

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК. 504.55/054^622/276 (470.53)

С.А.Бузмаков

БИОИНДИКАЦИЯ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОСИСТЕМ НА ТЕРРИТОРИИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО СОСТОЯНИЮ МИКРОБНОГО КОМПЛЕКСА

Наиболее существенными и специфическими факторами техногенного воздействия при эксплуатации нефтяного месторождения являются, на наш взгляд, загрязнение атмосферы, поступление аварийных сбросов водонефтяной эмульсии, загрязнение водоемов и пойменных почв солеными водами. Биоиндикация направления техногенных изменений экосистемы по состоянию основных групп микроорганизмов позволяет определить стадию ее трансформации.

Ключевые слова: нефтяное месторождение; экосистема; микроорганизм; стадия трансформации; техногенный фактор; загрязнение.

Поступление поллютантов в атмосферу от скважин, ДНС, УППН – естественный технологический процесс. Наиболее мощным загрязнителем атмосферы являются УППН, достаточно существенным – ДНС, выбросы вредных веществ скважинами, как правило, незначительны (но бывают и исключения) [12–16].

Аварии нефтепроводов, водоводов, различного оборудования приводят к поступлению в окружающую природную среду нефти, соленых и пресных вод. Несмотря на то что это не соответствует технологическим регламентам работ по нефтедобыче, избежать аварийных ситуаций практически невозможно [2–9].

Индикация состояния экосистемы по изменению соотношения микроорганизмов давно показала свою эффективность [10–13]. С целью изучения влияния нефтепромыслов на редуцентов (сапротрофов) отбирались пробы почв, воды в районах воздействия технологических объектов на атмосферу (УППН, ДНС), в местах аварийных разливов жидкости, в выходах подземных вод (родниках), пойменных почвах малых рек на территории месторождения. Для характеристики естественных и природно-антропогенных процессов в пределах географического подразделения брались пробы в лесных, луговых и пашенных биотопах. Выявлялось содержание нефтепродуктов, количество сапрофитных, нефтеокисляющих микроорганизмов, рассчитывалось отношение нефтеокисляющих к сапрофитным. Стадия техногенной трансформации определялась в соответствии с разработанными представлениями [1].

Для территории Кунгурской лесостепи установлено фоновое содержание нефтепродуктов (табл.1). Количество сапрофитных и нефтеокисляющих микроорганизмов может как уменьшаться, так и увеличиваться, причем последние менее подвержены изменениям, их численность в биоценозах меньше на 1 – 3 порядка, чем обилие сапрофитов.

Таблица 1

Фоновое количество гетеротрофных микроорганизмов на территории Кунгурской лесостепи, 10⁶ КОЕ /г воздушно-сухих почвенных проб

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие /сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
1.Смешанный лес	0.13	10	1	0.1
2.Разнотравный луг	0.2	1.4	0.88	0.6
3.Пашня	0.19	280	1.3	0.004

©Бузмаков С.А., 2014

Бузмаков Сергей Алексеевич, доктор географических наук, заведующий кафедрой биогеоценологии и охраны природы Пермского государственного национального исследовательского университета; Россия, 614099, г. Пермь, ул. Букирева, 15; ler@psu.ru

Для определения влияния выбросов в атмосферу взяты пробы в лесном биотопе, прилежащем к факельной площадке на Кокуйском месторождении (табл.2). Содержание нефтепродуктов в почве уменьшается по мере удаления от факела. Количество сапрофитов непосредственно у края леса (проба 1) достигает значительных величин, а затем снижается ниже фонового. Вероятнее всего, такое распределение в непосредственной близости от факела обусловлено большим поступлением мертвой органики за счет гибели автотрофов, на которых негативно воздействуют не только выбросы, но и экстремальные температуры, а также последствия экотонного эффекта.

Таблица 2

**Количество гетеротрофных микроорганизмов на подфакельной территории Кокуйского месторождения нефти,
10⁶ КОЕ /г воздушно-сухих почвенных проб**

Смешанный лес	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие/сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
50м от факельной установки	1.4	290	53	0.18
100м от факельной установки	0.37	1.7	280	164.7
250м от факельной установки	0.21	1.8	54	30.0

Обилие нефтеокисляющих микроорганизмов значительно увеличивается на всей трансекте, достигая максимума на расстоянии 100 м. Соотношение в биоценозе нефтеокисляющих и сапрофитных микроорганизмов существенно отличается от фонового, углеводородокисляющих оказывается больше на 2-3 порядка при расстоянии в 100–250 м от источника выбросов.

Последствия поступления аварийных сбросов представлены в табл.3, 4. Около УППН «Кокуй» образовалось болото, в которое поступают стоки. Концентрация нефтепродуктов достигает максимальных значений в центральной части биотопа, что свидетельствует об их аккумуляции. В краевой части преобладают процессы миграции и деградации нефти. Численность сапрофитов в пределах фоновых колебаний, но на краю болота их значительно меньше, чем в центре. Численность нефтеокисляющих микроорганизмов стабильна по всему биотопу, но выше, чем в фоновых пробах. Они преобладают в биоценозе.

Таблица 3

**Количество гетеротрофных микроорганизмов в болоте, сформировавшемся под влиянием стоков УППН, на территории Кокуйского месторождения нефти,
10⁶ КОЕ /г воздушно-сухих почвенных проб**

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие/сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
Край болота	0.2	0.6	330	550
Центр болота	32.6	15	330	22

В ходе эксплуатации Кокуйского месторождения возник природно-техногенный выход нефти в наземные экосистемы. Нефтяники пытаются собирать ее в герметичные емкости, которые время от времени переполняются, тогда нефть мигрирует по логу в сторону р. Ирени. На входе этого потока концентрация нефтепродуктов в почве достигает очень больших величин (табл. 4, проба 1) (по сути, нефти больше чем почвы) на выходе, несмотря на снижение, концентрация

нефтепродуктов также весьма высока (табл. 4, проба 2). Из-за относительно недавнего начала поступления нефтепродуктов численность сапрофитов мало изменилась. Возможно, численность их обусловлена некой периодичностью поступления, миграции, разрушения нефти, восстановительно-деградационными процессами самого биоценоза. Численность нефтеокисляющих микроорганизмов незначительно повышена, что может объясняться не только современным загрязнением, но и предыдущими фазами трансформации. Соотношение двух групп микроорганизмов находится в пределах фоновых значений.

На рекультивируемом традиционными способами участке (табл. 4, проба 3) в условиях существенного загрязнения нефтепродуктами, повышенной аэрации грунта, внесения структураторов, очистки от избыточной нефти наблюдается некоторое повышение численности сапрофитов и значительное увеличение нефтеокисляющих микроорганизмов. Их соотношение, между тем, соответствует естественным показателям.

Таблица 4

Количество гетеротрофных микроорганизмов на территории Кокуйского месторождения нефти (аварийные участки), 10^6 КОЕ /г воздушно-сухих почвенных проб

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющих/сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
1. Природно-техногенный выход нефти	526.5	80	1.3	0.02
2. Граница распространения от источника 1	25.2	3.6	1.6	0.44
3. Рекультивируемый участок	45.8	110	11	0.1

Загрязнение в больших количествах нефтью и хлоридами подземных и поверхностных вод заставляет организовывать на поверхностных водотоках (реках первого, второго порядка) так называемые нефтеловушки, пруды-отстойники, что приводит к существующему загрязнению пойменных почв (табл.5). Механический барьер позволяет аккумулировать большую часть нефтепродуктов в верховьях реки (проба 1), после каскада прудов концентрация нефтепродуктов в среднем течении (проба 2) и устье (проба 3) равномерна.

Таблица 5

Количество гетеротрофных микроорганизмов в пойменных почвах на территории Кокуйского месторождения нефти (р.Каменка), 10^6 КОЕ /г воздушно-сухих почвенных проб

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющих/сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
1. Исток	32.5	69	1500	21.7
2. Среднее течение	0.4	13	290	22.3
3. Устье	0.35	8.6	1.3	0.15

Численность сапрофитов в целом находится в пределах фоновых показателей, максимального обилия они достигают в местах наибольшего загрязнения. Количество нефтеокисляющих микроорганизмов уменьшается от верховьев к месту впадения р. Каменки в р.Ирень в соответствии с изменением концентрации нефтепродуктов. В пойменных отложениях устья реки можно судить об их фоновом содержании. Аномально высокое содержание нефтеокисляющих микроорганизмов и достаточно высокое содержание сапрофитов свидетельствует о «процветающей» сапротрофной сбалансированной экосистеме в верховьях реки, существующей за счет поступления техногенной органики. Соотношение нефтеокисляющих и сапрофитов нормализуется в низовьях реки.

Процессы, протекающие в пойменных почвах, зависят от состояния водотоков. Химические анализы воды, поступающей из родников в р. Каменку, свидетельствуют о высоком содержании в ней хлоридов и постоянном присутствии нефтепродуктов. В истоке и родниках эти показатели несколько выше, чем в прудах-отстойниках и среднем и нижнем течении реки (табл.6).

Таблица 6

Количество гетеротрофных микроорганизмов в р.Каменке на территории Кокуйского месторождения нефти, 10^6 КОЕ /мл водных проб

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, мг/л	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие/сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
1. Выход родника	0.15-0.9	95	0.015	0.0002
2.Техногенный пруд №1	0.1-0.22	0.00075	0.0000095	0.013
3.Техногенный пруд №2	0.1-0.22	8.6	1.3	0.151
4.Сток из техногенного пруда №2	0.1-0.22	0.02	0.012	0.6
5.р.Каменка (верхнее течение)	0.2-0.29	0.0075	0.0025	0.3
6. р.Каменка (среднее течение)	0.1-0.28	0.012	0.002	0.16
7. р.Каменка (устье)	0.1-0.2	0.002	0.00095	0.475
8.р.Ирень, ниже по течению от р.Каменки	0.1-0.2	0.0012	0.0012	1
9.р.Ирень, выше по течению от р.Каменки	0.1-0.2	0.045	0.002	0.044

Эпизодически, по крайней мере, в 80-е гг., происходили сбросы водонефтяных эмульсий с концентрацией нефтепродуктов до 150 мг в литре воды. Максимальное содержание сапрофитов наблюдается непосредственно в роднике, что свидетельствует о формировании состава не только за счет грунтовых, но и поверхностных вод. В первом техногенном пруду резко уменьшается количество сапрофитов, а во втором, наоборот, увеличивается. В водотоках же наблюдается относительно постоянное содержание микроорганизмов. В более стабильных условиях второго техногенного водоема, по сравнению с первым, формируется обогащенный микроорганизмами биоценоз.

Нефтеокисляющие организмы достигают максимальной численности во втором техногенном пруду, где создаются наиболее оптимальные условия для деструкции части углеводов. Для водоемов характерно резкое различие в численности микроорганизмов, а в водотоках наблюдается постепенно уменьшение их содержания от верховья к устью, что соответствует распределению нефтепродуктов и хлоридов.

Соотношение сапрофитов и нефтеокисляющих организмов обычное, преобладают первые, за исключением вод р. Ирени после впадения р.Каменки, где отношение равно единице.

Под влиянием природно-техногенных процессов на территории месторождения, в зонах воздействия технологических объектов на атмосферу (УППН, ДНС), местах аварийных разливов жидкости, в выходах подземных вод (родниках), пойменных почвах малых рек, отмечается миграция и аккумуляция нефтепродуктов. Практически повсеместно в районах техногенного влияния выявлено превышение фоновых показателей. Водотоки и водоемы содержат до 0.2 мг нефтепродуктов в литре воды. Максимальная аккумуляция поллютанта происходит в замкнутых и полужамкнутых экосистемах, принимающих техногенные потоки. Так, в верховьях Каменки, обустроенной нефтеловушками, в пойменных почвах и болоте около УППН концентрация нефтепродуктов составляет свыше 30 г на кг почвы. В районах атмосферного загрязнения,

пойменных почвах среднего и нижнего течения малых рек существенной аккумуляции не отмечено, концентрация нефтепродуктов незначительно превышает фоновые показатели.

Численность сапрофитов, как правило, находится в пределах изменений, происходящих под влиянием фоновой антропогенной нагрузки. Наиболее благоприятные условия складываются в непосредственной близости от факельной площадки, что объясняется большим поступлением мертвой растительной органики.

Нефтеокисляющие микроорганизмы в районах техногенного влияния промышленных объектов практически повсеместно увеличивают численность по сравнению с фоновым уровнем. Наиболее благоприятные условия для этого сложились в аккумулятивных биотопах. В верховьях р. Каменки их численность достигает 1500 млн клеток на 1 г почвы.

Соотношение сапрофитов и нефтеокисляющих микроорганизмов отражает изменения в структуре сообщества редуцентов. Увеличение доли нефтеокисляющих микробов происходит в аккумулирующих нефтепродукты биотопах, в местах постоянного поступления нефтепродуктов (пойменные, подфакельные почвы), в меньшей степени этот процесс выражен в водной среде.

Для территории хвойно-широколиственных лесов установлено, что при сельскохозяйственном использовании содержание нефтепродуктов мало изменяется (табл.7). Количество сапрофитов может существенно варьироваться. Численность нефтеокисляющих микроорганизмов более стабильна. Соотношение сапрофитов и нефтеокисляющих, как правило, составляет 1:1.

Таблица 7

Фоновое количество гетеротрофных микроорганизмов на территории хвойно-широколиственных лесов, 10⁶ КОЕ /г воздушно-сухих почвенных проб

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие/ сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
Смешанный лес	0.07	260	260	1
Разнотравный луг	0.11	270	270	1
Пашня	0.11	9.7	260	26.8

Нами обследованы были территории Шагирто-Гожанского, Апугайского и частично Ножовского месторождений нефти. Для определения влияния выбросов в атмосферу взяты пробы в биотопах, прилегающих к подфакельным площадкам УППН и ДНС на Шагирто-Гожанском месторождении (табл.8, 9).

Содержание нефтепродуктов в почве уменьшается по мере удаления от факела. Количество сапрофитов ниже фонового. Повышение концентрации нефтепродуктов оказывает ингибирующее воздействие на сапрофитных микроорганизмов. Численность нефтеокисляющих микроорганизмов остается стабильной, несколько увеличиваясь в лесном биотопе. Соотношение в биоценозе нефтеокисляющих и сапрофитных микроорганизмов существенно отличается от фонового – углеводородоокисляющих на 1-2 порядка больше. На удалении 500 м воздействие выбросов в атмосферу на плакорных территориях незначительно, судя по численности и соотношению микроорганизмов (табл. 10).

Последствия поступления аварийных сбросов для редуцентов представлены в табл.10. Около УППН «Гожан» образовалось болото, в которое время от времени поступают стоки, представляющие собой водонефтяную эмульсию. Концентрация нефтепродуктов невысокая. Численность сапрофитов немного ниже фоновой. Численность нефтеокисляющих микроорганизмов в пределах нормы, но в ценозе они преобладают.

На рекультивируемом традиционными способами участке в условиях существенного загрязнения нефтепродуктами, повышенной аэрации грунта, очистки от избыточной нефти наблюдается некоторое понижение численности сапрофитов и значительное увеличение нефтеокисляющих микроорганизмов. Структура микробиоценоза существенно изменена за счет преобладания нефтеокисляющих организмов. Внесение торфа не влияет на концентрацию нефтепродуктов, численность сапрофитов резко уменьшается, численность нефтеокисляющих снижается до обычного фонового уровня.

Таблица 8

Количество гетеротрофных микроорганизмов на подфакельной территории Шагирто-Гожанского месторождения нефти (УППН), 10⁶ КОЕ /г воздушно-сухих почвенных проб

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие / сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
25м от факельной установки (луг)	0.27	4.2	260	61.9
100м от факельной установки (луг)	0.21	97	260	2.68
200м от факельной установки (луг)	0.16	48	270	5.6
25м от факельной установки, выше по рельефу (луг)	0.11	260	260	1
300м от факельной установки, ниже по рельефу (лес)	0.18	14	300	21.4

Таблица 9

Количество гетеротрофных микроорганизмов на подфакельной территории Шагирто-Гожанского месторождения нефти (ДНС), 10⁶ КОЕ /г воздушно-сухих почвенных проб

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие/ сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
500м от факельной установки (пашня)	0.11	270	270	1
500м от факельной установки (лесопосадки)	0.10	270	270	1

Таблица 10

Количество гетеротрофных микроорганизмов в болоте, под влиянием стоков УППН, на территории Шагиртско-Гожанского месторождения нефти, 10⁶ КОЕ /г воздушно-сухих почвенных проб

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие/ сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
Болото	0.2-2.0	110	280	2.5
Аварийный нефтезагрязненный грунт	4.81	230	600	2.6
Аварийный нефтезагрязненный грунт, перемешанный с торфом	4.80	48	270	5.6

Загрязнение поверхностных вод заставляет организовывать на поверхностных водотоках, включая и ручьи, пруды-отстойники, что приводит к высокому загрязнению пойменных почв (табл.11). Механический барьер позволяет аккумулировать большую часть нефтепродуктов в верховьях ручья (проба 1), после каскада прудов концентрация нефтепродуктов в устье (проба 2) значительно снижается. Численность сапрофитов в верховьях соответствует фоновым показателям, а в устье она снижается. Количество нефтеокисляющих микроорганизмов увеличивается от фонового уровня в почвах истока ручья до еще более высокого в устье. В пойменных отложениях устья реки можно говорить об их фоновом содержании. Высокое содержание нефтеокисляющих микроорганизмов и сапрофитов свидетельствует о гетеротрофной сбалансированной экосистеме в верховьях ручья, существующей за счет поступления техногенной органики. В низовьях ручья структура микробоценоза изменена за счет значительного преобладания нефтеокисляющих организмов.

Таблица 11

Количество гетеротрофных микроорганизмов в пойменных почвах на территории Шагиртско-Гожанского месторождения нефти (ручей от ДНС), 10^6 КОЕ /г воздушно-сухих почвенных проб

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие/ сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
Исток	1.8	270	270	1
Устье	0.4	38	380	10

Процессы, протекающие в пойменных почвах, зависят от состояния водотоков (табл.12). Химические анализы воды в р. Гожанке свидетельствуют о высоком содержании в ней хлоридов и эпизодическом присутствии нефтепродуктов.

Таблица 12

Количество гетеротрофных микроорганизмов в реках на территории Шагиртско-Гожанского месторождения нефти, 10^6 КОЕ /мл водных проб

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, мг/л воды	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие / сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
Исток ручья от ДНС (приток р.Гожанки)	0.2	0.045	0.015	0.33
Пруд на р.Гожанке в с.Гожан	0.8	9.5	0.00065	0.00007
Сток пруда	0.2	0.95	0.75	0.78
Среднее течение р.Гожанки (выше УППН)	0.15	0.0025	0.025	10
Среднее течение р.Гожанки (ниже УППН)	0.2	0.45	0.25	0.55
Ручей от УППН	0.2	9.5	0.095	0.01

Повышенное содержание нефтепродуктов в пруду с.Гожан скорее всего объясняется постоянным поступлением органики от домашней птицы. Об этом же свидетельствует максимальное содержание сапрофитов в этом водоеме и низкое нефтеокисляющих. В водотоках обычно наблюдается относительно постоянное содержание микроорганизмов, и лишь для среднего течения р. Гожанки характерно увеличение доли нефтеокисляющих.

В районах длительной эксплуатации (Шагирто-Гожанское месторождение) в результате техногенного влияния наблюдается превышение фоновых показателей. Водотоки и водоемы содержат значительное количество нефтепродуктов. Максимальная аккумуляция поллютанта происходит в замкнутых и полужамкнутых экосистемах, принимающих техногенные потоки. В районах атмосферного загрязнения, пойменных почвах нижнего течения малых рек существенной аккумуляции не отмечено, концентрация нефтепродуктов незначительно превышает фоновые показатели или соответствует им.

Численность сапрофитов находится на фоновом уровне, а в части биотопов, находящихся под влиянием техногенных потоков, снижается, но в пределах изменений, происходящих и при сельскохозяйственной деятельности.

Нефтеокисляющие микроорганизмы в районах техногенного влияния промышленных объектов практически повсеместно увеличивают свою численность по сравнению с фоновым уровнем. Наиболее благоприятные условия для этого сложились в аккумулятивных и загрязненных нефтью биотопах.

Увеличение доли нефтеокисляющих микробов на территории месторождений хвойно-широколиственной подзоны происходит в аккумулирующих нефтепродукты биотопах, в местах постоянного поступления нефтепродуктов (пойменные, подфакельные почвы), в меньшей степени этот процесс выражен в водной среде.

Для территории южной тайги установлено, что фоновое содержание нефтепродуктов составляет 0.11 г в 1 кг почвы (табл.13).

Сельскохозяйственное использование почв может приводить к снижению численности сапрофитов. Антропогенное воздействие может способствовать как увеличению численности нефтеокисляющих микроорганизмов (луг), так и уменьшению. В норме сапрофиты преобладают в ценозе (84%), при хозяйственной нагрузке структура может изменяться в сторону преобладания нефтеокисляющих.

Таблица 13

**Фоновое количество гетеротрофных микроорганизмов на территории южной тайги,
10⁶ КОЕ /г воздушно-сухих почвенных проб**

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие/сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
Смешанный лес	0.11	122.6	20.1	0.16
Разнотравный луг	0.15	17	110	6.5
Пашня	0.1	21	2.1	0.1

Для определения влияния выбросов в атмосферу взяты пробы в лесном биотопе, прилежащем к факельной площадке на Уньвинском месторождении (табл.14).

Содержание нефтепродуктов в почве постоянное, соответствующее фону, по всей трансекте. Количество сапрофитов ниже фонового уровня. Нефтеокисляющие микроорганизмы достигают значительной численности на расстоянии 250 м, на предыдущих площадках обилие на уровне фоновых значений. Соотношение в биоценозе нефтеокисляющих и сапрофитных микроорганизмов существенно различается, первые даже преобладают на одной из площадок наблюдений.

Таблица 14

Количество гетеротрофных микроорганизмов на подфакельной территории Уньвинского месторождения нефти (УПНН), 10⁶ КОЕ /г воздушно-сухих почвенных проб

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие / сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
50м от факельной установки (лес)	0.02	18	11	0.61
100м от факельной установки (лес)	0.12	130	11	0.08
250м от факельной установки (лес)	0.1	9.5	250	26.3

Последствия поступлений водонефтяной эмульсии для микробоценоза представлены в табл.15. Содержание нефтепродуктов значительно превышает фоновый уровень, численность сапрофитов резко снижена, нефтеокисляющие микроорганизмы достигают высокого обилия и преобладают в сообществе. Содержание нефтепродуктов в пойменных почвах на территории Уньвинского месторождения достаточно равномерно по участкам реки (пробы 1–3) и различным рекам (пробы 1–6).

Таблица 15

Количество гетеротрофных микроорганизмов на территории Уньвинского месторождения нефти, 10⁶ КОЕ /г воздушно-сухих почвенных проб

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие/ сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
Техногенный сток (скв.37)	2.1	5.0	110	22
Исток р.Чижанки	0.25	12	24	2
Среднее течение р.Чижанки	0.25	0.94	0.25	0.27
Устье р.Чижанки	0.25	34	71	2.1
р.Быстрая	0.2	14	29	2.1
р.Петровка	0.15	310	310	1
р.Вогулка	0.16	310	120	0.39

Численность микроорганизмов довольно лабильна. В почвах верховьев и устьевой части она выше, чем в среднем течении, там же преобладают нефтеокисляющие микробы, что соответствует представлениям о миграции и аккумуляции органических веществ. В почвах на реках Петровке и Вогулке отмечается повышенная численность обеих групп микроорганизмов, структура ценоза (их соотношение) соответствует норме. В почвах рек Чижанки и Быстрой сформировались сообщества, близкие по составу и структуре, с преобладанием нефтеокисляющих микроорганизмов, что свидетельствует о преимущественно техногенном загрязнении этих биотопов.

Для водных объектов на территории Уньвинского месторождения характерны наличие нефтепродуктов естественного и техногенного происхождения и лабильный микробоценоз (табл.16). Количество сапрофитов увеличивается в верховьях и устье реки, нефтеокисляющих организмов – наоборот. В большинстве малых рек преобладают сапрофиты, за исключением рек Опалихи и Петровки.

Таблица 16

Количество гетеротрофных микроорганизмов в реках на территории Уньвинского месторождения нефти, 10⁶ КОЕ /мг водных проб

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, мг/л воды	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие/ сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
Верховья р.Чижанки	0.2	12.0	0.095	0.008
Среднее течение р.Чижанки	0.1	0.0004	0.02	50
Устье р.Чижанки	0.2	4.5	0.00065	0.0001
р.Быстрая	0.2	0.75	0.25	0.33
р.Опалиха	0.1	0.12	0.25	2.08
р.Петровка	0.1	0.15	1.5	10
р.Вогулка	0.1	0.75	0.02	0.03
Сброс вод (скв.68)	0.2	0.95	0.045	0.05

Максимальное содержание нефтепродуктов отмечено в почвах при поступлении в них техногенных аварийных потоков. В районах атмосферного загрязнения, пойменных почвах нижнего течения малых рек существенной аккумуляции не отмечено, концентрация нефтепродуктов незначительно превышает фоновые показатели или соответствует им.

Численность сапрофитов находится на обычном уровне, а в части биотопов, находящихся под влиянием техногенных потоков, снижается, но в пределах изменений, происходящих и при сельскохозяйственной деятельности. Значительные превышения фонового уровня есть в некоторых пойменных почвах.

Численность нефтеокисляющих микроорганизмов в районах техногенного влияния промышленных объектов сравнима с фоновым уровнем, его превышение отмечено лишь в части пойменных почв, в загрязненных нефтью биотопах и на отдельных участках атмосферного воздействия. Увеличение доли нефтеокисляющих микробов происходит в местах постоянного поступления нефтепродуктов (пойменные, подфакельные почвы, аварийные разливы).

Для территории средней тайги установлены типичные тенденции влияния фоновой антропогенной нагрузки. При сельскохозяйственном использовании земель количество сапрофитов может существенно изменяться, численность нефтеокисляющих микроорганизмов более стабильна. Соотношение сапрофитов и нефтеокисляющих, как правило, 1:1. Возможно и существенное уменьшение обилия сапрофитов (табл.17).

Таблица 17

Фоновое количество гетеротрофных микроорганизмов на территории средней тайги, 10⁶ КОЕ /г воздушно-сухих почвенных проб

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие/ сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
Пихтово-еловый лес	0.2	280	280	1
Разнотравный луг	0.06	4.7	260	55.3
Пашня	0.1	250	250	1

На Логовском месторождении в зоне атмосферного загрязнения (см. табл.18) содержание нефтепродуктов в почве достигает максимума на удалении 100 м от факела. Непосредственно вблизи факела и на удалении 250 м их концентрация находится на уровне фона. Количество сапрофитов значительно ниже фоновых показателей. Поступление атмосферных поллютантов оказывает ингибирующее воздействие на сапрофитные микроорганизмы.

Численность нефтеокисляющих микроорганизмов достигает максимума при увеличении концентрации нефтепродуктов. Структура биоценоза микроорганизмов существенно отличается от фоновой, преобладают (на 1-2 порядка) углеводородоокисляющие.

Таблица 18

**Количество гетеротрофных микроорганизмов на подфакельной территории Логовского месторождения нефти (ДНС),
106 КОЕ /г воздушно-сухих почвенных проб**

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие/ сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
Лес, 50м от факельной установки	0.05	0.2	250	1250
Лес, 250м от факельной установки	0.04	0.95	250	263.2

Последствия поступления аварийных сбросов и их аккумуляции представлены в табл.19. Концентрация нефтепродуктов свидетельствует о поступлении техногенной органики.

Численность сапрофитов существенно снижена. Нефтеокисляющие микроорганизмы увеличивают свое обилие, в микробоценозе они преобладают.

Концентрация нефтепродуктов в пробах пойменных почв Логовского месторождения находится на фоновом уровне (табл. 20). Численность сапрофитов обычно ниже фоновых показателей, максимального обилия они достигают в истоках и устьях рек, а в среднем течении оно уменьшается. Количество нефтеокисляющих микроорганизмов увеличивается от верховьев к среднему течению, затем от среднего течения к устью уменьшается. Структура микробоценоза существенно изменена в почвах среднего течения р. Черной за счет преобладания нефтеокисляющих организмов. В поверхностных водах на территории месторождения присутствуют нефтепродукты. Численность сапрофитов, по материалам обследований, в верховьях соответствует фоновым показателям, а в устье снижается. Количество нефтеокисляющих микроорганизмов в пределах фона. Структура микробоценоза также соответствует норме.

Таблица 19

**Количество гетеротрофных микроорганизмов на территории Логовского месторождения нефти (аварийные участки),
106 КОЕ /г воздушно-сухих почвенных проб**

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие/ сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
Техногенный сток (скв.37)	0.69	9.9	330	33.3
Техногенный сток (куст скв.7)	1.57	8	1000	125
Болото, 100м от факельной установки	5.28	88	1900	22.59

Таблица 20

**Количество гетеротрофных микроорганизмов в пойменных почвах на территории
Логовского месторождения нефти,
106 КОЕ /г воздушно-сухих почвенных проб**

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие/ сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
Исток р.Черной	0.03	24	2.4	0.1
Среднее течение р.Черной	0.07	2.4	290	120.8
Устье р.Клестовки	0.08	340	61	0.18
р.Усолки	0.06	0.56	0.81	1.45

В поверхностных водах на территории месторождения присутствуют нефтепродукты. Численность сапрофитов, по материалам обследований, в верховьях соответствует фоновым показателям, а в устье снижается. Количество нефтеокисляющих микроорганизмов в пределах фона. Структура микробсообщества также соответствует норме.

Результаты обследования территории Логовского месторождения свидетельствуют о развитии природно-техногенных процессов. В зонах воздействия технологических объектов на атмосферу (ДНС), в местах аварийных разливов жидкости отмечается аккумуляция нефтепродуктов. В пойменных почвах и самих водотоках существенной аккумуляции не выявлено, концентрация нефтепродуктов незначительно превышает фоновые показатели или соответствует им. Численность сапрофитов находится, как правило, ниже фонового уровня, особенно в части биотопов, находящихся под влиянием техногенных потоков. Лишь в отдельных биотопах, где происходит аккумуляция естественной органики, отмечено ее повышение.

Нефтеокисляющие микроорганизмы в местах существенного техногенного влияния промышленных объектов практически повсеместно увеличивают свою численность по сравнению с фоновым уровнем. Как правило, структура биоценоза изменяется за счет снижения численности сапрофитов. На фоне этого снижения возможно также увеличение численности нефтеокисляющих микробов.

Для лесных биогеоценозов Пермской области, наименее испытывающих антропогенное воздействие, установлено, что фоновое содержание нефтепродуктов составляет до 0.13 г на 1 кг почвы (табл.21). Численность сапрофитов достаточно лабильна в естественных условиях. Достоверным снижением можно считать их обилие ниже 10 млн кл./г воздушно-сухих почвенных проб, достоверным увеличением – обилие выше 280 млн клеток. Достоверным снижением численности нефтеокисляющих микроорганизмов можно принять обилие ниже 1 млн клеток на грамм воздушно-сухих почвенных проб, достоверным повышением – обилие выше 280 млн. клеток. Численность нефтеокисляющих микроорганизмов, как правило, на один порядок меньше, или равна обилию сапрофитов. В естественных биогеоценозах отношение нефтеокисляющих к сапрофитным микроорганизмам – более стабильный показатель, чем их численность.

Таблица 21

**Фоновое количество гетеротрофных микроорганизмов на территории Пермской области,
106 КОЕ /г воздушно-сухих почвенных проб**

Биотоп	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие/ сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
Лес	0.07-0.13	10-280	1-280	0.1-1
Болото	0.35-0.4	140-180	42-60	0.3
Луг	0.06-0.15	1.4-270	0.88-270	0.6-55.3
Пашня	0.1-0.19	9.7-280	1.3-260	0.004-26.8

Под воздействием традиционной сельскохозяйственной нагрузки содержание валовых нефтепродуктов мало изменяется. Численность сапрофитов может падать ниже фонового уровня, но никогда его не превышает. Численность нефтеокисляющих микроорганизмов остается в диапазоне фоновых параметров. Структурные изменения чаще выражаются в увеличении доли нефтеокисляющих микробов.

Поступление поллютантов в атмосферу от скважин, ДНС, УППН – нормальный технологический процесс. Наиболее мощным загрязнителем атмосферы являются территории УППН, достаточно существенным – площадки ДНС. Обследование подфакельных биотопов показало, что в них возможна, но очень редка, повышенная концентрация нефтепродуктов (см. табл.22).

Численность сапрофитов близка к норме либо несколько снижена и очень редко бывает выше нормы, что можно объяснить несколько повышенным поступлением органики от автотрофов при развитии у них некрозов тканей. Численность нефтеокисляющих микроорганизмов не бывает ниже довольно широко обозначенной нами нормы, а часто и превышает ее в десять раз, что можно считать достоверным. В структуре микробоценоза преобладающим элементом становятся нефтеокисляющие организмы. Образование 3,4-бенз(а)пирена может превышать региональный фон [7]. Под влиянием атмосферного загрязнения микробоценоз изменяется в пределах фонового состояния и начальной стадии минимального неравновесного оптимума.

Аварийные территории плакорного характера существенно различаются по количеству нефти и нефтепродуктов, для них характерно повсеместное наличие техногенной органики. Поступление, миграция техногенной органики определяют состояние микробоценоза. Возможно значительное образование 3,4-бенз(а)пирена. В структуре микробоценоза преобладающим элементом становятся нефтеокисляющие организмы. Изменение состояний микробоценоза охватывает весь диапазон изменений, от фонового состояния до пессимума и, очевидно, абиогенной фазы существования экосистемы.

Аккумуляция нефтепродуктов в понижениях рельефа (природно-техногенного происхождения) приводит к довольно стабильной численности нефтеокисляющих микроорганизмов. Численность сапрофитов больше подвержена колебаниям. Происходит активное разрушение нефтепродуктов, об этом свидетельствуют образование и аккумуляция 3,4-бенз(а)пирена, обычно превышающие санитарно-гигиенические нормы. Микробоценоз находится в состоянии равновесного оптимума.

Загрязнение грунтовых и поверхностных вод приводит к поступлению нефтепродуктов в аazonальные биотопы поймы и верховой рек. Наиболее интенсивно этот процесс происходит во временных водотоках истоков рек, где аккумулируется значительное количество органики. В структуре микробоценоза характерны изменения за счет уменьшения численности сапрофитов и увеличения обилия нефтеокисляющих микроорганизмов. Происходят разрушение и миграция нефтепродуктов. Образование и аккумуляция бенз(а)пирена несколько менее выражена, чем в предыдущем биотопе. Менее стабильная численность нефтеокисляющих бактерий, более низкие концентрации бенз(а)пирена позволяют определить диапазон изменений состояния микробоценоза, от конечных стадий минимального неравновесного оптимума до равновесного оптимума.

Загрязнение грунтовых и поверхностных вод приводит к поступлению нефтепродуктов в пойменные почвы среднего течения рек и устья. Преобладает миграция нефтепродуктов, возможна концентрация бенз(а)пирена выше регионального фона. Высоки колебания численности как сапрофитов, так и нефтеокисляющих микроорганизмов. В результате загрязнения микробоценоз изменяется в пределах фонового состояния и начальной стадии минимального неравновесного оптимума.

Рекультивация приводит к состоянию микробоценоза от пессимума до минимального неравновесного оптимума.

Эксплуатация месторождения нефти обуславливает формирование районов техногенного воздействия, источниками которого являются нефтепромысловые объекты и потоки природно-техногенных веществ. Характерно поступление различного количества техногенной органики (нефтепродуктов) и изменение структуры и состояния сообщества редуцентов. Преобладающим компонентом микробного ценоза становятся углеводородокисляющие (нефтеокисляющие) микроорганизмы, у которых существует преадаптация к нефтепродуктам.

Таблица 22

Количество гетеротрофных микроорганизмов в районах техногенного воздействия на территории месторождений нефти Пермской области, 106 КОЕ /г воздушно-сухих почвенных проб

Способ воздействия	Содержание нефтепродуктов, г/кг почвы	Микроорганизмы		Отношение нефтеокисляющие/сапрофитные
		сапрофитные	нефтеокисляющие	
Загрязнение атмосферы	0.04-8.9	0.2-530	1.3-1400	0.08-1000
Аварийные сбросы нефти	0.69-526.5	3.6-230	1.3-1000	0.02-125
Аккумуляция нефтепродуктов	0.2-32.6	0.6-110	280-330	2.5-550
Загрязнение пойменных почв (верховья реки)	0.03-32.5	12-270	2.4-1500	0.1-21.7
Загрязнение пойменных почв (среднее течение реки)	0.07-0.4	0.94-780	0.25-780	0.27-120.8
Загрязнение пойменных почв (устье реки)	0.06-0.4	8.6-340	1.3-380	0.15-10
Рекультивация нефтезагрязненных земель	4.8-45.8	48-230	11-600	0.1-5.6

Миграция, аккумуляция, трансформация органики, развитие специфической группы микроорганизмов на территории нефтепромыслов позволяет считать одним из ведущих процессов техногенную эвтрофикацию локальных экосистем.

Соотношение численности нефтеокисляющих и сапрофитных бактерий в водной среде родников, истоков рек как характеристика экосистемы водосборного бассейна на выходе, состояние редуцентов в экосистемах на территории месторождений надо оценивать как фоновое и в редких случаях как начальную стадию неравновесного оптимума.

Библиографический список

1. Бузмаков С.А. Антропогенная трансформация природной среды // Географический вестник. Пермь, 2012. №4 (23). С.46–50.
2. Бузмаков С.А., Костарев С.М. Техногенные изменения компонентов природной среды в нефтедобывающих районах Пермской области. Пермь, 2003. 171с.
3. Бузмаков С.А., Башин Г.П. Предельно допустимое содержание нефтепродуктов в почвенных экосистемах Пермской области// Изв. вузов. Нефть и газ. 2004. №2. С.91–96
4. Бузмаков С.А., Костарев С.М., Чайкин С.А. Научное обоснование проектирования и эксплуатации нефтяных месторождений в границах особо охраняемых природных территорий (на примере районов нефтедобычи Пермской области) // Изв. вузов. Нефть и газ. 2004. №3. С.14–23.
5. Бузмаков С.А., Костарев С.М. Трансформация геосистем в районах нефтедобычи // Изв. вузов. Нефть и газ. 2004. №5. С.124–131.
6. Бузмаков С.А., Башин Г.П. Метод оценки воздействия остаточных нефтепродуктов на почвы// География и природные ресурсы. 2004. №2. С.119–122.
7. Бузмаков С.А., Кулакова С.А. Формирование природно-техногенных экосистем на территории нефтяных месторождений (на примере Пермского края) // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2007. №1. С.20–24.

8. Бузмаков С.А., Кулакова С.А. Природно-техногенные экосистемы на территории нефтяных месторождений (на примере Пермского края)// Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2011. №1. С.39–44.
9. Бузмаков С.А., Кулакова С.А. Дegradация и загрязнение земель на территории нефтяных месторождений // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2011. №3. С.13–21.
10. Звягинцев Д.Г., Гузев В.С., Левин С.В., Оборин А.А. Диагностические признаки различных уровней загрязнения почв нефтью// Почвоведение. 1989. № 1. С.72–78.
11. Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: МГУ, 1980. С.130–138.
12. Оборин А.А. Стадник Е.В. Нефтегазопроисковая геомикробиология. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 408 с.
13. Оборин А.А., Рубинштейн Л.М., Хмурчик В.Т., Чурилова Н.С. Концепция организованности подземной биосферы. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 148с.
14. Пиковский Ю.И. Геохимические особенности техногенных потоков в районах нефтедобычи //Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. М.: Наука, 1981. С.134–148.
15. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: МГУ, 1993. 206с.
16. Пиковский Ю.И. Трансформация техногенных потоков нефти в почвенных экосистемах //Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 7–22.

S.A. Buzmakov

BIOINDICATION INDUSTRIAL TRANSFORMATION ECOSYSTEM IN THE OIL FIELDS AS MICROBIAL COMPLEX

The most significant and specific factors of technogenic influence on operation of oil field believe: atmospheric pollution, water-oil emulsions emergency gas vents, pollution of water bodies and floodplain soils saline waters. Bioindication of man-made changes to the ecosystem as the main groups of microorganisms allows to determine the stage of its transformation.

Key words: oil field, ecosystem, microorganism, transformation stage, technogenic factor, pollution.

Sergey A. Buzmakov, Doctor of Geography, Professor, Head of Department of Biogeocenology and Nature Protection, Perm State National Research University; 15, Bukirev, Perm, 614990 Russia; lep@psu.ru

УДК 502.1:502.55:504.5

Е.А. Ворончихина, А.В. Щукин, Н.И. Щукина

К ОЦЕНКЕ ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УРБЭКОСИСТЕМЫ ПЕРМИ В СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ РЕАГЕНТОВ

Рассмотрены эколого-геохимические процессы, обусловленные рассеиванием техногенных химических элементов, вносимых с противогололедными реагентами в урбэкоцистему. Дана оценка техногенной нагрузки и ее экологические последствия.

Ключевые слова: урбанизированные экосистемы; гололеда; противогололедные реагенты; загрязнение среды; экологические последствия.

© Ворончихина Е.А., Щукин А.В., Щукина Н.И., 2014

Ворончихина Евгения Александровна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Естественнонаучного института Пермского государственного национального исследовательского университета; Россия 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; voronchihina-ea@yandex.ru

Щукин Артем Владимирович, Щукина Надежда Ивановна магистранты геологического факультета Пермского государственного национального исследовательского университета; Россия 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; N.Shc_1992@mail.ru