 л/м² обуславливало снижение этих величин.

$pH_{вод.}$ в горизонте A_1 фона составил 4,73. Нахождение на поверхности почвы 4-8 л/м² нефти существенно не изменяло эту величину, а 16-32 л/м² значительно её увеличивало. В горизонте A_1A_2 фона $pH_{вод.}$ составил 4,92. Разлив нефти на поверхности почвы существенно не изменял эту величину.

$pH_{сол.}$ в горизонте A_1 и A_1A_2 фона соответственно составил 4,22 и 4,10. Нахождение на поверхности почвы нефти в изучаемых количествах существенно не изменяло эту величину.

Сумму обменных оснований в горизонтах A_1 и A_1A_2 фона составила соответственно 10,57 и 10,06 мг экв/100 г. Нахождение нефти на поверхности почвы в количестве 4 л/м² существенно не изменяло эти показатели, а 8-32 л/м² значительно их снижало (табл. 9).

Итак, установлено следующее статистически значимое влияние разлитой нефти на физико-химические свойства экосистемы дерново-подзолистой почвы:

при 6 часовом загрязнении:

- в горизонте A_1 4-32 л/м² нефти увеличивают $pH_{вод.}$ и уменьшают $pH_{сол.}$, 16-32 л/м² – снижают гидролитическую кислотность, 4-32 л/м² – снижают сумму обменных оснований;
- в горизонте A_1A_2 4-32 л/м² нефти уменьшают $pH_{сол.}$, 16-32 л/м² – снижают гидролитическую кислотность, 8-32 л/м² – снижают сумму обменных оснований.

при годовом загрязнении:

- в горизонте A_1 16-32 л/м² нефти увеличивают $pH_{вод.}$, 8-32 л/м² – снижают гидролитическую кислотность и сумму обменных оснований;
- в горизонте A_1A_2 8-32 л/м² – снижают гидролитическую кислотность и сумму обменных оснований.

Вероятно, изменение физико-химических свойств обусловлено обволакиванием нефтяной пленкой ППК.

5.5. Биологические свойства нефтезагрязнённой почвенной экосистемы

Комплексно биологические свойства почвенных экосистем оценивают по биогенности и биологической активности. Число регистрируемых показателей биологических реакций весьма велико, а их чувствительность к природным и антропогенным факторам очень высока, что позволяет использовать их в качестве индикаторов техногенного загрязнения почвы.

В.В. Докучаев (1949) был первым, кто связал процессы почвообразования с жизнью и деятельностью почвенных организмов. В.И. Вернадский (1978) подчеркивал, что «живое вещество» само создает почву. Её живая фаза – почвенная биота – не только наиболее активная часть почвенной экосистемы, но и очень чувствительный, отзывчивый индикатор её состояния, образно говоря, здоровья.

В основе множества элементарных процессов почвообразования лежит биохимическая деятельность микроорганизмов (Гиляров, Криволуцкий, 1985). По мнению С.Н. Виноградского (1952), «плотность микроорганизмов пропорцио-

нальна их активности». А чем они активнее, тем интенсивнее протекает круговорот веществ в экосистеме, тем выше её биологическая продуктивность и, возможно, экологическая устойчивость. Особенно это важно для агроэкосистем. Именно нарушение микробных сообществ может стать причиной разрушения всей экосистемы. Поэтому представляется важным своевременно обнаружить не изменения тех или иных физических или химических параметров, а изменения состояния почвенной микробиоты, влекущие за собой негативные последствия. По мнению многих исследователей микробиота почвы очень чутко реагирует на различные изменения почвенных условий, поэтому можно обоснованно утверждать, что микробиологические показатели в наибольшей степени подходят для ранней диагностики техногенного повреждения почв (Добровольский и др., 1985б).

Микробная экосистема поддерживает гомеостаз почвы. Благодаря малым размерам микроорганизмы имеют большую относительную поверхность контакта со средой обитания. Высокие скорости размножения и роста дают возможность в короткий срок проследить за действием любого экологического фактора в течение десятков и даже сотен поколений. Ответные реакции микроорганизмов быстрые и чувствительные и касаются различных сторон их жизнедеятельности – роста, морфологического строения, накопления ими химических элементов, активности звеньев метаболических процессов, состояния регуляторных процессов в организмах. Реакции микроорганизмов на изменения факторов окружающей среды проявляются как на экосистемном, так и на популяционном уровне. На экосистемном они выражаются в изменении количественного и качественного состава сообщества. Именно чувствительность и высокая индикаторная способность микроорганизмов позволяют избрать их в качестве инструмента мониторинга антропогенных изменений в почвенной экосистеме (Никитина, 1991).

Т.В. Аристовская (1972, 1980) неоднократно отмечала роль микробной массы как существенного звена в трофике биогеоценозов. Реальное изучение круговорота веществ в биогеоценозах суши невозможно без учёта этого валового показателя жизнедеятельности почвенного микробиоценоза, т.к. он даёт представление как о количестве агента, действие которого обеспечивает циклы обмена вещества, быстрые и более длительные, которые ведут к накоплению органического вещества и формированию агрегатной структуры в твёрдой фазе почв, так и об объёмах для вышеуказанных циклов пулов питательных элементов, заключённых в микробной биомассе (Наумова, 1989).

Оливериусова Л. (1991), разрабатывающая методические аспекты комплексной биоиндикации в Карловом университете, подчеркивает, что биомасса сообществ лучшая характеристика по сравнению с численностью.

Биологическую активность оценивают с помощью интегральных показателей, среди которых наиболее распространено определение «дыхания почвы» по интенсивности выделения CO_2 .

При 6-часовом загрязнении дерново-подзолистой почвы различными количествами нефти происходят следующие изменения биологических свойств (табл. 10).

Суммарная биомасса микроорганизмов в горизонте А₁ фона составила 153,8 мкг С/г почвы. Нахождение на поверхности почвы 4 л/м² нефти существенно увеличивало этот показатель, а 8-32 л/м² значительно его снижало. В горизонте А₁А₂ фона суммарная биомасса микроорганизмов составила 164,4 мкг С/г почвы. Нахождение на поверхности почвы 4 л/м² нефти не оказывало существенного влияния на этот показатель, а 8-32 л/м² существенно его снижало (табл. 10).

Таблица 10 – Биологические показатели в дерново-подзолистой почве при загрязнении нефтью в течение 6 часов

Вариант	Суммарная биомасса микроорганизмов, мкг С/г почвы				Дыхание почвы, кг/га в час	
	горизонт А ₁		горизонт А ₁ А ₂		среднее	отклонение от фона
	среднее	отклонение от фона	среднее	отклонение от фона		
Фон	153,8	-	164,4	-	0,174	-
4 л/м ²	328,8	+175	185,0	+20,6	0,161	-0,013
8 л/м ²	0,0	-153,8	102,8	-61,6	0,141	-0,033
16 л/м ²	0,0	-153,8	0,0	-164,4	0,148	-0,026
32 л/м ²	0,0	-153,8	0,0	-164,4	0,127	-0,047
<i>НСР₀₅</i>	69,0		47,3		0,020	

Дыхание почвы фона составило 0,174 кг/га в час. Нахождение на поверхности почвы 4 л/м² нефти существенно не изменяло эту величину, а 8-32 л/м² значительно её снижало (табл. 10).

Нахождение нефти на поверхности дерново-подзолистой почвы в количестве 4 л/м² и более в течение 6 часов снизило всхожесть семян тест-растения как в горизонте А₁ так и в горизонте А₁А₂ по сравнению с фоном (рис. 5, 6).

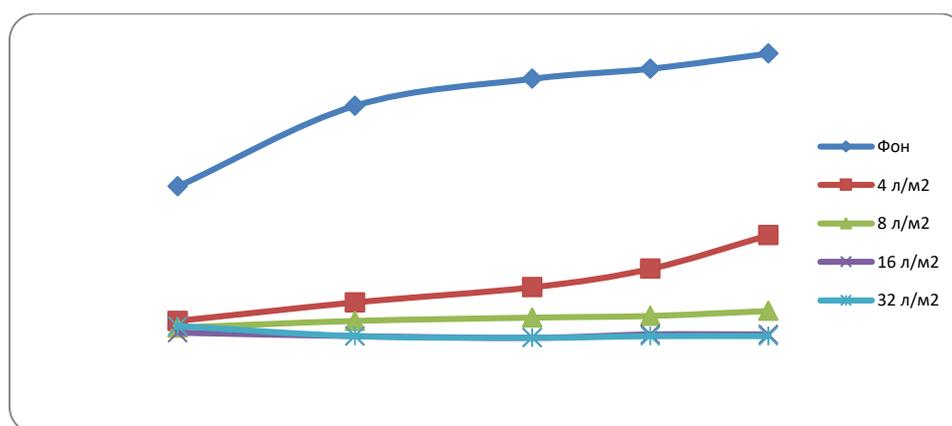


Рисунок 5 – Всхожесть семян тест-растения на почве горизонта А₁, загрязнённой разными количествами нефти в течение 6 часов

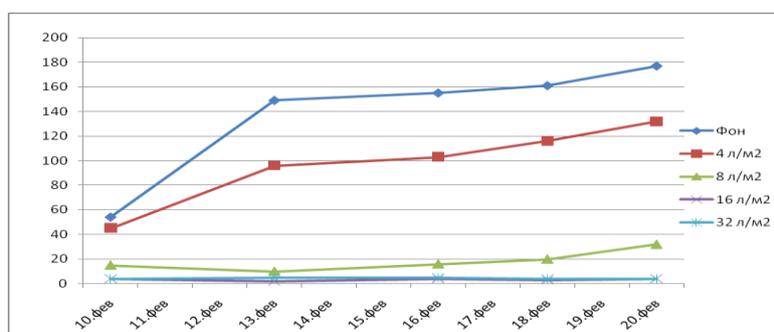


Рисунок 6 – Всхожесть семян тест-растения на почве горизонта A_1A_2 , загрязнённой разными количествами нефти в течение 6 часов

Фитотоксичной дозой в горизонте A_1 дерново-подзолистой почвы является количество нефти выше 4 л/м^2 , при которой прорастает меньше 50% семян тест-растения (рис 5).

Фототоксичной дозой в горизонте A_1A_2 дерново-подзолистой почвы является количество нефти выше 8 л/м^2 , при которой прорастает меньше 50% семян тест-растения (рис 6).

При годовом загрязнении дерново-подзолистой почвы различными количествами нефти наблюдали следующие изменения биологических свойств (табл. 11).

Таблица 11 – Биологические показатели в дерново-подзолистой почве при загрязнении нефтью в течение года

Вариант	Суммарная биомасса микроорганизмов, мкг С/г почвы				Дыхание почвы, кг/га в час	
	горизонт A_1		горизонт A_1A_2		среднее	отклонение от фона
	среднее	отклонение от фона	среднее	отклонение от фона		
Фон	193,2	-	161,0	-	0,336	-
4 л/м^2	236,1	42,9	128,8	-32,2	0,322	-0,014
8 л/м^2	139,5	-53,7	150,3	-10,7	0,242	-0,094
16 л/м^2	0	-193,2	53,6	107,4	0,201	-0,135
32 л/м^2	0	-193,2	0	-161,0	0,134	-0,202
<i>НСР₀₅</i>	39,1		44,8		0,06	

Суммарная биомасса микроорганизмов в горизонте A_1 фона составила 193,2 мкг С/г почвы. Нахождение на поверхности почвы 4 л/м^2 нефти существенно увеличивало этот показатель, а $8\text{-}32 \text{ л/м}^2$ значительно его снижало. В горизонте A_1A_2 фона суммарная биомасса микроорганизмов составила 161,0 мкг С/г почвы. Нахождение на поверхности почвы $4\text{-}8 \text{ л/м}^2$ нефти не оказывало существенного влияния на этот показатель, а $16\text{-}32 \text{ л/м}^2$ существенно его снижало (табл. 11).

Дыхание почвы фона составило 0,336 кг/га в час. Нахождение на поверхности почвы 4 л/м^2 нефти существенно не изменяло эту величину, а $8\text{-}32 \text{ л/м}^2$ значительно её снижало (табл. 11).

Нахождение нефти на поверхности дерново-подзолистой почвы в количестве 4 л/м² и более в течение 1 года снизило всхожесть семян тест-растения в почве из горизонтов А₁ и А₁А₂ по сравнению с фоном (рис. 7, 8).

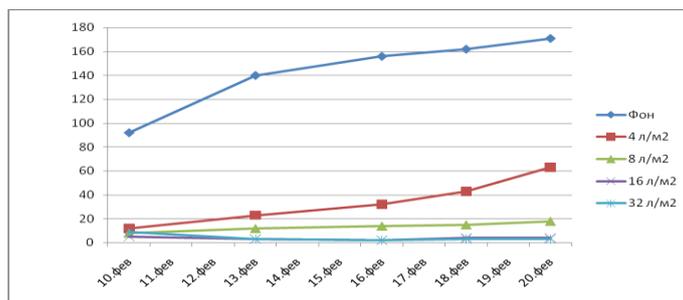


Рисунок 7 – Всхожесть семян тест-растения на почве горизонта А₁, загрязнённой разными количествами нефти в течение года

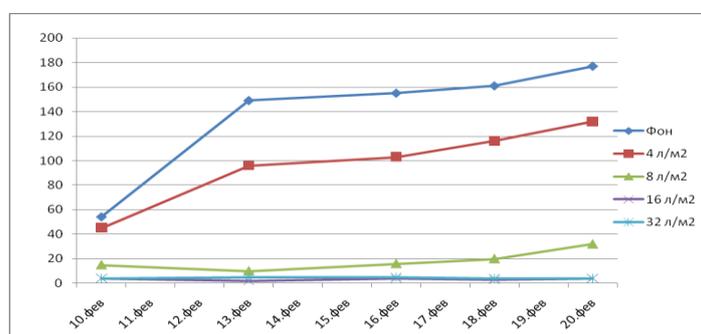


Рисунок 8 – Всхожесть семян тест-растения на почве горизонта А₁А₂, загрязнённой разными количествами нефти в течение года

Фитотоксичным количеством нефти для дерново-подзолистой почвы из горизонта А₁ является более 4 л/м², при котором прорастает меньше 50% семян тест-растения (рис 7).

Фитотоксичным количеством нефти для дерново-подзолистой почвы из горизонта А₁А₂ является более 8 л/м², при котором прорастает меньше 50% семян тест-растения (рис. 8).

Итак, установлено следующее статистически значимое влияние разлитой нефти на биологические свойства экосистемы дерново-подзолистой почвы:

при 6 часовом загрязнении:

- в горизонте А₁ 4 л/м² нефти увеличивают суммарную биомассу микроорганизмов, а 8-32 л/м² ведет к её гибели;
- в горизонте А₁А₂ 8-32 л/м² нефти уменьшают суммарную биомассу микроорганизмов;
- 8-32 л/м² уменьшает дыхание почвы.

при годовом загрязнении:

- в горизонте А₁ 4 л/м² нефти увеличивают суммарную биомассу микроорганизмов, а 8 л/м² – снижает её, а 16-32 л/м² ведет к гибели;
 - в горизонте А₁А₂ 16-32 л/м² нефти уменьшают суммарную биомассу микроорганизмов, 32 л/м² ведет её к гибели;
 - 8-32 л/м² уменьшает дыхание почвы.

Вероятно, изменение биологических свойств обусловлено токсичностью лёгких фракций нефти.

6. Оценка деградации и устойчивости экосистемы дерново-подзолистой почвы, загрязнённой нефтью

6.1. Деградация и устойчивость почвенной экосистемы

Понятие «деградация» до настоящего времени не имеет четкого определения, однако в него, так или иначе, включают процессы ухудшения свойств почв и их качества с позиции получения первичной продуктивности. Ниже приводим ряд определений этого явления, которые по смысловому содержанию близки между собой.

«Деградация почв определяется как процесс, снижающий на количественном и/или качественном уровне реальную и/или потенциальную способность почвы производить продукты (товары) или услуги» (GLASOO, 1979).

«Деградация почв – это совокупность процессов, вызванных деятельностью человека и уменьшающих способность почв к поддержанию жизни людей» (Guidelines..., 1988).

«Деградирующими считаются те почвы, в которых устойчивые негативные процессы антропогенного или природного характера привели к снижению продуктивности или качества продукции и, соответственно, повышению затрат на восстановление средств производства» (Снакин и др., 1992)

«Деградация почв и земель представляет совокупность природных и антропогенных процессов, приводящих к изменению функции почв, количественному и качественному ухудшению их состава и свойств, снижению природно-хозяйственной значимости земель» (Методика определения размеров..., 1994)

И.И. Карманов, Д.С. Булгаков (1998) отмечают, что под деградацией почв понимают процессы и результаты изменения их свойств и естественных режимов, в совокупности, приводящие к изменению функций почвы как элемента экологической системы и снижению почвенного плодородия.

М.И. Герасимовой с соавторами (2000) считают, что деградация почв – изменение в функционировании почвенной системы, и/или в составе и строении твёрдой фазы, и/или регуляторной функции почв, имеющее результатом отклонение от экологической нормы и ухудшение параметров, важных для функционирования биоты и человека.

Н.Б. Хитров (1998) указывает, что деградация почв (земель) это вызванный человеком процесс ухудшения и/или утраты свойств и качества почвы (в пределах элементарного почвенного ареала – ЭПА), результат которого способствует увеличению затрат различного рода ресурсов (энергетических, сырьевых, информационных и пр.) для достижения ранее получаемого количества и качества продукции и/или увеличению ограничений на дальнейшую деятельность человека.

Для уровня организации почвенного покрова на уровне ЭПА Н.Б. Хитрову, вслед за определением термина «деградация почв», предлагает применять следующие понятия:

- «степень деградации почвы» – сравнительный уровень выраженности деградации почвы в целом к фиксированному моменту времени;
- «скорость деградации почвы» – быстрота изменения степени деградации почвы;
- «вид деградации почвы» – группа процессов ухудшения свойств и качества почвы, имеющая одинаковые общие механизмы осуществления и спектр результатов воздействия;
- «число совмещенности» – число видов деградации почвы, диагностируемых одновременно в конкретной почве (в пределах одного ЭПА).

Большинство исследователей деградационных явлений склоняются к мысли, что все виды деградации почв можно условно разделить на три группы. Их краткое определение может быть сформулировано следующим образом (Снакин и др., 1992).

Физическая деградация – ухудшение физических и водно-физических свойств почвы, нарушение почвенного профиля.

Химическая деградация ухудшений химических свойств почв: истощение запасов питательных элементов, вторичное засоление и осолонцевание, загрязнение токсикантами

Биологическая деградации – сокращение численности видового разнообразия и оптимального соотношения различных видов микроорганизмов, загрязнение почвы патогенными микроорганизмами, ухудшение санитарно-эпидемиологических показателей.

Таким образом, в современной науке понятие «деградация почв» или «деградация почвенного покрова» расценивается с сугубо антропоцентрических позиций, то есть с позиций удобства и благополучия человека и окружающей его природной среды. Это очень важный методологический аспект, поскольку для почв, сложных биокосных систем, их деградация в приведенном выше понимании отнюдь не всегда является деградацией с точки зрения общей теории систем, т. е. потере элементов и упрощения структуры этой системы вплоть до её исчезновения. Возможно, в будущем станут различать эти разные стороны понятия «деградация», но на сегодняшний день доминирующей является энвайроменталистическая точка зрения (энвайрометалистика от слова *environment* – учение об окружающей среде).

Не вполне устоявшимся является также представление о причинах деградации почв. Как правило, наиболее активно исследуются деградационные явления, связанные с деятельностью человека. Изменения, происходящие при этом, носят в основном локальный или региональный характер, территориально ограниченный тем или иным типом хозяйственной деятельности. Близкие по проявлениям деградационные процессы, но связанные с естественными изменениями факторов почвообразования (постепенными или катастрофическими), принято в настоящее время относить к такому разделу почвоведения, как эволюции почв и почвенного покрова. Вместе с тем в последние десятилетия, когда стало ясно, что антропогенные воздействия па природу Земли приводят уже к изменениям факторов почвообразования в глобальном и геологическом аспекте, все чаще можно встретить в

публикациях почвоведов термины «антропогенная эволюция» или «деградация почв под влиянием природных факторов» (Зайдельман, 1998).

Деградационные изменения почв не являются детерминированными, неизбежно следующими за любым антропогенным воздействием. Реальные ситуации показывают, что утрата устойчивости почв под влиянием деятельности человека и, как следствие, их деградация, происходит только при неадекватном применении тех или иных способов воздействия на почвы. К неадекватным следует относить такие антропогенные воздействия на почвы, которые не учитывают условия их формирования. Естественные и вторичные процессы вызывают опасные деградационные изменения. Из этого следует, в частности, что исходно неустойчивых почв нет. Почвы, реально возникшие на Земле, устойчивы в тех термодинамических и геохимических условиях, которые определили их формирование. Но почвы устойчивы до тех пор, пока они не подвергаются направленному неадекватному антропогенному воздействию.

Деградация почв в большинстве случаев идет при комбинированном воздействии природных и антропогенных факторов. Однако антропогенное влияние создаёт предпосылки для резкой активизации природных воздействий. Разграничить влияние природных и антропогенных факторов деградации бывает сложно (Природно-техногенные воздействия..., 2000).

При нефтяном загрязнении происходит изменение физических, химических и биологических характеристик почвенной экосистемы, что представляет угрозу её экологической стабильности.

Результаты наших модельно-полевых опытов с загрязнением экосистемы дерново-подзолистой почвы нефтью представлены в табл. 12 и 13. В них «+» обозначены параметры свойств почвы, которые статистически доказуемо не отличались от незагрязнённой почвы, им присваивали 0 баллов, а «-» показаны те свойства почвы, которые значительно изменились, им присваивали 1 балл.

Таблица 12 – Изменение свойств почвенной экосистемы и степень её деградации при загрязнении нефтью в течение 6-часов

Вариант	Свойства													Степень деградации почвенной экосистемы, баллов
	физические			химические				физико-химические				биологические		
	Плотность, г/см ³	Плотность твёрдой фазы, г/см ³	Удельная поверхность, м ² на 1 г	S _{общ} , %	N _{общ} , %	P ₂ O ₅ , мг на 100 г.	K ₂ O, мг на 100 г.	pH _{вод}	pH _{сол}	Hг, мг экв/100 г	S, мг экв/100 г	Суммарная биомасса микроорганизмов, мкг С/г	Дыхание почвы, CO ₂ кг/га в час	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Горизонт А₁														
Фон	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
4 л/м ²	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	+	8

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
8 л/м ²	–	–	–	–	–	+	–	–	–	+	–	–	–	11
16 л/м ²	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	12
32 л/м ²	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	13
Горизонт А ₁ А ₂														
Фон	Не определяли	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
4 л/м ²		+	–	–	+	+	–	+	–	+	+	+	+	4
8 л/м ²		+	–	–	–	+	–	+	–	+	–	–	–	8
16 л/м ²		+	–	–	–	+	–	+	–	–	–	–	–	9
32 л/м ²		–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	10

При 6-часовым нахождении нефти на поверхности дерново-подзолистой почвы, в обоих верхних генетических горизонтах степень деградации зависела от количества разлитой нефти. Его возрастание увеличивало степень деградации в этих горизонтах. Темпы её были примерно одинаковы. Нахождение на поверхности почвы более 8 л/м² нефти катастрофически влияло на почвенную экосистему (табл. 12).

При 1-годовом нахождении нефти на поверхности дерново-подзолистой почвы, в обоих верхних генетических горизонтах степень деградации также зависела от количества разлитой нефти. Его возрастание увеличивало степень деградации почвы в этих горизонтах. Темпы её увеличения были примерно одинаковы. Нахождение на поверхности почвы более 8 л/м² нефти значительно влияло на почвенную экосистему (табл. 13).

Таблица 13 – Изменение свойств почвенной экосистемы и степень её деградации при загрязнении нефтью в течение 1 года

Вариант	Свойства													Степень деградации почвенной экосистемы, баллов
	физические			химические				физико-химические				биологические		
	плотность, г/см ³	Плотность твёрдой фазы, г/см ³	удельная поверхность, м ² на 1 г	С _{общ} , %	N _{общ} , %	P ₂ O ₅ , мг на 100 г.	K ₂ O, мг на 100 г.	pH _{вод}	pH _{сол}	Нг, мг экв/100 г	S, мг экв/100 г	суммарная биомасса микроорганизмов, мкг С/г	дыхание почвы, CO ₂ кг/га в час	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Горизонт А ₁														
Фон	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
4 л/м ²	–	–	–	+	+	+	–	+	+	+	+	–	+	5
8 л/м ²	–	–	–	–	–	+	–	+	+	–	–	–	–	10
16 л/м ²	+	–	–	–	–	+	–	–	+	–	–	–	–	10
32 л/м ²	+	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Горизонт А ₁ А ₂														
Фон	Не определяли	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
4 л/м ²		+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	2
8 л/м ²		+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	-	7
16 л/м ²		+	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	8
32 л/м ²		+	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	8

Итак, деградация почвенной экосистемы, в результате нефтезагрязнения носит комплексный характер, в результате чего изменяются свойства экосистемы, вызывающие нарушение её равновесия.

Скорость деградации почвенной экосистемы после загрязнения увеличивается по мере возрастания количества разлитой нефти. При этом действуют различные виды деградации. В зависимости от времени нахождения нефти на поверхности почвы, число их совмещений также зависит от времени (табл. 14).

Таблица 14 – Деградация экосистемы дерново-подзолистой почвы после нефтяного загрязнения

Вариант	Скорость деградации после загрязнения в течение		Виды деградации* после загрязнения в течение		Число совмещенности видов деградации после загрязнения в течение	
	6 часов, % в час	1 года, % в месяц	6 часов	1 года	6 часов	1 года
Горизонт А ₁						
Фон	-	-	-	-	-	-
4 л/м ²	10,3	3,2	Ф, Х, Б	Ф, Х	3	2
8 л/м ²	14,2	6,4	Ф, Х, Б	Ф, Х, Б	3	3
16 л/м ²	15,3	6,4	Ф, Х, Б	Ф, Х, Б	3	3
32 л/м ²	16,6	7,1	Ф, Х, Б	Ф, Х, Б	3	3
Горизонт А ₁ А ₂						
Фон	-	-	-	-	-	-
4 л/м ²	5,5	1,4	Ф, Х, Б	Х	3	1
8 л/м ²	11,2	4,8	Ф, Х, Б	Ф, Х, Б	3	3
16 л/м ²	12,5	5,6	Ф, Х, Б	Ф, Х, Б	3	3
32 л/м ²	15,3	5,6	Ф, Х, Б	Ф, Х, Б	3	3

* Ф – физическая, Х – химическая, Б – биологическая.

Итак, несмотря на то, что исследуемое количество нефти ведут к совпадению видов деградации и их совмещению, степень деградации разная в зависимости от количества и времени нахождения нефти на поверхности почвы. Изменение скорости деградации зависит от количества нефти, а изменение видов деградации и их совмещения от времени загрязнения.

Под устойчивостью экосистемы почвы понимают, во-первых, потенциальный запас буферности, которую определяют по способности к сохранению нормального функционирования, во-вторых, возможность восстанавливать его после прекращения антропогенного воздействия. В этом случае устойчивость проявляется через скорость самоочищения почвы от продуктов техногенеза. Способность противостоять техногенным воздействиям – это устойчивость первого рода или устойчивость противостояния. Способность к восстановлению нормального функционирования – устойчивость второго рода или устойчивость нормализации (Солнцева, 1982; Глазовская, 1990, 1994).

Существует понятие о совместимых и несовместимых природных и техногенно обусловленных почвенно-геохимических процессах. Если они совместимы, то есть действуют в одном направлении и усиливают друг друга, то почва не возвращается к исходному состоянию. Если же противоположно направлены, то, по мере прекращения техногенного воздействия, почвенная экосистема преодолевает последствия техногенеза и нормализуется, приходя к исходному или близкому к нему состоянию (Солнцева, 1982).

Реакция почвы на интенсивное техногенное воздействие обуславливает изменения её физико-химических свойств, которые характеризуют интенсивность и направленность почвенных процессов.

Физические свойства почвы являются проявлением сущности протекающих в ней процессов, одним из критериев её плодородия или деградации. Почвенные механические элементы и структурные отдельности являются матрицей, на которой протекают все физико-химические процессы, развитие корневых систем растений, поглощение ими элементов питания (Савич и др., 2002).

Устойчивость системы почвенного органического вещества зависит от равновесия между поступлением органических остатков и процессами их гумификации и минерализации (Орлова, Бакина, 2002). Устойчивость почвы в целом к внешним воздействиям определяется устойчивостью её микробного сообщества.

Различают потенциальную и фактическую устойчивость почвы к деградации по истощению фосфором и калием. Показателем потенциальной устойчивости являются валовое содержание этих элементов питания растений, зависящее от наличия и кристаллохимических особенностей минералов – их носителей, унаследованных от почвообразующей породы. Фактическая устойчивость почвы к деградации по фосфору и калию может быть оценена содержанием подвижных форм фосфора и обменного калия (Королёва, 2002).

Таким образом, устойчивость почвы – комплексное явление, включающее как частные виды (физическую, химическую, биологическую), так и общий (интегральную). Поэтому устойчивость почвы не может быть охарактеризована каким-либо одним показателем. Интегральная оценка позволяет объективно оценить устойчивое состояние почвенной экосистемы во времени и пространстве (Черников и др., 2001).

Являясь функцией ряда факторов: климатических условий, почвообразующих пород, рельефа местности, биоценозов, антропогенной деятельности, устойчивость почвы определяет течение почвообразовательных процессов (Титова, Дабахов, 2000).

Итак, устойчивость – это свойство почвы сохранять в установленных пределах значение своих параметров во времени и пространстве, способность выполнять функции в определённых режимах функционирования при воздействии различных факторов.

Экосистема дерново-подзолистой почвы в обоих горизонтах проявила наибольшую способность к сохранению своих исходных свойств после нахождения на её поверхности 4 л/м² нефти и зависела от времени (табл. 15).

Через 1 год устойчивость экосистемы в горизонте А₁ возросла почти в 2 раза. С увеличением количества углеводов происходило снижение способности к сохранению исходных почвенных свойств. Наибольшее восстановление отмечено при 4 л/м² нефти. При 8 л/м² оно затормаживается, а при 16–32 л/м² происходило одинаковое восстановление свойств.

В горизонте А₁А₂ с возрастанием количества углеводов происходило снижение способности к сохранению исходных почвенных свойств. Наибольшее восстановление происходило при 4 л/м² нефти. Увеличение количества нефти уменьшало восстановление исследуемых свойств почвы (табл. 15).

Таблица 15 – Устойчивость экосистемы дерново-подзолистой почвы к загрязнению нефтью

Вариант	Сохранение свойств почвенной экосистемы после нахождения на её поверхности нефти, %		Восстановление почвенной экосистемы после 1-годового загрязнения, %
	6 часов	1 год	
Горизонт А ₁			
Фон	100	100	–
4 л/м ²	38	62	24
8 л/м ²	15	23	8
16 л/м ²	8	23	15
32 л/м ²	0	15	15
Горизонт А ₁ А ₂			
Фон	100	100	–
4 л/м ²	67	83	16
8 л/м ²	33	42	9
16 л/м ²	25	33	8
32 л/м ²	8	33	25

Итак, проведенная комплексная оценка деградации и устойчивости экосистемы дерново-подзолистой почвы показывает, что различные горизонты неодинаково реагируют на нефтяное загрязнение, основная нагрузка приходится на горизонт А₁, поэтому в нем происходят наибольшие изменения. Горизонт А₁А₂ по сравнению с вышележащим более устойчив к деградации, это связано, с тем что основная масса поллютанта поглощается горизонтом А₁, а также с тем, что по своей природе в горизонте А₁А₂ происходят процессы выноса биогенных элементов.

6.2. Самоочищающая способность экосистемы дерново-подзолистой почвы от нефтяного загрязнения

Почвы считают загрязненными, если концентрация нефти в них достигает величин, при которых начинаются негативные экологические изменения в окружающей среде, а именно: нарушается экологическое равновесие в почвенной экосистеме; гибнут почвенные животные, падает продуктивность или наступает гибель растений; происходят изменения морфологических признаков и водно-физических свойств, падает почвенное плодородие; создается опасность загрязнения подземных и поверхностных вод в результате попадания нефти из почвы в водоносные горизонты (Пиковский и др., 2003).

Этот автор предлагают считать верхним безопасным уровнем концентрации нефти в верхнем гумусово-аккумулятивном горизонте почвы ориентировочный уровень допустимой концентрации (ОДК), при котором в данных природных условиях почва в течение одного года восстановит свою продуктивность, а негативные последствия для почвенной экосистемы могут быть самопроизвольно ликвидированы. Он отмечает, что наблюдения за загрязнением всего почвенного профиля могут служить для разработки миграционного водного показателя вредности, который характеризует способность химического вещества переходить из почвы в подземные грунтовые воды и поверхностные водоисточники.

Очевидно, что ОДК нефти в почве не может быть единым для всех типов почв и природных зон. Он зависит от факторов, определяющих влияние вещества на свойства почв и растений, от потенциала самоочищения загрязнённых почв. Главные из таких факторов: химический состав загрязняющего вещества; свойства и состав почв; физико-географические, главным образом, климатические условия данной территории.

Для установления ОДК рекомендуется рассматривать две группы компонентов нефти: легкую (бензин, керосин, дизельное топливо, конденсат) и тяжелую (нефть с плотностью выше $0,8 \text{ г/см}^3$, мазут, смазочные масла, битумы). Они не одинаково влияют на самоочищение почв и требуют разного методического подхода к их определению.

Лёгкие нефтепродукты в значительной степени разлагаются и испаряются с поверхности почвы или смываются водными потоками. По данным McGill (1977), этим путём из почвы удаляется 20-40% легких фракций. Тяжёлые нефтепродукты, содержащие значительное количество смол, асфальтенов и различных микроэлементов, оказывают не только токсичное воздействие на организмы, но и сильно изменяют водно-физические свойства почв.

Действие лёгких и тяжёлых фракций нефтепродуктов на живые организмы существенно различаются. Обволакивая корневые системы, тяжелые нефтепродукты резко снижают поступление влаги, что приводит к гибели растений. Эти вещества малодоступны микроорганизмам, процесс их метаболизма идет очень медленно, иногда десятки лет. Эксперименты по влиянию различных фракций нефти на жизнеспособность клеток *Anabaena variabilis* показали, что лёгкие фракции оказывают быстрое ингибирующее воздействие на численность клеток, которая вскоре восстанавливается, если первоначальная доза не оказа-

лась летальной. Тяжелые фракции нефти в количестве 0,2 мл/л оказывали длительное негативное воздействие, что приводило в конце концов к полной гибели клеток (Восстановление нефтезагрязненных..., 1988).

В проблеме нормирования можно выделить два основных аспекта. Первый – это оценка уровня уже имеющегося загрязнения, возможностей самоочищения и рекультивации экосистем. Второй аспект – нормирование допустимых выбросов нефти в окружающую среду (Пиковский и др., 2003).

В регионах, где нормативы содержание нефти в почве отсутствуют, единственным критерием загрязнения почвенного покрова является фоновое содержание углеводородов в почвах, которое неодинаково. Нередко даже углеводороды растительно-микробного происхождения могут создать ложное впечатление о наличии антропогенного загрязнения.

Кроме того, по окончанию восстановительных работ установка фонового содержания углеводородов в большинстве случаев даже вредит окружающей природной среде, поскольку единственным способом рекультивации в такой ситуации будет срезка загрязненного слоя почвы и засыпка оставшейся части почвенного профиля чистым субстратом (Трофимов, 2006).

Введение нормативов для всех регионов Российской Федерации существенно ускорит проектирование и проведение работ по рекультивации, а также подготовку юридически обоснованных материалов о возмещении вреда, причиненного окружающей среде нефтяным загрязнением земель. При этом введение дифференцированных для разных типов почв и видов землепользования нормативов потребует внесения изменений в технологии их рекультивации, которые также зависят от содержания в почве нефти.

Количество нефти в почве вариантов опытов рассчитывали исходя из содержания углерода техногенного, с учётом того, что в нефти его находится около 85%. Углерод техногенный определяли, вычитая от содержания углерода общего в почве вариантов с нефтяным загрязнением содержание углерода общего в почве фона.

При загрязнении дерново-подзолистой почвы различными количествами нефти в течение 6 часов и 1 года наибольшее её количество было в горизонте А₁. С глубиной оно уменьшалось во всех вариантах опытов (табл. 16).

Таблица 16 – Формы углерода и содержание нефти в верхних генетических горизонтах дерново-подзолистой почвы

Вариант	Горизонт А ₁			Горизонт А ₁ А ₂		
	С _{общ.} , %	С _{тех.} , %	содержание нефти, г/кг	С _{общ.} , %	С _{тех.} , %	содержание нефти, г/кг
1	2	3	4	5	6	7
6 часов						
Фон	2,30	-	-	1,48	-	-
4 л/м ²	8,59	6,29	74,00	5,65	4,17	49,06
8 л/м ²	11,83	9,53	112,12	6,13	4,65	54,71
16 л/м ²	14,43	12,13	142,71	6,71	5,23	61,53
32 л/м ²	19,94	17,64	207,53	12,1	10,62	124,94

1	2	3	4	5	6	7
1 год						
Фон	2,5	-	-	1,54	-	-
4 л/м ²	2,74	0,24	2,82	1,38	-	-
8 л/м ²	4,72	2,22	26,12	1,59	0,05	0,59
16 л/м ²	7,83	5,33	62,71	2,17	0,63	7,41
32 л/м ²	8,36	5,86	68,94	3,78	2,24	26,35

Самоочищение почвы от нефти происходило в течение первого года после загрязнения. По мере возрастания загрязнения самоочищающая способность уменьшалась. Убыль нефти в горизонте А₁А₂ оказалась больше, чем в горизонте А₁ (табл. 17).

Экосистема дерново-подзолистой почвы проявила наибольшую способность к самоочищению при загрязнении нефтью в количестве 4 л/м². При этом в горизонте а₁а₂ произошло полное очищение от поллютанта (табл. 17).

Таблица 17 – Самоочищающая способность экосистемы дерново-подзолистой почвы от нефтяного загрязнения

Вариант	Убыль нефти за 1 год в горизонте			
	А ₁		А ₁ А ₂	
	г/кг почвы	%	г/кг почвы	%
4 л/м ²	71,2	96	49,1	100
8 л/м ²	86,0	77	54,1	99
16 л/м ²	80,0	56	54,1	88
32 л/м ²	138,6	67	98,6	79

Таким образом, самоочищающая способность экосистемы дерново-подзолистой почвы от нефтяного загрязнения зависела от количества и продолжительности загрязнения, а также свойств её верхних генетических горизонтов. Установлен предел самоочищения (ОДК) в горизонте а₁а₂, который равен 49,1 г нефти на 1 кг почвы.

7. Экономическая оценка экологического вреда от загрязнения почвы нефтью и научное обоснование подхода к её рекультивации

7.1. Экономическая оценка вреда от загрязнения дерново-подзолистой почвы нефтью

Экологический ущерб от различных видов техногенного воздействия выражается в следующем:

- деградация почв и земель;
- загрязнение земель химическими веществами;
- захламливание земель несанкционированными свалками, другими видами несанкционированного и нерегламентированного размещения отходов;
- увеличение площадей, отводимых под места размещения отходов;

Деградация почв и земель происходит в результате:

- ❖ хозяйственной деятельности в сельском и лесном хозяйстве;
- ❖ строительства и горнодобывающей деятельности;
- ❖ рекреационных нагрузок.

Загрязнение земель химическими веществами происходит в результате:

- ❖ несанкционированного размещения отходов различных классов опасности;
- ❖ аварийных сбросов сточных вод и различных химических веществ;
- ❖ полива сельскохозяйственных угодий загрязненной водой;
- ❖ выпадения на землю осадков, содержащих химические вещества, выброшенные в атмосферный воздух.

В настоящее время существуют три основных методологических подхода к оценке экологических последствий воздействия на природные среды:

- возмещение нанесённого ущерба, выраженного в денежной форме и рассчитанного как затраты на освоение новых земель, равнозначных выводимым из сельскохозяйственного оборота;
- по массе загрязняющих веществ, выделенных в природные среды;
- по степени загрязнения или деградации природных объектов, определенных на основе данных мониторинга.

Первый подход наиболее прост для проведения экономических расчетов, однако он не позволяет оценить нанесенный ущерб даже в первом приближении, так как введение в оборот или освоение новых земель вовсе не означает ликвидацию экологических последствий и компенсацию нанесенного ущерба.

Для определения экономической оценки вреда от загрязнения дерново-подзолистой почвы нефтью по первому варианту (табл. 18), расчёт предотвращенного экологического ущерба проводили по формуле из официального издания «Методика определения предотвращённого экологического ущерба» (1999): $Y_{пр} = Y_{уд} \times Si \times Ki \times K_{пi}$,

где $Y_{пр}$ – предотвращенный экологический ущерб от загрязнения земель химическим веществом i -го класса опасности в течение отчетного периода времени, тыс. руб.;

$Y_{уд}$ – показатель удельного экологического ущерба почвам и земельным ресурсам по административным территориям России, тыс. руб. га (в ценах 1999 г.);

Si – площадь земель i -го типа, которую удалось предотвратить от загрязнения (либо ликвидировать загрязнение) химическим веществом i -го класса опасности в течение отчетного периода времени, га;

Ki – коэффициент, учитывающий класс опасности i -го химического вещества недопущенного (предотвращенного) к попаданию на почву либо ликвидированного загрязнения в результате реализации соответствующего направления природоохранной деятельности;

$K_{пi}$ – коэффициент природно-хозяйственной значимости почв и земель i -го типа. ($K_{пi}$ умножается на коэффициент равный $(1+Бон/100)$ учитывающий бонитет почвы).

Таблица 18 – Расчет величины предотвращенного экологического ущерба от загрязнения дерново-подзолистой почвы нефтью

Показатель удельного экологического ущерба почвам Ууд, тыс. руб. га	Площадь земель Si, га	Коэффициент, учитывающий класс опасности вещества Ki	Коэффициент природно-хозяйственной значимости почв Kпi	Балл бонитета	Предотвращенный экологический ущерб Упр, тыс. руб
22,0	1	2	2,2	48	47,43

Предотвращение экологического ущерба загрязнения сельскохозяйственного угодья площадью 1 га оцениваем в 47,43 тыс. руб. (Методика определения предотвращенного экологического..., 1999).

Величина нанесенного ущерба должна включать и стоимость невозполнимых потерь для природных объектов, и снижение стоимости измененных природных объектов, и стоимость утилизации или захоронения отходов, которые возникнут при ликвидации экологических последствий аварии, и социальные последствия, если таковые будут иметь место, не говоря уже о затратах на сам процесс ликвидации последствий и дальнейшую рекультивацию территории.

Поэтому освоение новых земель является, по сути дела, совершенно самостоятельным процессом, который к тому же можно рассматривать как дополнительные затраты, направленные на восстановление хозяйственного потенциала, необходимость в которых возникла в результате чрезвычайной ситуации.

Второй методический подход в оценке примитивен. Он не даёт корректных оценок, так как подсчёт количества загрязняющих веществ, выброшенных в природные среды во время аварии, может быть осуществлен только по данным природопользователя, которые не всегда отражают действительность и могут достаточно легко искажаться или скрываться, чтобы избежать крупных платежей (табл. 19).

Таблица 19 – Расчёт величины экологического ущерба от загрязнения почвенной экосистемы различными количествами нефти

Вариант	Количество нефти, баррель	Среднее цена барреля российской нефти, руб.	Величина экологического ущерба, руб.
Фон	0	0	0
4 л/м ²	0,025	1770	44,25
8 л/м ²	0,050	1770	88,50
16 л/м ²	0,100	1770	177,00
32 л/м ²	0,200	1770	354,00

Расчёт величины экологического ущерба по массе загрязняющих веществ, выделенных в природные среды, не позволяет оценить вред, нанесенный почвенной экосистеме, а лишь указывает на количество загрязнителя, выброшенного в окружающую среду.

Наиболее объективным может быть третий методический подход, основанный на данных мониторинга загрязнения и состояния природных объектов. Одна-

ко этот подход осложнен многими факторами, основными из которых являются:

- материальные и трудовые затраты, связанные с корректным пробоотбором и проведением анализов;
- удаленность подвергшихся загрязнению территорий от лабораторий, оснащенных и аккредитованных на проведение соответствующих анализов;
- отсутствие законодательной базы и подзаконных актов, предписывающих обязательное проведение мониторинга загрязнения природных сред при чрезвычайных ситуациях, в которых возможны экологические последствия;
- установление факта наличия экологических последствий.

Для технологий, связанных с нефтедобычей, её переработкой и транспортировкой, то есть тогда, когда аварийные разливы нефти прогнозируемы, и вероятность загрязнения природных сред ею очень велика.

В этих случаях только третий вариант – оценка экологических последствий по данным мониторинга – может дать относительно объективную оценку нанесенному чрезвычайной ситуацией экологическому ущербу. Однако мониторинг загрязнения связан с большими трудностями из-за особенностей многокомпонентного химического состава нефти, большой подвижности системы «нефть – природные среды» и из-за непрерывной трансформации составляющих этой системы.

Для экономической оценки вреда от загрязнения дерново-подзолистой почвы нефтью, был использован третий вариант расчёта (табл. 20). Размер взыскания за вред, причиненный земельным ресурсам, т.е. почвам определяли по формуле из официального издания «Порядок определения размера взыскания за вред, причиненный земельным ресурсам и растительности» (2002):

$$У = [Н \times S(i) \times Kэ \times Kзз \times (Kг \times Kзаг(i) + Kрад)],$$

где У – размер взыскания за вред, причиненный загрязнением n-ным количеством веществ, (тыс. руб.);

Н – государственная кадастровая оценка земель, тыс. руб./га;

S(i) – площадь земель, загрязненных веществом i-го вида или подверженная радиационному загрязнению, га;

Kэ – коэффициент экологической ситуации;

Kзз – коэффициент защитности земель, учитывающий категорию земель и тип растительного покрытия;

Kг – коэффициент, учитывающий глубину загрязнения земель;

Kзаг(i) – коэффициент, учитывающий степень загрязнения почв.

Степень загрязнения почв характеризуют 5 уровнями: I уровень – допустимый (< ПДК); II уровень – слабый (от 1500 до 2000 мг/кг); III уровень – средний (от 2000 до 3000 мг/кг); IV уровень – сильный (от 3000 до 5000 мг/кг); V уровень – очень сильный (> 5000 мг/кг).

При допустимом уровне загрязнения Kзаг(i) приравнивают 0, следовательно, сумма взыскания за вред, причиненный химическим загрязнением, в данном случае не определяется. При допустимом уровне радиоактивного загрязнения Kрад приравнивается к 0 и взыскание за вред, причиненный загрязнением, не производится.

Таблица 20 – Расчет размера взыскания за вред, причиненный земельным ресурсам загрязнения дерново-подзолистой почвы нефтью

Вариант	Кадастровая оценка земель (Н), тыс. руб./га	Площадь загрязнения (S), га	Коэффициент экологической ситуации (Кэ)	Коэффициент защиты (Кзз)	Коэффициент, учитывающий глубину загрязнения (Кг)	Коэффициент, учитывающий степень загрязнения (Кзаг)	Размер взыскания (У), руб.
Фон	0,0026	1	1,6	2	1	0	0
4 л/м ²	0,0026	1	1,6	2	1	4	333
8 л/м ²	0,0026	1	1,6	2	1	4	333
16 л/м ²	0,0026	1	1,6	2	1	4	333
32 л/м ²	0,0026	1	1,6	2	1	4	333

Размер взыскания за вред, причиненный земельным ресурсам (дерново-подзолистой почве) от загрязнения 1 га сельскохозяйственного угодья нефтью оцениваем в 333 руб. при исследуемых количествах вылитой нефти.

Таким образом, в зависимости от методологического подхода к оценке экологических последствий на природные среды, были получены разные размеры платы за причиненный вред, поэтому нужно разработать единый подход к экономической оценке экологического вреда, который позволит консолидировать организации для выработки поставочной стратегии поведения. При определении размера взыскания за вред, причиненный земельным ресурсам (почвам), обязательно нужно руководствоваться: данными геологических, почвенных, агрохимических, мелиоративных и других обследований, земельным кадастром и мониторингом земель.

7.2. Научное обоснование подхода к восстановлению экосистемы дерново-подзолистой почвы, загрязненной нефтью

Для выработки стратегии оздоровления экологической обстановки необходимым этапом является получение информации о площади загрязненных земель, уровнях остаточного содержания нефти, состоянии почв, растительности и др. Такая информация может быть получена на основе детальных полевых и лабораторных исследований. Созданная на их основе электронная база данных позволит построить картосхемы пространственного распределения любого из перечисленных признаков, провести интегральную оценку состояния экосистем. Комплексный анализ полученной информации будет служить основой для оптимального планирования землепользования и составления проекта рекультивации (Трофимов, 2006).

Наличие информации позволит дифференцированно подходить к оценке экологического состояния неоднородных участков, будет способствовать снижению затрат на рекультивацию и повышению ее экологической эффективности. Ценность такой информации особенно возрастает при наличии нормативов допустимого остаточного содержания нефти в почвах, дифференцированных

для разных типов почв и видов целевого назначения земель. Проведение рекультивации не должно наносить экосистеме большего ущерба, чем само остаточное загрязнение.

Для старых разливов, в которых уже активно идут процессы самоочищения, необходима также информация о состоянии растительности и типе почвы, поскольку рекультивация часто оказывается не менее сильным воздействием на почву, чем нефтяное загрязнение. Поэтому в тех случаях, когда наблюдается активное самозарастание растительностью (периферийных участков разливов и др.), целесообразнее предоставить природе возможность самой справиться с загрязнением, помогая ей менее радикальными способами (например, путем оптимизации водного режима), чем сильное механическое воздействие. Однако в любом случае необходима уборка сухостоя и мусора.

Можно, однако, предположить, что далеко не во всех компаниях собирается подобная информация. Среди возможных причин, по которым некоторые из них не стремятся собирать сведения о загрязненных территориях, можно выделить следующие: снижение численности инспекторов МПР России в регионах; невыгодность рекультивации: в случае аварийного разлива гораздо дешевле заплатить штраф; отсутствие в штате специалистов соответствующего профиля.

Кроме того, составление проектов рекультивации давно уже превратилось в формальную процедуру, для которой научно обоснованные подходы оказываются излишними. Не отличаются разнообразием и технологии рекультивации, которые также мало учитывают пространственную неоднородность почв. От этого и эффективность рекультивации во многих случаях низкая. Нередко взошедшая после рекультивации растительность гибнет уже на следующий год, поскольку при выборе подрядчика для проведения экологических изысканий главным критерием обычно является минимальная стоимость работ, а не их качество (Трофимов, 2006).

Обоснование оптимальных решений по проведению рекультивации земель и выполнения восстановительных работ сводится к выбору объема, характера и сроков проведения работ (мероприятий) по восстановлению нефтезагрязненных земель до уровня, необходимого для их хозяйственного использования, с минимальными затратами на проведение этих работ.

Выбор решений по проведению восстановительных работ на нефтезагрязненных землях осуществляется на основе общего подхода «эффективность – затраты», где в качестве показателя затрат принимается величина платы за загрязнение земель нефтью и стоимости восстановительных работ, а в качестве показателя эффективности работ по восстановлению нефтезагрязненных земель – остаточная концентрация нефти на загрязненных площадях.

Оптимизация (выбор наилучших) решений по восстановлению нефтезагрязненных земель производится по критериям, оценки предельно допустимых концентраций нефти в почве, а также с учетом изменения концентрации нефти в грунте с течением времени в результате процессов самоочищения почвы, и означает определение сроков проведения, продолжительности и характера рекультивационных и других необходимых работ, позволяющих снизить концентрацию нефти в почве.

Деятельность человека, направленная на повышение устойчивости почв, тесно связана с повышением их плодородия, должна иметь конкретное выражение в показателях оптимальных параметров почвенного плодородия. Из показателей плодородия складывается модель устойчивости применительно к конкретному типу почв. Оптимальные факторы плодородия определяют оптимальную продуктивность конкретной культуры (или набора культур) в конкретных почвенных условиях (Черников и др., 2001).

Оптимальные свойства почвы, обеспечивают её устойчивость и стабильное производство продукции. Так, для дерново-подзолистой почвы лёгкого гранулометрического состава оптимальные параметры представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Оптимальные параметры основных свойств дерново-подзолистой почвы лёгкого гранулометрического состава (Белоус, 1997)

Параметр	Величина
Содержание гумуса, %	1,5–2,0
Глубина пахотного слоя, см	20–27
Объёмная масса, г/см ³	1,35–1,45
Количество гумуса в пахотном слое, т/га	49–66
Кислотность рН _{кел}	5,1–5,5
Кислотность гидролитическая, мг экв/100 г	1,0–3,0
Содержание (по Кирсанову) Р ₂ О ₅ мг на 100 г	10–15
Содержание (по Масловой) К ₂ О мг на 100 г	8–17

Разработка системы мер по реабилитации нарушенных почвенных экосистем носит комплексный характер и учитывает индивидуальные особенности загрязненной территории. Основа системы – активизация всех природных ресурсов нефтезагрязненной экосистемы. Технологическое осуществление:

- отбор почвенных проб с целью выделения наиболее активных деструкторов и наработка биологического препарата нефтедеграданта (Морозов, 2003);
- периодическое рыхление участка для восстановления физических, химических, биологических свойств почвы, обеспечение доступа кислорода в загрязнённый слой;
- внесение минеральных удобрений в дозах, рекомендуемых для конкретных почвенно-климатических условий;
- обработка нефтезагрязненной почвы гуминовыми препаратами для снижения токсического влияния нефти;
- посев сидеральных культур;
- залужение нефтезагрязненного участка;
- при аварийных разливах в зимних условиях рекомендуется использовать биологически активный сорбент.

Таким образом, для устойчивого функционирования нефтезагрязнённых почвенных экосистем необходимо применять научно обоснованную рекультивацию, включающую комплекс мероприятий по обеспечению оптимальных параметров почвенного плодородия.

Заключение

Формирование техногенных почвенных экосистем вдоль нефтепроводов делает крайне актуальным исследование их устойчивости и способности к самоочищению в случае аварийных выбросов нефти. А для этого необходимо располагать комплексной информацией о фактическом состоянии каждой почвенной экосистемы конкретного региона вследствие разного по количеству и продолжительности нефтяного загрязнения.

В условиях Брянской области на дерново-подзолистой почве естественного кормового угодья смоделированы девять почвенных экосистем, различающихся по количеству и продолжительности нефтяного загрязнения. Глубина проникновения в них нефти за 6 часов обусловлена её количеством и варьирует в среднем от 5 см (4 л/м²) до 20 см (32 л/м² нефти).

Физические свойства экосистемы дерново-подзолистой почвы статистически значимо изменяются под влиянием нефти. При 6 часовом загрязнении в горизонте А₁ 8-32 л/м² нефти уменьшают плотность, а 4-32 л/м² – плотность твёрдой фазы и удельную поверхность; в горизонте А₁А₂ 32 л/м² нефти уменьшают плотность твёрдой фазы, а 4-32 л/м² – удельную поверхность. При годовом загрязнении в горизонте А₁ 4-8 л/м² нефти уменьшают плотность почвы; 4-32 л/м² – плотность твёрдой фазы и удельную поверхность; в горизонте А₁А₂ 8-32 л/м² – уменьшают удельную поверхность почвы.

Химические показатели экосистемы дерново-подзолистой почвы статистически значимо изменяются под влиянием нефти. При 6 часовом загрязнении в горизонте А₁ 4-32 л/м² нефти увеличивают общий углерод и уменьшают обменный калий, 8-32 л/м² увеличивают общий азот, а 32 л/м² уменьшают подвижный фосфор; в горизонте А₁А₂ 4-32 л/м² нефти увеличивают общий углерод и уменьшают обменный калий, а 8-32 л/м² увеличивают общий азот. При годовом загрязнении в горизонте А₁ 8-32 л/м² нефти увеличивают общий углерод и азот, 32 л/м² уменьшают подвижный фосфор, а 4-32 л/м² – обменный калий; в горизонте А₁А₂ 16-32 л/м² увеличивают общий углерод, а 8-32 л/м² – общий азот, 4-8 л/м² увеличивают подвижный фосфор, а 4-32 л/м² – уменьшают обменный калий.

Физико-химические свойства экосистемы дерново-подзолистой почвы статистически значимо изменяются под влиянием нефти. При 6 часовом загрязнении в горизонте А₁ 4-32 л/м² нефти увеличивают рН_{вод} и уменьшают рН_{сол}, 16-32 л/м² – снижают гидролитическую кислотность, 4-32 л/м² – снижают сумму обменных оснований; в горизонте А₁А₂ 4-32 л/м² нефти уменьшают рН_{сол}, 16-32 л/м² – снижают гидролитическую кислотность, 8-32 л/м² – снижают сумму обменных оснований. При годовом загрязнении в горизонте А₁ 16-32 л/м² нефти увеличивают рН_{вод}, 8-32 л/м² – снижают гидролитическую кислотность и сумму обменных оснований; в горизонте А₁А₂ 8-32 л/м² – снижают гидролитическую кислотность и сумму обменных оснований.

Биологические свойства экосистемы дерново-подзолистой почвы статистически значимо изменяются под влиянием нефти. При 6 часовом загрязнении в горизонте А₁ 4 л/м² нефти увеличивают суммарную биомассу микроорганизмов, а 8-32 л/м² ведёт к её гибели; в горизонте А₁А₂ 8-32 л/м² нефти уменьшают

суммарную биомассу микроорганизмов; 8-32 л/м² уменьшают дыхание почвы. При годовом загрязнении в горизонте А₁ 4 л/м² нефти увеличивают суммарную биомассу микроорганизмов, а 8 л/м² – снижают её, а 16-32 л/м² ведет к гибели; в горизонте А₁А₂ 16-32 л/м² нефти уменьшают суммарную биомассу микроорганизмов, 32 л/м² ведет её к гибели; 8-32 л/м² уменьшают дыхание почвы.

Изменение параметров свойств экосистемы дерново-подзолистой почвы сохраняется в течение не менее 1 года. Наблюдается тенденция постепенного восстановления утраченных свойств, особенно при слабом (4 л/м²) загрязнении. Изменение скорости деградации зависит от количества нефти, а изменение видов деградации и их совмещения – от времени загрязнения. Несмотря на то, что исследуемые количества нефти ведут к совпадению видов деградации и их совмещению, степень деградации разная в зависимости от количества и времени нахождения нефти на поверхности почвы.

Комплексная оценка деградации и устойчивости экосистемы дерново-подзолистой почвы показывает, что различные горизонты по-разному реагируют на нефтяное загрязнение, горизонт А₁А₂ по сравнению с вышележащим более устойчив к деградации, так как основная нагрузка приходится на горизонт А₁, в котором происходят наибольшие изменения, а также с тем, что по своей природе в горизонте А₁А₂ происходят процессы выноса биогенных элементов.

Убыль нефти из экосистемы дерново-подзолистой почвы зависит от её количества, разлитого на поверхность, и свойств генетических горизонтов. Почвенная экосистема, загрязненная 4 л/м² нефти, самоочищается наиболее активно. В горизонте А₁А₂ происходит полное самоочищение, предел которого (ОДК) равен 49,1 г нефти на 1 кг почвы. Для устойчивого функционирования нефтезагрязнённых почвенных экосистем необходима научно обоснованная система восстановления, включающая комплекс мероприятий, обеспечивающих оптимальные параметры почвенного плодородия.

Разные методологические подходы к оценке экологических последствий от загрязнения почвенной экосистемы нефтью дают неодинаковые размеры платы за причиненный вред. Предотвращение экологического ущерба загрязнения сельскохозяйственного угодья площадью 1 га равно 47 тыс. руб. Расчёт величины экологического ущерба по массе загрязнителя равен 4 л/м² – 44 руб., 8 л/м² – 88 руб., 16 л/м² – 177 руб., 32 л/м² – 354 руб. Размер взыскания за вред, причиненный земельным ресурсам (дерново-подзолистой почве) от загрязнения 1 га сельскохозяйственного угодья исследуемыми количествами нефти оценивается в 333 руб.

Организациям, работающим в сфере природопользования, разработать единый подход к экономической оценке экологического вреда, как научного обоснования стратегии поставочных действий в конкретных почвенно-климатических условиях.

Ориентировочно допустимую концентрацию (ОДК) нефти в экологической подсистеме (горизонт А₁А₂) дерново-подзолистой почвы считать 49 г/кг.

Организациям, занимающимся рекультивацией земель, использовать результаты настоящего исследования для практических действий по восстановлению нефтезагрязнённых почвенных экосистем Брянской области.

Список литературы

1. Агроклиматические ресурсы Брянской области. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 91 с.
2. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий: метод. руководство / под ред. И. Кирюшина, А.Л. Иванова. М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2005. 784 с.
3. Андерсон Р.К., Пропадущая А.А. Изучение факторов, влияющих на биоразложение нефти в почве // Коррозия и защита в нефтегазодобывающей промышленности. 1979. № 3. С. 30-32.
4. Андерсон Р.К., Мукатанов А.Х., Бойко Т.Ф. Экологические последствия загрязнения почв нефтью // Экология. 1980. № 6. С. 16-25.
5. Комплексная технология очистки почв и водоемов от загрязнений нефтью и нефтепродуктами / М.У. Аринбасаров, А.Н. Шкидченко, В.П. Мурыгина, А.М. Воронин // Биотехнология Подмосковья-99: тез. докл. конф. Пушкино, 1999. С. 15-16.
6. Разработка и полевые испытания биопрепаратов нефте-деструктантов в ИБФМ РАН / М.У. Аринбасаров, Л.М. Барышникова, В.Г. Грищенко и др. // Новые технологии для очистки нефтезагрязненных вод, почв, переработки и утилизации нефтешламов: тез. докл. конф. М., 2001. С. 205-206.
7. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 187 с.
8. Аристовская Т.В. Теоретические аспекты проблемы численности, биомассы и продуктивности почвенных микроорганизмов // Вопросы численности, биомассы и продуктивности микроорганизмов. Л.: Наука, 1972. С. 7-20.
9. Аугуст Л.Г. Химия. Киев: Вища школа, 1971. 340 с.
10. Особенности деградации тяжелой нефти в светлых серо-коричневых почвах сухих субтропиков Азербайджана / А.Г. Ахмедов, Н.П. Ильин, Н.М. Исмаилов, Ю.И. Пиковский // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982. С. 217-227.
11. Биodeградация нефтепродуктов штаммами-деструкторами и их ассоциациями в жидкой среде / Л.М. Барышникова, В.Т. Грищенко, М.У. Аринбасаров и др. // Прикладная биохимия и микробиология. 2001. Т. 37, вып. 5. С. 542-548.
12. Белоус Н.М. Повышение плодородия песчаных почв. М.: Колос, 1997. 192 с.
13. Регидратационный метод определения биомассы микроорганизмов в почве / С.А. Благодатский и др. // Почвоведение. 1987. № 4. С. 64-71.
14. Бокрис Д.О. Химия окружающей среды / пер. с англ. М.: Химия, 1982. 541 с.
15. Бочарникова Е.А. Влияние нефтяного загрязнения на свойства серо-бурых почв Апшерона и серых лесных почв Башкирии: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1990. 16 с.
16. Потенциальная и фактическая устойчивость почв к природно-антропогенным воздействиям / Д.С. Булгаков, И.И. Карманов, Э.Н. Молчанов и

др. // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тез. докл. Всерос. конф. М., 2002, С. 8.

17. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.

18. Вернадский В.И. Живое вещество. М.: Наука, 1978. 200 с.

19. Вернадский В.И. Очерки геохимии. М.: Горгеонефтедат, 1934.

20. Виноградский С.Н. Микробиология почвы. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 792 с.

21. Водопьянов В.В., Киреева Н.А., Тарасенко Е.М. Фитотоксичность нефтезагрязненных почв (математическое моделирование) // Агрохимия. 2004. № 10. С. 73-77.

22. Воробьев Г.Т. Почвы Брянской области. Брянск: «Грани», 1993. 160 с.

23. Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем / под ред. М.А. Глазовской. М.: Наука, 1988. 207 с.

24. Вредные вещества в промышленности: справочник для химиков, инженеров и врачей. Л.: Химия, 1976. Т. 1. С. 54-75.

25. Габбасова И.М., Хазиев Ф.Х., Сулейманов Р.Р. Оценка состояния почв с давними сроками загрязнения сырой нефтью после биологической рекультивации // Почвоведение. 2002. № 10. С. 1259-1273.

26. Габбасова И.М. Деграция и рекультивация почв Южного Приуралья: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М.: ТСХА, 2001. 45 с.

27. Рекультивация нефтезагрязненных почв лесостепной зоны Татарии / М.З. Гайнутдинов, С.М. Самосова, Т.И. Артемьева и др. // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем / под ред. М.А. Глазовской. М.: Наука, 1988. С. 177-197.

28. Ганжара Н.Ф. Почвоведение. М.: Агроконсалт, 2001. 392 с.

29. Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. Практикум по почвоведению. М.: Агроконсалт, 2002. 280 с.

30. Геологический словарь Т 1., А-Л / под общ. ред. А.Н. Криштовича. М., 1955. 403 с.

31. Герасимова М.И., Караваева Н.А., Таргульян В.О. Деграция почв: методология и возможности // Почвоведение. 2000. № 3. С. 358-365.

32. Гилязов М.Ю. Агроэкологическая характеристика нарушенных при нефтедобыче черноземов и приемы их рекультивации в условиях Закамья Татарстана: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Саратов, 1999. 43 с.

33. Гилязов М.Ю. Изменение некоторых агрохимических свойств щелочного чернозема при загрязнении его нефтью // Агрохимия. 1980. № 12. С. 72-75.

34. Гиляров М.С., Криволицкий Д.А. Жизнь в почве. М.: Молодая гвардия, 1985. 191 с.

35. Глазовская М.А. Опыт классификации почв мира по устойчивости к техногенным кислотным воздействиям // Почвоведение. 1990. № 9. С. 82-96.

36. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высшая школа, 1988. 328 с.

37. Глазовская М.А. Качественные и количественные оценки сенсорности и устойчивости природных систем к техногенным кислотным воздействиям // Почвоведение. 1994. № 1. С. 134-139.

38. Глазовская М.А., Пиковский Ю.И., Коронцевич Т.Н. Комплексное районирование территории СССР по типам возможных изменений природной среды при нефтедобыче // Ландшафтно-геохимическое районирование и охрана среды. Вопросы географии. М.: Мысль, 1983. С. 84-108.

39. Глазовская М.А., Пиковский Ю.И. Комплексный эксперимент по изучению факторов самоочищения и рекультивации загрязненных нефтью почв в различных природных зонах // Миграция загрязненных веществ в почвах и сопредельных средах: сб. тез. док. III Всесоюз. совещ. Л.: Гидрометеиздат, 1985. С. 185-191.

40. ГОСТ 26423–85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки.

41. ГОСТ 17.4.3.01–83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб.

42. ГОСТ 17.4.4.02–84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.

43. ГОСТ 26212–91. Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО.

44. ГОСТ 26483–85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение её рН по методу ЦИНАО.

45. Роль почвенной микробиоты в рекультивации нефтезагрязненных почв / В.С. Гузев, Г.И. Селецкий, и др. М.: МГУ, 1989. 42 с.

46. Дегазация Земли, геодинамика, геофлюиды, нефть и газ. М.: ГЕОС, 2002.

47. Деградация и охрана почв / под общ. ред. акад. РАН Г.В. Добровольского. М.: Изд-во МГУ, 2002. 654 с.

48. Демидиенко О.Я., Демурджан В.М., Шеянова А.Д. Изучение питательного режима почв, загрязненных нефтью // Агрохимия. 1983. № 9. С. 100-103.

49. Проблемы мониторинга и охраны почвы / Г.В. Добровольский, Б.Г. Розанов, Л.А. Гришина, Д.С. Орлов // Тез. докладов VII делегатского съезда ВОП. Кн. 6. Ташкент, 1985. С. 255-265.

50. Докучаев В.В. Русский чернозем. Т. III. М.: АН СССР, 1949.

51. Зайдельман Ф.Р. Гидрологический фактор антропогенной деградации почвенного покрова России и меры ее предупреждения // Аграрная деградация почвенного покрова России и меры ее предупреждения: тез. докл. Всерос. конф. М., 1998. Т. 2. С. 70-72.

52. Диагностические признаки различных уровней загрязнения почвы нефтью / Д.Г. Звягинцев, В.С. Гузев, С.В. Левин и др. // Почвоведение. 1989. № 1. С. 72-78.

53. Израэль Ю.А., Ровинский Ф.Я. Комплексный фоновый мониторинг в СССР // Комплексный глобальный мониторинг состояния биосферы: тр. 3 междунар. симпозиума. Ташкент. Л., 1986. Т. 1. С. 89-105.

54. Исмаилов Н.М. Микробиология и ферментативная активность нефтезагрязненных почв // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем / под ред. М.А. Глазовской. М.: Наука, 1988. С. 42-56.
55. Исмаилов, Н.М., Ахмедов А.Г., Ахмедов В.А. Рекультивация нефтезагрязненных земель сухих субтропиков Азербайджана // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 206-222.
56. Исмаилов Н.М., Пиковский Ю.М. Современное состояние методов рекультивации нефтезагрязненных земель // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем / под ред. М.А. Глазовской. М.: Наука, 1988. С. 222-230.
57. Карманов И.И., Булгаков Д.С. Деградация почв: предложения по совершенствованию терминов и определений // Антропогенная деградация почвенного покрова и меры ее предупреждения: тез. докл. Всерос. конф. М., 1998. Т. 1. С. 5-6.
58. Почвоведение / И.С. Кауричев, Н.П. Панов, Н.Н. Розов и др.; под ред. И.С. Кауричева. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1989. 719 с.
59. Качинский Н.А. Физика почв. М.: Высшая школа, 1970.
60. Киреева Н.А. Микробиологические процессы в нефтезагрязненных почвах. Уфа, 1994. 171 с.
61. Киреева Н.А., Новоселова Е.И., Хазиев Ф.Х. Изменение свойств серой лесной почвы при загрязнении нефтью и в процессе рекультивации // Башкирский экологический вестник. 1998. № 3. С. 3-7.
62. Снижение фитотоксичности нефтезагрязненной серой лесной почвы при биорекультивации / Н.А. Киреева, М.Д. Бакаева, Е.М. Тарасенко и др. // Агрехимия. 2003. № 2. С. 50-55.
63. Киреева Н.А., Новоселова Е.М., Ямалетдинова Г.Ф. Активность оксиредуктаз в нефтезагрязненных и рекультивируемых почвах // Агрехимия. 2001. № 4. С. 53-59.
64. Киреева Н.А., Водопьянов В.В., Мифтахова А.М. Биологическая активность нефтезагрязненных почв. Уфа: Гилем, 2001. 376 с.
65. Киреева Н.А., Мифтахова А.М., Кузяхметов Г.Г. Влияние загрязнения нефтью на фитотоксичность серой лесной почвы // Агрехимия. 2001. № 5. С. 64-69.
66. Киреева Н.А., Новоселова Е.И., Хазиев Х.Ф. Использование активного ила для рекультивации почв, загрязненных нефтью // Почвоведение. 1996. № 11. С. 1399-1403.
67. Киреева Н.А., Галимзянова Н.Ф., Мифтахова А.М. Микромицеты почв, загрязненных нефтью, и их фитотоксичность // Микология и фитопатология. 2000. № 1. С. 36-41.
68. Снижение фитотоксичности нефтезагрязненной серой лесной почвы при биорекультивации / Н.А. Киреева, М.Д. Бакаева, Е.М. Тарасенко и др. // Агрехимия. 2003. № 2. С. 50-55.
69. Киреева Н.А., Новоселова Е.И., Хазиев Ф.Х. Ферменты азотного обмена в нефтезагрязненных почвах // Известия АН. 1997. № 6. С. 755-759.
70. Киреева Н.А., Новоселова Е.И., Хазиев Ф.Х. Фосфогидролазная активность нефтезагрязненных почв // Почвоведение. 1997. № 6. С. 723-725.

71. Классификация и диагностика почв СССР. М., «Колос», 1977. 260 с.
72. Кобзев Е.Н., Петрикевич С.Б., Шкидченко А.Н. Биодеструкция нефти и дизтоплива ассоциацией микроорганизмов в открытой проточной системе // Экобиотехнология: борьба с нефтяным загрязнением окружающей среды: тез. докл. конф. Пущино, 2001. С. 31-33.
73. Кодина Л.А. Геохимическая диагностика нефтяного загрязнения почвы // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем / под ред. М.А. Глазовской. М.: Наука, 1988. С. 112-122.
74. Королева И.Е. Критерии выбора показателей устойчивости почв к агроистощению по фосфору и калию // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тез. докл. Всерос. конф. М., 2002. С. 38.
75. Коронелли Т.В. Принципы и методы: интенсификации биологического разрушения углеводов в окружающей среде (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 1996. Т. 32, № 6. С. 579-585.
76. Лебедева И.И., Тонконогов В.Д. Деграция почв и устойчивость почв к деградации: общие представления и понятия // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тез. докл. Всерос. конф. М., 2002. С. 9.
77. Методика определения предотвращенного экологического ущерба. М.: Государственный комитет РФ по охране окружающей среды, 1999. 71 с.
78. Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель // Препринт. Упр. Охраны почв и земельных ресурсов Минприроды России и упр. Мониторинга земель и охраны почв Роскомзема. М., 1994. 13 с.
79. Методы почвенной микробиологии и биохимии: Уч. пособие / под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
80. Морозов А.Е. Экологические аспекты биорекультивации серой лесной почвы загрязненной нефтью и нефтепродуктами: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Российский университет Дружбы Народов. М., 2003. 33 с.
81. Мотузова Г.В. Устойчивость почвы как системы соединений химических элементов // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тез. докл. Всерос. конф. М., 2002. С. 28.
82. Мукатанов А.Х., Ривкин П.Р. Влияние нефти на свойства почв // Нефтяное хозяйство. 1980. № 4. С. 53-54.
83. Наумова Н.Б. Изменение биомассы почвенных микроорганизмов в формирующихся биогеоценозах // Изв. Сиб. отд-ния АН СССР. 1989. Вып. 3. С. 111-117.
84. Никитина З.И. Микробиологический мониторинг наземных экосистем. Новосибирск: Наука, 1991. 222 с.
85. Самоочищение и рекультивация нефтезагрязненных почв Предуралья и Западной Сибири / А.А. Оборин, И.Г. Калачников, Т.А. Масливец и др. // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем / под ред. М.А. Глазовской. М.: Наука, 1988. С. 140-159.
86. Оливериусова Л. Оценка состояния окружающей среды методом комплексной биоиндикации // Биоиндикация и биомониторинг. М.: Наука, 1991. С. 39-45

87. Орлова Е.Е., Бакина Л.Г. Деградация гумуса почв при нефтезагрязнении // Проблемы антропогенного почвообразования: тез. докл. междунар. конф. М., 1997. Т. 2. С. 175-176.
88. Орлова Е.Е., Лабутова Н.М. Самовосстановление загрязненной нефтью дерново-подзолистой почвы на фоне внесения эндомикоризных грибов // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тез. докл. Всерос. конф. М., 2002. С. 260-261.
89. Орлова Н.Е., Бакина Л.Г. Роль сезонной трансформации органического вещества почвы в устойчивости биогеоценоза // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тез. докл. Всерос. конф. М., 2002. С. 203.
90. Влияние комплексно биогенной добавки на самоочищающуюся способность неф-тезагрязненной почвы / И.В. Паничкина, Г.Н. Курочкина, А.А. Амелин, О.А. Соколов // Достижения аграрной науки в решении экологических проблем Центральной России: тез. докл. Российской научно-практической конф. Орел, 1999. С. 183-186.
91. Картографическая оценка потенциала самоочищения почв от техногенных углеводородов на территории России / Ю.И. Пиковский, А.Н. Геннадиев, Д.М. Голованов, Г.Н. Сахаров // География и окружающая среда. М: ГЕОС, 2000. С. 286-303.
92. Проблема диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами / Ю.И. Пиковский, А.Н. Геннадиев, С.С. Чернявский, Г.Н. Сахаров // Почвоведение. 2003. № 9. С. 1132-1140.
93. Пиковский Ю.И. Трансформация техногенных потоков нефти в почвенных экосистемах // Восстановление нефтезагрязнённых почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 7-22.
94. Порядок определения размера взыскания за вред, причиненный земельным ресурсам и растительности. Казань: Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан, 2002. 24 с.
95. Практикум по агрохимии: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. академика РАСХН В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
96. Природное районирование и типы сельскохозяйственных земель Брянской области. Брянск: Приокское книжное изд-во, 1975. 611 с.
97. Природно-техногенные воздействия на земельный фонд России и страхование имущественных интересов участников земельного рынка / под общ. ред. Л.Л. Шишова, Е.И. Путилина, Д.С. Булгакова, И.И. Карманова. М. Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2000. 251 с.
98. Растворова О.Г. Физика почв: практ. руководство. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1983. 196 с.
99. Рэуце К., Кырстя С. Борьба с загрязнением почвы / пер. с румын. К.Н. Станькова. М.: Агропромиздат, 1986. 221 с.
100. Савич В.И., Байбеков Р.Ф., Банников В.Н Физические свойства почв, как матрица их плодородия // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тез. докл. Всерос. конф. М., 2002. С. 85.

101. Ситникова Г.Ю., Давыдова С.Л. Микроэлементы в нефтях и некоторые вопросы экологии // Нефтехимия. 1992. Т. 32, № 5. С. 387.
102. Оценка состояния устойчивости экосистем / В.В. Снакин, В.Е. Мельченко, Р.О. Бутовский и др. Пушино: Пушинский научный центр РАН. ВНИИ Природы. Препринт., 1992. 127 с.
103. Система оценки степени деградации почв / В.В. Снакин, П.П. Кречетов, Т.А. Кузовникова и др. Пушино: Пушинский научный центр РАН. ВНИИ Природы. Препринт., 1992. 20 с.
104. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1998. 376 с.
105. Солнцева Н.П. Геохимическая устойчивость природных систем к техногенным нагрузкам (принципы и методы изучения, критерии прогноза) // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982. С. 181-216.
106. Солнцева Н.П., Гусева О.А., Горячкин СВ. Моделирование процессов миграции нефти и нефтепродуктов в почвах тундры // Вестник МГУ. 1996. № 2. С. 23-28.
107. Солнцева Н.П. Общие закономерности трансформации почв в районах добычи нефти (формы проявления, основные процессы, модели) // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 2312.
108. Солнцева Н.П. Принципы и методы экспериментального моделирования миграции и закрепления нефти и нефтепродуктов в почвах // Геохимия ландшафтов и география почв / под ред. Н.С. Касимова и М.И. Герасимовой. Смоленск: Ойкумене, 2002. С. 65-90.
109. Проблемы загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами: геохимия, экология, рекультивация / Н.П. Солнцева, Ю.И. Пиковский, Е.М. Никифорова и др. // Докл. симпоз. VII делегатского съезда Всесоюзного общества почвоведов. Ташкент, 1985. Ч. 6. С. 246-254.
110. Солнцева Н.П., Никифорова Е.М. Региональный геохимический анализ загрязненных почв нефтью (на примере Пермского Прикамья) // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем / под ред. М.А. Глазовской. М.: Наука, 1988. С. 122-140.
111. Сохранение и повышение продуктивности мелиорируемых земель Центра Нечерноземной зоны России и Беларуси: монография / под общ. ред. Ю.А. Можайского, А.П. Лихацевича. Рязань, 2005. 582 с.
112. Выбор активного микроорганизма-деструктора углеводов для очистки нефтезагрязненных почв / Е.В. Стабникова, М.В. Селезнева, О.Н. Рева, В.Н. Иванов // Прикладная биохимия и микробиология. 1995. Т. 31, № 5. С. 543-539.
113. Титова В.И., Дабахов М.В. Агрэкоэкологические проблемы функционирования и сохранения устойчивости (теория и практика агронома-эколога). Н. Новгород: НГСХА, 2001. 134 с.
114. Трофимов С.Я. Разработка нормативов допустимого остаточного содержания нефти в почвах // Экология производства. 2006. № 10. С. 30-36.

115. Трофимов С.Я. Рекультивация и инвентаризация загрязненных земель // Экология производства. 2006. № 3. С. 54-57.
116. Влияние нефтяного загрязнения на некоторые компоненты агроэкосистемы / Ф.Х. Хазиев, Е.И. Тишкина, Н.А. Киреева, Г.Г. Кузяхметов // Агротехника. 1988. № 2. С. 56-61.
117. Халимов Э.М., Левин С.В., Гузев В.С. Экологические и микробиологические аспекты повреждающего действия нефти на свойства почвы // Вестник МГУ. 1996. № 2. С. 59-64.
118. Халимов Э.М., Левин С.В., Гузев В.С. Экологические и микробиологические аспекты повреждающего действия нефти на свойства почвы // Вестник МГУ. 1996. № 2. С. 11-17.
119. Халимов Э.М. Эколого-микробиологические основы рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.07 / Московский государственный университет. М., 1996. 24 с.
120. Хитров Н.Б. Деградация почвы и почвенного покрова: понятия и подходы к получению оценок // Антропогенная деградация почвенного покрова и меры ее предупреждения: тез. докл. Всерос. конф. М., 1998. Т. 1. С. 20-26.
121. Хитров Н.Б. Представление об устойчивости почв к внешним воздействиям // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тез. докл. Всерос. конф. М., 2002. С. 3-6.
122. Хитров Н.Б. Резистентная и регенерационная устойчивость почв к внешним воздействиям // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тез. докл. Всерос. конф. М., 2002. С. 9-10.
123. Черников В.А. Экологическая безопасность и устойчивое развитие. Кн. 3. Устойчивость почв к антропогенному воздействию / В.А. Черников, Н.З. Милащенко, О.А. Соколов. Пушино: ОНТИ ПНЦ РАН, 2001. 203 с.
124. Чугунова М.В., Капелькина Л.П. Стимуляция естественных процессов самоочищения как основной способ повышения устойчивости почв к нефтезагрязнениям // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тез. докл. Всерос. конф. М., 2002. С. 90-91.
125. Шилова И.М. Биологическая рекультивация нефтезагрязненных земель в условиях таежной зоны // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем / под ред. М.А. Глазовской. М.: Наука, 1988. С. 159-168.
126. Экологические проблемы современной нефтепереработки и нефтехимии / сост. Л.В. Богдан, Е.В. Лазарева, В.Н. Моисеева и др. М.: ЦНИИ информации и технико-экономических исследований нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, 1980.
127. Экологический атлас России / председатель редкол. Н.С. Касимов. М.: Карта, 2002. 128 с.
128. Bartha R. Biotechnology of petroleum pollutant biodegradation // Microb. Ecol. 1986. № 12. P. 155-172.
129. Binet Ph., Portal J.M., Leyval C. Fate of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in the rhizosphere and mycorrhizosphere of ryegrass // Plant and Soil. 2000. № 227. P. 207-213.

130. Blankenship D.W., Larson R.A. Plant growth inhibition on by the water extract of a crude oil // *Water, Air and Soil Pollut.* 1978. V. 10.
131. Criquet S. Anthracene and mycorrhiza affect the activity of oxidoreductases in the roots and the rhizosphere of lucerne (*Medicago sativa* L.) // *Biotechnol. Lett.* 2000. № 22. P. 1733-1737.
132. *Global Assessment of Degradation North Africa and Middle East* / FAO. Rome. 1979.
133. Griffin L.F., Calder J.A. Toxic effect of water-soluble fractions of crude, refined and weathered oils on the growth of a marine bacterium. // *Appl. a. Environ. Microbiol.* 1977. Vol. 33, № 5. P. 1092-1101.
134. *Guidelines for General Assessment of the Status of Human-induced Soil Degradation* / Ed. By L.R. Oldeman. Inf. Soil Referent and Inf. Centre. Wageningen. April. 1998. N 8814. 12 p.
135. Anaerobic bacterial metabolism of hydrocarbons / J. Heider, A.M. Spormann, H.R. Beller, F. Widdel // *FEMS Microbiology Reviews.* 1999. № 22. P. 459-173.
136. Kramer U., Chardonnens A.N. The use of transgenic plants in the bioremediation of soils contaminated by trace elements // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2001. № 55. P. 661-672.
137. Lee E., Banks M.K. Bioremediation of petroleum contaminated soil using vegetation: a microbial study // *J. Environ. Sci. Health A.* 1993. V. 28, № 10. P. 2187-2198.
138. McGill W.B. Soil restoration folio wing oil spiels - a review // *J. of Can. Petroleum Technology.* April-June 1977. P. 60-67.
139. Meagher R.B. Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants // *Curr. Opin. Plant.* 2000. № 3. P. 153-162.
140. Mitchell R., Fogel S., Chet H. Bacterial chemoreception: an important ecological phenomenon inhibited by hudrocarbons // *Water Res.* 1972. Vol. 6, № 10. P. 1137-1143.
141. Odu C.T.: PH. D Thesis. 1997. Centrum voor Terrestrishe Decoloie Nederlands Institut voor Oecologisch Onderroch. 113 p.
142. Piutti S., Hallet S., Rousseaux D. Accelerated mineralisation of antrazine in maize rhizosphere soil // *Biol. Fer-til. Soils.* 2002. № 36. P. 434-441.
143. Reillley K.A., Banks M.K., Schwab A.P. Dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the rhizosphere // *J. Environ. Qual.* 1996. V. 25, № 2. P. 212-219.
144. Shukla O.P. Biodegradation for environmental management // *Everymans Sci.* 1990. V. 25, № 2. P. 46-50.

Учебное издание

Смольский Е.В., Силаев А.Л.

**Оценка воздействия углеводородного загрязнения на
окружающую среду
(на примере почвенной экосистемы)**

Редактор Адылина Е.С.

Подписано к печати 27.09.2022 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Усл. п. л. 3,95. Тираж 50 экз. Изд. №7373

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ