

**НАКОПЛЕНИЕ БЕНЗ(А)ПИРЕНА В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – РАСТЕНИЕ»
ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ НЕФТЬЮ И ВНЕСЕНИИ АКТИВНОГО ИЛА**

Приведены результаты модельных экспериментов по накоплению бенз(а)пирена растениями в загрязненных нефтью почвах. Отмечено, что накопление бенз(а)пирена растениями, оказавшимися в условиях нефтяного стресса, идет более быстрыми темпами, чем выращенными в присутствии поллютанта. При внесении в почву активного ила с предприятий нефтепереработки не происходило транслокации бенз(а)пирена в растения из самого ила.

Ключевые слова: нефтезагрязненная почва, активный ил, бенз(а)пирен, транслокация, сельскохозяйственные, декоративные и дикорастущие растения.

В настоящее время значительно возросла антропогенная нагрузка на все компоненты экосистемы. В условиях интенсивного развития нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности в окружающую среду выделяется огромное количество поллютантов, среди которых особое место занимают различных полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) [1]. Содержание в нефти полициклических ароматических углеводородов, по данным Ю.И. Пиковского [2], составляет 1-4%.

ПАУ могут поступать в почву напрямую в результате аварийных разливов и неправильной эксплуатации нефтедобывающего оборудования, а так же опосредованно при оседании загрязнителей на ее поверхности из атмосферы. Почва обладает исключительными аккумуляционными свойствами. Концентрация поллютантов, главным образом, происходит в верхних горизонтах почвы, которые являются основной средой обитания растений, что может привести к отравлению как сельскохозяйственных животных, так и самого человека. Таким образом, в условиях нехватки земельных ресурсов возникает проблема очистки и восстановления загрязненных участков для возвращения их в сельскохозяйственный оборот.

Для мониторинга качества растительного сырья в качестве индикатора используется бенз(а)пирен (БП), как наиболее токсичный представитель ПАУ, который обладает мутагенной и канцерогенной активностью и относится к веществам первого класса опасности [3]. Канцерогенное действие БП заключается во взаимодействии его метаболитов с белками и нуклеиновыми кислотами, что вызывает нарушения, ведущие к трансформации нормальных клеток в опухолевые [4]. Исследованиями

ряда авторов показано, что БП в микродозах на уровне фона является биостимулятором роста растений, а в больших дозах угнетает их рост [5]. Причем, степень влияния на растения изученных полиароматических углеводородов, к каковым относится БП, соответствует их канцерогенной активности.

Целью исследования была оценка токсичности нефтезагрязненной почвы и безопасности активного ила биологической очистки сточных вод нефтехимических предприятий, используемого в качестве рекультивирующего фактора, по содержанию бенз(а)пирена в растениях.

Модельный эксперимент был проведен на образцах темно-серой лесной почвы, искусственно загрязненной товарной нефтью в концентрациях 1, 2, 6, 10% масс. В качестве объекта исследования выступали растения, используемые в питании человека и животных: яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.), рожь (*Secale cereale* L.), ячмень (*Hordeum distichon* L.), гречиха (*Fagopyrum esculentum* L.), а так же пряные декоративные и дикорастущие растения зверобой (*Hypericum perforatum* L.), бархатцы (*Tagetes erecta* L.), базилик (*Ocimum basilicum* L.), дягиль лекарственный (*Archangelica officinalis* L.).

Влияние нефтяного загрязнения и внесения активного ила на растения оценивали по содержанию бенз(а)пирена (БП) в растительных тканях. Содержание БП определяли спектрофлуориметрическим методом [6] путем экстракции БП из навески растительного материала (1 г) однократно смесью н-гексана с гидрофильным органическим растворителем на ультразвуковой бане и дальнейшим концентрированием экстракта путем упаривания. Измерение содержания БП в концентрате осуществляли на спектрофлуориметре. Так как значения ПДК как

для БП, так и для других ПАУ, в продуктах питания не установлены, поэтому при обсуждении результатов приходилось ориентироваться на литературные данные [3] и результаты контрольных опытов.

Для анализов были отобраны сельскохозяйственные растения, изначально выращенные на нефтезагрязненной почве (пшеницы, ячмень, рожь в фазе колошения и гречиха в фазе созревания зерна) и также растения, выращенные на незагрязненной почве (базилик, зверобой, дягиль), но в дальнейшем залитой различными концентрациями нефти. На почве, обработанной активным илом выращивались капуста (*Brassica oleracea* L.), кукуруза (*Zea mays* L.), лук (*Allium cepa* L.), свекла (*Beta vulgaris* L.), картофель (*Solanum tuberosum* L.).

В таблице 1 представлены данные по содержанию БП в растениях, выращенных как на незагрязненных, так и на нефтезагрязненных почвах. Фоновые значения ПДК по БП в почве составляли 20 нг/г (или 0,02 мг/кг), а фоновое содержание БП в растениях составляло 50 нг/г (или 0,05 мг/кг).

Как видно из полученных результатов исследований, у всех исследуемых растений, выращенных на фоновой незагрязненной почве содержание БП в биомассе не превышало фоновые значения и даже было ниже. Превышение фоновых значений содержания БП в массе растений, в отличие от контрольных, наблюдалось при загрязнении почвы нефтью в концентрации 1%. При этом содержание БП в растениях пшеницы, ячменя, ржи, гречихи было выше в 2,5–3,0 раза, а у базилика, зверобоя, бархатцев, дягиля в 3,5–4 раза. Однако эти значения, за исключением содержания в растениях зверобоя и дягиля, не превышали региональный фоновый уровень для растений, но значительно превосходили этот показатель для почвы.

Увеличение содержания поллютанта в почве до 2% способствовало дальнейшему повышению транслокации БП в растения. При данной концентрации загрязнителя содержание БП во всех образцах растений превышало региональный фоновый уровень (50 нг/г): у растений пшеницы, ячменя, ржи, кукурузы в 1,2–1,5 раза, а в растениях базилика, зверобоя, бархатцев, дягиля в 2–3 раза. При загрязнении почвы нефтью в концентрации 6% количество БП перешедшего в растения увеличивалось в срав-

Таблица 1. Содержание бенз(а)пирена в растениях, выращенных на нефтезагрязненных почвах (нг/г)

Растение	Концентрация нефти, %			
	0	1	2	6
Пшеница	13,2±3,0	40,1±2,0	62,1±3,0	197,0±9,0
Ячмень	16,4±0,8	42,1±2,0	65,0±3,1	295,0±12,0
Рожь	21,1±1,0	44,0±2,0	68,2±3,3	210,0±10,0
Гречиха	18,5±0,9	38,1±1,9	70,0±3,5	220,0±10,0
Базилик	10,5±0,5	45,0±2,5	105,0±5,0	270,0±10,0
Бархатцы	12,3±3,0	49,1±2,5	110,0±5,0	270,0±10,0
Зверобой	15,6±0,7	58,5±2,5	124,0±6,0	340,0±17,0
Дягиль	28±1,3	66,2±3,3	150,2±6,8	670±33,0

нению с этим показателем у растений, выращенных на незагрязненной почве в 15 раз у пшеницы, в 18 раз у ячменя, в 10 раз у ржи, в 12 раз у гречихи, и в 22–25 раз у растений базилика, зверобоя, бархатцев, дягиля.

В последнее время активно разрабатывается направление использование активного ила для рекультивации загрязненных почв [7,8]. Ил, как правило, обогащен микроорганизмами и питательными веществами почвы. Это позволяет восстановить почвенное плодородие и одновременно решить проблему утилизации биоотходов предприятия. Однако активный ил может содержать в себе поллютнты, в том числе БП.

В составе ила биологической очистки сточных вод нефтехимического завода в почву было внесено всего 0,5–1,3 мкг/кг БП, при ПДК 0,02 мг/кг. Превышение фоновых содержаний БП выявлено в 3 пробах растений из 28. Это незначительное отклонение от фонового уровня могло быть случайным. По результатам опыта (табл. 2) отмечено, что практически не накапливал БП картофель, появлялся в некоторых пробах свеклы столовой. Появление БП зарегистрировано в зеленой массе кукурузы и капусты, что, возможно, обусловлено попаданием БП из воздуха.

Как видно из полученных данных транслокация БП у растений (пшеница, ячмень, рожь, гречиха) изначально выращенных на нефтезагрязненной почве идет более медленными темпами, чем у растений (базилик, бархатцы, зверобой, дягиль), оказавшихся в условиях нефтяного стресса. Это, может быть, связано с возможной адаптацией к загрязнению растений первой группы, что приводит к частичному разрушению БП в самом растении или в почве, а это способствует снижению темпов его транслокации. Или же вырабаты-

Таблица 2. Содержание бенз(а)пирена в растениях, при внесении ила в почву, мг/кг

Концентрация ила в почве, г сух.в-ва/кг	Концентрация БП в почве, мкг/кг	Кукуруза	Капуста	Лук	Свекла	Картофель
0	0	0	0	0	0	0
1,9	0,44	0,03±0,002	0,01±0,001	0	0,014±0,001	0
3,7	0,85	0,03±0,002	0,02±0,001	0	0	0
6,6	1,29	0,03±0,002	0,01±0,001	0	0,01±0,001	0

ваются какие-то механизмы, препятствующие быстрому накоплению БП в растениях. Может быть в ризосфере злаков, где основными представителями являются бактерии рода *Pseudomonas*, идет более интенсивная деградация БП, чем в ризосфере дикорастущих растений, где в количественном отношении этих бактерий меньше. Интенсивная биодеградация БП бактериями рода *Pseudomonas* описаны А. Малаховской-Ютш с соавт. [9]. Таким образом, значительное содержание БП в фитомассе растений исключает возможность ее использования в качестве сельскохозяйственной продукции, корма для животных, а также в качестве сидерата.

Внесение активного ила нефтехимических предприятий в почвы до 35 т/га, что соответствовало превышению ПДК почвы по БП в 6-7 раз, не привело к аккумуляции растениями ПАУ, и количество бенз(а)пирена в растениях фактически соответствовало фоновому уровню. Так же результаты показали, что корнеплоды практически не накапливают в себе БП. Из чего следует, что тестирование активного ила биологической очистки сточных вод нефтехимических предприятий на растениях, используемых в пищу, подтвердили его относительную безопасность, что подтверждает возможности использования ила в качестве рекультивирующего фактора для восстановления плодородия загрязненных почв.

Список использованной литературы:

1. Янышева Н.Я. Источники и пути поступления полициклических ароматических углеводородов в среду обитания растений // Растения и химических канцерогены. Л.: Наука, 1979. С. 161-163.
2. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ. 1993. 208с.
3. Бензапирен // Под ред. Н.Ф. Измерова. М.: ГКНТ, Центр международных проектов. 1983. Вып. 43. 31с.
4. Янышева Н.Я., Черниченко И.А., Баленко Н.В. Онкологические аспекты регламентирования бенз(а)пирена в продуктах питания // Гигиена и санитария. 2001. №2. С. 67-70.
5. Тонкопий Н.И., Розанова В.Я., Минц И.М. К вопросу о накоплении бенз(а)пирена в почве // Гигиена и санитария. 1973. №4. С. 112-113.
6. Трубникова Л.И., Трубникова Н.И., Бакиров А.Б. Способ экстракции полиароматических углеводородов из объектов с органической и органоминеральной матрицей: Пат. №2281480, РФ // Б.И. 2006, №22. С. 9.
7. Киреева Н.А., Новоселова Е.И., Хазиев Ф.Х. Использование активного ила для рекультивации почв, загрязненных нефтью // Почвоведение. 1996. №11. С. 1399-1403.
8. Киреева Н.А., Онегова Т.С., Жданова Н.В. Изучение возможности применения биопрепарата белвитамил для ускорения деградации нефти в почве и водоеме // Биотехнология. 2003. №5. С. 77-80.
9. Малаховская-Ютш А., Покинъброда Т., Карпенко Е. Разложение Бенз(а)пирена почвенными микроорганизмами в присутствии гликолипидов, продуцируемых штаммом *Pseudomonas sp.* PS-17 // Биотехнология. 2007. №3. С.69-73.