

УДК 581.5:632.122.2+631.466.1

ВЛИЯНИЕ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ НА РАСТЕНИЯ

А.В. Назаров

Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, 614081, Пермь, ул. Голева, 13
Пермский государственный университет, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15

Систематизированы литературные данные о воздействии нефтяного загрязнения почвы на растения. Рассмотрены основные механизмы влияния загрязненной почвы. Обсуждена роль микроорганизмов в проявлении фитотоксических свойств нефтезагрязненной почвы.

В настоящее время нефть является одним из основных загрязнителей окружающей среды. Опасность данного загрязнителя, прежде всего, связана с высокой чувствительностью к нему высших растений, притом, что они занимают ключевое положение практически во всех наземных экосистемах, определяя существование и состав остальных биологических компонентов биогеоценозов (Красильников, 1958; Работнов, 1978; Работнов, 1978; Бигон и др., 1989; Звягинцев и др., 1992; 1993). Кроме того, негативное влияние нефтяного загрязнения на растения снижает эффективность их использования при фиторекультивации нефтезагрязненных почв.

Основными факторами отрицательного воздействия нефтяного загрязнения почвы на биологические объекты, которые обычно отмечаются в литературе, являются токсическое действие углеводородов нефти и изменение физико-химических свойств почвы (Гузев и др., 1989; Халимов и др., 1996). Влияние нефтяного загрязнения на физико-химические свойства почвы связано, главным образом, с обволакиванием нефтью почвенных частиц в связи, с чем происходит сильное увеличение гидрофобности почвы, она утрачивает способность впитывать и удерживать воду, происходит вытеснение воздуха из почвенных пор, и, в конечном итоге, нарушается водный и воздушный режимы почвы (Трофимов и др., 2000). В ряде работ (Оборин и др., 1988; Гузев и др., 1989; Халимов и др., 1996) показано, что рост гидрофобности и другие изменения физических свойств почвы обусловлены тяжелыми фракциями, а прямой токсической эффект нефтезагрязненной почвы определяется легкими фракциями углеводородов нефти. Легкие фракции сравнительно легко и быстро разрушаются или мигрируют из почвы, и при сильном загрязнении основную роль в негативном влиянии играют трудноразложимые тяжелые фракции (Гузев и др., 1989; Халимов и др., 1996).

Кроме того, в нефтезагрязненных почвах уменьшается доступность для растений элементов

минерального питания (ЭМП): азота, фосфора, калия, из-за их иммобилизации микроорганизмами под воздействием высокого соотношения углерода/азота, обволакивания нефтью почвенных частиц, которое препятствует миграции подвижных форм ЭМП в раствор, а также вследствие отрицательного влияния нефти на бактерии, участвующих в круговороте азота в почве (Хазиев и др., 1988; Исмаилов, 1988; Xu, Johnson, 1997).

Меньшее внимание уделялось исследованию трансбиотического влияния нефтяного загрязнения почв на растения. В условиях пустынь и полупустынь отмечена массовое поражение растений, произрастающих на почвах с битумами нефти, вредителями, вызывающими галлообразование (Несветайлова, 1953; Викторов, 1957; Грищенко, 1982). По данным Е.В. Лебедевой с соавторами (1988) в почве под влиянием выбросов нефтехимического завода зарегистрировано повышение численности фитопатогенных микромицетов. При нефтяном загрязнении отмечается увеличение количества почвенных грибов, продуцирующих токсины, которые угнетают и вызывают гибель растений (Киреева и др., 2000; Назаров, 2000; Иларионов и др., 2003).

Как правило, к угнетению и гибели растений приводят даже невысокие концентрации нефти и нефтепродуктов в почве. По некоторым данным полная гибель травянистых растений происходит при объеме утечки $1,1 \text{ л/м}^2$, то есть содержании 0,5% нефти в 15 см слое почвы (McGrath, 1988), а прекращение роста растений наблюдается в обычно при содержании в почве 3500 мг нефти на кг почвы, что составляет 0,35% (McGill, 1977). Другой особенностью действия нефтяного загрязнения почвы на растения является его очень большая длительность, из-за медленного самоочищения загрязненных почв. По литературным данным, полученным в разных климатических условиях, период восстановления растительности на почвах при их сильной степени может составлять до 10-20 лет и более (Hunt et al., 1973; Freedman,

Hutchinson, 1976; McGill, 1977; Шилова, 1977; 1978; Демиденко, Демурджан, 1988; Максименко и др., 1997).

Т. Савкина с соавторами выделили следующие степени влияния нефти на урожайность растений в зависимости от ее концентрации в почве: I. Небольшое повреждение почвы при дозе нефти в 0,1-0,25 кг/м² земли, снижение урожая в течение двух лет, при этом оно не превышает 25%. II. Среднее повреждение 0,25-0,5 кг/м² – вызывает исключение почвы из производственного цикла до одного года, снижение урожая примерно на 50% продолжается в течение следующих пяти-шести лет. Полного восстановления почва достигает, по всей вероятности, через десять-двенадцать лет. III. Сильное повреждение 0,5-1,0 кг/м² исключение почвы из производственного цикла до трех лет. Полного восстановления почва достигает по всей вероятности через пятнадцать лет. IV. Очень сильное повреждение – более чем 1,0 кг/м² земли, полное исключение почвы из производственного цикла до пяти-десяти лет, в зависимости от количества нефти содержащейся в почве.

Однако существуют экосистемы, где нефтяное загрязнение оказывает слабое негативное воздействие или влияет даже положительным образом на растения. В условиях пустынь и полупустынь на богатых битумами почвах, находящихся над зонами глубинных разломов нефтеносных территорий, часто отмечается стимулирование растений. Они имеют ярко-зеленый цвет в течение всего вегетативного сезона, в то время как вне этих зон растительный покров выгорает к началу июня, высота растений в 2-3 раза выше, чем на незагрязненных участках, соответственно выше и продуктивность растительных сообществ (Грищенко, 1982). В условиях пустыни Кувейта ряд видов растений были устойчивы к почвенному загрязнению сырой нефтью в дозе до 10% (Radwan et al., 1995). Предлагается даже использовать нефть, нефтепродукты (мазут, битумные смеси и др.), шламовые отходы в качестве противозерозионных средств для закрепления песков и для улучшения их зарастания растениями в зоне пустынь и полупустынь (Леонтьев, Ким, 1973; Подгорнов, 1984; Свинцов, 1984; Кокшарова, 1986; Эшмуратов, Мирзажанов, 1989; Бабаев и др., 1988; Данилин, Сабиров, 1986). Слабо реагирует на загрязнение нефтью гидрофитная и водная растительность. Многие водные и гидрофитные виды растений устойчивы к влиянию нефти до концентрации 10 г/л воды, при этом нефть в концентрации 1 г/л обладает стимулирующим эффектом (Морозов, Петров, 1972). Нефть оказывает относительно слабое и кратковременное действие в естественных и лабораторных условиях на обычные для заболачиваемой зоны морских побережий (маршей) виды растений *Spartina alterniflora* и *S. patens* даже в высоких дозах, до 8-32 л/м² (DeLaune et al. 1979; Smith et al., 1984; Lin, Mendelsohn, 1996).

Нужно заметить, что нефть не редко оказывает также стимулирующее действие на растения и не только в пустынных, водных и болотных биоценозах. В экспериментах И.И. Шиловой (1988) при внесении в почву нефти в дозе 2,4 л/м² всходили и росли только единичные растения овсяницы луговой и костра безостого, но при этом наблюдалось увеличение их массы в десятки раз, по сравнению с массой отдельного растения, выращенного на не загрязненной почве. К стимулирующему действию нефти на растения также можно отнести повторное цветение у видов, нормально цветущих один раз в сезон (Несветаилова, 1953; Грищенко, 1982). Предполагается, что здесь могут иметь место следующие факторы (Шилова, 1988): действие стимуляторов роста растений, содержащихся в нефтях; улучшение питания растений за счет разложения нефтяных органических веществ; уменьшение конкуренции между растениями из-за изреживания травостоя под воздействием нефти.

В целом на нефтезагрязненных почвах у растений отмечаются следующие физиологические и фенологические отклонения от нормы (Грищенко, 1982): 1) появление гигантских и карликовых форм; 2) нарушение нормальных пропорций во внешнем облике растений; 3) возникновение наростов, наплывов, утолщений, придающих отдельным экземплярам уродливый облик; 4) нарушение нормального ритма развития (повторное цветение видов, нормально цветущих один раз в сезон); 5) сильная поврежденность растений вредителями. На клеточном и физиологическом уровне воздействие углеводов нефти на растения проявляется в нарушении структуры хлоропластов и фотосинтеза (Веселовский, Вишевец, 1988; Píkovski et al., 1998). Углеводороды повреждают мембраны хлоропластов, митохондрий (Буадзе, 1988), мембраны клеток корня (Gilfillan et al., 1989). Растения, растущие при нефтяном загрязнении почвы, содержат значительно большее количество веществ со стресспротективными свойствами – антоцианов, аскорбиновой кислоты, рибофлавина, чем без загрязнения (Чупахина, Масленников, 2004).

Устойчивость растений к нефтяному загрязнению сильно зависит от их стадии развития и их биомассы. Так, негативное влияние нефти на подрост сосны высотой до 75 см проявляется при дозе 5 л/м², а высотой 110-130 см – при дозе 10 л/м² (Невзоров, 1976). Наиболее чувствительны к токсическому воздействию нефтепродуктов растения, находящиеся на ранних стадиях развития (Mcgill, 1977; Казанцева, 1994), а устойчивы многолетние взрослые растения, так как у них происходит отрастание новых органов из спящих почек, после гибели части растений после загрязнения (Baker, 1971; Hunt et al., 1971; Wein, Bliss, 1973; Burk, 1977). Поэтому нефтезагрязненные участки заселяют, прежде всего, виды растений способные к вегетативному размножению, при котором обра-

зуются уже вполне развитые растения мало чувствительные к нефти в почве (Назаров и др., 2000). Это доказывает и то, что большинство видов растений, которые указываются как наиболее толерантные к нефтяному загрязнению, а также как пионерные растения нефтезагрязненных почв (Шуйцев, 1982; Шилова, 1977; 1978; 1988; Максименко и др., 1997) способны к быстрому вегетативному размножению. Растения, высаженные рассадой и корневищами, обнаруживают большую устойчивость к нефтяному загрязнению почвы, снижение их общей биомассы при загрязнении у данных растений по сравнению с растениями, посаженными в чистую почву на порядок меньше, чем у растений, посеянными семенами (Назаров и др., 2005). Таким образом, данным способом посадки удастся получить большую биомассу растений на нефтезагрязненной почве, чем при высеве растений семенами. Часто пионерными растениями нефтезагрязненных почв в связи с их повышенной толерантностью являются деревья и кустарники, мхи, напротив, показывают повышенную чувствительность к нефтяному загрязнению (Шилова, 1977; 1978; Максименко и др., 1997; Гашева и др., 1990). В работе Д.Б. Робсон с соавторами (2004) было показано, что растения, при прорастании в нефтезагрязненной почве имеющие крупные семена были менее чувствительны к нефтяному загрязнению почвы, чем обладающие мелкими семенами. Так если у видов растений с массой семян 1,0-9,9 мг нефтяное загрязнение приводило к снижению биомассы растений на 25%, то у растений с массой менее 0,1 мг – на 95%.

В литературе отмечены противоречивые сведения по влиянию нефтяного загрязнения на лишайниковый покров. По одним источникам лишайники являются одной из наиболее чувствительных к нефти групп организмов (Hunt et al., 1971; Fridman, Hartschinson, 1976; Шилова, 1977; 1978), по другим – лишайники могут даже доминировать в растительных сообществах при нефтезагрязнении почвы (Atlas et al., 1976; Максименко и др., 1997). Подобного рода противоречия не редко встречаются в литературе и по другим вопросам влияния на растения нефтяного загрязнения. Например, по данным Н.А. Киреевой с соавторами (2001а) у звездчатки средней (*Stellaria media*) была отмечена повышенная толерантность к нефтяному загрязнению почвы, в наших исследованиях (Назаров и др., 2000) данный вид был одним из наиболее чувствительных к содержанию нефти в почве.

Противоречивые результаты были получены и по влиянию нефти на прорастание семян растений. В ряде работ нефть оказывала сильное отрицательное воздействие (таб. 1). В отдельных работах отмечено отсутствие воздействия нефтяного загрязнения на прорастание семян (Blankenship, Larson, 1978). Как правило, в полевых условиях нефтяное загрязнение почвы действует негативно на прорастание сильнее (Невзоров, 1976; Шилова, 1988), чем в лабораторных (Халимов и др., 1996;

Киреева и др., 2001а; 2001b; Аниськина, 2006). Данное отрицательное влияние объясняется не только токсичностью нефти, но и приобретением почвы гидрофобных свойств (Невзоров, 1976; Шилова, 1988), кроме того, углеводороды нефти, сорбируясь на поверхности семян, препятствуют поступлению в них воды. Это подтверждается тем, что семена, пролежавшие в почве три месяца и даже перезимовавшие в ней, не теряли своей жизнеспособности (Невзоров, 1976).

По нашим данным всхожесть семян растений в нефтезагрязненной почве определяется, в основном, доступностью для них воды и кислорода, а не токсичностью нефти (Назаров, 2004). Семена клевера лугового (*Trifolium pratense*) замоченные в воде течение суток и высаженные на поверхность почвы нормально прорастали до концентрации нефти в почве 30%. Выше этой дозы нефть не сорбировалась почвенными частицами, при этом растения всходили через пленку нефти на поверхности почвы, отдельные растения в эксперименте появлялись даже при загрязнении 40 %, когда толщина нефтяной пленки достигала 3 мм. Отрицательное влияние нефтяного загрязнения на сухие и замоченные семена, помещенные в толщу загрязненной почвы, проявлялось при дозах нефти выше 5%. Полное отсутствие прорастания в этих случаях отмечалось при 30-35%. Снижение всхожести у сухих семян, посаженных на поверхность почвы, наблюдалось при концентрациях выше 10%, полное ингибирование прорастания – при 35%. Угнетение и гибель растений на нефтезагрязненной почве во всех вариантах отмечались через 10-15 дней после их прорастания, до этих сроков никаких видимых признаков угнетения растений отмечено не было.

Таким образом, не смотря на относительно широкое распространение метода оценки токсичности нефтезагрязненной почвы по всхожести в ней семян растений (Панозишвили, Чубинидзе, 1987; Петухов и др., 2000; Banks et al., 2003), этот метод не дает корректного представления о токсичности почвы, так как прорастание семян в данном случае сильно зависит от доступности для них воды и кислорода.

Массовая гибель молодых растений через некоторое время после их прорастания в нефтезагрязненной почве, отмеченная в нашем эксперименте, также наблюдалась многими авторами (Демиденко и др., 1983; Веселовский, Вишевцев, 1988; Шилова, 1988; Максименко и др., 1997; Аниськина, 2006). Этот эффект не связан с ухудшением физических свойств нефтезагрязненной почвы, так как он отмечается и при внесении в почву с нефтью композитных смесей, восстанавливающих промывной и воздушный режим почвы (Демиденко и др., 1983). Другим объяснением может быть медленное проникновение в растения углеводородов нефти, которые в конечном итоге вызывают его угнетение и гибель. Однако массо-

вая гибель проростков происходит как в только что загрязненной почве, так и в почве через несколько лет после загрязнения (Шилова, 1988; Максименко и др., 1997). Период острого токсического действия при нефтяном загрязнении не так длителен, так как он обусловлен легкими фракциями углеводородов, которые относительно быстро выветриваются и разрушаются (Гузев и др., 1989). Кроме того, как

уже было сказано, в некоторых случаях нефтяное загрязнение оказывает слабое негативное воздействие или влияет на растения даже положительным образом, что слабо согласуется с представлением о высокой фитотоксичности углеводородов нефти.

Таблица 1

Влияние нефтяного загрязнения почвы на прорастание в ней семян

Вид растения	1	2	Примечание	Литературный источник
<i>Pinus sylvestris</i>		4 л/м ² (2%)*	Отсутствие прорастания семян в течение 5 лет	Невзоров, 1976
<i>Avena sativa</i>	5%	10%		Демиденко и др., 1983
<i>Bromus inermis; Festuca pratensis</i>	2,4 л/м ² (1%)*	22 л/м ² (10%)*		Шилова, 1988
<i>Lepidium sativum</i>	80 мл/кг (6,4%)	400 мл/кг (32%)*		Халимов и др., 1996
<i>A. sativa; Hordeum vulgare; Secale cereale</i>	1%	5%-7%		Петухов и др., 2000
<i>A. sativa; Echinochloa crusgalli; Hordeum distichon; L. sativum; Melilotus officinalis; Panicum miliaceum; S. cereale; Stellaria media; Triticum aestivum; Zea mays</i>	1-2%		10-15% нефти в почве снижало всхожесть по сравнению с незагрязненной почвой от 1,5 до 5 раз	Киреева и др., 2001; 2001
<i>Arabidopsis thaliana</i>	15%		Семена высаживались в почву, концентрация менее 7,5% в большинстве случаев имела стимулирующее действие, при 15% всхожесть снижалась в 1,2 раза	Аниськина, 2006
<i>A. thaliana</i>	1,1%	4,5%	Семена высаживались в песок, концентрация 0,6% и менее имела стимулирующее действие	Аниськина, 2006

Примечание. 1 - минимальная использованная концентрация нефти, вызвавшая отрицательный эффект; 2 – концентрация нефти, вызвавшая полное ингибирование прорастания семян; * - ориентировочный пересчет в процентное содержание нефти выполнен автором статьи

Существующие противоречия сглаживает гипотеза о микробном происхождении в нефтезагрязненной почве фитотоксинов. Т.Г. Мирчинк (1988) на основании данных о росте численности микромицетов в загрязненных тяжелыми металлами, нефтью и пестицидами почвах предположила, что повышение токсичности загрязненных почв для растений в данных случаях может быть обусловлено действием микотоксинов. Эксперименты с обработкой семян и проростков растений средами, на которых культивировались микромицеты, выделенные из загрязненной и не загрязненной

нефтью почв, показали повышение при загрязнении численности грибов способных к продукции фитотоксинов (Киреева и др., 2000). При этом, например, культуральная жидкость *Penicillium variabile* – типичного микромицета при нефтяном загрязнении и не выделенного из незагрязненной почвы угнетала рост корней пшеницы (*T. aestivum*) на 100%, кресс-салата (*L. sativum*) – на 88%, кукурузы (*Z. mays*) – на 82%. В экспериментах данных авторов также наблюдалась неоднозначность действия микотоксинов на растения, зависящее от вида растения. Культуральная жидкость *Aspergillus*

terreus, доминировавшего в загрязненной почве, ингибировала рост корней проростков пшеницы (*T. aestivum*) на 100%, кресс-салата кресс-салата (*L. sativum*) – на 21%, но стимулировала рост корней кукурузы (*Z. mays*) и ржи (*S. cereale*) на 108% и 38% соответственно. Таким образом, возможно, что нефть положительно влияет на растения также и через изменение микробного сообщества при загрязнении почвы.

Опыты, проведенные по выращиванию растений нефтезагрязненной почве в стерильных условиях, показали сильную зависимость выживаемости растений при загрязнении от почвенной микрофлоры (Назаров, 2000; Иларионов и др., 2003). В нестерильных условиях при концентрации нефти в почве 30% через месяц после посадки происходила гибель всех растений клевера лугового, в стерильных условиях их выживаемость снижалась по сравнению с незагрязненной почвой в 1,2 раза, при инокуляции почвы накопительной культурой бактерий она также уменьшалась в 1,4 раза, при внесении в почву накопительной культуры грибов, состоявших из представителей родов *Mucor* и *Aspergillus* наблюдалась отмирание всех растений. Накопительные культуры микроорганизмов были выделены из прикорневой зоны (ризосферы) 10 суточных проростков растений, выращенных на почве с внесенной нефтью в дозе 30%.

С ростом концентрации нефти также как и в почве без растений в ризосфере и на поверхности корней растений (ризоплане) происходит увеличение численности сапротрофных микромицетов, однако в зоне ризосферы и ризопланы это повышение более значительно (Назаров, 2000; Иларионов и др., 2003). При высоких уровнях загрязнения, доза нефти 10-30%, численность микромицетов в ризосфере и ризоплане 14 суточных проростков ковра безостого (*Bromus inermis*) была на один порядок выше, чем в почве без растений, а у клевера лугового (*T. pratense*) в большинстве случаев на 2 порядка. При этом если в ризосфере и ризоплане растений, выросших на чистой почве, сапротрофные микромицеты составляли десятые доли процента от общей численности микроорганизмов, то с повышением концентрации загрязнения в почве их доля повышалась, при дозе нефти 20% и 30% их доля составляла до нескольких десятков процентов. Соответственно фитотоксические свойства ризосферной почвы при нефтезагрязнении были выражены сильнее, чем у почвы без растений. Всхожесть семян клевера лугового в вытяжках из нефтезагрязненной почвы без растений была ниже, чем в незагрязненной в 1,2-1,5 раза. Слабо от нее отличалась всхожесть клевера в вытяжках из ризосферной почвы 14 суточных проростков ковра безостого, выращенных при загрязнении нефтью, однако в вытяжках из ризосферы 14 суточных проростков клевера лугового она была ниже до 4,2 раза, при 30% внесенной нефти.

Коэффициент корреляции между всхожестью семян и численностью грибов в почве, из которой была сделана вытяжка, составлял -0,8. Также было установлено (Назаров и др., 2004), что обработка растений на нефтезагрязненной почве противогрибковыми микробными и химическими препаратами до 10 раз повышает их выживаемость и биомассу.

Увеличение численности сапротрофных микромицетов в прикорневой зоне растений при нефтяном загрязнении почв может быть вызвано усилением отмирания корней и корневых клеток у растений из-за негативного воздействия нефти, нарушением защиты растений от гидролитического действия сапротрофов или сочетание этих факторов. Нужно отметить, что на корнях растений, произрастающих на незагрязненной почве в нормальных условиях, сапротрофные микромицеты не являются доминирующей группой микроорганизмов; их доля в ризосферной зоне резко повышается, когда растение находится на последней стадии своего развития, при отмирании корней (Красильников, 1958; Кожевин, 1989). В некоторых случаях в почве без нефти также отмечается рост численности токсинообразующих микромицетов в прикорневой зоне (при бесконтрольном использовании минеральных удобрений, внесении органического вещества в почву, длительном выращивании монокультуры растений на протяжении нескольких лет), что также приводит к угнетению растений, снижению их биомассы и урожайности (Возняковская, 1976; Берестецкий, Надкеречный, 1978; Мирчинк, 1988). Полученные данные показывают важную роль токсинообразующих микромицетов в проявлении нефтезагрязненной почвой фитотоксических свойств, наибольшее значение при этом имеют микромицеты ассоциированные с растениями.

Таким образом, влияние на растения нефти при загрязнении почвы можно разделить на прямое – это непосредственное токсическое или стимулирующее действие углеводородов и других веществ, содержащихся в нефти и косвенное, и опосредованное, через изменение физико-химических свойств почвы, трансформацию почвенного микробного сообщества. При этом противоречия в данных о воздействии нефти на растения полученных разными авторами говорят наибольшей значимости опосредованного влияния, так как оно в отличие от прямого действия сильно зависит от других экологических факторов и может сильно варьировать в зависимости от окружающих условий.

Работа поддержана грантами РФФИ Урал № 07-04-96016 и РФФИ офи №07-04-976225.

Список литературы

Анискина М.В. Мутагенный и токсический эффекты у растений *Tradescantia* (clon 02) и *Ara-*

- bidopsis thaliana* (L.) Neunh., индуцированные нефтью и нефтепродуктами: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар., 2006. 20 с.
- Бабаев М.Г., Довмат Т.А., Нуриев Б.Н. Вяжущее для закрепления песков // Тез. докл. 5 Всесоюзной научной конференции. М.: 1988. С. 43-45.
- Берестецкий О.А., Надкержный С.П. Содержание грибов-продуцентов фитотоксических веществ в почве при бессменном выращивании и в севообороте // Фитотоксические свойства почвенных микроорганизмов. Л.: ВНИИСХМ, 1978. С. 94-104.
- Бигон М., Харпер Дж., Таусенд К. Экология. Особи популяции и сообщества. 2 Т. М.: Мир, 1989.
- Буадзе О.А. Ультроструктурные и цитологические основы действия ксенобиотиков на растительные клетки // Биотрансформация ксенобиотиков в растениях. Тбилиси: Менциерба, 1988. С.248-284.
- Викторов С.В. Ботанические признаки битуминозности пород и почв на Южном Устьюрте и в северо-восточной Турмении // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1957. Вып. 3. С.181-182.
- Веселовский В.А., Вишивцев В.С. Биогестирование загрязнения среды нефтью по реакции фотосинтетического аппарата растений // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988, с.99-112.
- Возняковская Ю.М. Взаимоотношения растений с микроорганизмами ризосферы и филлосферы // Агрономическая микробиология. Л.: Колос, 1976. С. 144-179.
- Гашева М.Н., Гашев Н.С., Соромотин А.В. Состояние растительности как критерий нарушения лесных биоценозов при нефтяном загрязнении // Экология. 1990. № 2. С. 77-78.
- Грищенко О.М. Ботанические аномалии как поисково-разведочный критерий нефтегазоносности // Экология. 1982. № 1. С. 18-22.
- Гузев В.С., Левин С.В., Селецкий Г.И. и др. Роль почвенной микробиоты в рекультивации нефтезагрязненных почв // Микроорганизмы и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 1989. С.121-150.
- Данилин А.Л.; Сабиров М.К. Методы создания кустарниковых пастбищ на подвижных песках Узбекской ССР // Тр. Среднеазиатского НИИ лесного хозяйства. 1986. Т. 24. С. 42-45.
- Демиденко А.Я., Демурджан В.М., Шеянова А.Д. Изучение питательного режима почв, загрязненных нефтью // Агрехимия. 1983. № 9. С. 100-103.
- Демиденко А.Я., Демурджан В.М. Пути восстановления нефтезагрязненных почв черноземной зоны Украины // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С.197-206.
- Звягинцев Д.Г., Добровольская Т.Г., Бабьева И.П. и др. Роль микроорганизмов в биогеоценологических функциях почв // Почвоведение. 1992. № 6. С. 63-77.
- Звягинцев Д.Г., Добровольская Т.Г., Лысак Л.В. Растения как центры формирования бактериальных сообществ // Журнал общей биологии. 1993. Т. 54. № 2. С. 183-199.
- Иларионов С.А., Назаров А.В., Калачникова И.Г. Роль микромицетов в фитотоксичности нефтезагрязненных почв // Экология. № 5. 2003. С. 341-346.
- Исмаилов Н.М. Микробиология и ферментативная активность нефтезагрязненных почв // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 42-56.
- Казанцева М.Н. Влияние нефтяного загрязнения на таежные фитоценозы Среднего Приобья: Автореф. дис.... канд. биол. наук. Екатеринбург, 1994. 26 с.
- Киреева Н.А., Галимзянова А.М., Мифтахова А.М. Микромицеты почв, загрязненных нефтью, и их фитотоксичность // Микология и фитопатология. 2000. Т. 34. Вып. 1. С. 36-41.
- Киреева Н.А., Мифтахова А.М., Кузяхметов Г.Г. Рост и развитие сорных растений в условиях техногенного загрязнения почвы // Вестник Башкирского университета. 2001а. № 1. С. 32-34.
- Киреева Н.А., Мифтахова А.М., Кузяхметов Г.Г. Влияние загрязнения нефтью на фитотоксичность серой лесной почвы // Агрехимия. 2001b. № 5. С. 64-69.
- Кожеев П.А. Микробные популяции в природе. М.: Изд-во МГУ, 1989. 175 с.
- Кокшарова Н.Е. Методы создания защитных насаждений на донных отложениях побережья Арала // Тр. Среднеазиатского НИИ лесного хозяйства. 1986. Т. 24. С. 65-74.
- Красильников Н.А. Микроорганизмы почвы и высшие растения. М., 1958. 462 с.
- Лебедева Е.В., Каневская И.Г., Трилесник Г.И. Влияние нефтехимических загрязнений на микромицеты почвы // Вестник ЛГУ. Сер. 3. 1988. № 4. С. 31-35.
- Леонтьев А.А., Ким В.И. Новые методы закрепления и облесения песков // Защитное лесоразведение на песчаных территориях Средней Азии. Вып. XV. Ташкент: СредазНИИЛ, 1973. С. 43-48.
- Максименко О.Е., Червяков Н. А., Каркишко Т.И., и др. Динамика восстановления растительности антропогенно нарушенного сфагнового болота на территории нефтепромысла в Среднем Приобье // Экология. 1997. № 4. С. 243-247.
- Мирчинк Т.Г. Почвенная микробиология. М.: Изд-во МГУ, 1988. 220 с.
- Морозов Н.В., Петров Г.Н. Опыты по самоочищению воды от нефти в присутствии водной растительности. // Теория и практика биологического самоочищения загрязненных вод. М.: Наука, 1972. С. 53-59.

- Назаров А.В. Микробно-растительное взаимодействие при нефтяном загрязнении дерново-подзолистых почв Пермского Предуралья: Автореф. дис.... канд. биол. наук. Пермь, 2000. 24 с.
- Назаров А.В., Иларионов С.А., Азизова Э.А. Формирование растительности на экспериментальных загрязненных площадках // Вестник Пермского университета. 2000. Вып. 2. С. 80-84.
- Назаров А.В., Иларионов С.А., Сергеев В.А. и др. Способ фиторекультивации нефтезагрязненных почв. Патент РФ № 2225086 С1. 2004.
- Назаров А.В., Иларионов С.А., Калачникова И.Г. Способ повышения биомассы и выживаемости растений на нефтезагрязненной почве. Патент РФ № 2249933 С2. 2005.
- Невзоров В.М. О вредном воздействии нефти на почву // Известия вузов. Лесной журнал. 1976. № 2. С. 164-165.
- Несветайлова Н.Г. О растительности битуминозных грунтов // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1953. Вып. 6. С. 55-62.
- Оборин А.А., Калачникова И.Г., Масливец Т.А. и др. Биологическая рекультивация нефтезагрязненных земель в условиях таежной зоны // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С.140-159.
- Панозишвили К.П., Чубинидзе Н.Д. Использование углеводородокисляющих бактерий для рекультивации почвы, загрязненной нефтью // Бюл. ВНИИ с.-х. микробиологии. 1987. Т. 46. С. 28-30.
- Петухов В.Н., Фомченков В.М., Чугунов В.А. и др. Биотестирование почвы и воды, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, с помощью растений // Прикладная биохимия и микробиология. 2000. Т. 36, № 6. С.652-655.
- Подгорнов А.С. Закрепление подвижных песков химическими способами // Природные условия и ресурсы пустынь СССР, их рациональное использование. М.: 1984. С. 402-406.
- Работнов Т.А. Фитоценология. М.: Изд.-во МГУ, 1978. 383 с.
- Свинцов И.П. Особенности фитомелиорации подвижных песков с применением вяжущих веществ // Природные условия и ресурсы пустынь СССР, их рациональное использование. М.: 1984. С. 422-428.
- Савкина Т., Боярский З., Стжыщ З. Повреждения почвы, вызванные загрязнением нефти // Матер. симп. по вопросам рекультивации нарушенных промышленностью территорий. Лейпциг. 1970. Ч. 1. С. 199-205.
- Трофимов С.Я., Аммосова Я.М., Орлов Д.С. и др. Влияние нефти на почвенный покров и проблема создания нормативной базы по влиянию нефтезагрязнения на почвы // Вестник МГУ. Сер.17. 2000. № 2. С. 30-34.
- Хазиев Ф.Х., Тишкина Е.И., Киреева Н.А. и др. Влияние нефтяного загрязнения на некоторые компоненты экосистемы // Агрохимия. 1988. № 2. С. 56-61.
- Халимов Э.Н., Левин С.В., Гузев В.С. Экологические и микробиологические аспекты повреждающего действия нефти на свойства почвы // Вестник МГУ. Сер. 17. 1996. №. 2. С. 59-64.
- Чупахина Г.Н., Масленников П.В. Адаптация растений к нефтяному стрессу // Экология. 2004. № 5. С. 330-335.
- Шилова И.И. Первичные сукцессии растительности на техногенных песчаных обнажениях в нефтегазодобывающих районах Среднего Приобья // Экология. 1977. № 6. С. 5-15.
- Шилова И.И. Влияние загрязнения нефтью на формирование растительности в условиях техногенных песков нефтегазодобывающих районов Среднего Приобья // Растения и промышленная среда. Свердловск. 1978. Вып. 5. С.44-52.
- Шилова И.И. Биологическая рекультивация нефтезагрязненных земель в условиях таежной зоны // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 159-168.
- Шуйцев Ю.К. Деградация и восстановление растительных сообществ тайги в сфере влияния нефтедобычи // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982. С. 70-81.
- Эшмуратов Б.Х.; Мирзажанов К.М. Определение оптимальных доз противодефляционных химических препаратов // Тр. СоюзНИХИ. 1989. Т. 62. С. 62-66.
- Atlas R.M., Schofield E.A., Morelli F.A. et al. Effects of petroleum pollutants on Arctic microbial populations // Environ. Pollut. 1976. Vol. 10. № 1. P. 35-43.
- Baker J.M. Seasonal effects of oil pollution on salt marsh vegetation // Oikos. 1971. Vol. 22. № 1. P. 106-110.
- Banks M.K., Schwab P., Liu B. et al. The Effect of Plants on the Degradation and Toxicity of Petroleum Contaminants in Soil: A Field Assessment // Advances in Biochemical Engineering // Biotechnology. 2003. Vol. 78. P. 75-96.
- Blankenship D.W., Larson R.A. Plant growth inhibition by the water extract of a crude oil // Water, Air and Soil Pollut. 1978. Vol. 10. № 4. P. 471-472.
- Burk C.J. A four year analysis of vegetation, following an oil spill in a freshwater marsh // J. Appl. Ecol. 1977. Vol. 14. № 2. P. 515-522.
- DeLaune R.D., Patrick J.W.H., Buresh R.J. Effect of crude oil on a Louisiana *Spartina alterniflora* salt marsh // Environ. Pollut. 1979. Vol. 20. № 1. P. 21-31.
- Freedman W., Hutchinson T.C. Physical and biological effects of experimental crude oil spills on Low Arctic tundra in the vicinity of Tuktoyaktuk, N.W.T. Canada // Canad. J. Bot. 1976. Vol. 54, № 19. P. 2219-2230.

- Gilfillan E.S., Page D.S., Bass A.E. et al.* Use of Na/K ratios in leaf tissues to determine effects of petroleum on salt exclusion in marine halophytes // *Marine Pollut. Bull.* 1989. № 6. Vol. 20. P. 272-276.
- Hunt P.G., Ricard W.E., Denece F.J.* Terrestrial oil spills in Alaska: Environmental effects and recovery // *Proc. of joint conf. on prevention and control of oil spills.* Washington: 1973. P. 733-740.
- Lin Q., Mendelsohn I.A.* A comparative investigation of the effects of South Louisiana Crude oil on the vegetation of fresh, brackish, and salt marshes // *Marine Pollut. Bull.* 1996. № 2. Vol. 32. P. 202-209.
- McGill W.B.* Soil restoration following oil spills--A review // *J. Can. Petrol. Technol.* 1977. Vol. 16. № 2. P. 56-64.
- McGrath D.* Oil spillage on grassland effects on grass and soil // *Farm Food Res.* 1988. Vol. 19. № 5. P. 28-29.
- Pikovskii Y., Oborin A., Veselovskii V. et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and photosynthetic activity of perennial cereals as markers of soil remediation after petroleum hydrocarbons pollution (field experience) // *Proc. of the 42-nd OHOLO Conf. Novel Approaches for Bioremediation of Organic Pollution.* Eliat, 1998. P. 22.
- Radwan S., Sorkhoh N., El-Nemr I.* Oil biodegradation around roots // *Nature.* 1995. Vol. 376. № 27. P. 302.
- Robson D.B., Germida J.J., Farrell R.E. et al.* Hydrocarbon tolerance correlates with seed mass and relative growth rate // *Bioremediation J.* 2004. Vol. 8. № 3-4. P. 185-199.
- Smith C.J., DeLaune R.D., Patrick J.W.H. et al.* Impact of dispersed and undispersed oil entering a Gulf Coast salt marsh // *Environ. Toxicol. Chem.* 1984. Vol. 3. P. 609-616.
- Wein R., Bliss L.C.* Experimental crude oil spills on Arctic plant communities // *J. Appl. Ecol.* 1973. Vol. 10. № 3. P. 671-682.
- Xu J.G., Johnson R.L.* Nitrogen dynamics in soils with different hydrocarbon contents planted to barley and field pea // *Can. J. Soil. Sci.* 1997. Vol. 77. P. 453-458.

Поступила в редакцию 30.03.2006

The effect of oil pollution of soil on plants

A.V. Nazarov

Effects of oil polluted soil on the plants has been reviewed. Basic mechanisms of influence polluted soil are considered. Action of microorganisms on the increase phytotoxic properties polluted soil is discussed.