

УДК 632.122.2:631.445.21

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВАРЬИРОВАНИЕ УРОВНЯ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ТЕХНОГЕННО ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ПОДЗОЛАХ СЕВЕРО-ВОСТОКА ОСТРОВА САХАЛИН

Д.Н. Липатов, А.В. Елисеева

Рассмотрено вертикальное и латеральное микроварьирование суммы углеводородов нефти (УВН) в техногенных почвах. Проведены автокорреляционный и кросс-корреляционный анализы их содержания по трансекте в латеральном направлении. На различных промышленных площадках, разливах, естественных выходах нефти описаны статистические параметры, подтвержден нормальный или логнормальный закон распределения УВН в техногенных почвах. На основе иерархической схемы пробоотбора оценен вклад различных уровней (10 см; 0,25 га; 20 км²) в их общее пространственное варьирование. Проведено планирование объемов выборок, необходимых для оценки среднего уровня загрязнения почв на отдельных участках и всей территории нефтяного месторождения.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, техногенные почвы, пространственное варьирование.

Введение

Почвенный покров на территории эксплуатируемых месторождений сформирован сложным комплексом природных и техногенных почв. Пространственная структура их загрязнения на нефтедобывающих территориях во многом определяется конфигурацией нефтяных разливов, которые значительно варьируют по площади, из них мелкие разливы (до 0,15 га) могут преобладать [4, 8]. При аварийных разливах нефти в результате миграционных процессов в почвах формируются протяженные ореолы загрязнения, имеющие сложную радиальную и латеральную структуру и контрастность [7].

В связи с ростом объемов добычи и транспортировки нефти на о. Сахалин вопросы экологического мониторинга почв в данном регионе приобретают все большую актуальность. Почвы северной части острова характеризуются низкой скоростью разложения углеводородов нефти, но умеренным и сильным их рассеянием водными потоками [5]. Региональный фоновый уровень содержания углеводородов в органических горизонтах почв здесь может превышать показатель ОДК (ориентировочно допустимая концентрация), равный 1000 мг/кг [10]. В техногенных почвогрунтах буровых площадок нефтегазопромыслов аномально высокое содержание УВН сохраняется на протяжении десятилетий [6].

Оценку варьирования содержания УВН в почве, как правило, проводят в масштабах отдельных промышленных территорий и районов исследования [9, 14, 18], тогда как микровариабельность рассматривают лишь в рабочих документах [13]. Микрогетерогенность является базовым масштабом при исследовании более высоких пространственных уровней вариабельности почв, поэтому важно зафиксировать ее статистические характеристики и выявить законо-

мерности, формирующие локальную конфигурацию ореолов загрязнения. Описание латерального изменения экоаналитического показателя вдоль поверхности почвы может служить важной характеристикой структуры ореола загрязнения.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в 2007 и 2010 гг. в северо-восточной части о. Сахалин на участках, выведенных из эксплуатации объектов нефтедобывающей промышленности. В почвенном покрове этой территории на хорошо дренируемых поверхностях преобладают подзолистые почвы [3]. На промышленных площадках нефтепромыслов широкое распространение имеют техногенно преобразованные почвы — хемо-техноземы [1], имеющие разную степень механического нарушения и химического загрязнения.

Были выбраны 8 участков, приуроченных к различным объектам месторождения: промышленным площадкам, нефтяным разливам, естественным выходам нефти на поверхность (табл. 1). При проведении площадного опробования ($S = 0,25$ га) на каждом из них по случайной схеме из поверхностного 0–10-сантиметрового слоя отобрали 16 почвенных образцов объемом 1000 см³.

Изучение радиального распределения УВН проводили на участке № 1 в центральной части промышленной площадки демонтированного нефтехранилища по 1-сантиметровым слоям в верхней и 5-сантиметровым в нижней частях профиля хемо-техноподзола. Для оценки микроварьирования УВН отбирали вертикальные почвенные монолиты, охватывающие профиль техногенно трансформированного подзола: для глубины 0–35 см — по 1-сантиметровым, для глубины 35–70 см — по 5-сантиметровым слоям. Чтобы оценить латеральное варьирование, была зало-

Таблица 1

Характеристика участков и почв на объектах исследования

№	Участок	Профиль почвы	Название почвы
1	площадка демонтированного нефтехранилища	ТГ1(0—23)—ТГ2(23—45)—В1(45—60)—ВСg(> 60)	хемо-техноподзол супесчаный
2	периферийная часть буровой площадки	ТГ1(0—40)—ТГ2(40—80)—Вfg(80—120)—Вg(120—180)—ВСg(180—200)	хемо-техноподзол супесчаный
3	периферийная часть площадки шламового амбара	ТГ(0—40)—Вg(40—60)—ВG(60—80)	техногенно нарушенная болотная низинная торфяно-глебовая
4	природный выход нефти на поверхность	X1(0—15)—X2(15—30)—X3(30—45)—X4(45—60)	хемозем
5	разлив нефти и промстоков из нефтеловушки	A1(0—5)—AT(5—22)—Вg(22—35)—ВG(35—50)—G(> 50)	химически загрязненная аллювиальная лугово-болотная оторфованная легкосуглинистая
6	выведенные из эксплуатации буровые площадки	ТГ1(0—10)—ТГ2(10—25)—ЕВ(25—35)—В1f(35—48)—В2(48—73)—В3g(73—95)	хемо-техноподзол песчаный
7	разлив нефти вблизи внутрипромыслового нефтепровода	A0A1(0—13)—В1(13—21)—В2(21—45)—В3(45—69)—ВСg(> 69)	химически загрязненная бурая лесная глееватая легкосуглинистая
8	разлив нефти вблизи межпромыслового нефтепровода	A0A1(0—5)—A1(5—8)—Е(8—29)—В1f(29—38)—В2f(38—61)—ВС(61—95)	химически загрязненный подзол иллювиально-железистый песчаный

жена трансекта длиной 3 м вдоль элемента мезорельефа с относительным превышением 60 см; ее начало находилось на краю обводненного мезопонижения. Образцы отбирали по трансекте с шагом 10 см из двух слоев почвы — 0—5 и 5—10 см. На площадках № 1, 2, 4, 8 были выкопаны по два латеральных монолита длиной 10 см из слоя 0—5 см, которые в лабораторных условиях разрезали и анализировали по 1-сантиметровым слоям.

Содержание суммы УВН в почвенных пробах определяли методом инфракрасной спектрометрии в соответствии с ПНДФ 16.1:2.2.22-98 в двух повторностях.

Результаты и их обсуждение

Микроварьирование содержания УВН в хемо-техноподзолах. Выявленное распределение УВН характеризуется многослойностью, связанной со строением профиля технопочвы (рис. 1). Горизонт ТГ1 (0—23 см) представлен песчаным материалом, насыпанным при проведении земляных и рекультивационных работ. В морфологическом строении верхней части гор. ТГ2 (23—45 см) отчетливо выделяются субгоризонтально ориентированные переуплотненные сизовато-серые супесчаные прослои, которые являются погребенными и, по-видимому, соответствуют поверхности промышленной площадки в эксплуатационный период (10—15 лет назад). Максимальное загрязнение в микропрофиле приурочено именно к этим прослоям на глубине 23—24 см — 22 748 мг/кг. Самые нижние из этих прослоев, на глубине 32—34 см, имеют светло-серую окраску, в них количество УВН резко снижается до 2323 мг/кг. Нижняя часть гор. ТГ2 уплотнена в меньшей степени, имеет включения техногенного

щебня, и содержание УВН здесь постепенно уменьшается к его нижней границе, что отражает вертикальное просачивание под действием диффузионных

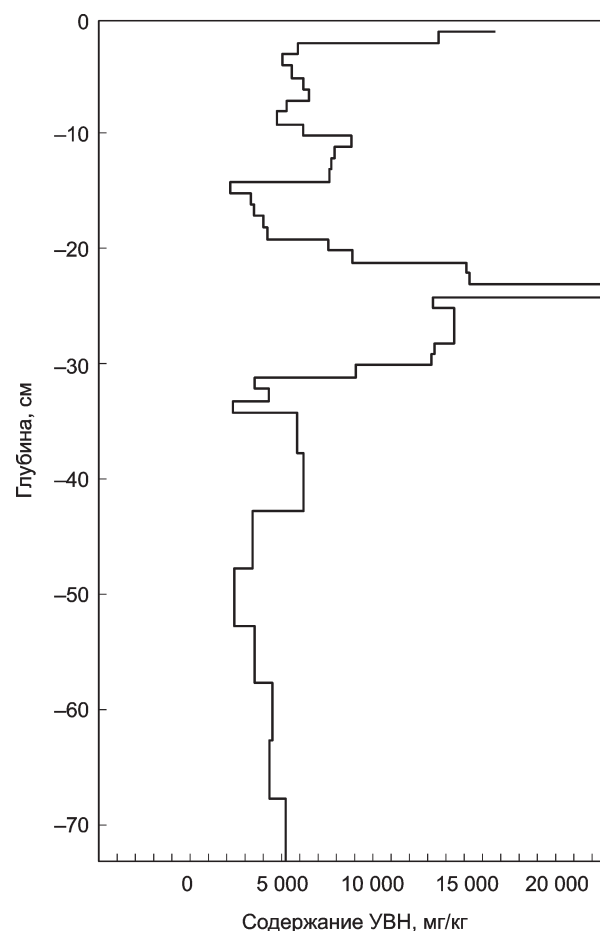


Рис. 1. Распределение содержания УВН в профиле хемо-техноподзола на уч. № 1

и капиллярно-гравитационных сил. Глубина проникновения УВН может возрастать в почвах с высокой порозностью и водопроницаемостью [11].

В радиальном распределении УВН в пределах гор. ТГ1 можно выделить несколько градиентов. В слое 0—9 см идет снижение содержания УВН от 16 623 в поверхностном сантиметре до 4811 мг/кг в нижней его части, что отражает нисходящую диффузию загрязнителя из локализованных на поверхности свежих разливов нефти. Распределение УВН в слое 15—22 см сформировано преимущественно за счет восходящей миграции из более загрязненной верхней части гор. ТГ2, что выражается в плавном увеличении уровня загрязнения в пределах этого слоя. В средней части гор. ТГ1 (11—13 см) отмечено дополнительное локальное увеличение содержания УВН (рис. 1).

На глубине 45—60 см зафиксирован слаборазрушенный гор. В1, соответствующий исходному профилю подзола. Содержание УВН в нем достаточно выровнено и составляет около 2500—3500 мг/кг.

В нижней части профиля описан гор. ВСg (> 60 см), обводненный с глубины 70 см. Радиальное распре-

ление УВН на глубине 50—70 см связано с наличием барьера-экрана, в качестве которого выступают огленный горизонт и верхняя кромка почвенно-грунтовых вод. Поэтому наблюдается постепенное нарастание УВН от 2513 мг/кг в слое 50—55 см гор. В1 до 5321 мг/кг в слое 70—75 см гор. ВСg.

Микроварьирование в латеральном направлении оценивали при определении УВН по 1-сантиметровым слоям в пределах 10-сантиметровых почвенных монолитов (табл. 2). Коэффициенты вариации для большинства из них не превышали 35%, для всех отмечены положительные коэффициенты асимметрии. На основе критерия Уилка—Шапиро подтвержден нормальный закон распределения УВН при микроварьировании в исследованных почвенных монолитах.

Варьирование содержания УВН в латеральном направлении при линейном и площадном опробованиях. Результаты, полученные при линейном опробовании в пределах трехметровой трансекты с шагом 0,1 м по двум слоям хемо-техноподзола, показывают, что латеральное мезоварьирование УВН харак-

Таблица 2

Статистические характеристики содержания УВН в почве на разных объектах опробования, мг/кг

Участок	Слой, см	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Коэффициент вариации, %	Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса	Закон распределения
Латеральные монолиты (объем выборки = 10)									
№ 1	0—5	4746	4638	4093	6015	20,3	1,54	2,62	N
№ 1	0—5	14209	14127	13758	14820	6,3	0,43	−2,06	N
№ 2	0—5	372	361	200	570	18,2	0,59	−0,45	N
№ 2	0—5	755	465	400	1400	54,1	1,71	1,14	N
№ 4	0—5	154671	131380	117764	214868	32,0	1,60	1,05	N
№ 4	0—5	293424	267096	206425	406750	34,7	1,08	0,81	N
№ 8	0—5	6241	5978	5325	8984	32,6	1,07	−0,85	N
№ 8	0—5	17526	16872	15741	23416	15,1	0,86	1,32	N
Трансекта (объем выборки = 31)									
№ 1	0—5	16328	12948	3194	38143	59,7	0,88	−0,06	LN
№ 1	5—10	6012	6301	2399	13548	35,7	1,24	4,06	LN
Площадки (объем выборки = 16)									
№ 1	0—10	9772	5300	1060	38690	103,9	1,79	1,42	LN
№ 2	0—10	1075	1050	200	1900	52,0	0,00	−1,51	N
№ 3	0—10	316	300	100	800	59,4	1,01	1,86	N
№ 4	0—10	208538	227150	23900	416000	58,9	−0,08	−1,20	N
№ 5	0—10	31506	17700	800	79100	88,8	0,54	−1,27	N
№ 6	0—10	13169	1350	100	65000	165,1	1,76	1,97	LN
№ 7	0—10	27500	18000	1600	75900	90,3	0,67	−0,98	LN
№ 8	0—10	7650	5900	300	24100	95,7	0,98	−0,03	LN

Примечание. Проверку закона распределения проводили на основе критериев Уилка—Шапиро и Хи-квадрата ($\alpha = 0,05$): N — нормальный, LN — логнормальный.

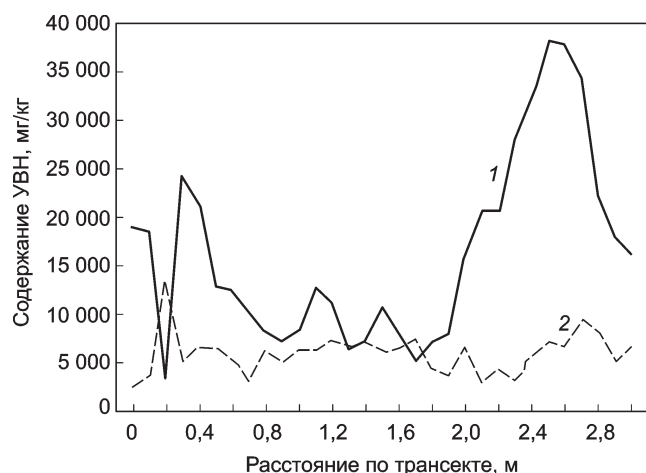


Рис. 2. Латеральное варьирование УВН в хемо-техноподзоле вдоль трансекты: 1 — в слое 0–5 см, 2 — в слое 5–10 см

теризуется как трендами, так и периодическими составляющими (рис. 2). Пики повышенного содержания УВН в слое 0–5 см на отрезках 0,3–0,5 и 2,4–2,8 м приурочены к локальным разливам нефти, которые визуальнo прослеживаются по маслянистости и более коричневой окраске почвенной поверхности. Вследствие распространенности мелких разливов на площадке демонтированного нефтехранилища источник загрязнения следует считать не точечным, а площадным.

Факторами, формирующими латеральное микроварьирование содержания УВН в загрязненных почвах, могут выступать микрорельеф и неравномерность проведения рекультивационных мероприятий на участках разлива [16], неоднородность физических и биологических свойств почвы [12, 15], приводящая к локальным изменениям процессов миграции и трансформации загрязнителя. В пределах исследованной трансекты отмечена гетерогенность материала насыпного гор. ТГ1 по гранулометрическому составу, что повлияло на латеральное распределение УВН. Так, пониженное значение содержания УВН в слое 0–5 см на отметке 0,2 м связано с высокой долей крупнозернистой песчаной фракции, что приводит к снижению удельной поверхности и как следствие к уменьшению нефтеемкости почвы в данной точке. При этом в слое 5–10 см на отметке 0,2 м, наоборот, зафиксирован максимум содержания УВН. По-видимому, просачивание углеводородов проходило по разливу нефти с поверхности почвы вниз, но в этой точке, вследствие низкой локальной нефтеемкости слоя 0–5 см, значительная доля загрязнителя проникла в нижележащий слой 5–10 см, тогда как в большинстве других точек трансекты основной пул УВН остался в слое 0–5 см (рис. 2).

Статистические характеристики содержания УВН вдоль трансекты в слое 0–5 см выше, чем в слое 5–10 см: среднее — в 2,7 раза, медиана — в 2,1, минимум — в 1,3, максимум — в 2,8 раза (табл. 2).

В слое 5–10 см латеральная изменчивость УВН вдоль трансекты более сглажена, коэффициент вариации составил 35,7%, тогда как в слое 0–5 см — 59,7%. Вместе с тем в слое 5–10 см отмечены высокие положительные коэффициенты асимметрии и эксцесса. Проверка по критерию Уилка—Шapiro выявила отличие распределений УВН в обоих слоях почвы от нормального закона. На основе критерия Хи-квадрат установлена логнормальность их распределений в выборке по трансекте (табл. 2). Это отмечено и в работах других исследователей [17].

С целью выявления периодических закономерностей в пространственном изменении УВН применялись автокорреляционный и кросс-корреляционный анализы для их логарифмически преобразованных значений. Чтобы сравнить особенности радиального и латерального распределений, дополнительно проводили автокорреляционный анализ значений содержания УВН в вышерассмотренном профиле хемо-техноподзола. Результаты автокорреляционного анализа представлены в виде коррелограмм, полученных в радиальном направлении с лагом 1 см (рис. 3, а) и в латеральном направлении по слоям 0–5 и 5–10 см с лагом 10 см (рис. 3, б, в). На коррелограмме в радиальном направлении отмечается значимая ($\alpha = 0,05$) скоррелированность значений в пределах 1–3 см, что связано с плавными вертикальными градиентами изменения УВН, сформированными в результате гравитационно-капиллярных и диффузных сил. На коррелограмме в латеральном направлении для слоя 0–5 см скоррелированность отмечается в пределах четырех лагов (10–40 см), что отражает пространственную структуру локальных разливов нефти по поверхности почвы на площадке демонтированного нефтехранилища. Для слоя 5–10 см радиус скоррелированности сужается до одного лага (10 см) вследствие большего числа факторов, влияющих на распределение УВН в этом слое. К таковым, в частности, относятся внутрпочвенные техногенные потоки, связанные с почвенно-грунтовыми водами. Именно этим фактором можно объяснить результаты, полученные при проведении кросс-корреляционного анализа между значениями содержания УВН в слоях 0–5 и 5–10 см по трансекте (рис. 3, г). На кросс-коррелограмме низкие коэффициенты корреляции отмечены при лаге 0, наиболее высокий положительный коэффициент — при лаге –2, а наиболее высокий отрицательный — при лагах +3 и +4. Учитывая уклон мезорельефа и обводненность прилежащего к трансекте участка, можно предположить, что такие значения кросс-корреляционной функции продиктованы динамикой уровня почвенно-грунтовых вод. При его изменениях сопряженными вдоль трансекты оказываются точка в слое 0–5 см и смещенная на несколько лагов вверх по склону мезорельефа точка в слое 5–10 см, что и может формировать их скоррелированность по содержанию УВН.

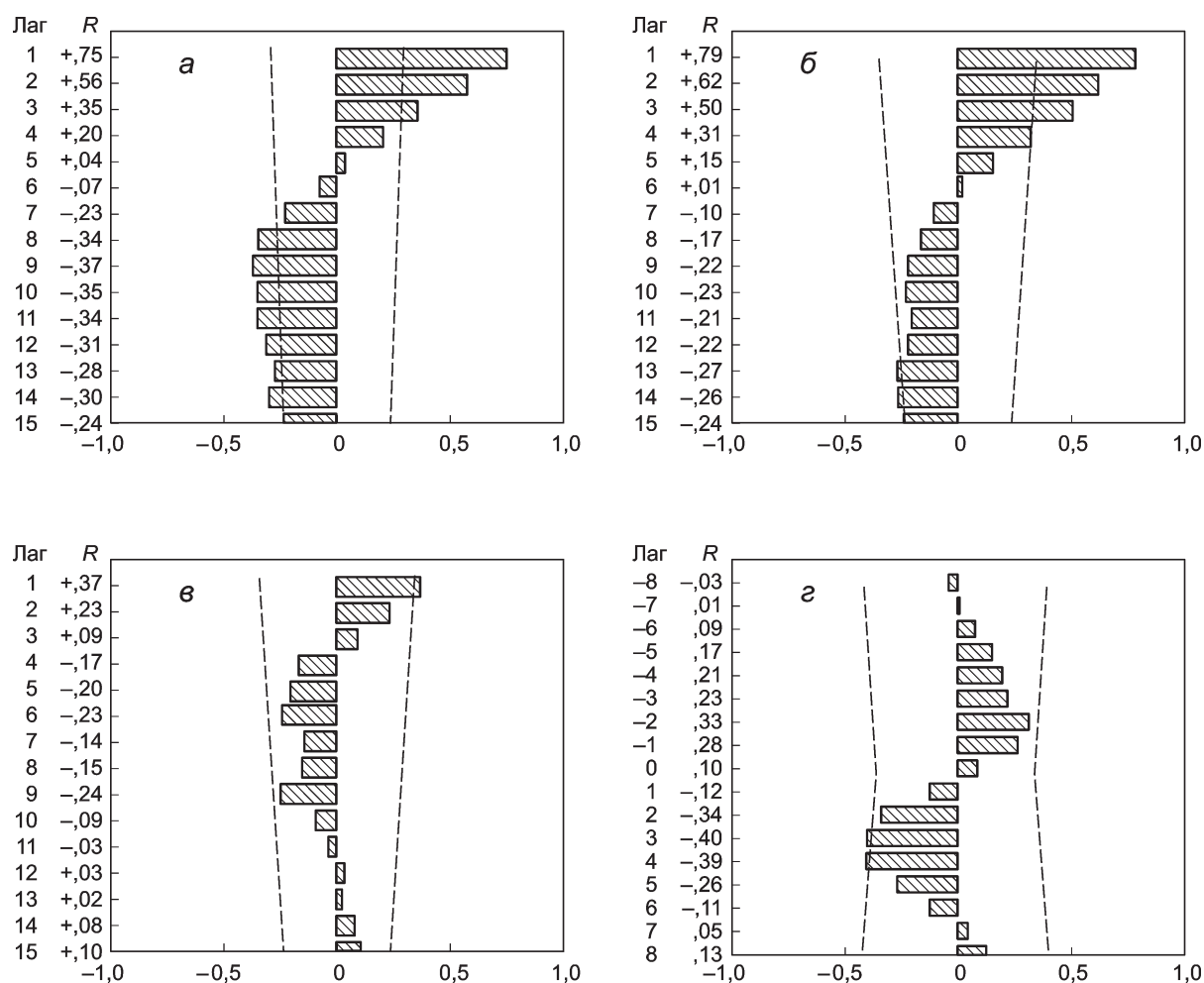


Рис. 3. Коррелограммы пространственного изменения содержания УВН в хемо-техноподзоле: *а* — в радиальном направлении (лаг 1 см); *б* — в латеральном направлении на глубине 0–5 см (лаг 10 см), *в* — в латеральном направлении на глубине 5–10 см (лаг 10 см); *г* — кросс-коррелограмма в латеральном направлении между глубинами 0–5 и 5–10 см (лаг 10 см)

Результаты площадного опробования на 8 участках месторождения показывают широкий диапазон уровней загрязнения почв (табл. 2). В периферийных зонах промышленных площадок средние значения содержания УВН в почвах составили: для участка № 2 — 316 мг/кг, что соответствует фоновому уровню на нефтедобывающих территориях (100–500 мг/кг), для участка № 3 — 1075 мг/кг, что незначительно превышает ОДК (1000 мг/кг). Распределение УВН в почве на этих участках удовлетворяет нормальному закону: коэффициенты вариации составили для участка № 2 — 52,0, для участка № 3 — 59,4%.

Расчет средних значений содержания УВН для участков промышленных площадок с разливами нефти показал, что они имеют очень высокий (> 5000 мг/кг) уровень загрязнения почвы. При этом коэффициенты вариации здесь составляли 88,8–165,1%. Наибольшая степень варьирования, зафиксированная для участка № 6, связана с тем, что он объединял промышленные площадки трех соседних законсервированных буровых скважин, каждая из которых имела разный уровень техногенного воздействия. Следует

отметить, что на участках № 5, 6 и 8 среди пятен с очень высоким уровнем нефтяного загрязнения встречаются таковые с допустимым содержанием УВН, об этом свидетельствуют полученные значения максимумов и минимумов (табл. 2). Для большинства промышленных площадок с разливами нефти пространственное распределение содержания УВН в верхнем слое почвы подчинялось логнормальному закону. Многие участки имели положительные коэффициенты асимметрии, свидетельствующие о наличии отдельных очагов с высокой концентрацией загрязнителя. В качестве таковых могут выступать локальные зоны нефтяных разливов, расположенные близко к месту сброса техногенных потоков от источника, а также приуроченные к микропонижениям, в которых происходит накопление компонентов нефти и продуктов ее трансформации.

Наибольший уровень содержания УВН зафиксирован для участка природного выхода нефти на поверхность: среднее равно 208 538 мг/кг, что соответствует более 20% от массы почвы. При этом степень варьирования показателя на этом участке ниже, чем на большинстве техногенно загрязненных площадок,

Таблица 3

Результаты трехфакторного иерархического дисперсионного анализа для оценки варьирования УВН на различных масштабах опробования, г/кг

Масштаб варьирования	Число степеней свободы	Сумма квадратов центральных отклонений	Средний квадрат	F-критерий Фишера	Составляющие дисперсии	Доля дисперсии, %
В пределах 20 км ²	3	1389809	463269,6	11,3*	10557,8	80,42
В пределах 0,25 га	4	163831	40957,8	35,4**	1990,0	15,16
В пределах 10 см	72	83336	1157,4	256,6**	576,5	4,39
Повторность анализа	80	361	4,5		4,5	0,03
Факторы в целом	159	1637337	10297,7		13128,8	

Примечание. $F^* > F_{0,05}$; $F^{**} > F_{0,01}$.

что указывает на достаточно выровненное сплошное рассеяние нефти в поверхностных слоях почвы данного природного образования.

Сопоставление коэффициентов вариации для латеральных монолитов и площадок, полученных для каждого участка, показывает рост степени варьирования при увеличении размера объекта опробования. На участках № 1 и № 8 переход от микрогетерогенности в пределах 10-сантиметровых монолитов к варьированию на площади 0,25 га сопровождается изменением закона распределения с нормального на логнормальный, тогда как на участках № 2 и № 4 сохраняется нормальный закон распределения на обоих объектах опробования (табл. 2).

Варьирование содержания УВН при разных масштабах рассмотрения. Представленный экспериментальный материал применим для оценки пространственного варьирования при разных масштабах рассмотрения. При этом вариабельность 1-сантиметровых проб в пределах 10-сантиметровых латеральных монолитов можно принять в качестве микроварьирования, между монолитами на площадках 0,25 га — мезоварьирования, между площадками по всей территории месторождения 20 км² — макроварьирования. Реализованная в нашей работе схема эксперимента формирует трехфакторный иерархический дисперсионный комплекс (табл. 3). В иерархической схеме исследования элементы опробования при более крупном масштабе рассмотрения сами выступают в качестве объектов исследования [2].

Результаты проведенного иерархического дисперсионного анализа показывают значимое влияние всех трех факторов масштабных уровней на варьирование УВН. Варьирование по повторностям при анализе проб не превышало 0,03% общего варьирования. Наибольший рост дисперсии отмечен при переходе от площадок 0,25 га ко всей территории месторождения, что продиктовано высокой контрастностью уровней нефтяного загрязнения между рассмотренными участками: периферийными и центральными зонами промышленных площадок, разли-

вами, выходом нефти на поверхность. Доля дисперсии, соответствующая микроварьированию в пределах 10 см, составляет менее 5%, мезоварьированию в пределах 0,25 га — лишь около 15% общего варьирования. Приведенные результаты доказывают, что оценки содержания УВН на локальных площадях опробования не могут характеризовать всю территорию месторождения, экоаналитический пробоотбор должен охватывать всю протяженность объекта исследования.

На основе полученных оценок степени варьирования содержания УВН (табл. 2, 3) проведено планирование объемов выборок, необходимых для оценки среднего уровня загрязнения почв. В соответствии с расчетом при относительной погрешности $P_{0,05} = 20\%$ на отдельных 50—100-метровых площадках в зависимости от контрастности загрязнения требуется отбор от 50 до 130 проб, на всей территории месторождения — 330 проб. Такой объем выборок можно реализовать, применяя отбор смешанных проб вместо индивидуальных, если основной задачей является определение среднего уровня. Пробоотбор для выявления закономерностей пространственной структуры загрязнения следует организовывать на основе индивидуальных почвенных образцов.

Выводы

- Радиальное распределение УВН в верхней части профиля хемо-техноподзолов определяется строением техногенных горизонтов, максимум УВН приурочен к погребенной поверхности промышленной площадки. В слабонарушенных горизонтах нижней части профиля происходит накопление УВН на внутрипочвенном геохимическом барьере по верхней кромке почвенно-грунтовых вод.

- Латеральные градиенты микроварьирования УВН не стабильны для различных глубин опробования технопочв, при этом связаны с локализацией источников загрязнения и поверхностными и внутрипочвенными миграционными потоками.

• Высокие коэффициенты вариации (90—165%) и логнормальный закон распределения УВН в почвах характерны для участков, загрязненных в результате разливов нефти, тогда как в периферийных зонах промышленных площадок средний уровень и степень варьирования снижены, а распределение удовлетворяет нормальному закону.

• Микроварьирование в пределах 10-сантиметровых элементов опробования составило < 5%, ме-

зоварьирование в пределах площадок 0,25 га — около 15% от общей вариабельности на территории месторождения площадью 20 км². Наибольший рост дисперсии, отмеченный при переходе от локальных площадок ко всей исследованной территории, продиктован высокой контрастностью уровней загрязнения почв на различных объектах месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Смоленск, 2003.
2. Дмитриев Е.А. Некоторые методологические аспекты изучения почв // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 1997. № 2.
3. Ивлев А.М. Особенности генезиса и биогеохимия почв Сахалина. М., 1977.
4. Казанцева М.Н., Казанцев А.П., Гашев С.Н. Характеристика нефтяного загрязнения территории Мамонтовского месторождения нефти // Вестн. экол., лесовед. и ландшафтовед. 2001. № 2.
5. Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Чернянский С.С., Сахаров Г.Н. Проблема диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами // Почвоведение. 2003. № 9.
6. Побережная Т.М. Геохимия природных и техногенных ландшафтов Сахалина и Южных Курильских островов. Владивосток, 2010.
7. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М., 1998.
8. Чижов Б.Е., Долингер В.А., Захаров А.И. Особенности нефтяного загрязнения территории Ханты-Мансийского автономного округа // Вестн. экол., лесовед. и ландшафтовед. 2008. № 8.
9. Шор Е.Л., Хурушов А.Г. Оценка средних фоновых концентраций нефтепродуктов в почвах и поверхностных водах нефтяных месторождений Нижневартовского района // Исследования эколого-географических проблем природопользования для обеспечения территориальной организации и устойчивости развития нефтегазовых регионов России. Нижневартовск, 2000.
10. Щеглов А.И., Цветнова О.Б. Содержание и распределение нефтяных углеводородов в почвах фоно-

вых территорий о. Сахалин // Пробл. регион. экол. 2009. № 5.

11. Al-Sarawi M., Massoud M.S., Al-Abdali F. Preliminary Assessment of Oil Contamination Levels in Soils Contaminated with Oil Lakes in the Greater Burgan Oil Fields, Kuwait // Water, Air, Soil Pollution. 1998. Vol. 106, N 3.

12. Caravaca F., Roldan A. Assessing changes in physical and biological properties in a soil contaminated by oil sludges under semiarid Mediterranean conditions // Geoderma. 2003. Vol. 117. Iss. 1—2.

13. Lethbridge G., Wenham M.F. (Shell Global Solutions) Addressing soil contamination in IPPC Site Baseline and Site Closure Reports // The Soil and Groundwater Technology Association. <http://www.sagta.org.uk>

14. Li J., Zhang J., Lu Y. et al. Determination of total petroleum hydrocarbons (TPH) in agricultural soils near a petrochemical complex in Guangzhou, China // Environ. monitoring and assessment. 2012. Vol. 184, N 1.

15. Mikkonen A., Hakala K.P., Lappi K. et al. Changes in hydrocarbon groups, soil ecotoxicity and microbiology along horizontal and vertical contamination gradients in an old landfarming field for oil refinery waste // Environ. Pollution. 2012. Vol. 162.

16. Pernar N., Baksic D., Antonic O. et al. Oil residuals in lowland forest soil after pollution with crude oil // Water, Air, Soil Pollution. 2006. Vol. 177, N 1—4.

17. Salmeen I., Kim B., Briggs L. Case of Lognormally Distributed TPH in Contaminated Soil // J. Environ. Engineering. 1995. Vol. 121, N 9.

18. Xiong Z.-T., Hu H.-X., Wang Y.-X. et al. Comparative Analyses of Soil Contaminant Levels and Plant Species Diversity at Developing and Disused Oil Well Sites in Qianjiang Oilfield, China // Bull. Environ. Contamin. and Toxicol. 1997. Vol. 58, N 4.

Поступила в редакцию
16.07.2012

SPATIAL VARIABILITY OF OIL CONTAMINATION LEVEL IN TECHNOGENIC TRANSFORMED PODZOLIC SOILS OF THE NORTHEAST OF SAKHALIN ISLAND

D.N. Lipatov, A.V. Eliseeva

The vertical and lateral microvariability of total petroleum hydrocarbon (TPH) in technogenic soils is considered in this work. The autocorrelation and cross-correlation analysis of the TPH along a transect in the lateral direction is carried out. Statistical parameters of TPH for various industrial sites, oil spill, natural exits are described, the normal or lognormal law of distribution in technogenic soils is confirmed. Percentage of total spatial variability of TPH contributed by hierarchical

sampling levels (10 cm, 0,25 ha, 20 km²) is estimated. Planning of volumes of the samples necessary for an assessment of the average level of pollution in soils for separate sites and all territory of oil field is carried out.

Key words: oil contamination, technogenic soils, spatial variability.

Сведения об авторах

Липатов Денис Николаевич, канд. биол. наук, ст. препод. каф. радиоэкологии и экотоксикологии ф-та почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. Тел.: 8 (495) 939-50-09; *e-mail:* dlip@soil.msu.ru.
Елисеева Анна Владимировна, аспирант каф. радиоэкологии и экотоксикологии ф-та почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. Тел.: 8 (495) 939-50-09.