

УДК 631.453:581.52

Регрессионные модели для оценки воздействия нефтяного загрязнения почв на растения северного Сахалина

© 2016. Д. Н. Липатов, к.б.н., ст. преп., А. В. Елисеева, аспирант,
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
факультет почвоведения, кафедра радиоэкологии и экотоксикологии,
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12,
e-mail: dlip@soil.msu.ru

На основе результатов полевых исследований, проведённых на пяти участках на нефтяных месторождениях, построены уравнения регрессии, описывающие воздействие нефтяного загрязнения почв на общее проективное покрытие (ОПП) растительности естественных и посттехногенных фитоценозов. Согласно оценкам, полученным по экспоненциальным моделям, начальная дигрессия естественных фитоценозов (до ОПП=50–75%) происходит при содержании суммы углеводородов нефти (УВН) 3000–10000 мг/кг, снижение ОПП до 5–10% – при 19500–37000 мг/кг, гибель фитоценозов (ОПП<1%) – при 42000–75000 мг/кг. Для восстановления растительного покрова в техногенных экосистемах северного Сахалина необходимо уменьшать содержание УВН в почве до более низких уровней, чем те, при которых развивалась дигрессия исходных естественных фитоценозов. Построены уравнения логит-регрессии для данных присутствия/отсутствия отдельных видов растений в условиях нефтяного загрязнения почв. На основе логит-регрессионных моделей получены значения LC_{50} и LC_{95} УВН в почвах для отдельных видов растений. При разливе нефти в естественных фитоценозах значения LC_{50} , рассчитанные для деревьев, увеличиваются в ряду: лиственница даурская < береза Миддендорфа < ольха пушистая. Выявлено, что кустарничковые растения (багульник, брусника) менее устойчивы к нефтяному загрязнению почв, чем осоковые и рудеральные виды. Значения LC_{50} на техногенно трансформированных почвах снижены в 5–8 раз по сравнению с ненарушенными почвами.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, фитотоксичность, техногенные ландшафты, экологический мониторинг.

Regression models for assessment of the impact of soil contamination with oil on plants of northern Sakhalin

D. N. Lipatov, A. V. Eliseeva,
Radioecology and Ecotoxicology Department, Soil Science Faculty,
Lomonosov Moscow State University,
b. 12, 1 Leninskie Gory, Moscow, Russia, 119991,
e-mail: dlip@soil.msu.ru

Contamination of soils and the status of plant cover for five plots on oil fields in Nogliki district of Sakhalin Island were investigated. The equations of exponential regression describing the impact of total petroleum hydrocarbons (TPH) in soils on the projective plant cover (PPC) of natural and post-technogenic vegetation were calculated. The assessments based on exponential models demonstrate that the initial digression of natural vegetation (to PPC=50–75%) be the result of TPH levels 3000–10000 mg/kg, reduce to PPC=5–10 % – of TPH levels 19500–37000 mg/kg, the loss of vegetation (PPC<1%) – of TPH levels 42000–75000 mg/kg. The self-overgrowing of plant cover (PPC=50%) takes place by lowering of rest concentration TPH in technogenic transformed podzolic soils under 1350–2900 mg/kg, fragmentary self-overgrowing of plant cover (PPC=5%) – under 10000–20000 mg/kg. The equations of logit regression describing the field presence/absence data for individual species of plants on oil spills were calculated. The LC_{50} and LC_{95} values of TPH in soils for species of plants based on logit-regression models were received. According to increasing LC_{50} values on oil spills, the trees formed the following series: Larix dahurica < Betula middendorffii < Alnus hirsute. The LC_{50} values of TPH for subshrubs (Wild rosemary, Red bilberry) were lower than that for sedges and ruderal plants. The LC_{50} values of TPH in technogenic transformed soils were lower than that in natural soils by a factor of 5–8.

Keywords: oil contamination, phytotoxicity, technogenic landscapes, environmental monitoring.

На нефтедобывающих территориях вследствие загрязнения почв и воздействия других техногенных факторов происходят структурные изменения во всех компонентах биогеоценозов. Нефтепродукты, попавшие в почву, подавляют рост и развитие растений, приводят к уменьшению их продуктивности, дигрессии и гибели фитоценозов [1, 2]. Нефтяное загрязнение оказывает длительное отрицательное воздействие на морфологические признаки и уровень генетического разнообразия популяций растений [3]. Кроме непосредственно токсического действия нефтепродуктов на растения нефтяное загрязнение приводит к трансформации водного и питательного режимов почвы, перестройке почвенного поглощающего комплекса, нарушению процессов деструкции органических веществ в почве [4, 5], что усиливает дигрессию фитоценозов.

Оценка воздействия нефтяного загрязнения на растительность необходима при установлении региональных нормативов допустимого остаточного содержания нефти в почве, а также при разработке регламентов биологической рекультивации и фиторемедиации нефтезагрязнённых земель. Вместе с тем остаётся не достаточно разработанной методология количественного определения этого воздействия на растительный покров. Эта проблема характерна не только для нефтезагрязнённых территорий, но и для экологии других импактных регионов [6]. Эффективным подходом для получения количественных оценок техногенного воздействия являются полевые эксперименты в зонах загрязнения. При этом контрастность ореолов загрязнения способна выступать экспериментальным материалом, с помощью которого на основе регрессионного анализа можно оценивать изменения состояния экосистем, в частности, фитотоксичность загрязнённых почв.

Цель работы – построить и проанализировать регрессионные модели для оценки воз-

действия нефтяного загрязнения почв на растительный покров в техноэкосистемах северного Сахалина.

Объекты и методы

Исследования проводились в Ногликском районе о. Сахалин на территории объектов нефтедобычи, выведенных из эксплуатации (табл. 1). На каждом участке площадью 5000 м² заложено по 16 учётных площадок, в которых оценивался растительный покров и проводился почвенный пробоотбор.

Обследованные участки относятся преимущественно к рудеральным местообитаниям. Древесный ярус представлен малым числом экземпляров в угнетённом состоянии, отмечены следующие виды: ольха пушистая (*Alnus hirsute*), лиственница даурская (*Larix dahurica*), береза Миддендорфа (*Betula middendorffii*), кедровый стланик (*Pinus pumila*), ива козья (*Salix caprea*). На слабонарушенных участках в кустарничковом ярусе распространены куртины брусники (*Vaccinium praestans*), вороники (*Empetrum sibiricum*), багульника (*Ledum palustre*). Во фрагментарном травяном ярусе наибольшей численностью характеризуются мелкие осоки, ситники (*Juncus bufonius*, *J. filiformis*), пушица (*Eriophorum vaginatum*), низовые злаки (*Festuca ovina*, *Elymus sibiricus*, *Poa palustris*). Осоки северо-восточного геоботанического района о. Сахалин представлены несколькими видами: осока дернистая (*Carex cespitosa*), осока вздутая (*C. rostrata*), осока Миддендорфа (*C. middendorffii*), осока Гмелина (*C. gmelinii*) [7]. На площадках отмечены рудеральные виды: иван-чай (*Chamaenerion angustifolium*), полынь замещающая (*Artemisia commutata*), хвощ полевой (*Equisetum arvense*), дерен канадский (*Chamaeperichlymenum canadense*).

Таблица 1

Характеристика контрольных участков, почвы и растительного покрова

№	Участок	Тип почвы	Растительная ассоциация
1	Разлив нефти из нефтеловушки	Аллювиальная лугово-болотная	Злаково-осоковая
2	Разлив нефти вблизи внутрипромыслового нефтепровода	Бурая лесная глееватая	Кустарничково-злаковая
3	Площадка демонтированного нефтехранилища	Техно-подзол супесчаный	Осоково-злаковая
4	Выведенные из эксплуатации буровые площадки	Техно-подзол песчаный	Хвощово-злаковая
5	Разлив нефти вблизи межпромыслового нефтепровода	Техно-подзол иллювиально-железистый	Кустарничково-осоковая

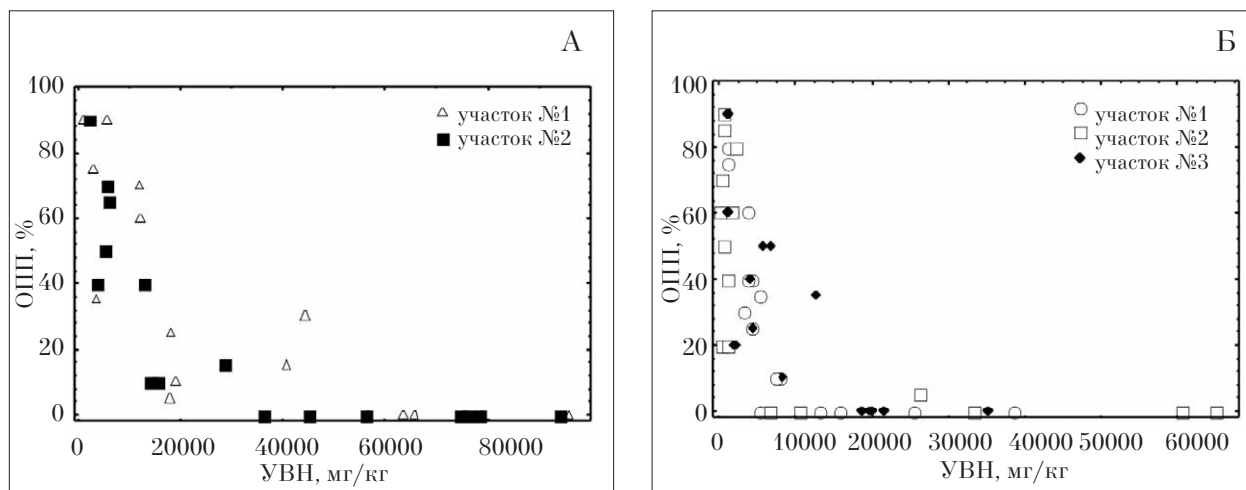


Рис. 1. Варьирование ОПП растительности при различных уровнях загрязнения почв УВН в условиях деградации фитоценозов (А) и самозарастания промышленных площадок (Б)

На основе описаний растительности получены показатели на количественной шкале: общее проективное покрытие (ОПП) в процентах, а также на альтернативной шкале: присутствие/отсутствие отдельных видов растений на учётных площадках.

Почвенные образцы отбирали из слоя 0–10 см. Определение содержания суммы углеводородов нефти (УВН) в пробах почв проводили методом инфракрасной спектроскопии в соответствии с ПНДФ 16.1:2.2.22–98.

Для оценки воздействия нефтяного загрязнения почв на растительность в работе использованы модели экспоненциальной регрессии и логит-регрессии. При проведении регрессионного анализа в качестве независимого аргумента рассматривалось содержание суммы УВН в почве, в качестве переменных отклика выступали показатели растительного покрова.

Уравнение экспоненциальной регрессии выражалось в следующем виде: $y = C \cdot e^{b \cdot x}$, где y – переменная отклика, x – независимый аргумент, C и b – коэффициенты регрессии. Построение уравнений экспоненциальной регрессии проводилось методом наименьших квадратов с оптимизацией решения алгоритмом Левенберга-Марквардта в модуле «Нелинейное оценивание» программы Statistica. Качество полученных регрессионных моделей оценивали с использованием коэффициента детерминации (R^2).

Логит-регрессия применима для бинарных переменных, в условиях нашей задачи: 0 соответствовал отсутствию растений, 1 – их присутствию. Уравнение логит-регрессии при одной независимой переменной имеет следующее выражение: $\ln(p/(1-p)) = b_0 + b_1 \cdot x$, где p –

вероятность переменной отклика, x – независимый аргумент, b_0 – свободное слагаемое, b_1 – коэффициент регрессии. Для получения логит-регрессионных уравнений использован метод максимального правдоподобия в модуле «Обобщенные линейные/нелинейные модели» программы Statistica. С целью оценки качества логит-регрессионных моделей вычислялась доля корректной классификации по апостериорным и исходным значениям.

Результаты и обсуждение

Пространственное распределение содержания суммы УВН в почвах исследованных участков характеризуется значительной вариабельностью, максимальные уровни загрязнения отмечаются на нефтяных разливах, достигая значений 94250–96000 мг/кг. При этом среди пятен с высоким уровнем загрязнения отмечены точки с допустимым для промышленных территорий содержанием УВН.

Полученные оценки ОПП растительности на учётных площадках в значительной степени сопряжены с уровнем нефтяного загрязнения почв, но эта взаимосвязь имеет нелинейный характер (рис. 1). В условиях дигрессии естественных фитоценозов по разливам нефти на участках № 1 и № 2 резкое снижение ОПП наблюдается в более широком диапазоне уровней содержания УВН в почве (рис. 1, А), чем на участках № 3–5 (рис. 1, Б), на которых растительный покров формировался в ходе самозарастания старых промышленных площадок. Это продиктовано одновременным воздействием других техногенных факторов: сведения растительности при строительстве и эксплуатации площадок, механических

нарушений и переуплотнения поверхности почвы, низкого плодородия техногенно нарушенных подзолов. Разброс значений ОПП при сходных уровнях нефтяного загрязнения обусловлен также различной структурой фитоценозов и популяционной гетерогенностью.

При аппроксимации выявленных нелинейных зависимостей наилучшие результаты получены при использовании уравнений экспоненциальной регрессии, которые в условиях задачи имеют вид: $ОПП(\%) = C \cdot \exp(b \cdot УВН \text{ (мг/кг)})$. Коэффициенты регрессии, полученные в подобранных уравнениях, значимы (табл. 2). Коэффициенты детерминации (R^2) показывают, что влияние содержания УВН в почвах определяет 54–87% варьирования ОПП растительности на исследованных участках. Экспоненциальный характер зависимости «доза-эффект» характерен для многих токсикологических эффектов.

В экотоксикологических исследованиях распространённым видом зависимости «доза-эффект» являются S-образные кривые [8]. В нашей работе проводилась аппроксимация экспериментальных данных функциями кривых Перла-Рида, однако оценки параме-

тров во всех полученных уравнениях не были значимы.

Кривые «доза-эффект» при оценке воздействия нефтяного загрязнения почв на организмы, популяции, экосистемы исследованы в недостаточной степени. Характер этих кривых определяется многими факторами: составом нефти и различной токсичностью её отдельных компонентов, структурой популяций и экосистем, подверженных воздействию, ландшафтными и почвенными условиями. При изучении воздействия нефтяного загрязнения почв на растительный покров болотных ландшафтов Среднего Приобья отмечались линейные зависимости между ОПП и содержанием УВН [9]. При интерпретации результатов следует учитывать, что в условиях техногенных ландшафтов при воздействии на растения нескольких стрессовых факторов сложно получить отдельную зависимость для нефтяного загрязнения почв. Поэтому верхний порог в области низких значений УВН для S-образных кривых «доза-эффект» будет скрыт вследствие влияния других техногенных факторов, при этом средняя и нижняя часть этих кривых сходны с экспоненциальной. В условиях полевых экспериментов сглаживание вер-

Таблица 2

Параметры уравнений экспоненциальной регрессии для ОПП (%) в зависимости от уровня содержания УВН (мг/кг) в почвах

№ участка	Диапазон содержания УВН в почве, мг/кг	Параметры уравнений экспоненциальной регрессии		R ²
		C	b	
1	1300–96000	88,8***	-0,00006***	0,73
2	2300–94250	101,9***	-0,00011***	0,87
3	1060–38690	106,1***	-0,00028***	0,87
4	100–65000	65,4***	-0,00020*	0,62
5	1200–35300	62,1***	-0,00011**	0,54

Примечание. Уровень значимости параметров и коэффициентов регрессии: * $\alpha=0,10$; ** $\alpha=0,05$; *** $\alpha=0,01$.

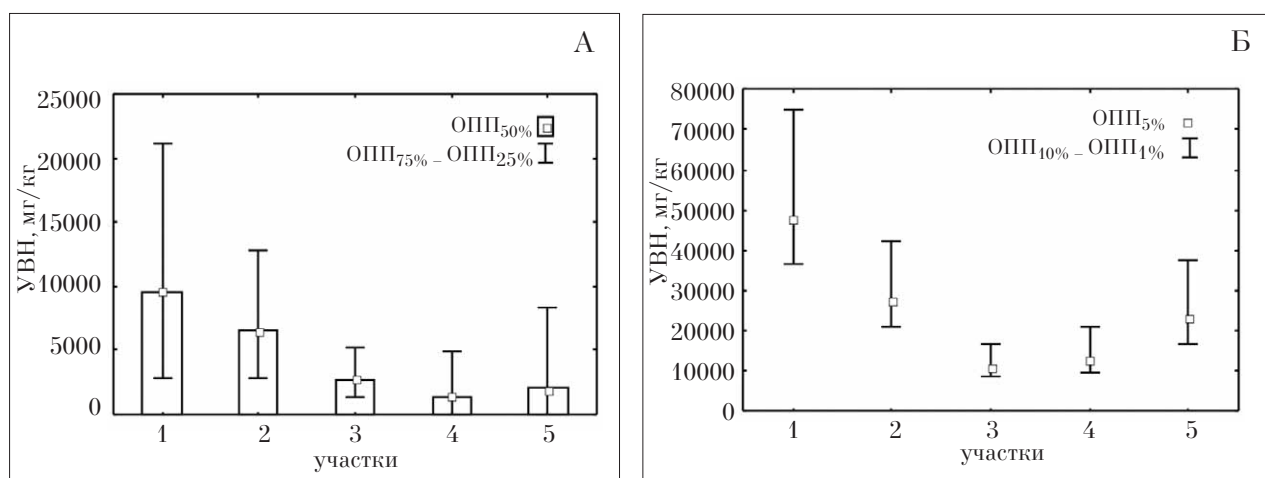


Рис. 2. Рассчитанные по моделям экспоненциальной регрессии уровни содержания УВН в исследованных почвах при значениях ОПП растительности: 75% – 50% – 25% (А), 10% – 5% – 1% (Б)

ней части S-образных кривых «доза-эффект» связано с недостаточным количеством точек в области низких нагрузок [8].

На основе экспоненциальных регрессионных моделей рассчитаны уровни содержания УВН, соответствующие оценкам ОПП растительности 75, 50, 25 (рис. 2, А) и 10, 5, 1% (рис. 2, Б). Они позволяют проследить выраженность токсического эффекта при увеличении техногенной нагрузки, а также оценить контрольные уровни воздействия на исследованные фитоценозы. В качестве предельных уровней загрязнения целесообразно рассматривать значения содержания УВН, соответствующие ОПП=50%, а в некоторых случаях ОПП=25% и ОПП=10%. При нормировании воздействия на уникальные фитоценозы необходим более строгий выбор контрольного уровня, рассчитанный для ОПП=75%.

Начальная дигрессия естественных фитоценозов (до ОПП=75–50%) отмечается при уровнях загрязнения почв УВН 3000–10000 мг/кг, резкое десятикратное снижение ОПП происходит при 19500–37000 мг/кг. Угнетение кустарничково-злаковой растительной ассоциации на бурой лесной почве (участок № 2) проявляется при меньших уровнях загрязнения, чем злаково-осоковой на аллювиальной лугово-болотной почве (участок № 1). Гибель естественных фитоценозов (ОПП<1%) зафиксирована при уровнях загрязнения УВН – 42000–75000 мг/кг. Устойчивость естественных фитоценозов при высоких уровнях загрязнения связана с разнообразием видового состава и широким спектром механизмов компенсации неблагоприятных воздействий.

На выведенных из эксплуатации промышленных площадках для самовосстановления растительности до ОПП=50% необходимо снижение остаточного содержания УВН в почве до 1350–2900 мг/кг. При этом ОПП=10% может быть сформировано при значительно более высоких уровнях содержания УВН, равных 8400–16600 мг/кг. По-видимому, нефтяное загрязнение почв промышленных площадок не всегда является лимитирующим фактором восстановления растительного покрова. В большей степени на состояние почв техногенных ландшафтов негативно влияют низкая мощность плодородного слоя и деградационные процессы. Так, по участку № 4 восстановление растительного покрова на техно-подзоле осложняется поверхностными механическими нарушениями почвы, что усиливает чувствительность растений к нефтяному загрязнению.

На начальных стадиях формирования

посттехногенных фитоценозов оценки ОПП не превышают 1–5%, но даже фрагментарное самовосстановление растительного покрова может выступать в качестве дополнительного фактора, способствующего ремедиации почв. Важнейшим условием самозарастания поверхности техногенных почв является восстановление плодородного слоя. Согласно проведенным по регрессионным моделям расчётам, фрагментарное восстановление растительного покрова (ОПП=5%) на поверхности техногенно трансформированных подзолов возможно при остаточном содержании УВН 10000–22000 мг/кг. Для восстановления растительного покрова в посттехногенный период необходимо обеспечивать более низкие уровни содержания нефти в почве, чем те, при которых развивалась дигрессия исходных естественных фитоценозов.

При анализе полученных данных присутствия/отсутствия растений на альтернативной шкале использована процедура логит-регрессии [10]. Уравнения логит-регрессии в условиях задачи имели вид: $\ln(p/(1-p)) = b_0 + b_1 \cdot \text{УВН}$ (мг/кг). Регрессионные модели, построенные по данным, полученным на участках 1–2, характеризуют условия деградации естественных фитоценозов при разливе нефти. Они отличаются по своим параметрам от регрессионных моделей, построенных по участкам 3–5 для условий самовосстановления растительного покрова на техногенно нарушенных почвах. Не все полученные параметры уравнений логит-регрессии для отдельных видов растений значимы (табл. 3), процент корректной классификации составил 67–85%. Оценки вероятности присутствия растительности, получаемые в логит-регрессионных моделях, могут использоваться для определения уровней токсичности. В нашей работе на основе подобранных уравнений логит-регрессии рассчитаны оценки LC_{50} и LC_{95} – концентрации суммы УВН в почве (мг/кг), вызывающей 50 и 95% фитотоксичность для исследованных видов растений (табл. 3).

Модельные оценки LC_{50} УВН в почве для древесных растений составили: 12930–20500 мг/кг – в естественных фитоценозах, 2660–3710 мг/кг – при самозарастании промышленных площадок. Низкая устойчивость к нефтяному загрязнению почв установлена для лиственницы даурской, оценки LC_{50} и LC_{95} для неё ниже, чем для ольхи пушистой и берёзы Миддендорфа. Величина LC_{95} для лиственницы лишь в 1,5–1,8 раза выше, чем LC_{50} , что указывает на узкий диапазон значений уровня не-

Таблица 3

Параметры уравнений логит-регрессии и рассчитанные уровни токсичности УВН для отдельных видов растений

Вид растения	Параметры уравнений логит-регрессии		Уровни фитотоксичности УВН в почве (мг/кг)	
	b_0	b_1	LC ₅₀	LC ₉₅
Деградация естественных фитоценозов при разливе нефти				
Ольха пушистая	-1,64*	0,00008*	20500	57305
Берёза Миддендорфа	-1,50	0,00009*	16667	49383
Лиственница даурская	-3,75*	0,00029	12930	23084
Осока дернистая	-2,70**	0,00009**	30000	62716
Багульник	-2,43	0,00024*	10125	22393
Брусника	-1,05	0,00016*	6562	24965
Самовосстановление фитоценозов на техногенно нарушенных почвах				
Ольха пушистая	-1,57*	0,00059*	2660	7652
Берёза Миддендорфа	-1,52	0,00041*	3710	10889
Лиственница даурская	-6,03*	0,00198*	3045	4533
Осока дернистая	-1,47*	0,00022**	6682	20066
Хвощ полевой	-0,63	0,00006*	10500	59574
Иван-чай	-1,77	0,00060*	2950	7857

Примечание. Уровень значимости параметров и коэффициентов регрессии: * $\alpha=0,10$; ** $\alpha=0,05$; *** $\alpha=0,01$.

фтяного загрязнения, при котором происходит резкое подавление этого древесного растения.

Для травянистых растений модельные значения LC₅₀ выше, чем для кустарничковых. Так, сравнение LC₅₀ показывает, что осока дернистая является в 4,5 раза более устойчивой к нефтяному загрязнению почв, чем брусника. В условиях самозаращения промышленных площадок по техногенно трансформированным подзолам наиболее высокие значения LC₅₀ и LC₉₅ установлены для хвоща полевого, являющегося типичным представителем рудеральной растительности. Оценки LC₅₀, полученные по регрессионным моделям, сопоставимы с результатами специальных лабораторных и микрополевых исследований [1], в которых отмечалось 2-кратное снижение физиолого-биологических параметров растений, в частности, митотической активности клеток, при уровне загрязнения почв нефтью 2–4 % (20000–40000 мг/кг).

Предложенный комплекс модельных расчётов даёт количественное обоснование для оценки допустимого остаточного содержания нефти в почвах различных ландшафтов. Логит-регрессионные модели могут применяться для определения уровней токсического воздействия УВН на отдельные виды растений.

Выводы

Снижение ОПП растительности при нарастании уровня нефтяного загрязнения почв

адекватно описывается уравнениями экспоненциальной регрессии. Пороговые уровни в области низких значений нефтяного загрязнения не зафиксированы.

Согласно оценкам, полученным по экспоненциальным моделям, начальная дигрессия естественных фитоценозов (до ОПП=75–50%) происходит при уровнях загрязнения почв УВН 3000–10000 мг/кг, резкое десятикратное снижение ОПП – при 19500–37000 мг/кг, гибель естественных фитоценозов (ОПП<1%) – при 42000–75000 мг/кг.

Для восстановления растительного покрова в посттехногенный период необходимо обеспечивать низкие уровни остаточного содержания нефти в почве. На техногенно нарушенных подзолах при уровне загрязнения УВН выше 22000 мг/кг растительный покров не формируется, при 10000–22000 мг/кг возможно фрагментарное самозаращение с ОПП=5%, самовосстановление растительности до ОПП=50% происходит при снижении остаточного содержания УВН в почве до 1350–2900 мг/кг.

Построенные уравнения логит-регрессии статистически достоверно описывают полевые данные присутствия/отсутствия отдельных видов растений при различных уровнях нефтяного загрязнения почв. Полученные в логит-регрессионных моделях, оценки вероятности присутствия растений, можно использовать для определения уровней фитотоксичности, в частности LC₅₀.

Значения LC_{50} УВН в почве, рассчитанные по логит-регрессионным моделям, для древесных и кустарничковых растений ниже, чем для осоковых и рудеральных видов. В условиях техногенной трансформации почв значения LC_{50} и LC_{95} для растений снижаются в 5–8 раз.

Литература

1. Киреева Н.А., Новосёлова Е.И., Григориади А.С. Влияние загрязнения почв нефтью на физиологические показатели растений и ризосферную микробиоту // *Агрохимия*. 2009. № 7. С. 71–80.
2. Казанцева М.Н. Влияние нефтяного загрязнения на таёжные фитоценозы Среднего Приобья: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН. 1994. 26 с.
3. Суслонов А.В. Влияние нефтяного загрязнения почв на морфологические и генетические характеристики растений и на формирование растительного покрова: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа: ИБ УНЦ РАН. 2010. 19 с.
4. Аветов Н.А., Шишконокова Е.А. Фитоиндикация влажности и обеспеченности элементами питания (трофности) нефтезагрязнённых почв Среднего Приобья // *Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение*. 2008. № 1. С. 10–13.
5. Трофимов С.Л., Розанова М.С. Изменение свойств почв под влиянием нефтяного загрязнения // *Деградация и охрана почв*. М.: Изд-во МГУ, 2002. С. 359–373.
6. Воробейчик Е.Л. Экология импактных регионов: перспективы фундаментальных исследований // *Материалы IV Всероссийского популяционного семинара*. 2004. Нижний Тагил. С. 36–45.
7. Баркалов В. Ю., Таран А. А. Список видов сосудистых растений острова Сахалин // *Растительный и животный мир острова Сахалин. Часть 1*. Владивосток: Дальнаука, 2004. С. 39–66.
8. Воробейчик Е.Л. Экологическое нормирование токсических нагрузок на наземные экосистемы: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН. 2004. 50 с.
9. Соловьева З.Е., Трофимов С.Я. Особенности трансформации почвенно-растительного покрова при загрязнении нефтью и минерализованными водами

в Среднем Приобье // *Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение*. 2008. № 1. С. 3–9.

10. Джонгман Р.Г.Г., Тер Браак С.Д.Ф., Ван Тонгерен О.Ф.Р. Анализ данных в экологии сообществ и ландшафтов. М.: РАСХН. 1999. 306 с.

References

1. Kireyeva N.A., Novoselova E.I., Grigoriadi A.S. The effect of oil contamination in soil on the physiological parameters of plants and rhizospheric microbiota // *Agrochimia*. 2009. No. 7. P. 71–80 (in Russian).
2. Kazantseva M.N. The impact of oil pollution on the coenoses of the taiga in the Middle Ob region. Avtoref. diss. ... kand. biol.nauk. Ekaterinburg: IERiZh, UrO RAN, 1994. 26 p. (in Russian).
3. Suslonov A.V. The effect of oil pollution in soil on the morphological and genetic characteristics of plants and on the formation of vegetation. Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk. Ufa. IBUNC RAN. 2010. 19 p. (in Russian).
4. Avetov N.A., Shishkonakova E.A. Phytoindication of the water status and nutrient supply of oil-polluted soils in the middle reaches of the Ob' River // *Vestnik Mosk.Un-ta. Ser. 17. Pochvovedenie*. 2008. V. 63. № 1. P. 8–11. (in Russian).
5. Trofimov S. Ya., Rozanova M.S. The change of soil properties under the influence of oil pollution // *Degradatsia i okhrana pochv*. M.: Izd-vo MGU, 2002. P. 359–373. (in Russian)
6. Vorobeichik E.L. The ecology of impact regions: perspectives for basic research // *Materiali IVvserossiyskogo populatsinnogo seminarara*. Nizhniy Tagil, 2004. P. 36–45 (in Russian).
7. Barkalov V.Y., Taran A.A. Species list of vascular plants of Sakhalin Island // *Rastitelniy i zhivotniy mir ostrova Sahalin. Chast 1*. Dalnauka Press. Vladivostok: Dalnauka, 2004. P. 39–66 (in Russian).
8. Vorobeichik E.L. Ecological rating of toxic loads on terrestrial ecosystems. Avtoref. diss. ... kand. biol.nauk. Ekaterinburg: IERiZh, UrO RAN, 2004. 50 p. (in Russian).
9. Solov'eva Z. E., Trofimov S. Ya. Transformation of soil and plant cover contaminated with oil and salt water in the middle Ob' river basin // *Vestnik Mosk.Un-ta. Ser. 17. Pochvovedenie*. 2008. V. 63. № 1. P. 3–9. (in Russian).
10. Jongman R.H.G., Ter Braak C.J.F., Van Tongeren O.F.R. Data analysis in community and landscape ecology. M.: RASHN, 1999. 306 p. (in Russian).