

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ
Кафедра экологии и генетики

Заведующий кафедрой
д.б.н., профессор
И.В. Пак

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
магистра
ОТВЕТНЫЕ РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ НА ХРОНИЧЕСКОЕ
ЗАГРЯЗНЕНИЕ СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ
06.04.01 Биология

Выполнил работу
студент 2 курса магистратуры
очной формы обучения

Тагиров Роман Эдуардович

Научный руководитель
доктор биологических наук
профессор

Петухова Галина Александровна

Рецензент
к. б. н., доцент кафедры водных
биоресурсов и аквакультуры
Института биотехнологии
и ветеринарной медицины ГАУСЗ

Рыбина Галина Евгеньевна

Тюмень, 2020

АННОТАЦИЯ

С. 78, рис. 5, табл. 1, библи. 108, прил. 6.

В диссертации представлены исследования по влиянию нефти на ветвистоусых рачков *Daphnia magna* и растения видов *Carex acuta*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium vitis-idaea*.

Анализ поведенческих реакций дафний при действии вытяжки из нефтезагрязненных почв показал снижение двигательной активности рачков, согласующееся с уменьшением частоты сердечных сокращений. Концентрация продуктов ПОЛ у *Carex acuta*, *Vaccinium uliginosum* и *Vaccinium vitis-idaea* возрастала соответственно росту содержания нефтепродуктов в почве. Содержание фенольных соединений увеличивалось по сравнению с контролем у всех рассмотренных видов растений. Содержание хлорофилла а, в и каротиноидов было ниже у растений из районов 1 и 2, чем в контроле как у *Carex acuta*, так и у *Vaccinium uliginosum* и *Vaccinium vitis-idaea*. *Vaccinium uliginosum*, в сравнении с двумя другими видами растений, проявила наиболее сильную ответную реакцию на действие стресс-фактора.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, нефтезагрязненная почва, *Daphnia magna*, осока острая, голубика обыкновенная, брусника, токсикант, фотосинтезирующие пигменты, ЧСС, двигательная активность, фенольные соединения, диеновые конъюгаты, основания Шиффа.

The dissertation includes researches of oil influence to *Daphnia magna* and species of plants: *Carex acuta*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium vitis-idaea*.

An analysis of the behavioral reactions of *Daphnia magna* influenced by oil-contaminated soils revealed a decrease in the motor activity of crustaceans; there was consistent with a decrease in heart rate. The concentration of lipid oxidation products increased in *Carex acuta*, *Vaccinium uliginosum* and *Vaccinium vitis-idaea* accordingly to oil products increased in the soil. The proportion of phenolic compounds increased in all considered species of plants in comparison with the control group of plants. The proportion of chlorophyll a, b and carotenoids in plants from regions 1 and 2 was lower than its proportion in *Carex acuta* and *Vaccinium*

uliginosum and *Vaccinium vitis-idaea* from a control group. *Vaccinium uliginosum* revealed the strongest reaction to the stress factor in comparison with two other plant species.

Key words: oil pollution, oil-contaminated soil, *Daphnia magna*, *Carex acuta*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium vitis-idaea*, toxicant, photosynthetic pigments, heart rate, locomotor activity, phenolic compounds, diene conjugates, Schiff's bases.

ОГЛАВЛЕНИЕ

АННОТАЦИЯ	2
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	9
1.1 Многообразие химического состава нефти	9
1.2 Влияние нефти и нефтепродуктов на природную среду	11
1.3 Нефтяное загрязнение пресных вод	16
1.4 Нефтяное загрязнение почвенного покрова.....	21
1.5 Влияние токсических веществ на жизненно важные показатели живых организмов.....	27
1.6 Влияние нефтепродуктов на животных	32
1.7 Влияние нефтепродуктов на растительные организмы	39
1.8 Геоботанические особенности нефтезагрязненных территорий таежной зоны	45
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	50
2.1 Физико-географическая характеристика района исследования	50
2.2 Материалы исследования.....	51
2.3 Методы исследования	53
2.4 Статистическая обработка данных.....	55
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....	56
ВЫВОДЫ.....	65
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	66
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	75

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ПОЛ – перекисное окисление липидов

УКПН – установка комплексной подготовки нефти

БСВ – буровые сточные воды

ПДК – предельно-допустимая концентрация

ЧСС – частота сердечных сокращений

УОМ – углеводородоокисляющие микроорганизмы

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития промышленной отрасли добыча нефти и газа, а также их транспортировка, переработка и реализация оказывает существенное влияние на биосферу, даже несмотря на серьезные усилия по увеличению удельного веса альтернативных источников энергии. Нефтяная промышленность является ведущей отраслью российской экономики, следствием чего является разработка колоссального числа месторождений по всей территории Российской Федерации.

Превышение естественного уровня нефти и нефтепродуктов в различных компонентах биосферы вследствие человеческой деятельности – сложный экологический вопрос, актуальный для многих стран, в том числе и для Российской Федерации, которая занимает первое место в мире по добыче сырой нефти и конденсата согласно данным ежегодного Статистического обзора мировой энергетики за 2019 год [Laury, OPEC Annual Statistical Bulletin, p 12]. Одной из наиболее частых проблем промышленной отрасли можно считать загрязнение нефтепродуктами почвенного покрова на территориях, где происходит разработка недр. Решение вопросов о снижении влияния нефтяного загрязнения становится все более востребованным, в частности на территории нашей страны, где на протяжении долгого времени борьба с экологическими проблемами откладывалась на неопределенный срок. Для добывающей отрасли характерны следующие проблемы: увеличение площади нарушенных территорий и их низкая способность к самовосстановлению; большая техногенная нагрузка на территории районов осуществления деятельности нефтегазовой отрасли; высокая степень загрязнения окружающей среды от нефтеперерабатывающих комплексов и магистральных трубопроводов. Кроме того остро стоит вопрос о состоянии природоохранного комплекса, а именно: совершенствование системы предупреждения и снижения негативного влияния на экосферу, расширения и оптимизации средств производственного контроля качества исполнения проектных решений, соблюдения норм экологического

законодательства в ходе как использования, так и рекультивации эксплуатируемых земель [Давыдова, Тагасов, с. 22-28].

Нефтяные углеводороды оказывают негативное воздействие на всё многообразие живого вне зависимости от среды жизнедеятельности; являясь сложной смесью, они способны вызывать нарушения на всех уровнях организации жизни.

В связи с этим необходимо проводить экологический мониторинг для составления полной и достоверной информации о загрязнении того или иного промышленного объекта и эффективной защиты окружающей среды.

В качестве метода определения токсичности компонентов природной среды, в частности почвы, удобно использовать биотестирование. При исследованиях данным способом проводится анализ изменения методически утвержденной функции тест-объекта при действии на него стресс-фактора. Тестируемыми организмами в таких случаях выбираются удобные для исследования виды растений, животных, грибов или микроорганизмов. В нашей работе будут использоваться представители вида *Daphnia magna*. В качестве функций, изменения которых наблюдались, были выбраны частота сердечных сокращений, двигательная активность данного вида ветвистоусых рачков и их выживаемость.

Дафнии являются распространенными тест-объектами и обладают рядом удобных для исследования характеристик. Короткий срок продолжительности жизни позволяет проследить действия стресс-фактора при хроническом негативном воздействии, а также быстрее выявить острое токсическое действие загрязнителя. Кроме того, дафнии чувствительны к большинству известных на данный момент токсикантов [Р 52.24.741-2010 Оценка токсичности...].

Ещё одним методом определения качества среды принято считать биоиндикацию. В качестве индикатора может быть выбран любой организм, обитающий на территории исследуемого объекта, поэтому чаще всего в данной ситуации используются растения. К тому же многие из них – аккумулялирующие биоиндикаторы, что позволяет им расти на загрязненных территориях,

накапливая в течение жизни физиологические изменения, связанные с токсичностью того или иного компонента среды. На территории наших промышленных объектов обильно представлены виды: *Carex acuta*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium vitis-idaea*.

Целью данной работы является изучение токсичности нефтезагрязненной почвы с Саат-Рюяхского нефтегазоконденсатного месторождения и лицензионного участка в тестах на дафниях и растениях.

В соответствии с этой целью, задачи, стоящие перед нами в процессе выполнения работы, были следующие:

- 1) анализ выживаемости, частоты сердечных сокращений (ЧСС), двигательной активности дафний при действии вытяжек из тестируемых проб;
- 2) определение содержания продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) в клетках растений с обследованных территорий;
- 3) изучение содержания пигментов фотосинтеза и концентрации фенольных соединений в растительных клетках с территории нефтезагрязнения.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Многообразие химического состава нефти

Нефть – горючая природная маслянистая жидкость, относящаяся к эпигенетичным каустобиолитам [Потонье, с. 32]. Она характеризуется многообразием составляющих её компонентов. Состав сырой нефти неоднороден и в разной степени сложен – это зависит от участвующих в процессах образования нефти веществ. Из литературных данных следует, что формирование нефти происходит при совокупности трех видов длительных воздействий на органические остатки: термического, бактериологического и химического [Абросимов, с. 210-216]. В связи с этим можно предположить, что и свойства, которыми будет обладать образовавшаяся нефтяная масса в какой-то степени обуславливаются реагентами данного процесса.

В среднем, в нефти содержится около 500 различных соединений [Новиков, с. 31-36]. Большая часть из них – различные классы углеводородов (около 93% общей массы), далее идут соединения, включающие в свой состав такие элементы, как сера, кислород и азот [Пиковский, с. 134-136].

С разнообразием состава связаны основные различия по химическим и физическим свойствам образцов нефти, добытых из разных залежей, то есть покомпонентный состав нефти из разных регионов земного шара может существенно отличаться, хотя основу в любом случае будут составлять углеводороды. В связи с этим и получаемые нефтепродукты будут отличаться друг от друга: часть будет иметь характерную окраску, тогда как другие окажутся бесцветными, например, фенолы; запах будет варьировать от сернистого до эфирного, если в составе много терпенов. То же многообразие будет касаться как химических, так и биологических свойств входящих в состав нефти углеводородов [Химия окружающей среды, с. 310-314]. Учитывая этот факт, существует необходимость в качественном определении состава нефтепродуктов при оценке их влияния на природную среду.

Как правило, углеводороды, входящие в состав нефти выделяют в четыре группы: нафтено-ароматические, ароматические углеводороды, парафины (твердые углеводороды метанового ряда) и циклопарафины (нафтены).

Твердые углеводороды чаще всего встречаются в фракциях нефти с низкой температурой кипения, они могут составлять до 25% от общего состава каустобиолита. Также стоит отметить, что парафины, в зависимости от соотношения легких и тяжелых алканов, могут находиться во всех трех агрегатных состояниях, поэтому их состав и количество в нефти и нефтепродуктах сильно варьирует [Рамад, с. 244].

Нафтены являются наиболее часто встречающейся группой углеводородов в составе нефти: их содержание находится в пределах 30-60% от общего состава. Чаще всего это моноциклические циклопарафины, однако во фракциях, кипящих при высоких температурах, можно обнаружить полициклические нафтены, такие как циклогексан и циклопентан.

В меньших концентрациях в составе нефти содержатся арены. Они редко представляют отдельные соединения, в большей степени являясь частью углеводородов сложной структуры наряду с остатками алканов, нафтенов и другими непредельными соединениями [Химия окружающей среды, с. 117-118].

Арены кардинально отличаются от нафтенов и парафинов своими химическими свойствами, на это по большей части влияет характер ковалентных связей. В составе нефти наиболее часто встречаются бензол и его производные, хотя в высококипящих фракциях нефти также часто содержатся полициклические ароматические углеводороды.

Что касается других классов углеводородов, то их содержание в нефти и нефтепродуктах гораздо ниже. В их состав часто входят такие элементы, как сера, азот, железо, кислород и разного рода тяжелые металлы. Подобные соединения имеют структуру гетероциклических колец, соединенных рядами многоатомных алканов и обнаруживаются преимущественно в кипящих при высоких температурах фракциях нефти.

Одной из основных физических характеристик нефти является её растворимость в воде с последующим образованием различных миграционных форм [Миронов, 1969, с. 577-580].

Высокотоксичный эффект различных форм нефти связан с низкомолекулярными предельными углеводородами и аренами в их составе, для которых свойственна высокая растворимость, что, в свою очередь, обуславливает высокую степень проникновения в ткани живых организмов. Считается, что при нефтеразливах на почву наиболее поражающее действия оказывают нафтенная и керосиновая фракции, которые имеют высокую температуру кипения, углеводороды с более низкой температурой кипения менее опасны, либо не оказывают токсического эффекта, особенно их летучие фракции, поскольку скорость их испарения выше, чем скорость проникновения в ткани [Лукьяненко, с. 51].

1.2 Влияние нефти и нефтепродуктов на природную среду

Сложно представить современный мир без нефти и продуктов её переработки, однако их использование приносит не только неоспоримую пользу, но и существенный вред. Загрязнение компонентов биосферы происходит непосредственно в процессе добычи природного ископаемого, а пути транспорта нефти и способы её переработки в некоторых случаях становятся дополнительными негативными факторами, несущими опасность для окружающей среды [Глазовская, с. 213-216].

Условно принято считать нефтепродуктами главную и наиболее характерную часть нефти и продуктов её переработки – неполярные и малополярные углеводороды, не сорбирующиеся на оксиде алюминия. В нашей стране существует ряд межгосударственных стандартов, ориентированных на контроль за концентрациями загрязняющих веществ, в том числе нефтепродуктов, в разных компонентах природной среды. Например, предельно допустимая концентрация нефтяных углеводородов в воздухе рабочей зоны промышленных предприятий равна 10 мг/м^3 [ГН 2.2.5.3532-18, с. 97], в воде объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового

водопользования – 0,3 мг/л и 0,1 мг/л для многосернистой нефти [ГН 2.1.5.1315-03, с. 43]. Однако предельно-допустимые концентрации нефтепродуктов в почвах, атмосферном воздухе населенных мест и тем более растениях не нормированы, хотя имеются предельно-допустимые концентрации для некоторых ароматических углеводородов и бенз(а)пирена в почвах [ГН 2.1.7.2041-06, с. 2] и различных углеводородных производных – в воздухе [ГН 2.1.6.3492-17, с. 3-35].

Добыча нефти в промышленных масштабах ведется с конца 19 века, и в наши дни основные нефтедобывающие регионы страны пытаются найти ответ на один их самых актуальных вопросов, связанный с негативным влиянием нефтедобывающей отрасли на биосферу. Несмотря на то, что основной удар нефтяных загрязнителей и сопутствующих поллютантов испытывает почвенный покров, поражающее действие распространяется на все прочие компоненты окружающей среды, результатом чего становится дестабилизация экосистемы [Huntjens, De Poffer, Varendrecht, p. 121-124].

Но все же именно почва претерпевает наибольшие изменения. Наиболее явно видны различия в морфологических характеристиках: нефтезагрязненная почва отличается большей плотностью, изменяет цвет на более темный по сравнению с фоновыми образцами почв того же состава, наблюдается образование столбчатых структур в нижних горизонтах профиля, иногда может наблюдаться маслянистая пленка на поверхности почвенного покрова [Huntjens, De Poffer, Varendrecht, p. 123].

Подобные изменения влияют и на физические свойства почвы: появляются гидрофобные структуры, увеличивается липкость, на поверхности образовывается толстая корка. Изменения физических свойств негативно сказываются на аэрации почвы, приводят к ухудшению водного режима и водного баланса, вместе с этим нарушается транспорт питательных веществ, что наряду с морфологической деградацией приводит к угнетению роста растительных сообществ [Сулейманов, Назырова, с. 133-140].

Изменения почвенного покрова ведут к перестройкам сообществ педобионтов. Однако в этом случае, по литературным данным, «не стоит воспринимать влияние нефти на совокупность почвенных микроорганизмов исключительно как негативное, поскольку происходят одновременно процессы и стимуляции, и ингибирования». В каждой отдельной ситуации, у одних видов микроорганизмов наблюдается рост показателей жизнедеятельности, а у других, напротив, снижается активность вплоть до летального исхода [Петухова, 2014, с. 114-117]. Некоторые комплексы почвенных микроорганизмов после воздействия нефтью показывают увеличение численности и активности сразу после кратковременного ингибирования. Примером такого процесса могут выступать углеводородокисляющие микроорганизмы (УОМ), количество которых резко возрастает относительно незагрязненных почв. Развиваются «специализированные» сообщества, участвующие на разных этапах в утилизации нефти и её продуктов [Киреева, Ханисламова, Тарасенко, с 397-400].

Нефтезагрязнение оказывает поражающее воздействие и на почвенные бактерии, что отражается на снижении их биоразнообразия и численности. Кроме того, регистрируется рост патогенных видов грибов и фитотоксичных микроорганизмов, что ещё больше усиливает деструктивные процессы в почве. Подобные изменения наблюдаются и в сообществах почвенных актиномицетов, где снижение численности отмечается на ранних стадиях загрязнения [Зильберман, Порошина, Зырянова, с. 111-114].

Наряду с негативным воздействием на почвенный покров нефтепродукты и нефть являются основными загрязняющими веществами для морских и океанических вод. Основными причинами загрязнения в таких случаях становятся промышленные и бытовые комплексы мероприятий, а также морской транспорт, связанный как непосредственно с нефтедобычей, так и с другими отраслями промышленности.

При больших объемах производства часты аварии, неконтролируемый сброс продуктов отходов, жидкого балласта. Но наибольшая опасность

заключается в утечке нефти при её транспортировке по морским путям [Краснощеков, Губергриц, с. 885-889].

Так или иначе, нефтяные разливы становятся причиной сильных изменений окружающей среды, что в конечном счёте ведет к образованию ряда негативных факторов в морской экосистеме: снижается количество пелагиальных видов животных или идет уменьшение общей биомассы, иногда эти процессы протекают параллельно. Однако распределение нефтяного воздействия на ресурсы морской акватории не однородно, так как функционально водные ресурсы моря могут довольно сильно отличаться друг от друга, поэтому их зачастую подразделяют на следующие группы: территориальные (акватория), собственно водные, минерально-сырьевые, рекреационные, топливно-энергетические и биологические ресурсы [Миронов, 1973, с. 101].

Самым широко используемым ресурсом считается территориальный, потому как он по своей сути является пространством осуществления транспортной деятельности. При разливе нефти часть акватории, попавшая в зону поражения, оказывается под запретом для навигации, что подразумевает перестройку стандартных путей следования и ведет к повышенной техногенной нагрузке на незагрязненные участки акватории [Миронов, 1985, с. 41-43].

Под водными ресурсами подразумевается собственно толща воды. Данный вид ресурсов представляет среду для обитания живых организмов, регулирует распределение химических веществ, оказывает непосредственное влияние на газовый состав атмосферы, принимает участие в формировании климатических условий и циркуляции теплых и холодных течений, в дополнении к этому воды Мирового океана служат ценными ресурсами в плане содержания химических элементов (в растворенном состоянии в морской воде находится более 60 ценных элементов и ионов солей, содержащих йод, натрий, медь) [Михайлова, с. 41-42].

Стоит отметить, что источниками загрязнения вод не всегда являются антропогенные факторы. Водная среда является очень динамическим

компонентом биосферы, поэтому в ней непрерывно идут процессы загрязнения и очищения. Способность к самоочищению водных объектов обеспечивается за счёт взаимодействия гидродинамических процессов и биологического ресурса, которым является вся совокупность водных организмов. Наибольшей способностью к нейтрализации и детоксикации загрязнителей в водных экосистемах обладают микроорганизмы и бактерии, их продуктивность и репродукция увеличивается по мере усиления действия стресс-фактора как в результате естественных процессов, так и путем человеческой деятельности. Среди гидродинамических процессов в таких ситуациях наибольшую роль играет образование турбулентных потоков, которые ведут к перемешиванию водных масс, что уменьшает содержание поллютантов [Бурковский, с. 104-105].

Кроме микроорганизмов и бактерий важными составляющими биологических ресурсов являются растения и животные. Они в большей степени вовлечены в процессы антропогенной деятельности, представляя собой сырье для пищевой и медицинской промышленности. Кроме этого, как животные, так и растения водных экосистем представляют ценность при создании технической продукции. Но наиболее важная их функция заключается в регулировании устойчивости экосистем, в которых они обитают. Они в большей степени подвержены влиянию окружающей среды и могут являться индикаторами качества воды, которое может отражаться в изменении их продуктивности [Михайлова, с. 45-46].

Загрязнение нефтью и нефтепродуктами водных экосистем влечет за собой смещение экологического баланса, нарушает целостность пищевых сетей, что в итоге приводит к дестабилизации экосистем. Подобные изменения приводят к росту летальных случаев среди обитателей акватории, возрастает количество разлагающейся массы, что ведет к снижению растворенного кислорода. Недостаток такого важного химического элемента отражается на жизнедеятельности всех аэробных организмов, и равновесие в такой экосистеме становится все более шатким. Вместе с этим нефтяные загрязнители напрямую препятствуют поступлению кислорода из атмосферы в водную толщу, образуя

маслянистые пленки, обволакивают жабры рыб и кожу амфибий, нарушают нормальный газообмен в растительных тканях [Миронов, 1973, с. 122].

Таким образом, нефть в большей степени негативно влияет на все компоненты природной среды, изменяя морфология сред, их физические и химические свойства, а также напрямую нарушая жизнедеятельность организмов. В следствие взаимосвязи всех компонентов естественных экосистем между собой попадание и накопление нефти и её продуктов в какой-то определенной среде означает и её поражающее действие на другие части то или иной экосистемы в будущем.

1.3 Нефтяное загрязнение пресных вод

Пресные водоемы и водотоки представляют собой широкую гидрографическую сеть по всей территории Российской Федерации. И, как правило, объекты нефтегазодобывающей промышленности располагаются в местах с особо разветвленной структурой поверхностных вод. Подобные условия ведут к загрязнению водных объектов различными токсикантами, среди которых традиционно выделяют нефтепродукты.

Однако необходимо отметить тот факт, что ингредиентами загрязнения являются тысячи химических соединений, в том числе металлы и оксиды металлов, а также прочие поллютанты. По данным Всемирной организации здравоохранения, в практике в настоящее время используется до полумиллиона химических соединений. При этом около 40 тысяч соединений обладают весьма вредными для живых организмов свойствами, а 12 тысяч – токсичны [Экологическая экспертиза, с. 62-65]. В большинстве случаев загрязнение пресных вод остаётся невидимым, поскольку загрязнители растворены в воде. Но есть и исключения: пенящиеся моющие средства, а также плавающие на поверхности нефтепродукты и неочищенные стоки. Есть несколько природных загрязнителей. Находящиеся в земле соединения алюминия попадают в систему пресных водоёмов в результате химических реакций. Паводки вымывают из почвы лугов соединения магния, которые наносят огромный ущерб рыбным запасам.

Прямыми объектами загрязнения служат элементы экотопа: атмосфера, вода, почва. Косвенными объектами загрязнения являются составляющие биотопа, которыми являются бактерии, растения, грибы и животные.

Существует несколько возможных путей загрязнения пресных водоемов:

1) с помощью атмосферных вод, несущих массы вымываемых из воздуха поллютантов промышленного происхождения. Стекающие по склонам атмосферные и талые воды дополнительно увлекают с собой массы веществ. Особенно опасны стоки с городских улиц и промышленных площадок, несущие массы нефтепродуктов, мусора, фенолов, кислот;

2) путем городских сточных вод, включающих преимущественно бытовые стоки, содержащие моющие средства, микроорганизмы, в том числе патогенные. Ежегодно в целом по стране образуется около 100 км³ таких вод;

3) через сельскохозяйственные воды: загрязнение этими водами происходит в первую очередь потому, что для повышения плодородности земель используют разного рода химические ингредиенты, которые препятствуют появлению вредителей, сорняков и т.д. Эти вещества в итоге попадают в почву и вымываются на большие расстояния, оказываясь в водных объектах;

4) посредством промышленных сточных вод, образующихся в самых разнообразных отраслях производства, среди которых наиболее активно потребляют воду черная и цветная металлургия, химическая, лесохимическая и нефтеперерабатывающая отрасли промышленности.

Следует отметить, что загрязнение водных систем представляет более серьезную опасность, чем загрязнение атмосферы. Это связано с тем, что процесс самоочищения водной среды гораздо медленнее, чем воздушной, что в свою очередь приводит к более длительному негативному эффекту со стороны поллютанта. Кроме того, источники загрязнения водоемов более разнообразны и менее предсказуемы. А процессы, протекающие в водной среде и подвергающиеся воздействию токсикантов, более чувствительны сами по себе и имеют большее значение для обеспечения жизни на Земле, чем протекающие в атмосфере [Протасов, с. 318-321].

Как уже говорилось ранее, проблема загрязнения нефтью окружающей среды очень актуальна, поэтому вполне логично, что загрязнение пресных вод продуктами нефтедобычи также носит серьёзный характер. И тот факт, что полный контроль сбросов сточных вод современных заводов невозможен, позволяет говорить об угрозе для водных экосистем.

Основной причиной попадания углеводородов в водную среду в больших количествах является антропогенный фактор. Так они попадают либо непосредственно в ходе какой-либо деятельности, связанной с добычей этих соединений, либо постфактум, то есть в виде атмосферных осадков или «выходом» донных отложений. Кроме того, углеводороды могут поступать в водные объекты и естественным путём, но в таком случае их концентрация очень мала.

Значительная часть нефтяных загрязнителей поступает в поверхностные воды со сточными водами предприятий нефтяной промышленности, поэтому вблизи таких предприятий концентрация углеводородных продуктов особенно высока. В следствие этого нефть и нефтепродукты являются основными и наиболее опасными загрязнителями нефтяных и газовых месторождений. Их попадание в природные воды возможно в результате утечки сырья на этапе бурения и эксплуатации скважин, на стадии подготовки к транспортировке и непосредственно при транспортировке сырья и т. д.

В случае аварийного прорыва трубопроводов может разлиться от нескольких сотен до нескольких тысяч кубометров нефти. Ежегодные потери нефти составляют 1,25% от ее добычи; около 20% общих потерь нефти попадают в водоемы (в среднем 700-800 тыс. тонн в год) [Крайнова, Калимуллин, Мархасина, с. 29].

В ближайшие водные объекты нефть, излившаяся на поверхность, попадает в результате стока из водосборного бассейна с помощью поверхностного склона и подземного дренажа. Поэтому наиболее интенсивное их загрязнение наблюдается во время весеннего паводка, когда происходит таяние загрязненного снежного покрова, а также в период дождей.

Количество и состав нефти и нефтепродуктов, поступающих в водные объекты с неорганизованным стоком с территории нефтегазопромысла, как уже отмечалось ранее, в немалой степени определяется химическим составом нефти, а также физико-химическими свойствами принимающих ее первоначально почв. Наиболее высокой (наибольшей в стране) опасностью устойчивого загрязнения почв нефтепродуктами отличается Западная Сибирь и республика Саха (Якутия). Присутствие тяжелых фракций, а также серы в составе нефти, низкая самоочищающая способность природных вод этих регионов еще более усугубляет неблагоприятные условия её миграции и трансформации. Почвы как Западной Сибири, так и Якутии в районах нефтегазодобычи становятся аккумуляторами нефти и продуктов ее метаболизма на длительное время, вплоть до нескольких десятков лет [Юсфин, Леонтьев, Черноусов, с. 46-49].

Пластовые воды, добываемые с нефтью и отделяемые от них на установках комплексной подготовки нефти (УКПН), могут поступать в водные объекты, прежде всего, в составе сточных вод УКПН, а также с неорганизованным стоком при первоначальном разливе их в составе сырья на поверхность водосбора. Эти воды высокосолёные (от 1 до 50 г / л и более) содержат нефть (до 15-1000 мг / л, а иногда и до 3 г / л), различные органические вещества, связанные с нефтяными месторождениями (нафтеновые кислоты, фенолы, простые эфиры и т. Д.). В пластовых водах некоторых месторождений значительно содержание железа, H_2S , оксидов углерода, фтора, йода, бора, брома, лития, стронция и др. Показателем загрязнения водных объектов под воздействием буровых сточных вод (БСВ) может быть: появление в воде веществ, используемых в буровых растворах в качестве химических реагентов, общее увеличение содержания минеральных и органических веществ, изменение значений рН и так далее. Наибольшая вероятность загрязнения окружающей среды создается при хранении БСВ в

земляных амбарах, особенно при переполнении последних – во время таяния снега и проливных дождей.

Нефтяное загрязнение является одним из наиболее опасных и распространенных видов загрязнения. Анализ состояния загрязненности поверхностных вод в районах нефтепромыслов, в частности в Тюменской области, показал, что в пределах этих районов нефтепродукты являются самой характерной группой загрязняющих веществ, как по масштабам охвата территории, так и по степени их вклада в общую загрязненность водных ресурсов. Доля нефтепродуктов в общей сумме загрязняющих веществ в воде значительного числа рек может достигать 30- 50% и более. Устойчивое загрязнение нефтепродуктами наблюдается в воде практически всех рек и во все гидрологические периоды. Общая повторяемость случаев превышения ПДК, в воде подавляющего большинства рек достигает 90- 100%. Средняя кратность превышения ПДК – 3 – 15 ПДК, максимальная – 25- 60 ПДК и более. Специфической особенностью внутригодового распределения содержания нефтепродуктов в воде большинства рек данного региона, как и следовало ожидать, является приуроченность годового максимума концентраций к периоду весеннего половодья [Карцев, Никаноров, с. 1-3].

Рассматривая вопрос загрязнения водной среды углеводородами, необходимо кратко остановиться на материалах, характеризующих их естественное содержание в природных водах. Исследования показали, что накопление углеводородов в поверхностном слое воды может происходить в результате непосредственного синтеза, например, сульфатредуцирующими бактериями, которые используют молекулярный водород в качестве единственного источника энергии, а углекислый газ или карбонаты – в качестве источника углерода [Сапрыкина, с. 100].

Особая опасность заключается в накоплении тяжелых фракций нефти. Их формы сохраняются постоянно при любых условиях, не растворяясь в водной среде. А это уже может привести к снижению количества фильтраторов в

водоеме, что вызовет нарушение питательных цепей и сильно скажется на процессах самоочищения водоемов, что, в свою очередь, может привести к загрязнению воды органическими веществами.

Накопление стойких токсикантов планктоном, даже если они непосредственно не влияют на сами микроорганизмы, облегчает их перенос на следующие звенья пищевых цепей, например, на питание планктонных рыб. Из-за того, что происходит отравление рыбы, через неё загрязнители могут передаваться людям. При систематическом накоплении стойких токсикантов происходит кумулятивный токсикоз, который рано или поздно приводит к гибели пораженных организмов. [Филенко, Исакова с. 135-139].

Важно отметить, что разного рода фракции нефти не ограничиваются отрицательным воздействием на какой-либо определённый круг видов представителей флоры и фауны, а оказывает комплексное воздействие на все составляющие части экосистемы, что ведёт к её быстрой дестабилизации и, как итог, полной деградации.

1.4 Нефтяное загрязнение почвенного покрова

Как уже было сказано ранее, почва одной из первых ощущает на себе негативное влияние от разработки действующих месторождений нефти и газа. В ходе интенсификации производственного процесса может изменяться естественный ландшафт территории и загрязняться почвенный покров продуктами добычи и мобильными источниками выбросов. Именно эти два фактора – химическое загрязнение и механическое нарушение ландшафта – чаще всего становятся определяющими при деградации земель, которая в условиях нефтедобычи встречается практически на каждом промышленном объекте. Главным источником загрязнения почвы, как правило, являются магистральные нефтепроводы и газопроводы, где происходят прорывы труб, и транспортируемое топливо попадает в окружающую среду. Так, по литературным данным, «при одном порыве нефтепровода выбрасывается в среднем 2 т нефти, что выводит из строя 1000 га земли, а в результате аварий на

газопроводах на землю в среднем попадает не менее 2 млн. т/год нефтепродуктов» [Гриценко, Акопов, Максимов, с. 425].

При попадании нефтепродуктов и нефти в почву, в зависимости от масштаба поражения, происходит изменение её свойств: образование битуминозных солончаков, гудронизацию, цементацию и т.д. Эти изменения влекут за собой ухудшение состояния растительности и биопродуктивности земель. В результате нарушения почвенного покрова и растительности усиливаются нежелательные природные процессы: возрастает процент криогенеза, усиливается эрозия почв.

Почвенный покров является самой продуктивной частью ландшафта, именно в нем сосредоточена основная масса организмов. К сожалению, деградация почв наблюдается не только на территориях месторождений, она может происходить и по естественным причинам, однако негативное воздействие со стороны нефтегазового комплекса часто способствует ускорению таких процессов как заболачивание. Ухудшение качества почвы может быть следствием как прямого влияния антропогенного фактора путем загрязнения химическими веществами или же механическим воздействием, так и результатом действия гипергенеза. Подобные процессы ведут к обеднению биологического разнообразия почвенных обитателей и формированию неблагоприятных свойств почв.

В ходе эксплуатации и строительства месторождений происходит активное нарушение почв, так как ландшафт преобразуется в местах прокладки нефтепроводов, на обустройстве промышленных площадок, вахтовых жилищных комплексов, при бурении скважин. Вместе с тем после проведения строительных работ выполняется комплекс рекультивационных мероприятий, который также ведет к изменению качественного состава почвенного покрова и перемешиванию горизонтов, хотя комплекс такого вида работ направлен на восстановление экосистем.

Логично предположить, что последствия от механического изменения ландшафта, в частности почв, будут зависеть не только от масштабов

строительных работ и качества их проведения с точки зрения экологических норм, но и от устойчивости той или иной территории к подобного вида воздействию. Есть две основных проблемы, сопутствующие изменению или полному снятию плодородного почвенного слоя. Первая заключается в кардинальном изменении физико-химических свойств почвы, ухудшении её биологических свойств. Вторая проблема выражается в развитии негативных процессов, которые в чистых почвах либо отсутствуют, либо протекают гораздо медленнее, это в первую очередь касается эрозии почвы и заболачивания территории [Грунтоведение, с. 782-785]. Как было отмечено выше, при непосредственном изменении структуры почвенного покрова происходит перемешивание горизонтов, однако в этом случае наибольшая опасность заключается в высокой вероятности полного разрушения гумусово-аккумулятивного горизонта, что приводит к ухудшению характеристик плодородия почвы и снижению концентрации важных микроэлементов и соединений [Сидорова, Аكوпова, Немкова, с. 37]. В некоторых случаях в почвенный профиль могут попадать техногенные материалы, что приводит также и к химическому загрязнению среды.

Многообразие химических веществ, способных загрязнять почвенную составляющую биосферу велико, поэтому причины такого воздействия можно классифицировать в соответствии с особенностями видов деятельности добывающего комплекса следующим образом [Панов, Петряшин, Лысяный, с. 86]:

1) непосредственно в местах добычи: попадание в почву шламовых материалов, оседание продуктов сгорания, самовозгорание топливных элементов, фонтанирование нефти, выход подземных вод в ходе бурения и разлив пластовых вод, включение в почвенный покров металлического мусора.;

2) при транспортировке продуктов добычи: прорыв нефтепроводов и газопроводов, попадание горюче-смазочных материалов в окружающую среду, разлив топлива, используемого при транспортировке автомобильным транспортом, образование битумов;

3) в условиях перерабатывающих предприятий и комплексов: утечка продуктов переработки и высоко реактивных химических веществ, участвующих в процессах переработки, диффузия газовых агрегатов.

В соответствии с литературными источниками, в 90-е годы на территории ХМАО–Югры имелось более 40000 га нефтезагрязненных земель [Гашев, 2000, с. 70-78]. Площадь загрязненных нефтью земель достигла к началу 2014 г. 800 км² [Голубчиков, с. 46-53]. Результаты наземного картирования загрязнения нефтью на территориях многих месторождений показали, что основными причинами попадания нефти в почву являются аварии разной степени опасности: порывы коллекторов системы нефтесбора, утечки из шламовых амбаров через нарушенную обваловку, разбрызгивание и разливание при поломке задвижек, разбрызгивание при фонтанировании с факелов, утечки с кустовых и производственных площадок различных технологических установок.

Наибольшее число зарегистрированных разливов нефти происходит при порывах нефтепроводов. Причины аварий в системе транспортировки нефти подразделяют на четыре группы: 1) произошедшие в результате коррозии; 2) механические повреждения (наезды транспорта); 3) строительный или производственный брак, дефект металла; 4) прочие. Анализ материалов экологических служб нефтегазодобывающего управления по отказам (порывам) показал, что в среднем 96 аварий из 100 обусловлены коррозией труб.

В почвах нефть и нефтепродукты могут находиться в следующих состояниях [Сборник методик..., с. 105-109]: 1) в пористой среде — в парообразном и жидком легкоподвижном состоянии, в свободной или растворенной водной или водно-эмульсионной фазе; 2) в пористой среде и трещинах — в свободном неподвижном состоянии, играя роль вязкого или твердого цемента между частицами и агрегатами почвы, в сорбированном состоянии, связанном на частицах горной породы или грунта, в том числе — его гумусовой составляющей; 3) в поверхностном слое почвы или грунта в виде плотной органоминеральной массы. Как свободные, так и малоподвижные

связанные формы нефтепродуктов отдают летучие фракции в атмосферу, а растворимые соединения — в воду. Со временем этот процесс видоизменяется, так как микробиологические трансформации углеводородов частично приводят к образованию летучих и водорастворимых нефтепродуктов, образовавшихся в ходе метаболизма [Сборник методик ..., с. 123].

Различают три степени загрязнения почв: слабая — с концентрациями нефти в лесной подстилке или верхнем 10-сантиметровом слое торфа до 10% по массе, средняя — 10–40% и сильная — более 40%. Слабая степень загрязнения, как правило, образуется при фонтанировании с разорванных коллекторов либо старых разливах первоначально средней степени загрязнения. Разливы средней степени чаще всего представляют собой окраины разливов сильной степени.

Согласно хронологическому принципу загрязненные участки делятся на очень свежие — до 1 года с момента аварии, свежие — 1–3 года и старые — более 3 лет. К первой и второй группам относятся и старые, повторно загрязняемые участки. По площади загрязнения обычно выделяются мелкие разливы — до 0,1 га, средние — от 0,1 до 1 га и крупные — более 1 га.

При попадании нефти и нефтепродуктов изменяется весь комплекс свойств почвы, характеризующих ее плодородие: ухудшаются физические свойства, изменяется почвенный поглотительный комплекс, резко снижается содержание подвижных соединений азота и фосфора, развиваются процессы засоления. В загрязненных почвенных горизонтах уменьшается кислотность почвенного раствора, за счет компонентов нефти происходит увеличение концентрации органических веществ. Интенсивность окислительно-восстановительных ферментативных процессов также резко меняется [Бузмаков, Костарев, с. 111]. Попадая в грунт, легкие фракции нефтепродуктов проникают вниз по профилю, заполняя капилляры, микропоры и трещины, что создает анаэробный режим, а почвы становятся водонепроницаемыми.

Густые фракции накапливаются на поверхности почвы и создают прочные, толстые корки [Микрофлора черноземных почв..., с. 11-12]. Содержание твердых метановых углеводородов (парафинов) в нефти — очень

важная характеристика при изучении нефтяных разливов на почвах. Твердые парафины не оказывают негативного влияния на живые организмы, однако из-за специфики своих физических свойств в условиях земной поверхности он переходит в твердое состояние, что ведет к увеличению тягучести нефти, снижая её подвижность. Частицы почв начинают слипаться, и спустя время, в результате частичного окисления компонентов нефти почвенный покров образует массу, напоминающую асфальт, абсолютно непригодную для жизнедеятельности как растений, так и животных. Ухудшается структура почвы, реакция почвенного раствора сдвигается в щелочную сторону, происходит повышение общего содержания углерода в 2-10 раз, а количество углеводородов – в 10-100 раз. Все эти факторы, как уже отмечалось ранее, ведут к значительным изменениям в общей численности и биоразнообразии педобионтов [Панов, Петряшин, Лысяный, с. 131].

Изменения перегнойных свойств почвенного покрова происходит в результате смешения почв с нефтью и нефтепродуктами. В данном случае можно выделить снижение относительного содержания гуминовых кислот и фульвокислот и рост негидролизованного остатка в составе почв. В связи с этим содержание органического вещества в расчете на общий углерод и гумус увеличивается, что является признаком наличия нефтепродуктов, основным компонентом которых является углерод. Значимым фактором их самоочищения в почвах считается миграция углеводородов. Рассеяние углеводородов происходит в двух направлениях – радиальном (вертикальный сток) и латеральном (плоскостной сток). Концентрация углеводородов в почвах при этом может значительно уменьшиться, что приблизит их полное разложение [Геннадиев, Пиковский, с. 80-92].

Как уже отмечалось ранее, нефть представляет собой многокомпонентную структуру слабой степени однородности, поэтому её влияние на почву и трансформация в биосфере будут зависеть от наличия и соотношения в её составе легкой фракции нефти, циклических углеводородов, твердых парафинов, смол, асфальтенов и серы [Середин, с. 53].

В итоге, при попадании в почвенный покров нефти и нефтепродуктов происходит внедрение большого количества химических соединений, дезорганизующих естественный экологический баланс в биогеоценозах. К этому ведет множество факторов, главными из которых являются нарушение водного баланса почв, изменение в соотношении поступающего кислорода, появление новых структур в почвенном профиле, ухудшение физических свойств и вместе с этим диффузной проницаемости почвы, а также внедрение химически вредных веществ [Салангинас, с. 290].

Таким образом, негативное влияние на почвы нефтегазодобывающих районов оказывают как жидкие, так и твердые и газообразные вещества. Среди твердых поллютантов чаще прочих распространены шламовые отходы, металлическая пыль и серосодержащие реагенты. Жидкие загрязнители представлены в основном нефтью и сопутствующими её добыче веществами: буровыми растворами, пластовыми водами, химическими реагентами. Среди аэрозольных загрязнителей лидирует природный газ, добываемый из недр, чуть меньше процент промышленных выбросов и выхлопов специальной техники. Определить характер химического загрязнения почв бывает затруднительно в связи с многокомпонентным составом большинства поллютантов, особенно если речь идет об углеродсодержащих соединениях, для которых нет норм предельно-допустимых концентраций, поэтому в таких случаях следует особое внимание уделять изменению обменных и плодородных свойств почвы, а также изменению её биологической активности, так как ухудшение данных признаков явно указывает на степень деградации почвенного покрова [Бурмистрова, Алексеева, Перфильева, с. 69-72].

1.5 Влияние токсических веществ на жизненно важные показатели живых организмов

На современном этапе развития большинство используемых в производстве химических соединений являются искусственно синтезированными, а потому не могут быть обнаружены в естественных условиях [Жмур, с. 33].

Разнообразие химических веществ порождает бесчисленное количество вариантов токсического воздействия на те или иные системы живых организмов. По характеру влияния соединения можно разделить на следующие группы: общетоксического действия, раздражающие, вызывающие аллергические реакции, опухолеобразующие, мутагенные и снижающие способность к размножению [Куценко, с. 340].

К общетоксическим веществам принято относить соединения, нарушающие работу всех основных систем живого организма, поражая главным образом центральную нервную систему. К таким веществам относятся нефтепродукты, состоящие из предельных углеводородов, соли тяжелых металлов, угарный газ.

Вещества-раздражители в свою очередь оказывают непосредственное влияние на систему газообмена и слизистые оболочки, если они присутствуют в строении организма. Они представлены газообразными веществами: диоксидами серы и азота, парами аммиака.

Соединения, вызывающие аллергические реакции могут быть абсолютно разной химической природы, но чаще других такими оказываются органические красители и тяжелые металлы.

Веществами, приводящим к появлению злокачественных новообразований, иными словами канцерогенами являются ароматические предельные и непредельные углеводороды, азотсодержащие соединения, в том числе амины. Однако их влияние не всегда можно определить, так как процесс образования опухолей может протекать через длительное время после воздействия канцерогенного вещества.

К мутагенным соединениям можно отнести уже названные выше углеводороды и соединения тяжелых металлов, бенз(а)пирен, этиленовые радикалы. При этом мутации могут возникать как в соматических, так и половых клетках, а их влияние может проявиться по прошествии большого периода времени от возникновения, либо же оказать негативное воздействие на смежные структуры, отражаясь на жизнедеятельности всего организма. Кроме

того, мутации в половых клетках могут приводить к недееспособному потомству.

Говоря о репродуктивной способности организмов, стоит отметить, что на её функциональность наибольшее влияние оказывают большинство химических соединений, в особенности неорганические кислоты и слабые основания. Негативное воздействие заключается в возрастании случаев появления потомства с пороками развития [Головенко, с. 129].

Если говорить в целом о токсическом действии поллютантов на растительные или животные организмы, то в каждом конкретном случае степень поражения будет зависеть от совокупности таких факторов, как физико-химические свойства загрязнителя, доза этого соединения, период влияние на организм и индивидуальная резистентность конкретной особи.

По своему происхождению химические вещества можно совершенно определенно разделить на те, что встречаются в окружающей среде, синтезируются живыми организмами или являются неотъемлемой составляющей природы и ксенобиотики – искусственно созданные соединения. Несмотря на то, что и ксенобиотики, и естественные соединения состоят из одних и тех же химических элементов, организация их пространственных структур сильно отличается. Природные соединения могут оказывать негативное влияние на организмы, к таким веществам относятся продукты перекисного окисления липидов, углеводороды, перекиси. Однако являясь частью естественных экосистем, они поддерживают экологический баланс и не могут быть точно определены как стресс-факторы.

Когда же мы говорим о таких соединениях, как гербициды, буровые смеси, инсектициды и других искусственно созданных веществах, то чаще всего подразумеваем их использование для преобразования окружающей среды в соответствии с нуждами человека. Некоторые из подобных соединений созданы специально для регуляции численности каких-либо видов организмов, что само по себе подразумевает тщательный контроль при их применении. Но большинство ксенобиотиков, как уже было отмечено ранее, само по себе

является негативным фактором для любого живого организма, а потому влияние таких соединений на биоту нуждается в подробном изучении [Мелехова, с. 257].

Важно отметить следующее – среди соединений естественного происхождения нет токсичных веществ, хоть и существуют высокие концентрации, которые и могут оказывать поражающее действие, о подобном явлении говорил А.П. Виноградов и В.И. Вернадский в своих трудах [Мисейко, Безматерных, Тушкова, с. 64-68]. Поэтому важно при определении токсичности того или иного вещества указывать концентрацию, так как известны случаи положительного воздействия сверхмалых доз на исследуемый организм.

В работах, освещающих токсическое воздействие веществ на зоопланктон, было показано, что существует несколько путей поступления поллютанта в организм: напрямую, то есть путем попадания в ходе фильтрации и всасывания через покровы тела и косвенно, а именно при поглощении фитопланктона и более мелких бактерий, которые аккумулировали данные химические вещества. При поступлении в организм, в зависимости от природы токсиканта, может происходить как накопление данного соединения, что в дальнейшем приведет к ухудшению жизненно важных функций организма, так и его детоксикации и выведению продуктов распада [Брагинский, Линник, с. 92-104].

Острое отравление загрязнителем приводит к летальному исходу, в противном случае происходит накопление токсиканта в организме, и в этом случае возможны два основных сценария развития: развитие хронической интоксикации или аккумуляция в гонадах с последующей реализацией в следующих поколениях. Хроническое действие токсиканта может выражаться в общем снижении активности микроорганизма, которое будет выражаться в снижении частоты сердечных сокращений, интенсивности и ритмичности двигательной активности. Также может наблюдаться изменчивость поведенческих реакций. В то время, как накопление поллютантов в органах размножения будет отражаться непосредственно на потомстве, определяя его

устойчивость к факторам среды, способность к репродукции и количество мутантных особей [Черкашин, с. 35-37].

Иными словами, длительное или особо сильное воздействие стресс-фактора на планктон приведет к снижению их количества и видового разнообразия, дальнейшему засорению органическими веществами, что поставит под удар всю стабильность водной экосистемы, в которой они обитают.

Как правило, при действии загрязнителя четко прослеживаются четыре фазы реакции на раздражитель: безразличие, стимуляция, депрессия и летальный исход [Строганов, с. 211].

Важно отметить, что первая фаза, ассоциируемая с безразличием, по факту таковой не является. Обычно в этот период времени происходят внутриклеточные изменения, которые медленно накапливаются в разных структурах организма. После наступает фаза стимуляции, при которой уровень жизнедеятельности повышается – это первый ответ организма на действие стресс-фактора, защитная система организма в таком случае начинает более активно продуцировать антиоксиданты. Однако при длительном действии или высоких концентрациях загрязнителя происходит постепенное снижение функциональности организма, что характеризуется депрессионной фазой. Если поражающее действие токсиканта не удаётся нейтрализовать, это приводит к летальному исходу [Строганов, с. 212-216].

Степень токсичности вещества или соединения по отношению к организму определяется не только его природой, но и изменениями факторов окружающей среды в совокупности с физиологическими особенностями конкретной особи [Лебедева, с. 193].

К примеру, некоторые представители жаброногих ракообразных более интенсивно аккумулируют загрязнители на ранних стадиях онтогенеза, что связано в первую очередь с высокой скоростью роста организма и увеличенным потреблением пищи.

Резистентность к действию токсикантов у водных организмов напрямую зависит от степени потребления кислорода, которая в свою очередь определяется не только видовыми особенностями, но и условиями среды. Чем интенсивнее происходит газообмен, тем более чувствительны оказываются организмы к действию стресс-фактора [Черкашин, с. 36].

Переходя к влиянию условий окружающей среды на устойчивость ветвистоусых рачков к токсиканту следует отметить, что наибольшее значение имеет степень освещенности и температурный режим. Так интенсивное освещение и более высокие температуры стимулируют обмен веществ у ракообразных, что ведет к увеличению поступления поллютанта из внешней среды, а температуры в пределах 5-10 °С, напротив, повышает порог устойчивости у данных животных [Флеров, с. 76].

Таким образом, влияние различных токсикантов на организмы определяется несколькими факторами, среди которых основными являются химический состав веществ, индивидуальная сопротивляемость негативным факторам конкретного организма и условия среды, которые определяют способность биоты к оптимальной жизнедеятельности.

1.6 Влияние нефтепродуктов на животных

Экологические последствия нефтеразливов трудно учесть, поскольку загрязнение нефтью, накапливаясь в биомассе, нарушает многие естественные процессы и взаимосвязи, что приводит к существенному изменению условий обитания всех видов живых организмов.

Нефть представляет собой продукт длительного распада, она очень быстро покрывает поверхность вод плотным слоем масляной пленки, что предотвращает доступ водных обитателей к воздуху и свету. Попадая в организм, нефть может вызвать ряд тяжелых нарушений: желудочно-кишечные кровотечения, почечную недостаточность, интоксикацию печени, нарушение кровяного давления. Вдыхая пары от испарений нефти, млекопитающие, находящиеся около или в непосредственной близости с большими разливами нефти, получают серьезную нагрузку на дыхательную систему.

Нефтепродукты оказывают внешнее воздействие на птиц, которые вынуждены изменять привычный прием пищи, среду обитания, к тому же происходит загрязнение отложенных яиц. Внешнее загрязнение нефтью разрушает оперение, спутывает перья, вызывает раздражение глаз. Птицы заглатывают нефть, когда чистят клювом перья, пьют, употребляют загрязненную пищу и дышат испарениями. Заглатывание нефти редко приводит к непосредственной гибели птиц, однако попадание нефтепродуктов в организм может привести к нарушениям обмена веществ, что отразится на устойчивости их иммунной системы и поведенческих реакциях. Птичьи яйца чрезвычайно чувствительны к действию нефтяного фактора. Даже малых концентраций некоторых фракций нефти может оказаться достаточным для гибели в инкубационный период. Кроме того, стоит сказать, что нефть не только моментально влияет на жизнедеятельность организма, но и может оказывать длительное воздействие, аккумулируясь в организме животных. Испарения от нефти, нехватка пищи и мероприятия по очистке могут сократить популяцию, обитавшую на пострадавшем участке. Сильно загрязненные нефтью сырые участки, приливо-отливные илистые низины способны изменить биоценоз на долгие годы [Assessment of soil..., p. 26-31].

О влиянии разливов нефти на млекопитающих собрано значительно меньше данных, чем на птиц. Морские млекопитающие, которые в основном отличаются наличием меха, такие как морские выдры, полярные медведи, тюлени и новорожденные морские котики погибают от нефтеразливов чаще других групп млекопитающих. Загрязненный нефтью мех спутывается и теряет способность удерживать тепло и ограничивать попадание воды под шерстяной покров. Взрослые морские львы, тюлени и китообразные отличаются наличием жирового слоя, на который нефть также влияет, изменяя структуру его компонентов и усиливая расход тепла. Кроме того, нефть может вызвать раздражение кожи и глаз, препятствовать нормальной способности к плаванию [General guidelines..., p. 44-46].

Наиболее основательно влияние нефтяного загрязнения на популяционные, морфометрические и физиологические характеристики позвоночных животных, в частности мелких млекопитающих таежных экосистем Тюменской области изучено С. Н. Гашевым [Гашев, 2000, с. 85-94]. Им было установлено, что отличия в годовой динамике численности зверьков с загрязненной территории в сравнении с контролем не наблюдаются, хотя уменьшение емкости среды загрязненных участков несколько «сглаживает» популяционные циклы численности. Относительное обилие мелких млекопитающих зависит от концентрации нефтепродуктов в почве. Это основывается на том, что между общей проекцией живого растительного напочвенного покрова и относительным обилием грызунов существует прочная взаимосвязь. Еще более тесная связь существует между общим обилием видов отряда Насекомоядные и численностью почвенной мезофауны: индекс видового разнообразия Шеннона на 11,8% больше в контроле, чем на загрязненной территории, при этом индекс выравненности Пиелу на загрязненной территории составляет 94,1% от контроля. Отмечено появление на загрязненных участках синантропных видов, которые отсутствовали в контроле, что может быть следствием общего антропогенного изменения ландшафта. Доминирующими видами практически во всех исследованных загрязненных биотопах являются красная полевка среди грызунов и обыкновенная бурозубка среди насекомоядных. При этом наибольшую чувствительность демонстрировали насекомоядные виды, так как они являлись консументами более высокого порядка, нежели грызуны, и испытывали более сильный негативный эффект нефтяного загрязнения [Гашев, 2000, с. 123-130]. Необходимо также учесть, что нефть в своем составе содержит разного рода микроэлементы и тяжелые металлы, поэтому велика вероятность миграции и накопления этих веществ по трофическим цепям экосистем.

Чтобы оценить реакцию животных на загрязнение нефтью, можно использовать почвенных беспозвоночных, так как среда их обитания при разливах нефти трансформируется в большей степени, чем среды обитания

других групп животных. Бабкина В.Л. [Доклад 295 Второй ..., с. 80-82], изучая сообщества панцирных клещей болотных и лесных мест обитания, определила, что после разлива нефтепродуктов они испытывают угнетение, усиливающееся с течением времени, на что указывает сравнение количества видов, показателей разнообразия и доли ювенильных личиночных стадий. На участках, подвергшихся наиболее сильному воздействию, даже спустя 30 лет популяция панцирных клещей не восстановилась. На участках, подвергшихся частичному загрязнению, формируются угнетенные сообщества, с обедненным видовым разнообразием.

Наибольшую лояльность, даже некоторое увеличение численности в малых концентрациях нефти проявляют дождевые черви. Многоножки, пауки и насекомые образуют группу существ, сходных по силе ответных реакций и представляют собой относительно устойчивых организмов. Наиболее чувствительными являются моллюски. Однако на участках с нефтяным загрязнением более 20% ни дождевые черви, ни моллюски обнаружены не были, так как эти концентрации для них предельны. Наибольшую устойчивость проявляют хилоподы, они же губоногие.

Среди наиболее многочисленных отрядов насекомых все имеют сходную устойчивость к слабой степени загрязнения нефтью, при средней степени большую резистентность проявляют имаго и личинки жуков, а при сильной чаще выживают личинки двукрылых.

Загрязнение нефтепродуктами приводит не только к резкому снижению численности, но и к значительному обеднению группового состава мезофауны, так как в почве обитают такие малоустойчивые группы, как почвенные моллюски, гусеницы совок, червецы, личинки мягкотелок, проволочники и долгоносики. На загрязненных участках иногда выявляется смещение возрастных и размерных структур отдельных популяций. Например, для коротконадкрылых жуков отмечено возрастание доли имаго на нефтеразливах на 48% по сравнению с контролем. У пауков в аналогичной ситуации средняя

масса одной особи значительно превосходит данный показатель на чистых участках.

Нефть и нефтепродукты дестабилизируют экологическое состояние почвенных покровов и в целом деформируют структуру биоценозов. Почвенные бактерии, а также беспозвоночные почвенные микроорганизмы и животные становятся не способны качественно выполнять свои важнейшие функции в результате интоксикации легкими нефтяными фракциями. Возвращаясь к малощетинковым червям, которые являются важной частью почвенного компонента и встречаются во всем мире, практически во всех типах почв, необходимо отметить, что загрязнение отрицательно влияет на их рост и развитие. В местах, где содержание нефти более 1 % черви начинают терять в весе и легко поддаются разрыву, что связано с атрофией мускулатуры червей под воздействием нефти на эпителий. В почвах с низкой концентрацией нефти, не более 0,8 %, черви способны размножаться, но серьезное загрязнение почвы препятствует нормальной репродукции [Соромотин, с. 69]. Это, по факту, и приводит к резкому сокращению численности и существенному обеднению группового состава мезофауны из-за таких малоустойчивых групп живых организмов [Экологическое состояние континентальных водоемов..., с. 44]. И если при низких концентрациях нефти, некоторые группы организмов испытывают стимулирующий эффект, позволяющий им занять доминантные ниши в сообществе, то при среднем загрязнении нефтью формируются угнетенные сообщества с низким биоразнообразием и репродуктивным потенциалом, а высокие концентрации нефтепродуктов приводят к полному исчезновению целых видов биоценоза, что отражается на стабильности всей экосистемы. Кроме того, угнетение сообществ после разлива нефтепродуктов усиливается со временем, так как сложный химический состав нефти содержит компоненты, способные оседать в тканях живых организмов, накапливаясь и нарушая обменные процессы всего организма [Кузнецова, 2001, с. 123-124].

Когда нефть и её продукты попадают в водные экосистемы, они оказывают губительное воздействие, в первую очередь, на донные

микроорганизмы, так как они более чувствительны к действию токсикантов, чем более крупные обитатели водоёмов. Также сильный негативный эффект от нефтяного стресс-фактора испытывают беспозвоночные микроорганизмы-фильтраторы, обитающие в толще воды. Депрессивное влияние нефтепродуктов отражается на жизненно-важных показателях активности водных обитателей.

В частности, у инфузории туфельки (*Paramecium sp.*) при возрастании концентрации нефти отмечается гибель только части наиболее чувствительных особей. Нефть продолжала оказывать негативное влияние на особей парамеций на протяжении 40 поколений после воздействия, выражаясь в снижении жизнеспособности организмов и изменения интенсивности проявления их поведенческих реакций. Продолжительное угнетение организмов после контакта со средой, содержащей нефть и нефтепродукты, показывает, насколько высока опасность подобного загрязнения для генотипа [Брень, с. 75-76].

Исследования генетических изменений Мидии черноморской (*Mytilus galloprovincialis*) при действии эмульгированной нефти показали, что при действии концентрацией 1 мл/л в течение двух суток у мидий, выловленных в Севастопольской бухте, были обнаружены изменения в содержании свободных нуклеотидов на 39% от нормы. В РНК выявлены на 29% новых последовательностей, в ДНК – около 62%. Кроме того, было показано, что воздействие нефти ведет к увеличению содержания всех групп нуклеотидов: цитидиловых – на 81%, адениловых – на 47%, гуаниловых – на 34% и уридилиловых – на 16%. При этом процентное соотношение пуриновых и пиримидиновых нуклеотидов оставалось неизменным [Бурковский, 56].

Изучали хронические эффекты действия водорастворимой фракции сырой нефти на выживаемость, движение и поиск пищи бокоплавом (*Amphipoda*). В первые недели эксперимента реакции поиска пищи угнетались, однако со временем возвращались к нормальным значениям [Бурковский, 78]. Двигательная активность зависела от концентрации нефти в первые 5-10 суток.

При воздействии сырой и топливной нефти на взрослых особей бокоплава был обнаружен ряд сублетальных эффектов: снижение активности, ослабление ответной реакции на свет и угнетение репродуктивных способностей. Личинки бокоплавов, как и многих других исследованных беспозвоночных, оказались более чувствительными к нефтяному загрязнению, что обуславливается активными процессами роста и развития организмов на этой стадии онтогенеза. При длительном воздействии нефти и нефтепродуктов рост личинок замедляется [Бурковский, 83].

Опыты с поведением Дафнии обыкновенной (*Daphnia pulex*) при действии нефти и нефтепродуктов показало, что в мелких водоемах, которые подверглись действию негативного фактора, рачки образуют стаи в местах накопления поллютантов. В период роста и развития с возрастанием степени загрязнения увеличивается число эфиппальных самок. В растворах с летальными концентрациями водорастворимой фракции нефти, от 10,0 мг/л до 20,0 мг/л, наблюдаются характерные признаки острого отравления: скучивание, полное подавление двигательных рефлексов, отсутствие молодых особей, 100%-ная гибель в течение 2-4 суток [Брень, с. 75-76].

В исследовании, проведенном Петуховой Г.А. и соавторами [Артеменко, Петухова, с. 28-29], было изучено влияние поверхностных вод из районов нефтедобычи на животных. В экспериментах использовали воду из р. Елыково. Анализировали выживаемость дафний *Daphnia magna* и инфузорий *Paramecium caudatum*. Эксперимент проводили в течение 7 дней. По результатам исследования было выявлено снижение выживаемости под действием нефтезагрязненной пробы воды.

Также были проведены исследования Шашковой Т.Л. и соавторами влияния разных фракций бензина на *Daphnia magna*, где была показана зависимость выживаемости от концентрации нефти и её октанового числа [Шашкова, Григорьев, Березина, с. 81-85].

1.7 Влияние нефтепродуктов на растительные организмы

Растительность считается одним из наиболее чувствительных и легко разрушаемых биотических компонентов экосистем, и ее состояние может служить наиболее информативным индикатором последствий как прямого, так и косвенного техногенного воздействия. По мнению А. А. Тишковой [Тишкова, с. 203], газовая и нефтяная отрасли промышленности наряду с цветной металлургией, угольной и торфяной отраслями являются «лидерами» среди отраслей, оказывающих негативное воздействие на флору: газовая — на 76 000 га и нефтяная — на 72 000 га.

В нефтяной промышленности наиболее опасные для окружающей среды аварии сопровождаются выбросами большого количества нефти в результате бурения или повреждения нефтепроводов. Высокие концентрации нефти оказывают ингибирующее воздействие на рост и развитие растений. На организменном уровне отрицательный эффект нефти проявляется в морфологических и физиологических нарушениях в отдельных растениях [Московченко, с. 27-28]. Под влиянием углеводородов растительный покров начинает отмирать: замедляется рост растений, отмечается хлороз и тенденция к обезвоживанию, нарушаются функции фотосинтеза и дыхания, изменяется структура хлоропластов [Барабой, с. 923-932].

Известно, что начало усыхания отдельных деревьев основных видов отдела Хвойные происходит уже при слабой степени загрязнения – до 10% сухого веса. В случае высокой степени загрязнения, более 40%, свыше половины жизнеспособного древостоя погибает уже в течение первого года после нефтеразлива, тогда как при слабой и средней степени загрязнения этот процесс может продолжаться несколько лет.

Нефтяное загрязнение приводит к уменьшению первичной продуктивности экосистем: при средней степени загрязнения величина текущего прироста по диаметру снижается в среднем на треть у всех хвойных. Изменение текущего прироста в высоту у отдельных видов устойчиво коррелирует с возрастанием концентрации нефти в почве, где высокое

содержание нефтепродуктов тормозит рост растительных организмов, а низкие концентрации могут даже производить стимулирующий эффект.

Судьба лесного биоценоза во многом определяется состоянием естественного возобновления основных видов древесных растений, которое характеризуется количеством и долей жизнеспособного подроста. Процент жизнеспособного подроста при увеличении загрязнения почвы нефтью устойчиво снижается, а степень реакции подроста отдельных видов различна. Следует отметить, что сохранность подроста во многом обеспечивается растениями, давшими прикорневую поросль, в то время как главный побег их либо погибает, либо находится в угнетенном состоянии.

Отмечено, что травянистые растения более чувствительны к нефтезагрязнению, чем древесные: при уменьшении покрытия почвы живым напочвенным покровом на 50% сохранность подроста сосны сибирской снижается лишь на 20% [Гашев, 2000, с. 105]. Реакция растений на нефть носит видоспецифичный характер, например, лиственные породы древесных растений по сравнению с хвойными представителями флоры, в целом, более устойчивы к нефтяному загрязнению.

Среди видов, образующих напочвенный покров, выделяют три группы растений, имеющих разную устойчивость к загрязнению нефтью: к первой относятся злаки, осоки и ситниковые, ко второй – мхи, а третью составляет таежное разнотравье. С увеличением концентрации нефтепродуктов в почве доля первой группы в общей проекции живого напочвенного покрова увеличивается, второй – уменьшается, третьей – остается приблизительно постоянной [Гашев, 2000, с. 154].

Среди травянистых форм более чувствительными являются однолетние растения, корневая система которых поверхностная, а запас питательных веществ не рассчитан на длительный период жизнедеятельности. Более стойкими к загрязнению считаются травянистые многолетние растения, характеризующиеся розеточными побегами, с большим запасом питательных

веществ, имеющие специальные морфологические приспособления для существования в экстремальной среде [Арустамов, с. 67].

Малые концентрации нефти с низкой степенью вязкости проникают через устьичный аппарат растений, легко распространяются в межклеточном пространстве, особенно быстро нанося вред растениям, у которых устьица открыты. Большинство углеводородов, проникая в листья и стебли растений, приводят к нарушению строения межклеточных мембран, влияя на процессы, связанные с обменом веществ [Петухова, 2008, с. 26].

Также под действием малых доз сырой нефти снижается флористическое разнообразие и биомасса. Наблюдается исчезновение видов в популяции, уменьшается число экземпляров растений, сокращается период вегетации, происходит формирование аномалий в морфологии растений [Немерешина, Гусев, с. 123-126].

По данным исследований Ф.М. Кузнецова [Рекультивация нефтезагрязненных почв, с. 47] у растений, подвергающихся действию нефти, подавлялся рост подземных органов, останавливалось начало цветения и снижалась способность к увеличению биомассы. Нарушение процесса фотосинтеза и структуры хлоропластов растений при влиянии углеводородов фиксируется как на клеточном, так и физиологическом уровнях: происходят повреждения мембран хлоропластов, митохондрий, мембран клеток корня. В растениях, вегетирующих на почве, загрязненной нефтью, отмечается намного больше веществ, участвующих в подавлении стресса, чем в растительных организмах с условно чистых почв [Чупахина, Масленников, с. 330-335].

Восстановление растительности при разливах нефти происходит очень медленно и зависит от начального уровня загрязнения, лесорастительных условий и биологических характеристик растений. Результаты исследований А.А. Зубайдуллина [Зубайдуллин, с. 23-26] также говорят об очень медленной скорости самовосстановления фитоценозов на участках верховых болот и суходолов, которые загрязнены нефтью, этот процесс может продолжаться десятилетиями. Стоит отметить, что в таких случаях начальные этапы

сукцессий на нефтезагрязненных участках происходят с участием растительности, устойчивой к низкому содержанию свободного кислорода в почве [Ильина, с. 122-129].

Наиболее толерантными к нефтяному загрязнению считаются гидрофильные растения, что определяет лучшее сохранение первоначальной растительности и ее более быстрое восстановление на околородных участках и болотных угодьях [Ильина, с. 201-205].

При этом нефть оказывает негативное влияние не только в вегетационный период жизни растения, она также воздействует на процессы прорастания семян, рост и развитие проростков растений.

В исследовании Ю.С. Глязнецовой [Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель, с. 59-63] была показана зависимость всхожести семян и скорости роста побега от концентрации нефти: так, при 5% содержании нефть оказывала стимулирующее действие на рассматриваемые показатели, тогда как 10% концентрация уже приводила к сильному негативному эффекту, что выражалось в плохой всхожести семян и низкой скорости роста побегов.

Нефтяные углеводороды оказывают повреждающее действие на клеточные мембраны, образуются свободные формы кислорода, которые участвуют в процессе разрушения липидов – перекисном окислении [Петухова, 2007, с. 301]. К главным продуктам перекисного окисления липидов (ПОЛ) обычно относят диеновые конъюгаты, малоновый диальдегид и основания Шиффа. Известно, что при нормальных условиях среды в ходе обменных процессов клетки постоянно поддерживается определенный уровень ПОЛ, обусловленный образованием активных форм кислорода. Физиологическая норма перекисного окисления липидов в клетке поддерживается благодаря многоуровневой антиоксидантной системе защиты. Поэтому сбалансированность между обеими частями этой системы: перекисным окислением с одной стороны и антиоксидантной активностью – с другой,

является обязательным условием для поддержания нормальной жизнедеятельности клетки [Anbar, Neta, p. 508].

Перекисное окисление липидов – довольно сложный процесс, происходящий в тканях и клетках растений. Он включает в себя активацию и деградацию липидных радикалов, встраивание в липиды активного молекулярного кислорода, преобразование двойных связей в полиненасыщенных ацилах липидов. В итоге наблюдается разрушение мембранных липидов и биомембран.

При этом ПОЛ является одним из наиболее возможных составляющих первичной реакции на неблагоприятные условия [Осипова, Петухова, Перекупка, с. 45]. Образование активных форм кислорода определяет особый уровень перекисного окисления липидов при оптимальных условиях жизнедеятельности клетки. Процесс ПОЛ в клетке поддерживается на постоянном уровне благодаря многокомпонентной антиоксидантной системе защиты [Frankel, p. 84-87]. Принимая во внимание сохранение прооксидантно-антиоксидантного баланса в ходе жизнедеятельности растительного организма, можно говорить, что его нарушение сигнализирует о наличии стресса. Являясь одним из первых неспецифических звеньев в развитии стресс-реакции, смещение прооксидантно-антиоксидантного равновесия может служить тем биологически важным изменением внутренней среды клетки, которое запускает другие механизмы защиты. Диеновые конъюгаты и основания Шиффа могут считаться как индукторами, так и первичными медиаторами стресса, который может привести к увеличению её резистентности, которая ведет к тому, что в растительных клетках начинает активнее происходить процесс образования активных форм кислорода на сопрягающих мембранах хлоропластов и митохондрий [Владимиров, Арчаков, с. 215].

Одним из компонентов антиоксидантной системы являются фенольные соединения, проявляющие адаптогенное и стимулирующее действие. Кроме того, они участвуют в самых различных физиологических процессах: фотосинтезе, дыхании, росте и, соответственно, защитных реакциях

растительного организма [Медведев, с. 117]. К классу фенольных соединений относятся флавоноиды, выполняющие защитные функции. Флавоноиды – восстанавливающие агенты, и вместе с другими природными соединениями (каротиноиды, аскорбиновая кислота) способны ограждать клетки от негативного действия свободных форм кислорода [Загоскина, с. 300-302].

Флавоноиды встречаются в составе в подавляющем большинстве высших растений, в то время как организмы споровых растений практически не содержат данных соединений. Как уже отмечалось ранее, флавоноиды обладают антиоксидантными свойствами, которые, в свою очередь, зависят от количества гидроксильных групп и показывают более высокую эффективность в присутствии парааминобензойной кислоты. Также отмечается синергетический антиоксидантный эффект между флавоноидами. Число содержания флавоноидов зависит от многих химических, физических, биологических и антропогенных факторов. Увеличение продукции флавоноидов в ответ на стресс-фактор среды является неспецифической реакцией растений, которая может быть применена в качестве части комплексного прогноза экологической обстановки той или иной территории [Осипова, с. 195].

В этом аспекте были проведены исследования Осиповой Е.С. [Осипова, Петухова, Перекупка, с. 42-47] по влиянию нефтяного загрязнения на системы биохимической защиты растений, в которой показана связь возрастания перекисного окисления липидов с токсичным действием нефтепродуктов, а также интенсификация антиоксидантной системы защиты растений вследствие ответной реакции организма на повреждения.

Говоря о реакции растений на неблагоприятные факторы, в частности, на нефть и нефтепродукты, необходимо упомянуть пигменты фотосинтеза, из которых основными можно считать хлорофиллы А и В. Молекула хлорофилла способна к превращению энергии возбужденных электронов в химическую энергию путем окислительно-восстановительных реакций [Медведев, с. 226]. Процесс фотосинтеза очень чувствителен и может служить удобным методом

для биоиндикации загрязнения среды. При загрязнении нефтью в клетках растений происходит угнетение основных процессов жизнедеятельности, что ведет к снижению концентрации хлорофилла [Шуберт, с. 273]. Благодаря своим функциональным свойствам молекулы хлорофилла неравнозначны, в следствии чего важно изучение, как суммарного содержания пигментов, так и соотношение различных форм хлорофилла в пигментном комплексе. Только при нормальном соотношении хлорофиллов А и В растение может быстро отреагировать на стрессовую ситуацию [Данильченко, Гродзинский, Власов, с. 187-196]. Исследования растений из разных местообитаний продемонстрировали, что изменение качественных и количественных характеристик пигментного комплекса большинство авторов рассматривают как один из возможных путей адаптации растений [Воскресенская, Сарбаева, с. 71].

К пигментам фотосинтеза, кроме хлорофиллов, относятся также каротиноиды. Помимо участия в процессе фотосинтеза каротиноиды также выполняют функцию антиоксидантов, защищая фотосинтетический аппарат от воздействия активных форм кислорода [Филимонова, с. 17]. Каротиноиды участвуют в поглощении солнечной энергии, защищают реакционный центр от мощных потоков энергии при высокой интенсивности света и стабилизируют липидную фазу тилакоидных мембран, защищая их от чрезмерного окисления [Половникова, Воскресенская, с. 777-785]. Снижение концентрации каротиноидов вызывается загрязнение почв нефтью, нефтепродуктами, фенолами, а также солевой стресс [Field, Lee, Holbrook, p. 571]. Механизмы действия каротиноидов включают в себя моделирующее воздействие на физическое состояние мембран [Girotti, p. 1538-1540].

1.8 Геоботанические особенности нефтезагрязненных территорий таежной зоны

За последние десятилетия проблема восстановления почвенно-растительного покрова, который был нарушен в результате аварийных разливов нефти, приобретает все большую остроту и актуальность. Особенно это заметно в настоящее время, когда очень часто происходят достаточно крупные аварии,

вызывающие экологические катастрофы. Нефть негативно влияет на рост, метаболизм и развитие растений, ингибирует фотосинтетическую активность [Хотеев, с. 169]. В большинстве случаев это обуславливает необходимость устранения негативных последствий нефтяного загрязнения и проведения рекультивационных мероприятий. Решение данного вопроса невозможно без изучения всех компонентов экосистем, познании механизмов их функционирования и трансформации загрязняющих веществ [Кузнецова, Дмитриева, с. 27].

Давность разливов может варьировать в широких пределах – от нескольких месяцев до десятков лет. Кроме того, большую роль играет степень и характер разлива, а также своевременность рекультивационных мероприятий или их отсутствие. Все эти факторы в купе с разными ландшафтными особенностями нефтезагрязненных территорий оказывают непосредственное влияние на формирование растительного покрова [Даваева, Сангаджиева, с. 80-83].

Основное количество поступающей в таежные ландшафты нефти сосредотачивается в подстилке и верхнем минеральном горизонте почвы. Подстилка является важнейшим биогеоценотическим компонентом таежных экосистем, и её загрязнение вызывает тяжелые последствия, включая уничтожение банка семян и зачатков, а также гибель большей части почвенного микробного и животного населения, сосредоточенного почти исключительно в этом горизонте, и существенное сокращение видового разнообразия мохово-лишайникового яруса. Последствия от загрязнения подстилki усугубляются ее высокой нефтеемкостью – до 20%. Последующие изменения в почве приводят к угнетению и гибели древесного яруса [Косулина, Луценко, Аксенова, с. 149-157].

На свежих разливах, которые произошли за прошедшие пару лет, растительный покров практически полностью отсутствовал или был представлен редко растущими видами травяного яруса.

На зарастающих участках нефтяных разливов доминирующими видами цветковых растений, как правило, являются представители таких родов, как осоки (*Carex brunnescens*, *C. riparia*, *C. rostrata*), пушицы (*Eriophorum vaginatum*, *E. latifolium*), а также некоторые виды двудольных растений.

На обводненных участках представлены сообщества с доминированием пушиц узколистной (*Eriophorum angustifolium*) и Шейхцера (*Eriophorum scheuchzeri*), ситника нитевидного (*Juncus filiformis*), ситника альпийскочленистового (*Juncus alpino-articulatus*) и осоки буроватой (*Carex brunnescens*). В зависимости от местных условий и проявления доминирования в сочетаниях видов образуются различные сообщества: осоково-пушицевые, пушицево-осоковые, ситниково-осоковые, осоково-ситниковые. Иногда формируются монодоминантные заросли из пушицы узколистной. Проективное покрытие травянистых растений варьирует в пределах от 25 до 55%. Встречаются виды политриховых мхов, в некоторых случаях с довольно высоким покрытием (до 60%). В качестве кодоминантных видов могут выступать такие представители хвощовых, как хвощ полевой (*Equisetum arvense*), хвощ приречный (*Equisetum fluviatile*) и хвощ луговой (*Equisetum pratense*). Прочие виды малочисленны. Видовая насыщенность составляет от 7 до 14 видов [Федоренко, 119-135].

Однако участки, на которых проводилась откачка сырой нефти без снятия почвенного слоя и посева трав оказываются схожи с ненарушенными аналогами. Здесь в среднем на 3-4 год представлены пушицевые заросли с высоким проективным покрытием растительности до 70–90%. Кроме того, наблюдаются в подросте сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), лиственница сибирская (*Larix sibirica*), в целом древостой на подобных территориях сохраняет жизнеспособность около 60% от общей численности.

На участках с разливом нефти, где авария произошла относительно давно, более 10 лет, уже представлены монодоминантные носатоосоковые фитоценозы (*Carex rostrata*) [Федоренко, 162-170].

Загрязненные и рекультивированные относительно сухие участки, как правило, представлены растительными сообществами с доминированием иван-чая узколистного (*Chamaenerion angustifolium*), вейника наземного (*Calamagrostis epigeios*) и гулявника Лёзеля (*Sisymbrium loeselii*). Перечисленные виды в зависимости от обилия и сочетаний образуют гулявниково-вейниково-кипрейные, вейниково-кипрейные и монодоминантные кипрейные фитоценозы уже на второй – четвертый год от окончания работ по биорекультивации [Наумова, с. 153-157].

На песчаных участках с нанесенным торфяным слоем (в рамках действующего регламента) общее проективное покрытие растительности невысокое и составляет около 30–35%. Видовая насыщенность в фитоценозах варьирует от 4 до 8 видов цветковых растений. Мохообразные и лишайники в большинстве случаев отсутствуют.

На участках свежих разливов нефти, рекультивированных с применением посевов какого-либо вида растения с подходящим вегетационным периодом, например, тимофеевки луговой (*Phleum pratense*), в дальнейшем фиксируется около 5-6 видов. Проективное покрытие на таких участках, составляет от 5 до 25%. Сообщества в таком случае образуются монодоминантные, представленные засеваемым видом.

Самовозобновление древесных растений наблюдаются 75% случаев. Растения древесных жизненных форм отсутствуют только в первые два года после нефтеразливов и, проведения рекультивационных мероприятий, если такие имели место быть, и закономерно не произрастают в местах, экологически не подходящих для жизнедеятельности древесных пород, таких как низинные осоковые и переходные пушицево-осоково-моховые болота с застойным или слабопроточным увлажнением. В дренированных местоположениях ивы (*Salix sp.*) и береза (*Betula sp.*) поселяются уже на второй год.

Наиболее часто на восстанавливаемых участках встречаются ива прутовидная (*Salix viminalis*) и береза пушистая (*Betula pubescens*). Названные

виды присутствуют в сообществах уже на второй-четвертый год зарастания. Они обладают широкой экологической валентностью и весьма неприхотливы к условиям произрастания. Единично на участках бывших разливов могут встречаться и другие виды ив, а также подрост, в составе которого могут быть хвойные: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), лиственницы сибирская (*Larix sibirica*), Гмелина (*L. gmelinii*) [Наумова, с. 147-159].

Так как изменения растительных сообществ тесно связаны с изменениями химического состава почв, то следует отметить, что почвы в местах нефтеразливов характеризуются высокой фитотоксичностью.

Однако быстрое проведение рекультивационных мероприятий прямо пропорционально влияет на активное восстановление загрязненных почв, причем в почвах легкого гранулометрического состава оно протекает быстрее. Уже на второй-четвертый год после проведения рекультивации в почвах отмечается активная минерализация соединений углерода, усиление процессов нитрификации, улучшение азотного режима почв и снижение токсичности, что приводит к более быстрому развитию фитоценозов. В тоже время, несмотря на достаточно быстрые восстановительные процессы, протекающие в почвах, определенные изменения в составе и свойствах гумуса, вызванные нефтяным загрязнением, сохраняются длительное время и определяют физиологические изменения вегетирующих растений.

Повторные разливы нефти, если такие случаются, произошедшие после проведенных восстановительных мероприятий, также приводят к существенным изменениям в составе и свойствах почвенно-растительного покрова. Характер их аналогичен первичному загрязнению, а различия заключаются лишь в меньшей выраженности процессов. Процессы восстановления после повторного загрязнения протекают значительно медленнее.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Физико-географическая характеристика района исследования

Отбор проб почв и растительности проводился на территории действующего Саат-Рюяхского нефтегазоконденсатного месторождения и лицензионного участка. В геоморфологическом отношении данный объект располагается на Лено-Нюйском водоразделе в междуречье Улахан-Мурбайы и Оччугуй-Мурбайы в пределах Приленского плато, расположенного в южной части Западной Якутии между Центрально-Якутской равниной и Алданским нагорьем. В орографическом отношении описываемая территория представляет слабовсхолмленную равнину с абсолютными высотами 300-390 м, расчлененную густой сетью временных водотоков. Значительную часть территории месторождения занимают болота и заболоченные участки: периодически переувлажняемые земли, заболоченные луга и леса, низинные болота на водораздельных плато, плоских склонах и в поймах рек. Широко распространены мари, представляющие собой переход луговой формы в торфяные болота вследствие обеднения почв гумусовыми и минеральными включениями.

Климат менее континентальный, по сравнению с Центрально-Якутским районом, расположенным на восток от него, по количеству атмосферных осадков приближается к Алданскому, лежащему к юго-востоку. Почвы под лесом достаточно богатые, неподзолистые или слабо выщелоченные. Район преимущественно покрыт среднетаежными лесами с преобладанием лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii*). В лиственничных лесах часто встречается сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), местами ель сибирская (*Picea obovata*), реже сосна сибирская (*Pinus sibirica*) и единично пихта (*Abies sibirica*). Преобладают мохово-кустарничковые или травяно-кустарничковые леса с обилием кустарников. Меньшую площадь занимают сосновые леса: сухие лишайниковые и толокняниковые боры и зеленомошники с брусникой или, реже, черникой. Незначительна роль еловых, елово-пихтовых и кедровых

лесов. Местами, ближе к Лено-Вилюйскому водоразделу, много торфяных болот. По долинам рек заросли ерников и ивняков.

Животный мир рассматриваемой территории включает в себя виды, характерные для средней таёжной подзоны. К долинам рек приурочены местообитания волка (*Canis lupus*), лисы обыкновенной (*Vulpes vulpes*), медведя обыкновенного (*Ursus arctos*), соболя (*Martes zibellina*), горностая (*Mustela erminea*), росомахи (*Gulo gulo*). Вблизи рек были отмечены выдра (*Lutra lutra*) и ондатра (*Ondatra zibethicus*). Из мелких млекопитающих широко распространены полевки (*Arvicolinae*), бурозубки (*Sorex*), бурундук сибирский (*Tamias sibiricus*). Рептилии представлены двумя видами: живородящей ящерицей (*Zootoca vivipara*) и обыкновенной гадюкой (*Vipera berus*). Из амфибий на описываемой территории зарегистрированы сибирский углозуб (*Salamandrella keyserlingii*) и сибирская лягушка (*Rana amurensis*) [Караваев, Скрябин, с. 39-45].

Отбор проб проводился в трех группах точек: на фоновом участке, который находился за пределами месторождения и лицензионного участка, условно-контрольном участке, которым был назван пункт вблизи обваловки территории кустовой площадки, контрольном участке – местности в пределах промышленной площадки.

По лабораторным данным, в пробах почв были обнаружены следующие концентрации нефтепродуктов: фоновая территория – 280 мг/кг, район 1 – 1686 мг/кг, район 2 – 2463 мг/кг.

2.2 Материалы исследования

В качестве тест-объекта в работе использовались ветвистоусые рачки вида *Daphnia magna*. Их систематика:

Тип: *Arthropoda*

Класс: *Crustacea*

Подкласс: *Branchiopoda*

Отряд: *Cladocera*

Семейство: *Daphniidae*

По определителю пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР под ред. Л.А. Кутиковой [Кутикова, с. 100].

Определение влияния нефти на дафний проводилось методом биотестирования. Для этого методом конверта были отобраны пробы почв с выше обозначенных точек. В качестве функций, изменения которых наблюдались, были выбраны частота сердечных сокращений (ЧСС) и двигательная активность исследуемых особей.

Индикаторными видами были выбраны следующие растения: *Carex acuta*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium vitis-idaea*. Ниже представлена их классификация:

Отдел: *Angiosperms*

Класс: *Liliopsida*

Порядок: *Poales*

Семейство: *Cyperaceae*

Род: *Carex*

Вид: *Carex acuta*

По иллюстрированному определителю растений Средней России под ред. И.А. Губанова [Губанов, с. 218].

Отдел: *Angiosperms*

Класс: *Magnoliopsida*

Порядок: *Ericales*

Семейство: *Ericaceae*

Род: *Vaccinium*

Вид: *Vaccinium uliginosum*

Вид: *Vaccinium vitis-idaea*

Данные виды были выбраны по следующим причинам: доминирование в биоценозах нефтегазоконденсатного месторождения и лицензионного участка, относительно широкое распространение в северных широтах, а также возможность преемственности результатов и сопоставление с данными, полученными в ходе экспериментов с вышеописанными видами, собранных с

территории Соболох-Неджелинского месторождения в период осуществления выпускной квалификационной работы. Растения отбирались из выделенных 8-10 участков площадью 1-2 м², расположенных по диагонали на каждом пункте отбора. С каждого участка брали по 400-500 г и готовили объединенную пробу, из которой отбирали усредненную пробу массой 1-1,5 кг.

В экспериментах с растениями определяли содержание продуктов ПОЛ, фенольных соединений и пигментов: каротиноидов и хлорофиллов а и b, как показателей, изменяющихся под действием стресс-фактора.

2.3 Методы исследования

Эксперименты по определению чувствительности тест-объекта к нефти в зависимости от её концентрации и времени её воздействия на организмы рачков производились в сравнении с контрольными пробами.

Для опытов готовили растворы в соотношении 100 г грунта на 900 мл воды, по три пробы с каждой точки. Для контрольной группы использовали 3 ёмкости с водой без примесей. Спустя 4 дня после оседания частиц почвы в растворе делались вытяжки, в которые затем добавляли по 10 дафний.

Показания ЧСС и двигательной активности снимались в несколько этапов: через 2, 24, 72, 120 и 168 часов после начала эксперимента.

Эксперименты на растениях проводили по нескольким методикам, разработанным для соответствующих показателей. Определение содержания диеновых конъюгатов и оснований Шиффа проводилось по методике А.А. Шведовой и Н.Б. Полянского (1992 г.) [Метод определения конечных продуктов ..., с. 141-146], концентрации каротиноидов и хлорофилла в листьях – по методике И.А. Шульгина и А.А. Ничипоровича (1974 г.) [Шульгин, Ничипорович, с. 127-136], фенольных соединений – по методике А.И. Федоровой и А.Н. Никольской (2001 г.) [Федорова, Никольская, с. 204-211].

Для определения продуктов ПОЛ делалась 0,2 мл навеска растительного материала, в которую добавляли 4 мл смеси гептана с изопропиловым спиртом, после чего встряхивали в течение 10 минут. Затем добавлялось 1 и 2 мл соляной кислоты и чистого гептана соответственно, и данная смесь интенсивно

перемешивалась. Через 20 минут, необходимых для разделения смеси на фазы, производился отбор верхнего, гептанового, слоя, по которому определялась оптическая плотность смеси при длине волне 233 нм – для диеновых конъюгатов, и при длине волны 365 нм – для оснований Шиффа, здесь же необходимо было дополнительно измерить оптическую плотность чистого гептана. В контрольной пробе вместо навески из растений использовалась дистиллированная вода. Расчет содержания первичных продуктов перекисного окисления липидов производился в относительных единицах по формуле:

$$1) A_{233} \text{ на } 1 \text{ мл жидкости} = (A_{233} * V_{\text{эг}}) : V_{\text{эм}} = (A_{233} * 4) : 0,2,$$

где A_{233} – значение оптической плотности опытной пробы при 233 нм,

$V_{\text{эг}} = 4$ мл – конечный объем гептанового экстракта,

$V_{\text{эм}} = 0,2$ мл – объем взятого экстракта растений.

Концентрацию оснований Шиффа рассчитывали по формуле:

$$2) C = D_o - D_p,$$

где C – концентрация оснований Шиффа (усл.ед/мг липидов)

D_o – оптическая плотность образца

D_p – оптическая плотность чистого гептана

Для определения концентрации пигментов фотосинтеза растирали 100 мг растительной навески в форфоровой ступке с добавлением безводного сульфата натрия и 8 мл 96% этилового спирта. После чего снимались показания на 440, 644 и 662 нм длинах волн.

Концентрацию хлорофиллов a , b и каротиноидов рассчитывали по формуле:

$$3) C_a = 9,78 * D_{662} - 0,99 * D_{644};$$

$$4) C_b = 21,43 * D_{644} - 4,65 * D_{662};$$

$$5) C_k = 4,7 * D_{440} - (1,38 * D_{662} - 5,48 * D_{644});$$

где D – оптическая плотность при данной длине волны,

C – концентрация хлорофилла или каротиноидов.

Исходя из найденных концентраций, был произведен расчёт содержание пигментов фотосинтеза в мг на 100 г навески:

$$6) X = (0,1 * C * A) / П,$$

где С – концентрация пигмента,

А – объем исследуемого экстракта,

П – масса навески,

0,1 – коэффициент пересчета волны.

Все измерения были выполнены с помощью спектрофотометра.

Определение фенольных соединений проводили с помощью титрования.

Для этого брали 10 г навеску растертого растительного материала и нагревали на водяной бане с 40 мл дистиллированной воды в течение 15 минут, интенсивно перемешивая. Затем экстракт охлаждали, отфильтровывали и доводили до отметки в 100 мл; 10 мл переносили в стакан 800-1000 мл, добавляли 750 мл дистиллированной воды и 25 мл раствора индигокармина; титровали 0,1 н раствором перманганата калия. Окончанием титрования служило появление золотисто-желтого оттенка. В контрольной пробе вместо 10 мл смеси использовалась дистиллированная вода.

2.4 Статистическая обработка данных

Данные, собранные в ходе исследования, были обработаны с использованием пакета статистических программ Microsoft Office Excel, Statistic 6, Tstudent, Hlorof.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования было изучено влияние нефтезагрязненной почвы Саат-Рюяхского нефтегазоконденсатного месторождения и лицензионного участка на рачков *Daphnia magna*, а также были выявлены изменения в растениях, произрастающих на данном объекте.

В эксперименте с пробами почв, взятыми с территории месторождения, токсичный эффект выражен достаточно ярко. ЧСС особей контрольной группы на первые сутки эксперимента выше ($p < 0,05$) в сравнении со следующими днями. Это действие стресса, возникшего в результате попадания рачков в новую среду обитания (Рисунок 1).

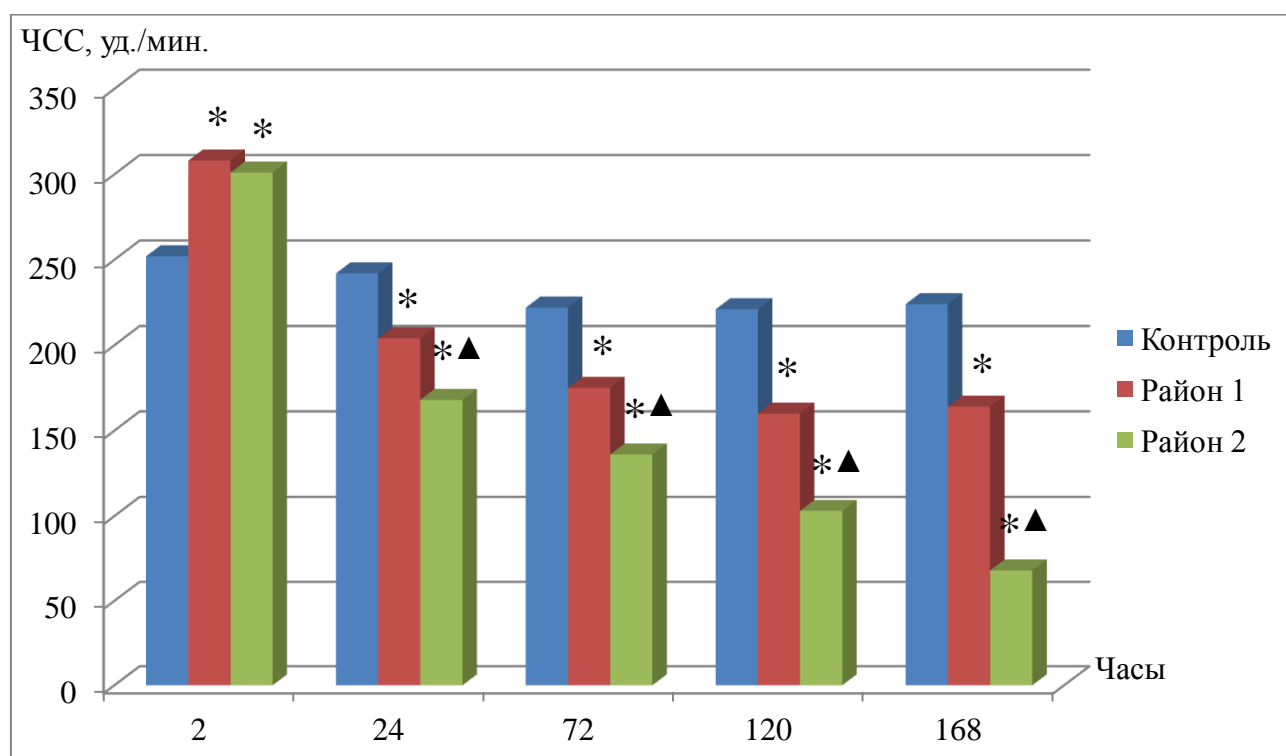


Рис.1 ЧСС дафний при действии вытяжки из нефтезагрязненной почвы.

Примечание: *- статистически достоверные различия между контролем и вариантом эксперимента ($p < 0,05$), ▲ – статистически достоверные различия между районами ($p < 0,05$).

Через 2 часа после начала эксперимента ЧСС в группах район 1 и район 2 независимо от концентрации нефтепродуктов в соответствующих вытяжках статистически выше ($p < 0,05$), чем в контроле. Однако уже через сутки значение исследуемого показателя у данных особей снижается, и по сравнению с контрольной группой уже можно говорить о пониженной частоте сердечных

сокращений. Этот процесс наблюдается до конца эксперимента. Наибольшее уменьшение частоты сердечных сокращений зарегистрировано спустя первые 24 часа. С этого же периода есть статистически достоверные различия между вариантами: рачки из вытяжки район 2 испытывают более сильное токсическое воздействие среды, что соотносится с более высокой концентрацией нефтепродуктов в исследуемом грунте. Уменьшение ЧСС отражает снижение уровня метаболизма, вызванное накоплением токсиканта в организме животного.

Кроме изменений ЧСС также регистрировалась двигательная активность дафний как показатель поведенческой реакции на неблагоприятные условия среды (Рисунок 2).

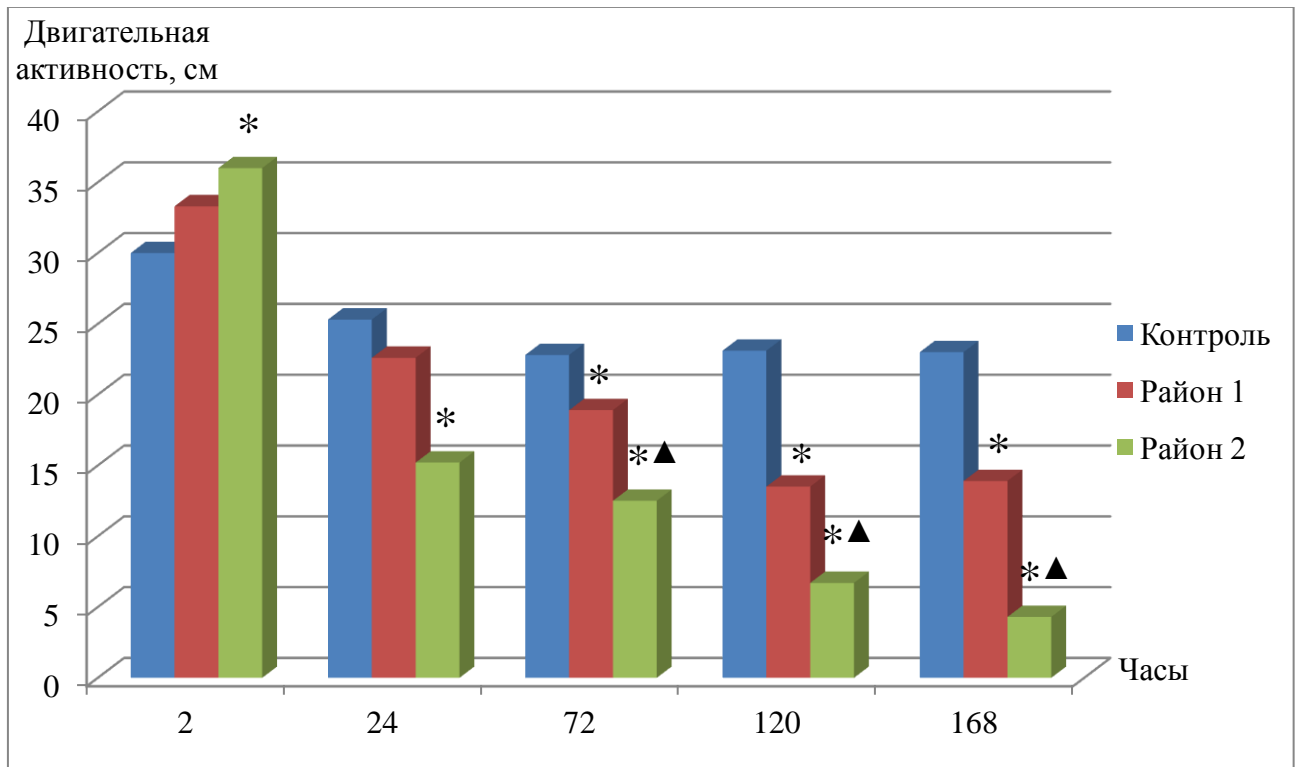


Рис.2 Двигательная активность при действии вытяжки из нефтезагрязненной почвы. Примечания: те же, что к рис.1

Спустя 2 часа от начала эксперимента статистические различия есть только между контрольной группой и особями района 2 ($p \leq 0,05$), которые в среднем проплывали большее расстояние за минуту, хотя их движения носили прерывистый характер.

Через сутки, также как и с ЧСС, началось снижение двигательной активности и уже на третий день значения данного показателя статистически ниже у особей районов 1 и 2 по сравнению с контролем ($p \leq 0,05$). На этом этапе также отмечается статистически более низкая двигательная активность особей района 2 относительно рачков района 1. Кроме того, характер движения особей района 1 также изменился и стал напоминать таковой у рачков района 2. К концу эксперимента рачки из вытяжки района 2 проявляли очень низкую двигательную активность, что соотносится с данными о ЧСС и подтверждает высокое токсическое действие нефтепродуктов, оказывающее воздействие также и на поведение животных.

Таким образом, исходя из результатов экспериментов, можно говорить о высоком негативном эффекте со стороны содержащихся в почве нефтепродуктов на особей вида *Daphnia magna*, несмотря на 100% выживаемость рачков в течение эксперимента. Так, значения исследуемых показателей в итоге были ниже контрольных значений, а в случае с дафниями района 2 наблюдалась практически полная потеря жизненно необходимых функций.

Подобные исследования изменения ЧСС дафний под действием нефти и её продуктов проводились многими авторами. Н.В. Винокурова в своих исследованиях отмечала, что ЧСС менее чувствительна по сравнению с функцией линейного роста в хронических экспериментах, однако в острых опытах эта функция значительно изменялась под воздействием исследуемого ряда соединений, снижаясь при возрастании концентрации [Винокурова, с. 105].

По исследованиям двигательной активности известны работы Г.А. Петуховой [Оценка токсического влияния..., с. 57-66], Д.В. Будиной, А.С. Ольковой [Олькова, с. 138-147]. Эти авторы в своих исследованиях обозначают зависимость снижения двигательной активности от возрастания концентрации нефтепродуктов в среде. От условий опыта и качественного состава нефти менялось лишь время и острота интоксикации, отражающаяся в большей или

меньшей скорости снижения двигательной активности, однако общий итог был схож с результатами нашего исследования.

Чтобы наиболее полно оценить влияние нефтяных токсикантов на среду, были проведены опыты с растениями, собранными с территории месторождения. В частности, регистрировалось снижение концентрации хлорофиллов и каротиноидов, фенольных соединений, а также повышение содержания продуктов перекисного окисления липидов. Были выбраны растения разных классов Покрытосеменных растений: из однодольных – осока острая семейства осоковые, из двудольных – брусника и голубика обыкновенная семейства вересковые.

Как правило, нельзя прямо оценить количество нефтепродуктов или какого-либо другого токсиканта в клетках растений. Однако можно наблюдать изменения в работе тех или иных систем организма по увеличению или уменьшению синтеза тех или иных веществ. Перекисное окисление липидов – физиологический процесс, происходящий в клетках растений, в ходе которого образуются токсичные вещества, которые в норме нейтрализуются. Но при каких-либо изменениях в ходе метаболизма синтез продуктов ПОЛ может усиливаться, поэтому если возрастает содержание первичных продуктов ПОЛ (Рисунок 3), то это говорит о действии негативного фактора, в нашем случае, нефтяной природы.

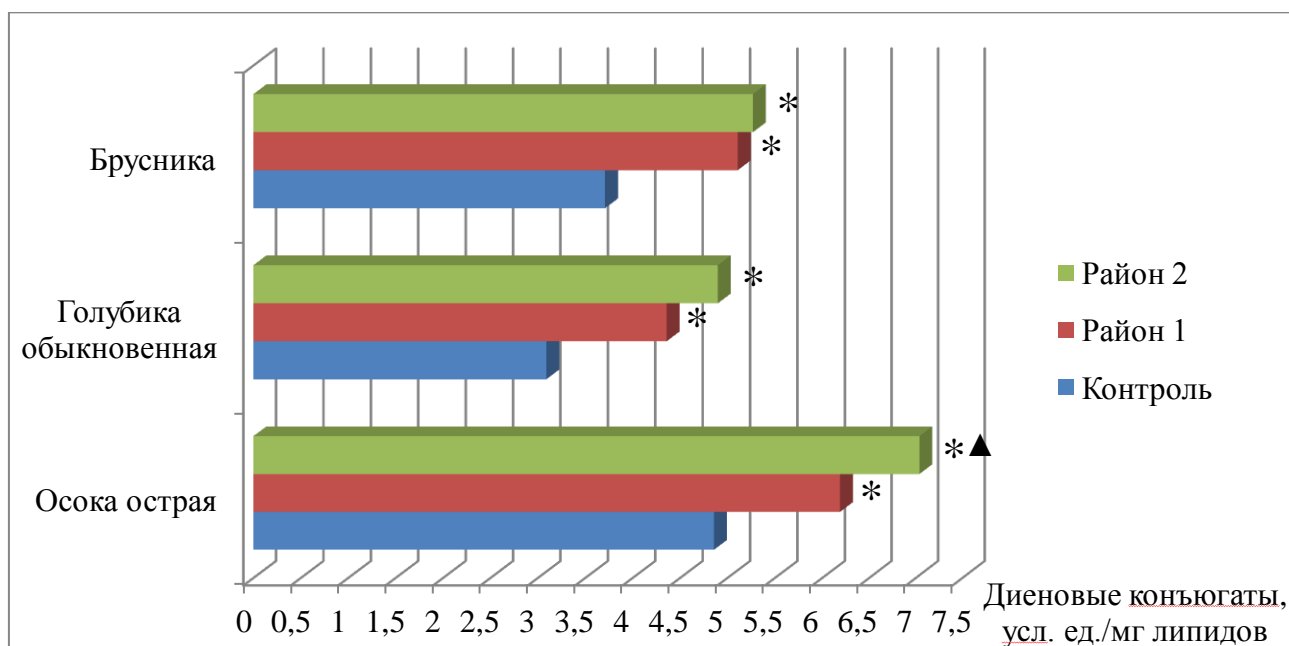


Рис.3 Содержание первичных продуктов ПОЛ растениях с территории месторождения. Примечания: те же, что к рис.1

Эксперимент показал, что в клетках растений районов 1 и 2 количество диеновых конъюгатов статистически выше, чем у контрольной группы ($p \leq 0,05$). Это говорит о нарушениях метаболизма у растительного организма вследствие действия токсиканта. В то же время только у осоки острой есть достоверные различия между образцами района 1 и района 2 по данному показателю ($p \leq 0,05$), что указывает на большее количество нарушений у данного вида по сравнению с другими исследуемыми растениями.

Перекисное окисление липидов – многостадийный процесс, и если организм растения не справляется с возрастающим количеством первичных продуктов ПОЛ, то это приводит к повышению содержания вторичных продуктов ПОЛ соответственно (Рис. 4).

По результатам данного эксперимента видно, что содержание оснований Шиффа резко возросло в растениях районов 1 и 2 ($p \leq 0,05$). Особенно высокие значения по данному показателю у осоки острой и только у этого вида в растениях из района 2 оснований Шиффа достоверно больше, чем в образцах из района 1. Это указывает на сбой в системе ингибирования ПОЛ, в частности в антиоксидантной системе.

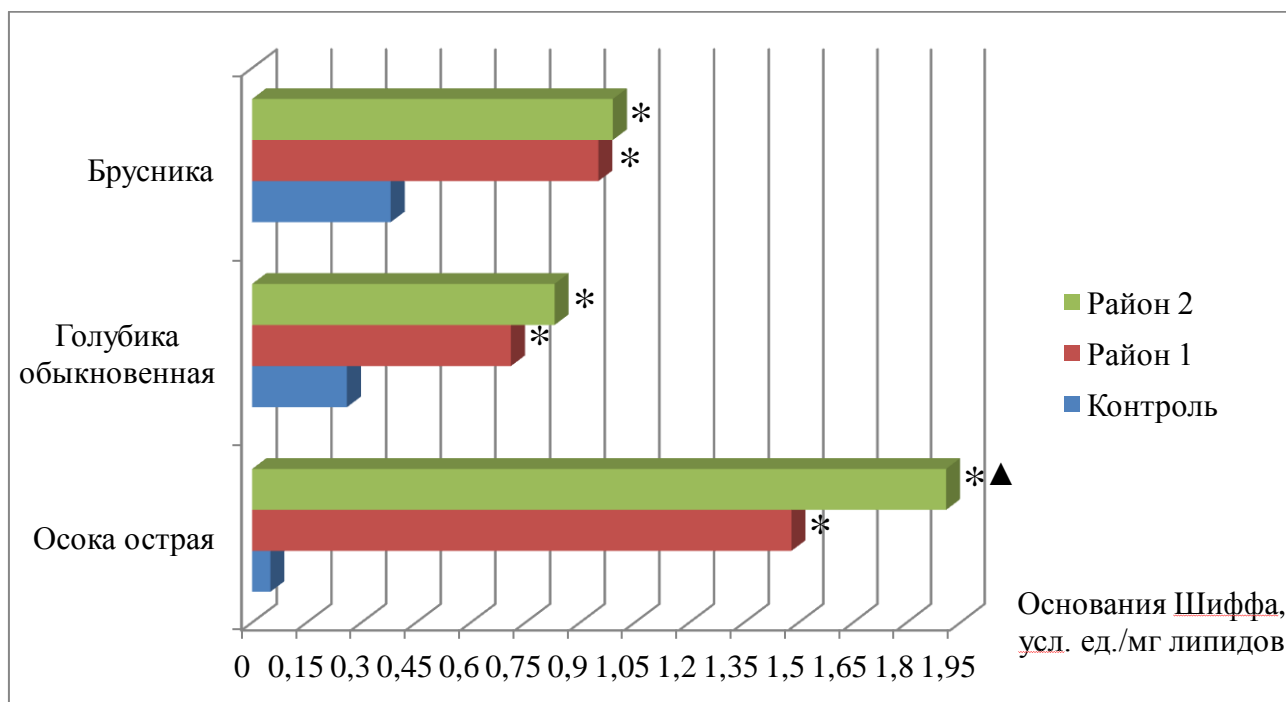


Рис.4 Содержание вторичных продуктов ПОЛ в растениях с территории месторождения. Примечания: те же, что к рис.1

Для нейтрализации последствий ПОЛ в организме растений начинают интенсивнее действовать защитные механизмы. Учитывая характер продуктов ПОЛ, необходимо обратить внимание на концентрацию фенольных соединений (Рис. 5), повышенное содержания которых может свидетельствовать об активной антиоксидантной деятельности растения.

Количество фенольных соединений статистически выше по сравнению с контролем у брусники (*Vaccinium vitis-idaea*), голубики обыкновенной (*Vaccinium uliginosum*) и осоки острой (*Carex acuta*), собранных как из района 1, так и из района 2 ($p \leq 0,05$). Кроме того, есть различия по районам у всех трех видов. Повышение концентрации фенолов указывает на ответные реакции со стороны растительного организма на действие повреждающего фактора. Также стоит отметить индивидуальный ответ каждого вида на окислительный стресс-фактор: среди исследуемых видов голубика обыкновенная вырабатывает в среднем на 11% больше фенольных соединений при повышении концентрации

нефтепродуктов ($p < 0,05$), тогда как брусника синтезирует в среднем только на 7% больше фенолов по сравнению с контролем.

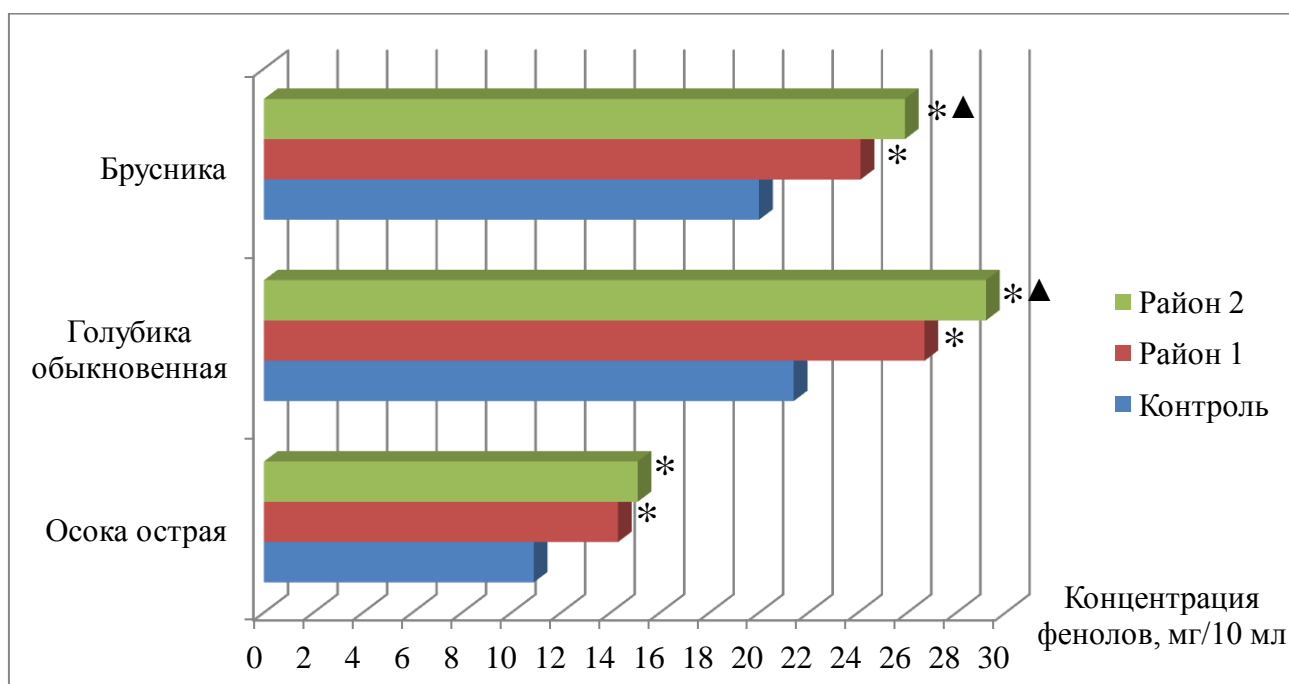


Рис.5 Концентрация фенольных соединений в листьях растений с территории месторождения. Примечания: те же, что к рис.1

Ответ растения на действие токсиканта не ограничивается нарушениями в метаболизме и интенсификацией защитных систем. Энергетические и пластические ресурсы организмы имеют свои лимиты, поэтому негативное действие нефтепродуктов, в частности, отражается на концентрации фотосинтезирующих пигментов (Табл.1).

Несмотря на различия по общему содержанию пигментов из результатов эксперимента видно, что у всех трех видов концентрация и хлорофиллов и каротиноидов статистически ниже у растений, собранных из района 1 и района 2, по сравнению с растениями из контрольной группы ($p \leq 0,05$). Также есть различия между районами. Это указывает на токсичное воздействие нефтепродуктов, вызывающих изменения в составе клеточных мембран, что ведёт к их дестабилизации и разрушению и, как следствие, снижению количества пигментов. Стоит отметить, что каротиноиды, кроме выполнения фотосинтетической функции, также являются частью антиоксидантной

системы, предохраняя фотосинтетический аппарат от окислительного стресса. Однако из эксперимента видно, что концентрация данного пигмента также падает по мере увеличения концентрации нефтепродуктов, что может означать сильное повреждающее действие со стороны токсиканта и превышение затрат каротиноидов над их синтезом.

Таблица 1

Концентрация пигментов в листьях растений с территории
месторождения

Варианты эксперимента	Хлорофилл а, мг/100 г	Хлорофилл в, мг/100 г	Каротиноиды, мг/100 г	Суммарное содержание пигментов (А+В+К), мг/100 г
осока острая				
Контроль	85,8 ± 0,5	45,5 ± 1,1	18,9 ± 1,0	150,2 ± 0,8
Район 1	69,2 ± 0,6*	30,7 ± 0,3*	14,0 ± 0,9*	113,9 ± 0,6*
Район 2	60,3 ± 0,8*▲	23,5 ± 0,3*▲	11,0 ± 1,0*▲	94,8 ± 0,7*▲
голубика обыкновенная				
Контроль	110,8 ± 0,1	67,0 ± 0,8	25,7 ± 0,6	203,5 ± 0,5
Район 1	98,9 ± 0,7*	47,1 ± 0,4*	20,3 ± 0,8*	166,3 ± 0,6*
Район 2	90,2 ± 0,4*▲	39,7 ± 0,1*▲	18,6 ± 0,5*▲	148,5 ± 0,33*▲
брусника				
Контроль	103,8 ± 0,6	59,7 ± 0,1	23,3 ± 0,7	186,8 ± 0,47
Район 1	88,5 ± 0,4*	40,8 ± 0,3*	17,9 ± 0,1*	147,2 ± 0,26*
Район 2	78,9 ± 0,2*▲	35,3 ± 1,5*▲	15,0 ± 1,1*▲	129,2 ± 0,93*▲

Примечания: те же, что к рис. 1

Таким образом, эксперименты на растениях показали возрастание токсичности по направлению от фоновой территории к площадке скважин, что соотносится с повышением содержания нефтепродуктов в пробах почв. Несмотря на индивидуальные различия ответных реакций, обусловленные видовыми различиями, наблюдаются общие закономерности у всех трех видов: повышение содержания продуктов ПОЛ и связанное с этим увеличение концентрации фенолов, а также снижение содержания пигментов фотосинтеза.

Эти данные подтверждаются работами Е.А. Осиповой, изучавшей биохимические механизмы защиты растений при действии нефтяного загрязнения [Осипова, с. 42-47] и Г.А. Петуховой с соавторами, исследовавшей ответные реакции модельных тест-объектов на нефтяное загрязнение [Петухова, Дмитриев, Забродин, с. 98-107]. В работах отражены процессы возрастания продуктов ПОЛ и, в противодействие им, фенольных соединений вследствие действия нефтепродуктов, и уменьшение концентрации хлорофиллов на фоне сбоя метаболизма.

ВЫВОДЫ

1. Анализ поведенческих реакций дафний при действии вытяжки из нефтезагрязненных почв показал снижение двигательной активности рачков, согласующееся с уменьшением частоты сердечных сокращений.

2. Концентрация продуктов ПОЛ у *Carex acuta*, *Vaccinium uliginosum* и *Vaccinium vitis-idaea* возрастала соответственно росту содержания нефтепродуктов в почве, что свидетельствует о существенных нарушениях метаболизма растительных организмов.

3. Содержание фенольных соединений увеличивалось по сравнению с контролем у всех рассмотренных видов растений, отражая ответную реакцию со стороны антиоксидантной системы на стресс-фактор.

4. Содержание хлорофилла а, b и каротиноидов ниже у растений из районов 1 и 2, чем в контроле у всех исследованных видов.

5. Голубика обыкновенная, в сравнении с осокой острой и брусникой, проявила наиболее сильную ответную реакцию на действие стресс-фактора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Anbar, M. Reactivity of the hydroxyl radical in aqueous solutions . Intern. J. Appl. Radiat. Isot, 1967. p. 495-523.
2. Belousova, A.V. General guidelines for the development of the Pan-European Ecological Network. Moscow.: Information Analytical Department, 2000. 50 p.
3. Field, T.C. Why leaves turn red in autumn. The role of anthocyanins in sensing leaves of red-osier dogwood . Plant Physiology. 2001, Vol. 127, № 2. p. 566-574.
4. Frankel, E.N. Lipid oxidation. The oily press ltd . Glasgow, 1998. p. 79-99.
5. Girotti, A.W. Lipid hydroperoxide e generation, turnover, and effector raction in biological systems . Journal of lipid research, 1998. Vol. 39, № 8. p. 1529-1542.
6. Huntjens, J.L.M. The degradation of oil in soil . Contaminated Soil. Springer, Dordrecht, 1986. p. 121-124.
7. Laury, S. OPEC Annual Statistical Bulletin. Vienna: Organization of the Petroleum Exporting Countries, 2020. 114 p.
8. Protopopov, N. F. Assessment of soil & water quality in oil & gas fields (Tomsk region, Western Siberia) . Third SETAC World Congr. 10th Ann. Meeting of SETAC-Europe «Global Environmental Issues in the 21th Century: Problems, Causes and Solutions». Brighton (UK), 2000. 46 p.
9. Абросимов, А.А. Экология переработки углеводородных систем. Москва: Химия, 2002. 608 с.
10. Артеменко, С.В. Исследование чувствительности показателей дафнии на воды рек обского бассейна с различной степенью антропогенной нагрузки. Научное обозрение. Биологические науки, 2014. № 1. с. 28-29.
11. Арустамов, Э.А. Природопользование. Москва: Издательский дом “Дашков и К^о”, 2002. 276 с.
12. Барабой, В.А. Механизмы стресса и перекисное окисление липидов. Успехи современной биологии, 1991. Т. 111, №6. с. 923-932.
13. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем: пер. с нем. под ред. Р. Шуберта. Москва: Мир, 1988. 350 с.

14. Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: сб. науч. тр. Екатеринбург: Уральский университет, 2012. 147с.
15. Бокрис, Дж.О.М. Химия окружающей среды. пер. с англ. Под ред. А.П. Цыганкова. Москва: Химия, 1982. 672 с.
16. Брагинский, Л.П. К методике токсикологического эксперимента с тяжелыми металлами на гидробионтах. Гидробиол. Журн. 2003. Т. 39, № 1. с. 92-104.
17. Бузмаков, С.А. Техногенные изменения компонентов природной среды в нефтедобывающих районах Пермской области . Пермь: Перм. Ун-т, 2003. 171 с.
18. Бурковский, Н.В. Структурно-функциональная организация морских донных сообществ . Москва: Наука, 1992. 207 с.
19. Бурмистрова, Т.И. Биодegradация нефти и нефтепродуктов в почве с использованием мелиорантов на основе активированного торфа. Химия растительного сырья. 2003. № 3. с. 69-72.
20. Винокурова, Н.В. Токсичность продуктов производства синтетического каучука для *Daphnia magna* и мутагенность стоков ЦБК-1, солей свинца, кобальта, цинка для *Drosophila melanogaster*: дис...канд. биол. наук: 03.00.16 : защищена 05.12.99 : утв. 15.06.00. Калининград, 1999. 157 с.
21. Владимиров, Ю.А. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. Москва: Наука, 1972. 252 с.
22. Воскресенская, О.Л. Эколого-физиологические адаптации туи западной в городских условиях. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2006. 130 с.
23. Гашев, С. Н. Динамика численности млекопитающих в экологическом мониторинге . Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения, 2000. с. 70-78.
24. Гашев, С. Н. Млекопитающие в системе экологического мониторинга (на примере Тюменской области). Тюмень: ТюмГУ, 2000. 220 с.
25. Геннадиев, А.Н. Карты устойчивости почв к загрязнению нефтепродуктами и полициклическими ароматическими углеводородами: метод и опыт составления. Почвоведение, 2007. № 1. с. 80-92.

26. Глазовская, М.Я. Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. Москва: Наука, 1988. 254 с.

27. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: дата введения 2003-04-30. Москва: Минздрав России, 2003. 214 с.

28. ГН 2.1.6.3492-17 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений: дата введения 2017-12-22. Москва: Минздрав России, 2017. 40 с.

29. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: дата введения 2006-04-01. Москва: Минздрав России, 2006. 5 с.

30. ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны: дата введения 2018-05-04. Москва: Минздрав России, 2018. 170 с.

31. Головенко, Н.Я. Механизмы реакций метаболизма ксенобиотиков в биологических мембранах. Киев: Наукова Думка, 1981. 220 с.

32. Голубчиков, С.Н. Нефть и газ Евразии. Энергия, 2004. с. 46-53.

33. Гриценко, А.И. Экология. Нефть и газ / А.И. Гриценко, Г.С. Акопов, В.М. Максимов. Москва: Наука, 1997. 598 с.

34. Губанов, И.А. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Москва: КМК, 2013. 583 с.

35. Даваева, Ц.Д. Фитомелиорирующая роль растений при нефтяном загрязнении. Астрахань: Межд. науч. Конф, 2008. 309 с.

36. Давыдова, С.Л. Нефть и нефтепродукты в окружающей среде. Москва: РУДН, 2004. 163 с.

37. Данильченко, О.А. Значение ультрафиолетового излучения в жизнедеятельности растений. Физиол. и биохимия культур растений, 2002. Т. 34, № 3. с. 187-198.

38. Донченко, В.К. Экологическая экспертиза. Москва: Academia, 2010. 528 с.
39. Жмур, Н.С. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и плодовитости дафний р. Москва: АКВАРОС, 2001. 47 с.
40. Загоскина, Н. В. Полифенолы и их роль в защите растений от действия стрессовых факторов // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования: М-лы VI Междунар. Симпозиума. Пущино: РУДН, 2005. Т. 3. с. 300-302.
41. Зильберман, М.В. Биотестирование почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами Биотестирование почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, 2005. с. 111-114.
42. Зубайдуллин, А.А. Самовосстановление нарушенных фитоценозов на нефтезагрязненных участках суходолов и верховых болот. Наука и образование ХМАО, 2000. с. 23-26.
43. Использование беспозвоночных для мониторинга загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами / Н.В. Брень // Гидробиологический журнал, 1999. Т. 35. № 4. с. 75-76.
44. Караваев, М.Н. Растительный мир Якутии . Якутск: Недра, 1971. 117с.
45. Карцев, А.А. Загрязнение природных вод в районах воздействия нефтегазового комплекса. Экологические аспекты гидрогеологии нефти и газа, 2011. № 11. с. 1-3.
46. Киреева, Н.А. О возможности биотестирования нефтезагрязненной и рекультивируемой по выживаемости коллембол (*Collembolla*). Экология, 2005. № 5. с. 397-400.
47. Косулина, Л.Г. Физиология устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды. Ростов-на-Дону: Рост. ун-т, 2005. 240 с.
48. Крайнова, Э.А. Экологический фактор в принятии экономических решений нефтяной компании: теория и практика. Москва: УГНТУ, 1997. 153 с.

49. Краснощеков, Р.Я. Растворимость углеводов в пресной и соленой воде. Нефтехимия, 1973. Т. 13. с. 885-889.
50. Кузнецов, Ф.М. Рекультивация нефтезагрязненных почв. Пермь, 2003. 196 с.
51. Кузнецова, В.В. Физиология растений. Москва: Высш. шк, 2005. 713 с.
52. Кузнецова, И.А. Микробиологическая оценка последствий нефтяного загрязнения водоемов // Современные проблемы гидробиологии Сибири, 2001. №8. с. 123-124.
53. Кутикова, Л.А. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. 512 с.
54. Куценко, С.А. Основы токсикологии. Российский биомедицинский журнал, 2003. №3. с.317-347.
55. Лебедева, Г.Д. Экологический подход к оценке устойчивости пресноводных гидробионтов. Ярославль: ЯрГУ, 1989. 337 с.
56. Лукьяненко, В.И. Токсикология рыб. Москва: Пищевая промышленность, 1967. 216 с.
57. Медведев, С.С. Физиология растений. Санкт-Петербург: СПб. Ун-т, 2004. 336 с.
58. Мелехова, О.П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. Москва: Академия, 2010. 288 с.
59. Метод определения конечных продуктов перекисного окисления липидов в тканях – флуоресцирующих шиффовых оснований: сб. науч. тр. Москва: Наука, 1992. 236 с.
60. Методика определения токсичности водной среды. Сб. Методики биологических исследований по водной токсикологии. Москва: Наука, 1971. с. 210-216.
61. Миронов, О.Г. Взаимодействие морских организмов с нефтяными углеводородами. Москва: Наука, 1985. 128 с.

62. Миронов, О.Г. Действие малых концентраций нефти и нефтепродуктов на развивающуюся икру черноморской камбалы-колана. Вопросы ихтиологии, 1969. Т.9. № 6 (59). с. 577-580.
63. Миронов, О.Г. Нефтяное загрязнение и жизнь моря. Москва: Наука, 1973. 216 с.
64. Мисейко, Г.Н. Биологический анализ качества пресных вод. Барнаул: АлтГУ, 2001. 201 с.
65. Михайлова, Л.В. Накопление нефтяных углеводородов в различных звеньях пищевой цепи водоема и их связь с биосубстратами. Тюмень, 1985. Вып. 10. с. 40-46.
66. Московченко, Д.В. Нефтегазодобыча и окружающая среда: эколого-географический анализ Тюменской области: монография. Новосибирск: Наука, 1998. 112 с.
67. Наука и образование XXI века: сб. тез. Докл. 295 Второй окружной конференции молодых ученых ХМАО: сб. науч. тр. Сургут: СурГУ, 2001. 89 с.
68. Наумова, Л.Г. Экология России. Ленинград: Устойчивый мир, 2000. 272 с.
69. Немерешина, О.Н., Гусев, Н.Ф. Влияние техногенного загрязнения на содержание флавоноидов в растениях семейства Норичниковых степного Предуралья. Вестник Оренбургского государственного университета, 2004. № 10 (35). с. 123-126.
70. Новиков, Ю.В. Охрана окружающей среды. Москва: Высшая школа, 1987. 112 с.
71. Олькова, А.С. Оценка токсичности природных и техногенных сред по двигательной активности *Daphnia magna*. Современные проблемы науки и образования, 2017. с. 138-147.
72. Осипова, Е.С. Активация биохимических механизмов защиты растений при действии нефтяного загрязнения парааминобензойной кислоты. Вестник ТюмГУ, 2013. №6. с. 42-47.

73. Осипова, Е.С. Влияние нефтяного загрязнения на биохимические и морфофизиологические показатели растений: автореф. дисс. ... канд. биол. наук : 03.02. Тюмень, 2013. 229 с.

74. Панов, Г.Е. Охрана окружающей среды на предприятиях нефтяной и газовой промышленности. Москва: Недра, 1986. 244 с.

75. Петухова, Г.А. Влияние нефтяного загрязнения среды на растения и животных. Теоретические и прикладные аспекты современной науки, 2014. № 6-1. с. 114-117.

76. Петухова, Г.А. Ответные реакции модельных тест-объектов на нефтяное загрязнение среды. Вестник ТюмГУ, 2017. Т.3, №1. с. 98-107.

77. Петухова, Г.А. Оценка токсического влияния поверхностных вод, загрязнённых нефтью, в тестах на растениях и животных. Вестник ТюмГУ, 2010. № 7. с. 57-66.

78. Петухова, Г.А. Эколого-генетические последствия воздействия нефтяного загрязнения на организмы: дис ... док биол. Наук : 03.00.16 : защищена 27.08.2007: утв. 18.01.08. Тюмень, 2007. 526 с.

79. Петухова, Е.С. Модифицирующее действие парааминобензойной кислоты в условиях нефтяного загрязнения сред. Материалы XLVI международной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс». Биология, экология. Новосибирск, 2008. 46 с.

80. Пиковский, Ю.И. Геохимические особенности техногенных потоков в районе нефтедобычи. Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. Москва: Наука, 1981. с. 134-136.

81. Половникова, М. Г. Активность компонентов антиоксидантной защиты и полифенолоксидазы у газонных растений в онтогенезе в условиях городской среды. Физиология растений, 2008. Т. 55, № 5. с. 777-785.

82. Потонье, Г. Происхождение каменного угля и других. Ленинград-Москва: Объед. научн-техн. изд-во, 1934. 105 с.

83. Промышленность и окружающая среда. Москва: ИКЦ «Академкнига», 2002. 469 с.

84. Протасов, В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. Москва: Финансы и статистика, 2001. 672 с.

85. Р 52.24.741-2010 Оценка токсичности поверхностных вод суши в условиях чрезвычайных ситуаций методом экспрессного биотестирования: дата введения 2011-10-01. Москва: ГУ ГХИ, 2011. 27 с.

86. Рамад, Ф. Основы прикладной экологии: воздействие человека на биосферу. пер. с фр. Под ред. Л.Т. Матвеева. Ленинград: Гидрометеиздат, 1981. 543 с.

87. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука, 1985. 250 с.

88. Салангинас, Л.А. Изменение свойств почв под воздействием нефти и разработка системы мер по их реабилитации. Екатеринбург: Элита-комплекс, 2003. 411 с.

89. Самосова, С.М. Микрофлора черноземных почв и ее активность при загрязнении нефтью. Казанск.ин-т биол. Казан. Фил. АН СССР, 1983. 18 с.

90. Сапрыкина, А. Ю. Технология снижения содержания нефтепродуктов в воде малых и средних рек : дис...канд. техн. Наук: 25.00.36. Екатеринбург, 2005. 164 с.

91. Сборник методик по определению загрязняющих веществ в промышленных выбросах. Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. 270 с.

92. Середин, В.В. Исследования пространственного распределения углеводородов в почвогрунтах и водах на территориях, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Пермь: Перм. гос. техн. унв-т, 1999. 106 с.

93. Сидорова, Е.В. Охрана почв на объектах газовой промышленности . Москва: ИРЦ Газпрома, 1994. 50 с.

94. Соромотин, А.В. Воздействие добычи нефти на таежные экосистемы западной Сибири: монография. Тюмень: ТюмГУ, 2000. 320 с.

95. Сулейманов, Р.Р. Изменение буферности почв при загрязнении нефтью. Вестник ОГУ, 2007. № 4. с. 133-149.

96. Тишкова, А.А. Биосферные функции природных экосистем России. Москва: Наука, 2005. 309 с.
97. Трофимов, В.Т. Грунтоведение. Москва: Наука, 2005. 1024 с.
98. Федоренко, Н.Н. Республика Саха (Якутия), Комплексный атлас. Якутск: ФГПУ «Якутское аэрогеодезическое предприятие», 2009. 240 с.
99. Федорова, А.И. Практикум по экологии и охране окружающей. Москва: ВЛАДОС, 2001. 288 с.
100. Филенко, Е.Ф. Реакции гидробионтов на загрязнения. Москва: Наука, 1983. с. 135-139.
101. Филимонова М.В. Влияние экологических факторов на синтез низкомолекулярных антиоксидантов и накопление микроэлементов в лекарственных растениях подзоны средней тайги (в пределах Ханты-Мансийского автономного округа): автореф. дисс...канд. биол. наук: 03.00.16. Сургут: РГБ ОД, 2006. 23 с.
102. Флеров, Б.А. Эколого-физические аспекты токсикологии пресноводных животных. Ленинград: Наука, 1989. 144 с.
103. Хотеев, В.В. Формирование растительности на нефтезагрязненных территориях различных почвенно-климатических зон Тюменской области: дисс...канд. биол. наук : 03.00.16 . Тюмень, 2003. 182 с.
104. Черкашин, С.А. Отдельные аспекты влияния углеводородов нефти на рыб и ракообразных. Вестник ДВО РАН, 2005. №3. с. 35- 37.
105. Чупахина, Г.Н. Адаптация растений к нефтяному стрессу. Экология, 2004. № 5. с. 330-335.
106. Шашкова, Т.Л. Влияние условия среды на чувствительность рачков *Daphnia magna* к токсикантам. Вестник КрасГУ, 2006. №5. с. 81-85.
107. Шульгин, И.А. Расчет содержания пигментов с помощью номограмм. Наука и техника, 1974. с. 127-136.
108. Экологическое состояние континентальных водоемов Арктической зоны в связи с промышленным освоением северных территорий: сб. науч. тр. Архангельск, 2005 г. 63 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1

ЧСС дафний при действии вытяжки из нефтезагрязненной почвы

Варианты	Частота сердечных сокращений (уд./мин.) на ...час				
	2	24	72	120	168
Контроль	252 ± 3,51	242 ± 1,90	222 ± 1,62	221 ± 1,66	224 ± 2,8
Район 1	308 ± 2,63*	204 ± 2,40*	175 ± 3,55*	160 ± 2,50*	164 ± 1,30*
Район 2	301 ± 2,25*	168 ± 2,87*▲	136 ± 2,20*▲	103 ± 1,70*▲	68 ± 1,39*▲

Примечание: *- статистически достоверные различия между контролем и вариантом эксперимента ($p < 0,05$), ▲ – статистически достоверные различия между районами ($p < 0,05$).

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица 2

Двигательная активность при действии вытяжки из нефтезагрязненной почвы

Варианты	Двигательная активность (см) на ...час				
	2	24	72	120	168
Контроль	30 ± 2,62	25,3 ± 1,43	22,8 ± 1,72	23,1 ± 2,04	23,0 ± 1,0
Район 1	33,3 ± 1,05	22,6 ± 2,73	18,9 ± 1,37*	13,5 ± 2,03*	13,9 ± 1,16*
Район 2	36,0 ± 2,11*	15,2 ± 2,22*	12,5 ± 1,17*▲	6,7 ± 1,81*▲	4,3 ± 0,70*▲

Примечание: *- статистически достоверные различия между контролем и вариантом эксперимента ($p < 0,05$), ▲ – статистически достоверные различия между районами ($p < 0,05$).

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица 3

Содержание первичных продуктов ПОЛ в листьях растений
с территории месторождения

Варианты	Концентрация диеновых конъюгатов (усл. ед./мг.) в листьях		
	осоки острой	голубики обыкновенной	брусники
Контроль	4,86 ± 0,43	3,09 ± 0,06	3,71 ± 0,43
Район 1	6,19 ± 0,11*	4,36 ± 0,43*	5,11 ± 0,62*
Район 2	7,04 ± 0,32* [▲]	4,9 ± 0,41*	5,27 ± 0,65*

Примечание: *- статистически достоверные различия между контролем и вариантом эксперимента ($p < 0,05$), [▲] – статистически достоверные различия между районами ($p < 0,05$).

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Таблица 4

Содержание вторичных продуктов ПОЛ в листьях растений с территории
месторождения

Варианты	Концентрация оснований Шиффа (усл. ед/мг.) в листьях		
	осоки острой	голубики обыкновенной	брусники
Контроль	0,05 ± 0,0011	0,26 ± 0,015	0,38 ± 0,019
Район 1	1,48 ± 0,175*	0,71 ± 0,12*	0,95 ± 0,17*
Район 2	1,91 ± 0,2* [▲]	0,83 ± 0,135*	0,99 ± 0,11*

Примечание: *- статистически достоверные различия между контролем и вариантом эксперимента ($p < 0,05$), [▲] – статистически достоверные различия между районами ($p < 0,05$).

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Таблица 5

Концентрация фенольных соединений в листьях растений с территории
месторождения

Варианты	Содержание фенольных соединений (мг/10мл.) в листьях		
	осоки острой	голубики обыкновенной	брусники
Контроль	10,9 ± 1,2	21,4 ± 1,0	20,0 ± 1,2
Район 1	14,3 ± 1,1*	26,7 ± 0,8*	24,1 ± 1,1*
Район 2	15,1 ± 1,6*	29,2 ± 1,3* [▲]	25,9 ± 0,7* [▲]

Примечание: *- статистически достоверные различия между контролем и вариантом эксперимента ($p < 0,05$), [▲] – статистически достоверные различия между районами ($p < 0,05$).

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Таблица 6

Концентрация пигментов в листьях растений с территории
месторождения

Варианты эксперимента	Хлорофилл а, мг/100 г	Хлорофилл в, мг/100 г	Каротиноиды, мг/100 г	Суммарное содержание пигментов (А+В+К), мг/100 г
осока острая				
Контроль	85,8 ± 0,5	45,5 ± 1,1	18,9 ± 1,0	150,2 ± 0,8
Район 1	69,2 ± 0,6*	30,7 ± 0,3*	14,0 ± 0,9*	113,9 ± 0,6*
Район 2	60,3 ± 0,8* [▲]	23,5 ± 0,3* [▲]	11,0 ± 1,0* [▲]	94,8 ± 0,7* [▲]
голубика обыкновенная				
Контроль	110,8 ± 0,1	67,0 ± 0,8	25,7 ± 0,6	203,5 ± 0,5
Район 1	98,9 ± 0,7*	47,1 ± 0,4*	20,3 ± 0,8*	166,3 ± 0,6*
Район 2	90,2 ± 0,4* [▲]	39,7 ± 0,1* [▲]	18,6 ± 0,5* [▲]	148,5 ± 0,33* [▲]
брусника				
Контроль	103,8 ± 0,6	59,7 ± 0,1	23,3 ± 0,7	186,8 ± 0,47
Район 1	88,5 ± 0,4*	40,8 ± 0,3*	17,9 ± 0,1*	147,2 ± 0,26*
Район 2	78,9 ± 0,2* [▲]	35,3 ± 1,5* [▲]	15,0 ± 1,1* [▲]	129,2 ± 0,93* [▲]

Примечание: *- статистически достоверные различия между контролем и вариантом эксперимента ($p < 0,05$), [▲] – статистически достоверные различия между районами ($p < 0,05$).