

10. Никифоров В.М., Шурыгин В.В. Современное распространение снежного барса в Тувинской АССР. Редкие виды млекопитающих и их охрана. – М.: Наука, 1977. – 139 с.
11. Пальцын М.Ю. Отчет о полевых работах на хр. Сенгелен, Юго-Восточная Тыва, июнь 2004 // Архив Всемирного фонда природы (WWF). – Кызыл, 2004.
12. Сохранение снежного барса в России / М.Ю. Пальцын, С.В. Спицын, А.Н. Куксин [и др.]. – Красноярск: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2012. – 104 с.
13. Поярков А.Д., Карнаухов А.С. Исследование группировки ирбисов в Юго-Западной Туве // Отчёт ИПЭЭ РАН. – М., 2012.
14. Стратегия сохранения снежного барса (ирбиса) в России / А.Д. Поярков, В.С. Лукаревский, А.Е. Субботин [и др.] // Всемирный фонд природы (WWF). – М., 2002.
15. Неинвазивный молекулярно-генетический анализ в исследованиях экологии ирбиса: проблемы и перспективы / В.В. Рожнов, Е.Ю. Зычайная, А.Н. Куксин [и др.] // Экология. – 2011. – № 6. – С. 403–408.
16. Смирнов М.Н., Соколов Г.А., Зырянов А.Н. Распространение и состояние численности снежного барса на юге Сибири // Бюл. МОИП. – 1991. – Т. 96. – Вып. 1. – С. 27–34.



УДК 581.522.5

И.И. Гаврилин, А.М. Шигапов

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОИНДИКАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ФИТОТОКСИЧНОСТИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ

В статье представлены результаты исследований токсического воздействия нефтяного загрязнения почвогрунтов на анатомо-морфологические характеристики растений. Особое внимание уделено вопросам перспективы использования метода фиторемедиации при очистке почвогрунтов, загрязненных нефтепродуктами. Проведена оценка прямого токсического воздействия на растения углеводородов нефти. По результатам исследований фитотоксичности нефтеагрязненных почв определен наиболее эффективный вид растения для использования при рекультивации нефтеагрязненных почв.

Ключевые слова: нефтепродукты, загрязнение, почва, фитотоксичность, фиторемедиация, растения, биомасса.

I.I. Gavrilin, A.M. Shigapov

THE PROSPECTS OF THE BIOINDICATION RESEARCH METHOD USE FOR THE ASSESSMENT OF THE OIL-POLLUTED SOIL PHYTOTOXICITY

The research results of the toxic influence of the soil oil pollution on the anatomical and morphological characteristics of plants are presented in the article. Special attention is given to the prospects of the phytoremediation method use for the purification of soils polluted by oil products. The assessment of the direct toxic influence of the oil hydrocarbons on the plants is carried out. According to the research of the polluted soil phyto-toxicity the most effective type of plants for the use in the oil-contaminated soil recultivation is determined.

Key words: oil products, pollution, soil, phyto-toxicity, phytoremediation, plants, biomass.

Введение. В мировом сообществе нефть и нефтепродукты, с одной стороны, являются важнейшим стратегическим органическим сырьем, обеспечивающим рост и развитие экономики, с другой – опасными загрязнителями компонентов окружающей среды [1].

В зонах техногенного воздействия основная масса загрязнения нефтью и нефтепродуктами, как правило, находится в системе «атмосфера-гидросфера-педосфера», а именно в трех компонен-

такх экосистем: приземной слой атмосферы, поверхностные воды и почвенный покров. В результате загрязнения нефтью и нефтепродуктами компонентов экосистем через воздушную, водную и почвенную среды происходит поступление загрязнителей в живые организмы, их дальнейшая трансформация, аккумуляция, перераспределение и перемещение.

Однако, если в приземном слое атмосферы и поверхностных водах высокие концентрации нефти и нефтепродуктов наблюдаются непродолжительный промежуток времени и вследствие достаточного разбавления снижаются, то в почвах загрязнение накапливается и существенно влияет на их свойства, а степень устойчивости определяется их буферностью. Под буферностью почв следует понимать способность почв обеспечивать минимальный уровень содержания нефтепродуктов в почвенном растворе.

Загрязнение нефтью почв сопровождается сильным негативным воздействием на растения, главным образом из-за изменения её физико-химических свойств (увеличение гидрофобности, заполнение нефтью почвенных капилляров) и прямого токсического действия углеводородов нефти (фитотоксичности) [2], обусловленного содержанием в нефти токсических компонентов.

На сегодняшний день для ликвидации нефтяного загрязнения используется широкий выбор методов, однако из всех существующих способов очистки и рекультивации почв при умеренной степени загрязнения наиболее эффективными считаются биологические, среди которых существенное признание в науке приобретают приемы фиторемедиации [3–5].

При фиторемедиации положительное воздействие посева растений на нефтезагрязненную почву объясняется тем, что растения используют углеводороды нефти в качестве дополнительного питания и способствуют улучшению газовоздушного режима загрязненной почвы, обогащая её при этом различными активными соединениями, что в конечном итоге стимулирует рост числа микроорганизмов и, соответственно, ускоряет разложение нефти и нефтепродуктов [6].

Следует отметить, что существенным недостатком использования растений при рекультивации нефтезагрязненных почв является их высокая чувствительность к нефтяному загрязнению в силу его токсичности, поэтому фиторемедиация может применяться лишь на почвах со средним уровнем загрязнения.

Цель исследований. Оценка прямого токсического воздействия различных концентраций углеводородов нефти на анатомо-морфометрические характеристики растений, произрастающих на загрязненных почвах.

Основная задача исследований заключалась в определении эффективности видов растений при рекультивации нефтезагрязненных почв.

Материалы и методы исследований. Лабораторные и камеральные исследования проводились на базе лаборатории «Мониторинг окружающей среды» Уральского государственного университета путей сообщения, производился посев семян и их дальнейшее выращивание в загрязненной почве.

Для оценки эффективности метода фиторемедиации проводились полевые исследования с отбором проб почв, наиболее характерных для природно-климатических условий Свердловской области [7]. В качестве тест-объектов использовались семена культур, произрастающих в природно-климатических условиях Среднего Урала и широко применяемых в качестве фитомелиорантов: клевер луговой (*Trofolium pretense* (L.)), овес посевной (*Avena sativa* (L.)), горчица обыкновенная (*Brassica nigra* (L.) Koch.) [8].

Достоверность данных биотестирования обеспечивалась выращиванием тест-объектов в равных условиях. Для исследований были подобраны сосуды из инертного нетоксичного материала одинаковой цветовой гаммы, ёмкостью 5 литров, вмещающие 4 кг почвы. В каждый из сосудов с равномерным распределением по поверхности производилась посадка семян тест-объектов в количестве 200 шт. Тест-объекты выращивались при одинаковых внешних факторах воздействия: освещенность, приближенная к реальным условиям; влажность почвы, поддерживаемая на уровне 60 % полной влагоемкости; температура, поддерживаемая на уровне 18–25 С°. Полив производился в одинаковое время и с одинаковым объемом. В образцы почв предварительно вносилось опре-

деленное количество сырой нефти для получения установленных значений концентрации: 10 и 20 мг/кг. Контрольные образцы применялись без загрязнения сырой нефтью.

Основная концепция исследований заключалась в быстрой оценке влияния загрязненных почв на морфометрические показатели тест-объектов, выращиваемых на протяжении 45 суток.

Результаты исследований и их обсуждение. Первый этап исследований, проведенный в период 2012–2013 гг. [1], включал в себя изучение биологических методов очистки почв, с использованием метода биоремедиации, основанного на внесении органических структурообразующих субстратов в состав сильноагрязненных нефтью и нефтепродуктами почв. По результатам исследований доказано, что эффективность применения предлагаемого метода достигает 60 % деструкции нефтепродуктов от их первоначального содержания.

Таким образом, применение метода биоремедиации обеспечивает восстановление сильноагрязненных почв до уровня, который позволяет использовать следующий этап биологической очистки – фиторемедиацию. Одной из существенных проблем метода фиторемедиации является выбор растений с повышенным уровнем «выживаемости» и продуктивности в загрязненных почвах.

Второй этап исследований биологических методов очистки по изучению фитотоксичности нефтезагрязненных почв проводился в 2013–2014 гг. В рамках исследований определялись: всхожесть, энергия прорастания и другие анатомо-морфометрические признаки растений, выращиваемых в почве с разными концентрациями нефти, а также зависимость фитотоксичности от степени загрязнения почв.

Наблюдения за ростом растений в период экспериментальных работ показали, что нефтепродукты, в том числе в небольших концентрациях (1–2 % от массы почв), оказывают высокое токсическое воздействие на растения. Выявлена прямая зависимость анатомо-морфологических признаков растений от изначальной концентрации нефтепродуктов в загрязненных почвах. Результаты исследований представлены в таблицах 1–3.

Для визуализации полученных данных результаты исследований по определению фитотоксичности почвы представлены на рисунке.



Результаты исследований фитотоксичности нефтезагрязненных почв (с концентрацией нефти: 0, 10, 20 мг/кг – слева направо) на произрастание тест-объектов:
а – клевер луговой (*Trifolium pretense* (L.)); б – овес посевной (*Avena sativa* (L.)); в – горчица обыкновенная (*Brassica nigra* (L.) Koch.)

Таблица 1

Всхожесть тест-объектов в почвах с разными концентрациями загрязнения нефтью

| Концентрация нефти, мг/кг | Всхожесть, % | | |
|---------------------------|--|---|--|
| | Клевер луговой (<i>Trofolium pretense</i> (L.)) | Овес посевной (<i>Avena sativa</i> (L.)) | Горчица обыкновенная (<i>Brassica nigra</i> (L.) Koch.) |
| 0 | 30 | 110 | 12 |
| 10 | 36 | 169 | 8 |
| 20 | 15 | 161 | 2 |

Анализ всхожести тест-объектов в зависимости от концентрации нефтяного загрязнения в почвах в образцах с тест-объектами *Trofolium pretense* (L.) и *Avena sativa* (L.) показал отсутствие прямой взаимосвязи токсичности почв на растения при различных концентрациях нефтяного загрязнения. К основной причине того, что не установлено прямой взаимосвязи, следует отнести то, что нефтепродукты, являясь по своему составу углеводородами, выступают в качестве дополнительного питания растений. В связи с этим при малых концентрациях нефтяного загрязнения всхожесть семян тест-объектов закономерно увеличивается. Однако при дальнейшем увеличении концентрации нефтяного загрязнения всхожесть семян тест-объектов начинает снижаться, что в свою очередь свидетельствует о токсическом воздействии нефти на растения.

При применении в качестве тест-объекта *Brassica nigra* (L.) получена положительная зависимость всхожести семян растения от концентрации нефтяного загрязнения.

В результате исследований выявлено, что наиболее устойчивым по критерию всхожести семян из предложенных растений к нефтяному загрязнению является *Avena sativa* (L.). Количество взошедших семян в нефтезагрязненных почвах составило 80–85 % от их общего количества, при сравнительно небольшом значении тест-объектов *Trofolium pretense* (L.) и *Brassica nigra* (L.) Koch, всхожесть семян которых в среднем составила лишь 12 и 3 % соответственно. Относительно низкая всхожесть семян тест-объектов *Trofolium pretense* (L.) и *Brassica nigra* (L.) Koch, кроме токсического влияния углеводородов нефти, может быть связано с низким качеством семян.

Таблица 2

Длина ростков и корней тест-объектов в почве с разными концентрациями загрязнения нефтью

| Концентрация нефтепродуктов, мг/кг | Клевер луговой (<i>Trofolium pretense</i> (L.)) | Овес посевной (<i>Avena sativa</i> (L.)) | Горчица обыкновенная (<i>Brassica nigra</i> (L.) Koch.) | Высота ростков, см. |
|------------------------------------|--|---|--|---------------------|
| | | | | Длина корней, см |
| 0 | 18±3 | 47±5 | 18±2 | 7±1 |
| 10 | 8±1 | 33±3 | 10±1 | 13±2 |
| 20 | 6±0,5 | 27±2 | 4±0 | 10±2 |

На основании полученных данных во всех исследуемых вариантах выявлена положительная зависимость длины ростков и корней тест-объектов в зависимости от концентрации нефтяного загрязнения в почвах. Длина ростков и корней, произрастающих на нефтезагрязненной почве тест-объектов, заметно снижается при увеличении концентрации загрязнения. Кроме того, при увеличении концентрации нефтяного загрязнения почв увеличивается негативное влияние на эффективность произрастания тест-объектов (см. рис.).

На основании полученных данных зависимости длины ростков тест-объектов от концентрации нефтяного загрязнения выявлено, что наименьшее токсическое влияние оказывается на *Avena sativa* (L.). Уменьшение длины ростков *Avena sativa* (L.) от нефтяного загрязнения, равного 10 мг/кг, составило 29 %, а при 20 мг/кг – 42 %. Тогда как в образцах с применением *Trofolium pretense* (L.) и *Brassica nigra* (L.) Koch. уменьшение составило порядка 50 % при 10 мг/кг и 70 % при 20 мг/кг.

Как видно из данных таблицы 2, наименьшему негативному токсическому воздействию подвергается корневая система *Trofolium pretense* (L.). Уменьшение длины корневой системы *Trofolium pretense* (L.) от нефтяного загрязнения до 20 мг/кг составляет лишь 12,5 %.

Таблица 3
Биомасса тест-объектов в почвах с разными концентрациями загрязнения нефтью

| Концентрация нефти, мг/кг | Биомасса, мг | | |
|---------------------------|--|---|--|
| | Клевер луговой (<i>Trofolium pretense</i> (L.)) | Овес посевной (<i>Avena sativa</i> (L.)) | Горчица обыкновенная (<i>Brassica nigra</i> (L.) Koch.) |
| 0 | 1,098 | 10,235 | 1,047 |
| 10 | 0,503 | 6,827 | 0,177 |
| 20 | 0,103 | 6,780 | 0,004 |

Анализ результатов исследований биомассы тест-объектов в почве с разными концентрациями загрязнения нефтью показывает, что присутствие в почвах углеводородов нефти, даже в небольших концентрациях, негативно сказывается на росте растений и тем самым на значениях их биомассы. В вариантах с применением в качестве тест-объектов *Avena sativa* (L.) и *Trofolium pretense* (L.) содержание углеводородов нефти в количестве менее 1% от массы почв приводит к угнетению роста растений, вследствие чего их биомасса уменьшается на 30 и 50 % соответственно, а в варианте с *Brassica nigra* (L.) Koch уменьшение произошло на 83 %.

Дальнейшее увеличение концентрации нефтяного загрязнения в образцах почв приводит к более высокой степени угнетения роста растений, так, уменьшение биомассы тест-объектов при содержании углеводородов нефти в почвах 20 мг/кг составило: *Trofolium pretense* (L.) – 90,6 %; *Avena sativa* (L.) – 33,7; *Brassica nigra* (L.) Koch. – 99,6 %.

Следовательно, учитывая данные по такому показателю, как биомасса тест-объектов, наиболее приемлемым видом растения для использования его в целях рекультивации нефтезагрязненных почв является *Avena sativa* (L.). Значение биомассы *Avena sativa* (L.) практически в 10 раз превышает значения биомассы других исследованных тест-объектов. Негативное воздействие, оказываемое на биомассу тест-объектов, сказывается на *Avena sativa* (L.) менее, чем на других тест-объектах.

Полученные результаты исследований тест-объектов, выращиваемых в камеральных условиях на нефтезагрязненной почве в течение 45 суток, свидетельствуют, что во всех исследуемых объектах проявляется острое токсичное влияние нефтезагрязненных почв на анатомоморфометрические характеристики тест-объектов. При этом более высокие концентрации нефти в почвах вызывают усиление токсического влияния на произрастание растений.

Необходимо отметить, что в рамках проведенных исследований выявлена плохая смачиваемость нефтезагрязненных почв при их поливе. Вода застаивалась, собираясь на поверхности, и не проникала в почву. Тем самым содержание нефтепродуктов в почве, кроме прямого токсического воздействия, препятствует полноценному росту и развитию растений в загрязненных почвах вследствие нарушения водно-воздушного режима.

По результатам практического применения фиторемедиации в составе первого этапа исследований биологических методов очистки на загрязненных почвах отмечается факт существенного снижения концентрации углеводородов нефти в течение 30–45 дней практически до уровня ориентировочно допустимых концентраций [9].

Основное достоинство предлагаемого комплекса биологических методов очистки почв заключается в том, что не разрушается плодородный слой, не требуется применение специальной техники, не оказывается попутного негативного воздействия на компоненты окружающей среды, практически не оказывается отрицательного влияния на функционирование аборигенных почвенных биоценозов и не создается препятствий восстановлению первоначального микробного сообщества в почве. В процессе применения биологических методов происходит повышение биогенности почв, это способствует активизации природных резервов экосистемы, увеличению численности аборигенной микрофлоры и росту растений, что в комплексе приводит к очищению грунтов от углеводородов нефти.

Выводы. Таким образом, полученные результаты исследований свидетельствуют, что посев растений на нефтезагрязненную почву является одним из перспективных направлений доочистки. Наиболее эффективным в качестве фиторемедианта является *Avena sativa* (L.), который среди исследуемых тест-объектов менее других подвержен токсическому воздействию нефти и наиболее приспособлен к произрастанию на загрязненных нефтью почвах. Корневая система *Avena sativa* (L.) практически не подвержена токсическому воздействию, о чем свидетельствуют результаты исследований её морфометрических характеристик. Развитая корневая система *Avena sativa* (L.) способствует образованию почвенных пор, благодаря которым усиливается доступ кислорода в нижележащие слои грунта, развитие в ризосферной среде микроорганизмов, синтез ферментов, активизирующих рост микроорганизмов и разрушение компонентов нефти [9].

Посев семян *Avena sativa* (L.) на нефтезагрязненные, предварительно рекультивированные участки позволяет создать благоприятный воздушный режим в почве, снабдить почву органическим веществом за счет отмирающих клеток корней и выделения различных биоактивных веществ, которые могут непосредственно разрушать загрязнитель или способствовать росту ризосферных микроорганизмов. *Avena sativa* (L.), показав наиболее высокие значения по выбранным критериям, является наиболее устойчивым из всех представленных вариантов растений к нефтяному загрязнению и наиболее приемлемым видом растения для использования его в целях рекультивации нефтезагрязненных почв Свердловской области.

Литература

1. Гаврилин И.И., Шигапов А.М. Перспективы использования аборигенной микрофлоры для борьбы с нефтяным загрязнением // Сб. науч. тр. IV информ. школы молодого ученого. – Екатеринбург, 2014. – С. 326–332.
2. Назаров А.В., Иларионов С.А. Изучение причин фитотоксичности нефтезагрязненных почв // Альтернативная энергетика и экология. – 2005. – № 1. – С. 60–65.
3. Турковская О.В., Муратова А.Ю. Биодеградация органических поллютантов в корневой зоне растений // Молекулярные основы взаимоотношений ассоциированных микроорганизмов с растениями. – М.: Наука, 2005. – С. 180–208.
4. Роль фитомелиорации в воспроизводстве плодородия черноземов Зауралья (Башкирия) / Я.Т. Суюндуков, Б.М. Миркин, Ш.Р. Абдуллин [и др.] // Почвоведение. – 2007. – № 10 – С. 1217–1225.
5. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под. ред. Д.Г. Звягинцева. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.
6. Назаров А.В. Использование микробно-растительных ассоциаций для очистки почвы от нефтяного загрязнения // Изв. Самар. науч. центра РАН. – 2013. – Т. 15. – № 3 (5) – С. 1673–1675.
7. Гафуров Ф.Г. Почвы Свердловской области. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2008. – 396 с.

8. Гаврилин И.И., Губарь М.А. Оценка влияния железной дороги на состояние растительности по показателям фитотоксичности почв с использованием тест-объекта «*Avena Sativa L.*» // Междунар. науч.-исслед. журн. – 2012. – № 7-1 (22). – С. 27–29.
9. Гаврилин И.И., Шигапов А.М. Некоторые особенности биологических методов очистки почвогрунтов от загрязнения нефтепродуктами // Междунар. науч.-исслед. журн. – 2014. – № 3-1 (22). – С. 43–46.



УДК 597.2/.5+574.589

А.Л. Павленко, В.П. Стариков

КАРПОВЫЕ (CYPRINIDAE) УРБАНИЗИРОВАННОЙ И НЕНАРУШЕННОЙ ТЕРРИТОРИЙ СРЕДНЕГО ПРИОБЬЯ

В работе дана эколого-морфологическая характеристика рыб семейства Карповые водоёмов г. Сургута и Сургутского района.

Ключевые слова: карповые, меристические и пластические признаки, ихтиофауна.

A.L. Pavlenko, V.P. Starikov

CYPRINIDS (CYPRINIDAE) OF THE URBAN AND UNDISTURBED AREAS OF THE MIDDLE OB REGION

The ecological and morphological description of the Cyprinid family fish in Surgut and Surgut district reservoirs is given in the article.

Key words: cyprinids, meristic and plastic features, ichthyofauna.

Введение. В настоящее время, в связи с быстрорастущей инфраструктурой г. Сургута (строительство дорог, систем предприятий, коммуникаций и т.д.), возникает необходимость в ихтиологической характеристике водоёмов.

Различная степень техногенного воздействия на ихтиофауну водоёмов способствует изменению структуры популяций, морфологических показателей, отсюда возрастает необходимость комплексного биоиндикационного мониторинга данной территории.

По типу водного режима, климатическим условиям, источникам питания, особенностям рельефа, а также условиям формирования годового стока и его внутригодовому распределению реки бассейна Средней Оби в пределах широтного отрезка относятся к рекам лесной зоны равнинного гидрогеологического района [1].

Карповые являются самым крупным, как по числу видов (на территории округа обитают 13 видов), так и по уловам, семейством; часть из них распространены повсеместно (плотва, язь, елец), относительно неприхотливы (серебряный карась, плотва) [2]. Многие имеют существенное значение в рыболовстве.

Цель работы. Дать краткую эколого-морфологическую характеристику некоторых видов рыб семейства Карповые водоёмов г. Сургута и Сургутского района.

Материал и методы. Материал собран в характерные гидрологические сезоны (половодья, осенняя межень, зимняя межень) 2012–2014 гг. В г. Сургуте учеты рыб проведены на реках Чёрная и Сайма, озере Соровое и водохранилище ГРЭС. В качестве контроля использована старица р. Большой Юган (окрестности д. Юган Сургутского района) как относительно ненарушенный водоём [3]. Обработку ихтиологического материала проводили по общепринятым стандартным мето-