

## Оценка трансформации природной среды в районах разработки углеводородного сырья на севере Западной Сибири

М. Г. ОПЕКУНОВА, А. Ю. ОПЕКУНОВ, С. Ю. КУКУШКИН, И. Ю. АРЕСТОВА

Санкт-Петербургский государственный университет  
199178, Санкт-Петербург, ВО 10-я линия, 33/35  
E-mail: m.opekunova@mail.ru

Статья поступила 20.03.2017

Принята к печати 11.05.2017

### АННОТАЦИЯ

На основе многолетних исследований (1993–2016 гг.) дана оценка состояния окружающей среды в районе разработки нефтегазоконденсатных месторождений севера Западной Сибири (ЯНАО). Определено содержание нефтяных углеводородов, ПАУ и тяжелых металлов (Cu, Zn, Fe, Pb, Cd, Ni, Co, Cr, Ba, Cd и Mn) в почвах, природных водах, донных осадках и в индикаторных видах растений – *Larix sibirica*, *Betula nana*, *Salix lanata*, *Ledum decumbens*, *Vaccinium vitis-idaea*, *V. uliginosum* и *Cladonia alpestris*. С использованием коэффициентов межвидовой сопряженности растений выделены плеяды видов, отвечающих экологическим условиям местообитаний и интенсивности техногенного воздействия. Предложен набор показателей оценки трансформации природных комплексов под влиянием нефтегазодобычи.

**Ключевые слова:** трансформация природной среды, север Западной Сибири, загрязнение, тяжелые металлы, нефтепродукты, биоиндикация.

Тундровые геосистемы наиболее уязвимы для техногенного воздействия. Огромную роль в этом играют суровость климата, высокая заболоченность территории, низкая восстановительная способность растительных сообществ и др., что обуславливает снижение скорости метаболизма и активности биогеохимических процессов [Сысо и др., 2001; Bioremediation..., 2008; Barnes, Chuvilin, 2009; Капелькина, 2014; Опекунова и др., 2015; и др.]

В последние десятилетия освоение газовых и газоконденсатных месторождений на территории Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) сопровождается многосторон-

ним воздействием на природно-территориальные комплексы (ПТК) севера Западной Сибири, включающим как загрязнение среды, так и прямое механическое повреждение [Солнцева, 1998; Московченко, 2010; Водяницкий и др., 2013; Лаверов и др., 2016; и др.]. Неизбежными становятся периодически возникающие пожары, приводящие к значительной трансформации как тундровых, так и таежных ландшафтов.

Главными источниками химического загрязнения на территории нефтегазоконденсатных месторождений (НГКМ) являются буровые скважины, устьевое оборудование,

промплощадки, взлетно-посадочные площадки, транспортные средства и различные линейные объекты (подъездные автодороги, сборные трубопроводы, шлейфо- и ингибиторопроводы). Приоритетными поллютантами при этом выступают нефтепродукты и тяжелые металлы. Они попадают в окружающую среду при всех видах производственной деятельности, аварийных разливах и сбросах, а также при работе автотранспорта [Солнцева, 1998; Сысо и др., 2001; Хаустов, Редина, 2006; Essoka et al., 2006; Banat et al., 2006; Московченко, 2010; Опекунов и др., 2012; Водяницкий и др., 2013; Pinedo et al., 2014].

Химическое загрязнение, возникающее в результате обустройства нефтегазоконденсатных месторождений, накладывается на разновозрастную (главным образом послепожарную) нарушенность природной среды. Многофакторное и разноплановое влияние приводит к формированию сложных процессов восстановительных сукцессий, интенсивность и направленность которых зависит от комплекса внешних воздействий, исходной нарушенности ПТК и устойчивости ландшафтов к техногенезу.

Получение репрезентативных данных об уровне загрязнения компонентов природных систем в труднодоступных районах севера Западной Сибири затруднено в связи с отсутствием постоянно действующих постов экологического мониторинга, что обуславливает необходимость разработки и использования надежных показателей состояния окружающей среды. Поэтому цель исследования – выявление наиболее информативных гео- и биоиндикаторов для оценки техногенной трансформации ПТК в зоне воздействия объектов нефтегазодобычи.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объект исследований – компоненты тундровых, лесотундровых и северотаежных ландшафтов на территории 30 НГКМ в Пуровском, Тазовском, Красноселькупском и Надымском р-нах Тюменской обл. ЯНАО (Надым-Пур-Тазовское междуречье). В основу проводимых работ положен сравнительный анализ компонентов ПТК, расположенных на различном удалении от источников загрязне-

ния, по мере нарастания техногенного стресса: ненарушенные природные комплексы тундр, лесотундр и торфяников Надым-Пур-Тазовского междуречья → слабонарушенные природные ПТК под влиянием локальных источников нефтегазовых промыслов (участки единичных проездов тяжелой техники, факельные установки) → техногенно нарушенные ПТК в районах нефтегазодобычи (участки геолого-разведочных работ, размещения шламовых амбаров, разъездов тяжелой техники, аварийных разливов, линии трубопроводов) → техногенно трансформированные ПТК на объектах инфраструктуры нефтегазовых промыслов (производственные и кустовые площадки, установки комплексной подготовки газа, вахтовые поселки, автозимники, отсыпные дороги, песчаные карьеры).

Подробно методика исследований изложена в работах [Опекунов и др., 2012, 2015; и др.]. Всего за период 1993–2016 гг. обследовано более тысячи пробных площадей, на которых выполнены комплексные ландшафтно-экологические описания, включающие детальную характеристику всех компонентов ПТК. Изучено более 300 водных объектов (состав воды и донных осадков), 56 опорных почвенных разрезов, дана подробная характеристика растительности (ярусность, синузильность, видовой состав, проективное покрытие растений, их обилие по Друде, фенологическое состояние, жизненность и др. [Полевая геоботаника, 1976]). Особое внимание уделено потенциальным источникам техногенного загрязнения, их размещению на местности, возможному распространению загрязняющих веществ в катенарной структуре ПТК, оценке нарушенности природной среды, последствий пожаров и др. Проведен отбор проб природных вод, донных отложений, почв и растений на химический анализ. Изучены широко распространенные и доминирующие виды растений – *Larix sibirica* Ledeb., *Betula nana* L., *Salix lanata* L., *Ledum decumbens* (Ait.) Lodd. ex Steud., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Vaccinium uliginosum* L. и *Cladonia alpestris* (L.) Rubh.

Содержание тяжелых металлов (Cu, Zn, Fe, Pb, Cd, Ni, Co, Cr, Ba, Cd и Mn) в почвах, донных осадках и растениях определя-

ли в Центральной лаборатории ВСЕГЕИ им. А. П. Карпинского методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). Анализ концентрации их подвижных форм в почвах и донных отложениях с использованием ацетатно-аммонийного буфера (рН 4,8) осуществляли методом атомно-абсорбционной спектроскопии в лаборатории геоэкологического мониторинга СПбГУ и БИН РАН. Определение в воде, почвах и донных осадках содержания нефтяных углеводородов (НУ) и полициклических ароматических углеводородов (16 полиаренов) выполняли в лаборатории И.К.М. Инжиниринг флуориметрическим методом и методом высокоэффективной жидкостной хроматографии соответственно. В природных водах определяли ТМ, анионно-катионный состав, азот в нитритной, нитратной и аммонийной формах, минеральный фосфор.

При оценке видового разнообразия и флористических особенностей ПТК использовали нелинейный графический метод дендритов с выделением плеяд, тесно связанных между собой видов [Терентьев, 1959; Нешатаев, 1987]. Расчет межвидовой сопряженности 169 видов растений проводили с помощью коэффициента ранговой корреляции Бравэ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Химический состав природных вод.** Поверхностные воды ЯНАО характеризуются преимущественно гидрокарбонатно-кальциевым и гидрокарбонатно-натриевым составом. Основное влияние на состав поверхностных вод данной территории оказывают атмосферные осадки, обогащающие воды гидрокарбонатами, талые снеговые воды, содержащие в себе широкий спектр веществ, а также минерализованные подземные. На территории залегания морских и аллювиально-морских верхнеэоценовых отложений отмечается повышенное содержание сульфатов и хлоридов.

На региональном уровне в воде крупных рек каких-либо изменений химического состава не выявлено. На локальном уровне в воде малых рек, ручьев, стариц и озер под влиянием нефтегазодобычи происходит трансформация вод гидрокарбонатного состава в

хлоридный тип с преобладанием катионов кальция и магния. Это наблюдается в основном для небольших озер и стариц вблизи источников загрязнения. Вместе с тем концентрация хлоридов повсеместно не превышает ПДК<sub>рх</sub>, а также является относительно низкой по сравнению с более развитыми районами Западной Сибири, где содержания хлоридов достигают в среднем 260 мг/л [Московченко и др., 2017]. Наибольшие концентрации хлоридов, сульфатов и минерализация воды в пределах освоенных месторождений приурочены к кустам скважин, трубопроводам и другим объектам (рис. 1).

Из биогенных веществ в поверхностных водах лицензионных участков преобладает азот в нитратной форме, что связано с формированием в реках и озерах этих территорий окислительных условий. Повышение в отдельных случаях концентрации аммонийного азота (до 0,27 мг/л при фоновом содержании в сотые доли мг/л) обусловлено высокой заболоченностью территории и замедленными процессами разложения органического вещества.

Трофический статус водоемов, определенный по соотношению фосфора и азота [Дмитриев, Фрумин, 2004], изменяется от олиготрофного до эвтрофного в широтном направлении с севера на юг. Средние соотношения N/P меняются для НГКМ в очень широких пределах (от 3 до 187). Наряду с природными закономерностями можно отметить рост трофности с увеличением степени освоенности месторождений.

Вблизи техногенных объектов на освоенных НГКМ отмечается повышение в природных водах концентрации Ba, Cu и V (см. рис. 1). Высокие концентрации НУ наблюдаются на участках размещения стационарных техногенных объектов, в том числе установок комплексной подготовки газа, жилых комплексов и кустов скважин. Однако уровень загрязнения обусловлен характером водных объектов, условиями и направлением стока на территории. Рост концентрации Mn и Fe отмечается в старицах и застойных зонах рек с низким окислительным потенциалом и не связан с техногенным воздействием.

**Содержание НУ и ТМ в донных осадках.** Изучение донных осадков показало, что основными природными факторами формиро-

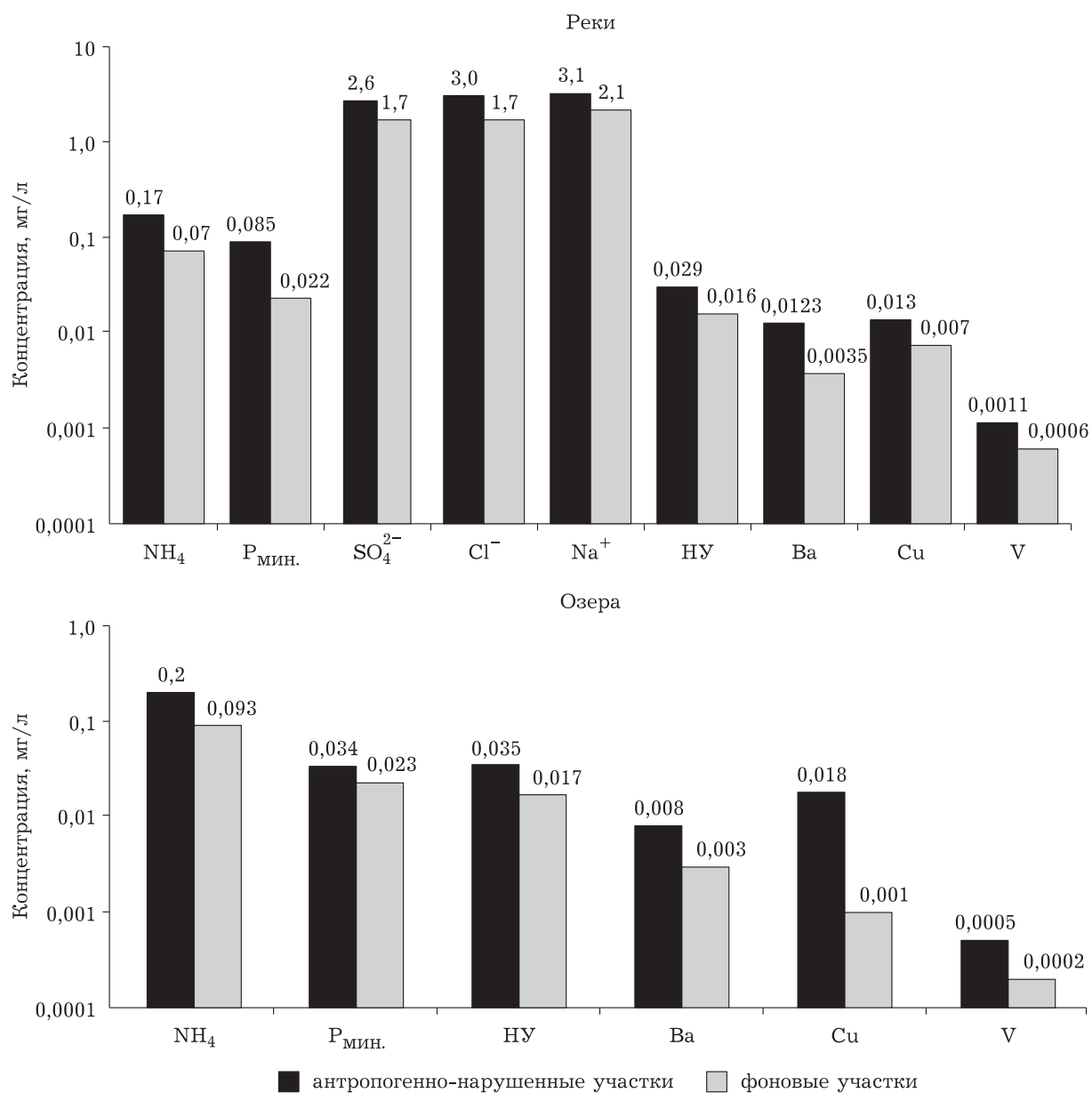


Рис. 1. Содержание химических веществ в поверхностных водах фоновых и нарушенных участков

вания их химического состава служат литогенный и фациальный. Первый включает седиментационный фактор, отражающий связь содержания ТМ с гранулометрическим составом отложений, и вещественный, показывающий зависимость их состава от подстилающих четвертичных горных пород. Второй обусловлен различными обстановками осадконакопления (аллювиальные, старичные, озерные), степенью заболоченности ландшафтов и широтной зональностью.

Содержание ТМ в донных осадках водных объектов лицензионных участков ЯНАО

определяется, прежде всего, их гранулометрическим составом. При оценке распределения металлов отмечается значительный рост их концентрации в ряду выделенных типов донных отложений: мелкозернистые пески < песчано-илистые осадки < илы. Так, среднее содержание в илах Fe в 8 раз, Mn – в 6, Ni – в 6,5, Co – в 5,5 раза выше, чем в мелкозернистых песках. Эти данные доказывают необходимость проведения анализа загрязнения водных объектов отдельно по каждому из гранулометрических типов (табл. 1).

## Содержания ТМ и НУ в донных отложениях водных объектов техногенно нарушенных и фоновых участков территории, мг/кг

	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Ba	Pb	Fe	НУ
	Илы, горфянистые илы											
Нарушенные участки, <i>n</i> = 34	38,2 ± 6,01	34,9 ± 6,19	555 ± 303	7,4 ± 2,03	13,1 ± 2,79	7,3 ± 1,13	27,0 ± 4,42	0,14 ± 0,03	396 ± 48	8,0 ± 0,87	3,2 ± 1,49	449 ± 262
Фоновые участки, <i>n</i> = 48	42,7 ± 8,0	40,0 ± 6,9	420 ± 146	9,6 ± 2,21	15,4 ± 2,86	9,3 ± 1,54	32,5 ± 5,35	0,20 ± 0,04	411 ± 59,5	9,2 ± 1,1	2,1 ± 0,47	65 ± 26
	Илистые пески											
Нарушенные участки, <i>n</i> = 32	17,1 ± 3,2	16,6 ± 3,8	137 ± 41	3,1 ± 1,17	4,9 ± 1,52	3,2 ± 0,50	13,1 ± 2,72	0,08 ± 0,02	305 ± 41,9	5,8 ± 0,68	0,74 ± 0,18	203 ± 218
Фоновые участки, <i>n</i> = 57	25,7 ± 4,6	22,7 ± 4,2	190 ± 50	4,9 ± 1,6	5,1 ± 1,0	3,8 ± 0,6	17,0 ± 3,2	0,09 ± 0,02	359 ± 47	6,2 ± 1,0	0,94 ± 0,19	26,2 ± 13,2
	Мелкозернистые пески											
Нарушенные участки, <i>n</i> = 16	7,34 ± 1,57	16,3 ± 11,8	34 ± 9,0	1,09 ± 0,34	1,72 ± 0,47	1,82 ± 0,36	5,5 ± 0,71	0,13 ± 0,08	135 ± 25	2,49 ± 0,32	0,19 ± 0,04	24,8 ± 12,5
Фоновые участки, <i>n</i> = 28	7,94 ± 1,11	8,7 ± 2,1	57 ± 17	1,87 ± 0,46	1,90 ± 0,48	2,05 ± 0,50	6,52 ± 0,91	0,07 ± 0,02	171 ± 31	3,40 ± 0,56	0,28 ± 0,04	14,5 ± 7,1

Анализ состава верхнеплейстоценовых отложений, слагающих территорию исследований, показал следующие результаты. Низкий уровень содержания микроэлементов в озерно-аллювиальных, аллювиальных и ледниковых отложениях сочетается с высокой концентрацией сидерофильных (V, Cr, Co, Ni) и халькофильных элементов (Zn, Cu, Pb) в глинах аллювиально-морских отложений третьей и четвертой морских террас.

Оценка фациального фактора в формировании геохимической структуры донных отложений демонстрирует отсутствие статистически значимых различий содержания ТМ в донных осадках рек, озер и стариц. Однако в заболоченных и заторфованных ландшафтах низменных равнин Надым-Пур-Тазовского междуречья отмечается активная миграция Fe и Mn. На окислительном барьере в реках эти металлы в форме оксигидроксидов осаждаются, обуславливая очень высокие концентрации в донных осадках (Fe до 17 %; Mn – более 0,2 %). Таким образом, фациальный фактор оказывает влияние в основном на накопление Fe и Mn, а распределение остальных элементов в большей мере зависит от литогенного фактора.

Техногенный фактор оценивался на основе сравнительного анализа химического состава донных осадков нарушенных и фоновых территорий. Полученные результаты показывают, что на уровне средних ни в одном из трех гранулометрических типов осадков не выражен рост концентрации металлов под воздействием техногенеза (см. табл. 1).

При существующем низком уровне загрязнения территории основное влияние на состав осадков оказывает вещественный фактор, отражающий разнообразие четвертичных пород Надым-Пур-Тазовского междуречья. Таким образом, на региональном уровне в пределах данной территории изменения содержания ТМ в донных осадках под влиянием разработки углеводородного сырья не установлено.

Региональным показателем загрязнения могут служить нефтяные углеводороды (см. табл. 1). Несмотря на высокую дисперсию содержания, их концентрация в пределах нарушенных ландшафтов выше фоновых на статистически достоверном уровне. Другим надежным индикатором служат полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Оценка содержания индивидуальных веществ ПАУ в донных отложениях водных объектов показала, что в условиях загрязнения в их составе доминирует нафталин (рис. 2). Его доля в среднем составляет 50 %, а в некоторых образцах достигает 90–95 %. Обычно в условиях гетерогенного характера загрязнения доля данного вещества в составе 16 полиаренов не превышает 7 % [Опекунов и др., 2015]. Преобладание в индивидуальном составе нафталина обусловлено загрязнением среды высокоминерализованными пластовыми водами [Патин, 2001].

**Содержание НУ и ТМ в почвах.** Разнообразие фациально-генетических типов четвертичных отложений определяет сильное варьирование содержания ТМ в почвах, осо-

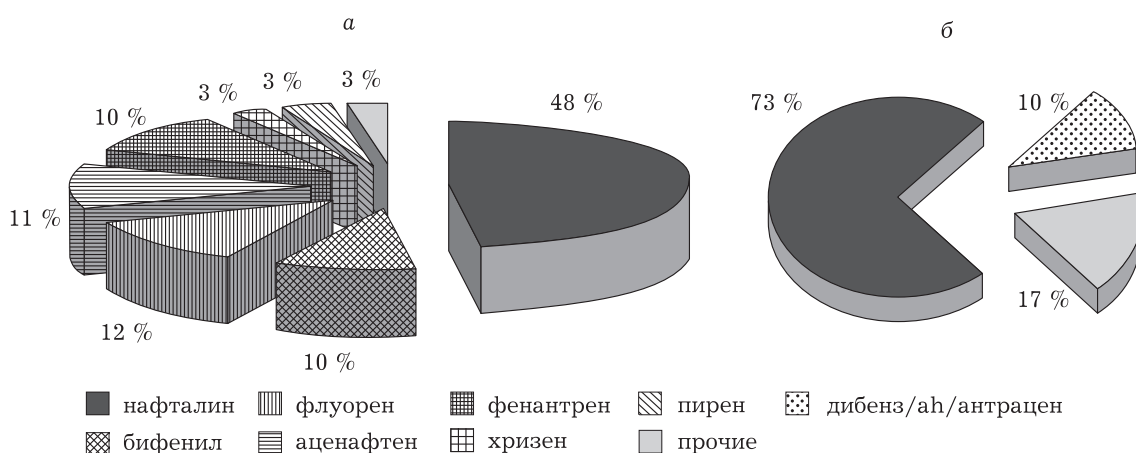


Рис. 2. Соотношение основных веществ группы ПАУ в донных отложениях (а) и почвах (б) нарушенных территорий

Содержание НУ и микроэлементов в почвах техногенно нарушенных и фоновых участков исследованной территории, мг/кг

НУ	Ba	Mn	Zn	Cu	Ni	Co	Pb	Cd	Cr	Hg	Fe	V
Аккумулятивный горизонт												
Нарушенные участки, <i>n</i> = 180	216 ± 53,6	191 ± 36,4	28,5 ± 3,18	8,1 ± 1,21	16,0 ± 6,08	4,1 ± 0,53	11,3 ± 1,49	0,36 ± 0,07	22,3 ± 3,2	0,084 ± 0,009	1,19 ± 0,16	18,2 ± 2,5
Фоновые участки, <i>n</i> = 219	178 ± 17,3	476 ± 113	34,7 ± 2,4	7,7 ± 0,6	11,2 ± 2,3	6,03 ± 1,1	11,7 ± 0,9	0,39 ± 0,04	17,2 ± 2,3	0,088 ± 0,009	1,18 ± 0,19	20,7 ± 3,1
Иллювиальный горизонт												
Нарушенные участки, <i>n</i> = 117	402 ± 28,0	266 ± 45,5	28,0 ± 3,28	7,80 ± 0,92	11,0 ± 1,48	7,29 ± 1,24	8,75 ± 0,65	0,09 ± 0,02	42,1 ± 4,61	0,018 ± 0,002	2,23 ± 0,22	53,7 ± 5,7
Фоновые участки, <i>n</i> = 180	460 ± 19,9	405 ± 49,7	33,8 ± 2,44	9,0 ± 0,77	13,6 ± 1,48	10,5 ± 1,10	9,5 ± 0,51	0,14 ± 0,02	42,2 ± 3,98	0,022 ± 0,003	2,18 ± 0,232	61,0 ± 5,0

бенно в иллювиальном горизонте. Кислая реакция почв и восстановительные условия определяют высокую подвижность Fe, Mn и лабильность органического вещества. В почвенном профиле наблюдается сочетание глеевых и ожелезненных гумусово-аккумулятивных и гумусово-иллювиальных горизонтов (ОВН, ВТ, ВТГ и др.).

Химический состав почв, в первую очередь, зависит от природных факторов – почвообразующих пород и механического состава. Большую роль играет ландшафтная структура территории: закономерности миграции и аккумуляции металлов меняются при переходе от полигональных к типичным тундрам и лесотундрам. Наблюдается снижение концентрации Mn, Zn, Cu, Ni, Hg и Co в органогенных горизонтах почв от полигональных к плоско- и крупнобугристым торфяникам. Концентрация Pb и Cd в торфе остается практически постоянной, а содержание Cr и V увеличивается в полигональных торфяниках [Опекунова, 2013]. Обратный тренд типичен для Ba, концентрация которого в крупнобугристых торфяниках соответственно в 2 и 3 раза выше, чем в плоскобугристых и полигональных. В естественных условиях Уренгойской тундры для Ba, V, Cu, Ni, Cd характерно преимущественное накопление в почвах автономных фаций и снижение содержания в подчиненных.

Концентрация ТМ в иллювиальных горизонтах почв увеличивается от полигональных тундр к лесотундрам, но в большей мере определяется составом почвообразующих пород. Из изученных металлов содержание Mn, Cd, Pb и Hg выше в верхнем органогенном горизонте по отношению к иллювиальному. Возможно, это обусловлено как низким содержанием их в почвообразующих породах, так и закреплением на геохимическом барьере в составе органоминеральных комплексов.

Сопряженный анализ концентрации ТМ в почвах в пределах нарушенных и фоновых территорий позволил установить отсутствие статистически значимых различий в содержании металлов (табл. 2). На локальном уровне вблизи источников загрязнения надежным индикатором служит Ba. На отдельных лицензионных участках в нарушенных ландшафтах наблюдается повышение содержания

Ni, Co, Pb, Cr и V, что согласуется с данными Ю. Н. Водяницкого и др. [2011], отмечающих закрепление V, Cr, Ni и Ba в верхнем слое торфа при нефтяном загрязнении. Но индикаторное значение всех этих металлов выражено только в пределах одного литолого-геохимического пространства.

На региональном уровне техногенное воздействие сопровождается поверхностным загрязнением почвенного покрова нефтяными углеводородами. При этом в аккумулятивных горизонтах проявляется современное поверхностное загрязнение, а в иллювиальных – “стародавнее”, связанное с проведением геолого-разведочных работ в прошлом. Как и в донных осадках, надежным индикатором загрязнения почв выступает нафталин, доля которого в составе 16 полиаренов составляет 50–90 % (см. рис. 2), что вызвано поступлением пластовых вод на поверхность при проведении буровых работ.

**Содержание ТМ в растениях.** Содержание металлов в растениях Надым-Пур-Газовского междуречья определяется их биологическими особенностями и природными факторами, среди которых ведущими являются почвенный покров, состав и структура растительных сообществ, степень увлажнения местообитаний. Сравнительный анализ накопления ТМ в изученных видах растений позволил выделить два основных индикаторных вида, рекомендуемых при мониторинге состояния окружающей среды в районах добычи углеводородного сырья – *Cladonia alpestris* и *Ledum decumbens*. Они характеризуются разной степенью аккумуляции металлов. Так, в *Cladonia alpestris* накапливаются сидерофильные металлы Ni, Co, Cr, V и Fe, а также Pb. В *Ledum decumbens* наблюдается повышенная аккумуляция Ba, Mn, Zn и Cu. Ряд снижения концентрации металлов в *Cladonia alpestris* по отношению к *Ledum decumbens* представляет следующую последовательность: Fe (4,5) > Co (3,9) > Cr (2,9) > V (2,6) > Pb (2,3) > Ni (1,25) > Cd (1,0) > Zn (0,65) > Cu (0,45) > Ba (0,19) > Mn (0,08). В ходе проведенных исследований выявлены достоверные различия накопления микроэлементов в зависимости от систематической принадлежности растения, жизненной формы, органа и фенологической фазы (табл. 3; рис. 3).

Т а б л и ц а 3  
Содержание ТМ в растениях севера Западной Сибири

Вид растения, количество проб (n)	Ba	Mn	Zn	Cu	Ni	Co	Pb	Cd	Cr	V
<i>Cladonia alpestris</i> , n = 201	38 ± 1,5	83 ± 9	15,1 ± 0,4	2,0 ± 0,1	3,1 ± 0,1	0,71 ± 0,08	1,8 ± 0,11	0,06 ± 0,01	3,0 ± 0,2	1,6 ± 0,2
<i>Ledum decumbens</i> , n = 300	97 ± 4	1100 ± 67	22 ± 1	3,9 ± 0,4	2,0 ± 0,2	0,19 ± 0,17	0,88 ± 0,1	0,07 ± 0,01	1,2 ± 0,2	0,6 ± 0,04
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> , n = 206	72 ± 5	1447 ± 70	27 ± 2	7 ± 1	0,9 ± 0,2	0,12 ± 0,02	0,67 ± 0,1	0,04 ± 0,01	0,4 ± 0,02	<0,3
<i>V. uliginosum</i> , n = 120	94 ± 6	1067 ± 60	50 ± 3	7 ± 0,5	2,8 ± 0,3	0,1 ± 0,01	1,4 ± 0,2	0,21 ± 0,02	0,6 ± 0,04	<0,3
<i>Larix sibirica</i> , n = 45	149 ± 28	140 ± 37	17 ± 2	4 ± 0,5	1,6 ± 0,6	0,3 ± 0,1	6,1 ± 1	0,08 ± 0,01	0,9 ± 0,4	0,7 ± 0,1
<i>Salix lanata</i> , n = 30	7 ± 3	270 ± 100	84 ± 33	23 ± 4	10,5 ± 3	1,8 ± 1,0	1,0 ± 0,5	0,3 ± 0,1	0,5 ± 0,2	1,5 ± 0,5
<i>Betula nana</i> , n = 38	21 ± 5	610 ± 114	113 ± 19	6,7 ± 1,4	2,7 ± 0,3	0,6 ± 0,1	1,5 ± 0,4	0,014 ± 0,001	0,43 ± 0,41	0,75 ± 0,3
Кларк по В. В. Добровольско-му, 2003	22,5	205	30	8	2	0,5	1,25	0,035	1,8	1,5



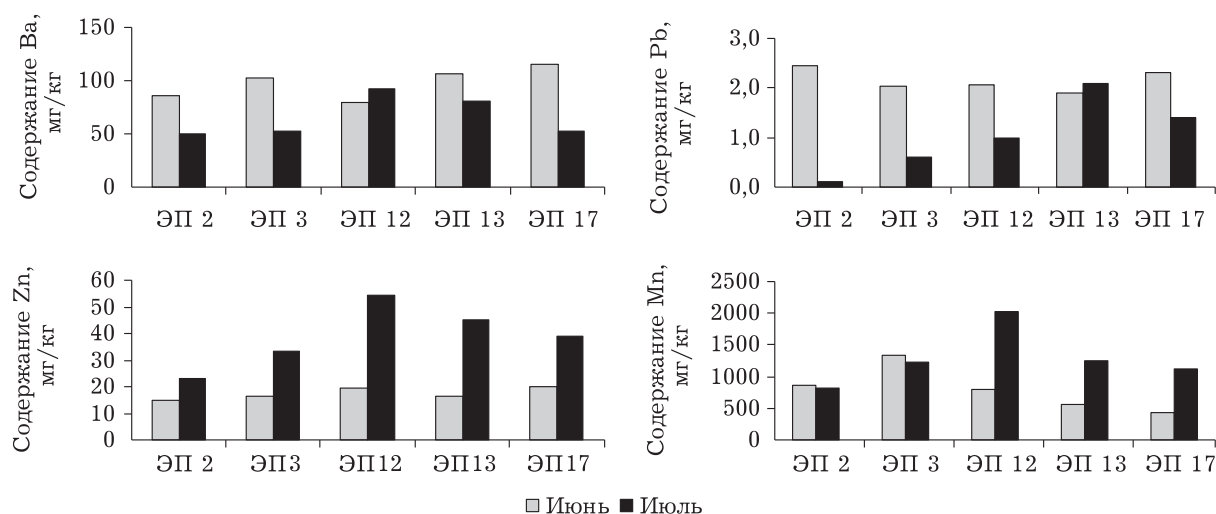


Рис. 3. Изменение химического состава *Ledum decumbens* в период вегетации (начало роста – июнь, максимальная вегетационная активность – июль) по результатам исследований на эталонных площадках (ЭП)

Сравнение химического состава проб растений, отобранных в различные временные сроки, свидетельствует о значительных изменениях в уровне содержания ТМ при активизации ростовых процессов. Так, например, в июне содержание элементов биологического захвата Ba и Pb в растениях выше, чем в июле, а биогенных Zn и Mn – наоборот ниже (см. рис. 3).

Техногенное воздействие при освоении НГКМ сопровождается ростом концентрации металлов в индикаторных видах растений, одновременно отмечается увеличение вариабельности содержания ТМ и значений коэффициента биологического поглощения ( $K_6$ ). К числу основных механизмов загрязнения растительного покрова можно отнести поступление микроэлементов в растения из нарушенного почвенного покрова в районах интенсивного освоения нефтегазовых промыслов, а также аэротехногенный перенос. Вторичное заболачивание территории вследствие механических нарушений почвенного покрова вызывает увеличение подвижности ТМ, что обуславливает интенсификацию их поступления в растения. Сравнительный анализ содержания металлов в фоновых и нарушенных местообитаниях (табл. 4) свидетельствует об увеличении концентрации металлов в растениях под воздействием техногенеза на статистически достоверном уровне.

Так, в *Cladonia alpestris* установлен рост содержания Ba, Zn, Cu, Cd и Fe, в *Ledum decumbens* – Ba, Cu, Ni, Co, Cd, Pb, Cr и V. Изменения содержания Mn в растениях на региональном уровне не выявлено.

**Флористические и фитоценотические изменения.** Анализ геоботанических описаний естественных фитоценозов Уренгойской тундры, проведенный по методу П. В. Терентьева, показал тесную взаимосвязь растений различных местообитаний [Нешатаев, 1987; Арестова, 2003]. На 5%-м уровне значимости от общего состава растительных пледов отделились только два вида сфагновых мхов *Sphagnum balticum* (Russow) С. Е. О. Jensen., *Sph. lenense* Н. Lindb. и один вид пушицы *Eriophorum scheuchzeri* Норре. Это связано с относительно однородными внешними условиями Уренгойской тундры – равнинная местность, высокая заболоченность и структурная близость геокомплексов. При переходе на более высокий уровень значимости выделились 20 корреляционных пледов, отражающих географические центры формирования флоры или связанных с особенностями местообитаний.

Центральное место в системе корреляционных связей структуры растительного покрова занимают три группы фитоценозов нарушенных ПТК (рис. 4). К их числу (первая группа) относятся мезокомплексы сухих

Содержание микроэлементов и значение  $K_6$  в растениях нарушенных и фоновых участков исследованной территории

	Ba	Mn	Zn	Cu	Ni	Co	Pb	Cd	Cr	V	Fe
<i>Cladonia alpestris</i> , концентрация, мг/кг сухого вещества											
Нарушенные участки, $n = 90$	56,2 ± 19,7	78 ± 10,7	16,4 ± 1,67	2,35 ± 0,40	4,34 ± 1,76	0,80 ± 0,21	1,86 ± 0,24	0,07 ± 0,01	3,1 ± 0,5	1,75 ± 0,28	867 ± 112
Фоновые участки, $n = 111$	16,5 ± 2,5	87 ± 29	14,0 ± 0,84	1,69 ± 0,15	2,12 ± 0,30	0,63 ± 0,18	1,72 ± 0,17	0,05 ± 0,01	2,94 ± 0,47	1,49 ± 0,24	410 ± 92
<i>Ledum decumbens</i> , концентрация, мг/кг сухого вещества											
Нарушенные участки, $n = 129$	115 ± 5,92	1100 ± 91	22,8 ± 1,59	4,13 ± 0,24	2,44 ± 0,32	0,22 ± 0,04	1,06 ± 0,22	0,08 ± 0,02	1,49 ± 0,19	0,70 ± 0,08	63 ± 9
Фоновые участки, $n = 171$	85,4 ± 4,0	1100 ± 94	21,4 ± 1,16	3,77 ± 0,18	1,7 ± 0,17	0,16 ± 0,02	0,74 ± 0,11	0,05 ± 0,01	1,01 ± 0,10	0,57 ± 0,05	91 ± 28
<i>Cladonia alpestris</i> , значение $K_6$											
Нарушенные участки, $n = 85$	0,4 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,7 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,2	0,4 ± 0,3	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,1	Не опр.
Фоновые участки, $n = 111$	0,12 ± 0,02	0,5 ± 0,11	0,45 ± 0,06	0,27 ± 0,03	0,4 ± 0,08	0,27 ± 0,06	0,2 ± 0,07	0,16 ± 0,03	0,25 ± 0,05	0,18 ± 0,04	»
<i>Ledum decumbens</i> , значение $K_6$											
Нарушенные участки, $n = 119$	0,9 ± 0,1	12 ± 2	1,0 ± 0,13	0,8 ± 0,2	0,5 ± 0,4	0,2 ± 0,23	0,2 ± 0,13	0,5 ± 0,3	0,2 ± 0,16	0,11 ± 0,09	»
Фоновые участки, $n = 125$	0,7 ± 0,1	9 ± 2	0,7 ± 0,08	0,6 ± 0,06	0,33 ± 0,07	0,06 ± 0,01	0,08 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,13 ± 0,02	0,08 ± 0,02	»

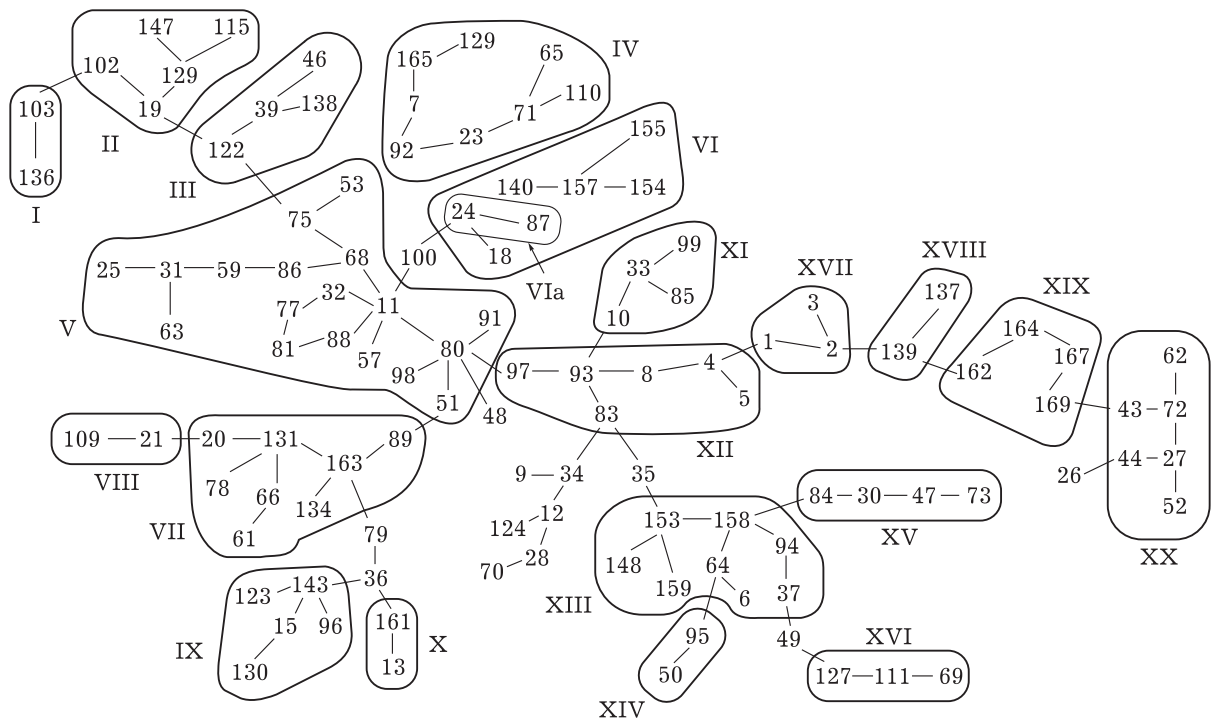


Рис. 4. Система корреляционных плеяд растительных сообществ Уренгойской тундры.

1-169 - номер вида, I-XX - номер плеяды. Виды растений Уренгойской тундры: 1 - *Betula tortuosa* Ledeb., 2 - *Larix sibirica* Ledeb., 3 - *Picea obovata* Ledeb., 4 - *Pinus sibirica* Du Tour., 5 - *Sorbus sibirica* Hedl., 6 - *Betula nana* L., 7 - *B. tundrae* Perf., 8 - *Duscheckia fruticosa* (Rupr.) Pouzar, 9 - *Juniperus communis* L., 10 - *Rosa cinnomomea* Herr., 11 - *Salix arbuscula* L., 12 - *S. dasyclados* Wimm., 13 - *S. glauca* L., 15 - *S. hastata* L., 19 - *S. myrtilloides* L., 20 - *S. phyllicifolia* L., 21 - *S. phyllicifolia* L. × *S. myrsinifolia*, 23 - *S. lanata* L., 24 - *S. stipulifera* Flod., 25 - *S. viminalis* L., 26 - *Arctagrostis latifolia* (R. Br.) Greust., 27 - *Arctophila fulva* (Trin.) Anderss., 28 - *Arctostaphylos uva-ursi* Spr., 29 - *Arctous alpina* (L.) Niedenta, 30 - *Andromeda polipholia* L., 31 - *Aster sibiricus* L., 32 - *Botrychium multifidum* Rupr., 33 - *Cacalia hastata* L., 34 - *Calamagrostis lapponica* Harm., 35 - *C. langsdorffii* (Link) Trin., 36 - *Carex arctisibirica* (Jatr.) Crev., 37 - *C. aquatilis* Wahlenb., 39 - *C. capitata* L., 43 - *C. rariflora* (Wahlenb.) Somth., 44 - *C. rostrata* L., 46 - *C. rupestris*, 47 - *Chamaedaphne calyculata* L., 48 - *Chamaerion angustifolium* (L.) Holub., 50 - *Empetrum subholarcticum* V. Vasil., 51 - *Equisetum arvense* L., 52 - *E. fluviatile* L., 53 - *E. palustre* L., 57 - *Festuca ovina* L., 59 - *Hieracium umbellatum* L., 61 - *Juncus arcticus* Willd., 62 - *J. castaneus* Sm., 63 - *J. filiformis* L., 64 - *Ledum decumbens*, 65 - *Dihhasiastrum alpinum* (L.) Holub., 66 - *Lycopodium clavatum* L., 68 - *Luzula multiflora* (Retz.) Les., 69 - *L. parviflora* (Ehrh.) Dew., 70 - *L. arctica* Blytt, 71 - *Majanthemum bifolium* (L.) F. M. Schmidt., 72 - *Menyanthes trifoliata* L., 73 - *Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr., 75 - *Pedicularis hyperborea* Wed., 77 - *P. palustre* L., 78 - *P. labradorica* Wirsing., 79 - *Petasites frigidus* (L.) Coss., 80 - *Polygonum viviparum* L., 81 - *Pyrola rotundifolia* L., 83 - *Rubus arcticus* L., 84 - *R. chamaemorus* L., 85 - *Senecio nemoralis* L., 86 - *Solidago lapponica* With., 87 - *Stellaria graminea* L., 88 - *St. humifusa* Rotfb., 89 - *St. pedunculus* Bunge, 91 - *Tanacetum bipinnatum* (L.) Sch.-Bip., 92 - *Trichophorum caespitosum* (L.) C. Hurm., 93 - *Trientalis europaea* L., 94 - *Vaccinium minus* (Lode) Worosch., 95 - *V. uliginosum* ssp. *microphyllum* Lange, 96 - *V. myrtillus* L., 97 - *Veratrum lobelianum* Bernh., 98 - *Viola canina* L., 99 - *V. biflora* L., 100 - *V. epipsiloides* A. et D. Love., 102 - *Sphagnum acutifolium* Schrad., 103 - *Sph. balticum* (Russow) C. E. O. Jensen., 109 - *Sph. lenense* H. Lindb., 110 - *Sph. subsecundum* Nees, 111 - *Sph. squarrosum* Cramn., 115 - *Sph. warnstorffii* Russ., 122 - *Calliargon stramineum* (Brid.) Kindb., 123 - *Dicranum angustum* Brid., 124 - *D. congestum* Brid., 127 - *Drepanocladus fluitans*, 129 - *Gymnocolea inflata* (Huds.) Dum.s.b., 130 - *Hypnum cupressiforme* Hedw., 131 - *Lophozia ventricosa* (Wees.) Molonn., 134 - *Pohlia nutans* (Hedw.) Lindb., 136 - *Polytrichum piliferum* Hedw., 137 - *P. commune* Hedw., 138 - *P. jensenii* Hag., 139 - *P. strictum* Brid., 140 - *P. gracile* Bryk., 143 - *Ptilium cristo-castrensis* (Hedw.) DeNot., 147 - *Cetraria andrejevii* Oxn., 148 - *C. cucullata* (Bellardi) Rando, Saag, 153 - *Cl. alpestris* (L.) Rubh., 154 - *Cl. cenotea* (Ach.) Schaer., 155 - *Cl. deformis* (L.) Hoffm., 157 - *Cl. pleurota* (Fel.) Schaer., 158 - *Cl. rangiferina* (L.) Web., 159 - *Cl. arbuscula* (Wallr.) Flot., 161 - *Nephroma arcticum* (L.) Tuckm., 162 - *Peltigera variolosa*, 163 - *P. canina* (L.) Willd., 164 - *P. leucophlebia* (Nyl.) Quel., 165 - *Stereocaulon paschale* (L.) Hoffm., 167 - *Cladonia macrophylla* (Schoer.) Stenh., 169 - *Cl. phyllophora* Hoffm.

щербнистых тундр на водоразделах с участием *Salix phylicifolia*, *Juncus arcticus*, *Pedicularis labradorica* и др. (плеяда VII), которые при увеличении влажности почв сменяются ивняками сфагновыми (плеяда VIII).

Вторая группа объединяет евроазиатские бореальные виды относительно теплых местообитаний *Rosa cinnomomea*, *Cacalia hastata* и др. (плеяда XI), сибирские бореальные виды *Sorbus sibirica*, *Duscheckia fruticosa* и др. (плеяда XII), тесно связанные с ними древесные растения сибирских вариантов редколесий и редиин *Betula tortuosa*, *Larix sibirica* и *Picea obovata* (плеяда XVII), в мохово-лишайниковом покрове которых представлены *Polytrichum commune* и *P. strictum* (плеяда XVIII).

Третьей идет группа бореальной растительности долин рек на относительно теплых почвах, в состав которой входят *Salix viminalis*, *Aster sibiricus*, *Polygonum viviparum*, *Pyrola rotundifolia*, *Solidago lapponica*, *Tanacetum bipinnatum* и др. (плеяда V). При нарастании влажности в составе фитоценозов появляются гидрофильные осоки *Carex aquatilis*, *C. capitata* и сфагновые мхи *Sphagnum balticum*, *Sph. squarrosum*, луговины уступают место гипново-осоковым (плеяда III) и осоково-сфагновым болотам (плеяда IV). На останцовых плоских буграх в долинах рек, а также на склонах речных долин, где влажность почв невелика, луговые сообщества сменяются ивняками лишайниковыми (плеяда VI).

С перечисленными тремя основными группами плеяд тесно связаны несколько мезокомплексов: гипоарктические низкорослые ивняковые (плеяда X), кустарничково-зеленомошные ивняковые (плеяда IX) и типичные кустарничково-лишайниковые тундры на дренированных почвах (плеяда XIII). К последней примыкают широко распространенные кустарнички северных фитоценозов – *Empetrum subholarcticum* и *Vaccinium uliginosum* ssp. *microphyllum* (плеяда XIV).

Кроме того, самостоятельные плеяды образуют доминанты и содоминанты торфяников (плеяда XV), бугров пучения (плеяда XVI), переувлажненных западин на многолетней мерзлоте (плеяда I), а также мезокомплекс переходного типа на слабодренированных участках с близко расположенными надмерз-

лотными водами (плеяда II). Существенно, что в качестве еще одной самостоятельной плеяды в корреляционном дендрите выделилась группа видов – *Peltigera variolosa*, *P. leucophlebia*, *Cladonia macrophylla*, *C. phyllophora* – плеяда XIX (см. рис. 4), представляющая участки старых пожарниц и тесно связанная с видами сибирских редколесий и редиин.

## ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время основным фактором формирования химического состава донных осадков и почв является природная дифференциация литогенной основы, включающая изменение вещественных (состав позднеплейстоценовых пород) и седиментогенных (механический состав осадков и почв) параметров. При расчете средних концентраций металлов в почвах и донных осадках на региональном уровне ни один из них не проявил себя в качестве индикаторного, отражающего загрязнение. Только содержание НУ и ПАУ в донных отложениях и почвах нарушенных ландшафтов достоверно выше их фоновых концентраций.

На локальном уровне вблизи объектов нефтегазовых промыслов установлены значимые изменения концентрации Ва, Сu, V и Рb в донных отложениях и Ва, Сu, Ni и Рb – в почвах (рис. 5). В целом выполненный выше анализ показал, что наибольшей индикаторной значимостью среди рассмотренных компонентов ландшафта в сложившихся условиях освоения территории Надым-Пур-Тазовского междуречья обладает растительный покров. Уровень накопления минеральных веществ в растениях и интенсивность их биогенной миграции определяется комплексом факторов среды обитания и биологическими особенностями растений, которые должны учитываться при диагностике техногенного загрязнения ПТК.

Изученные растения обладают хорошо выраженными индивидуальными биогеохимическими особенностями. Они проявляются в малосущественном влиянии на химический состав растений литолого-геохимической структуры территории. Вместе с тем химический состав растений остро реагирует даже на слабое техногенное воздействие. Особен-

Индикаторы техногенной нагрузки на природно-территориальные комплексы при освоении нефтегазоконденсатных месторождений севера Западной Сибири				
Природные воды	Донные осадки	Почвы	Растения	Ландшафтные/ общие/ комплексные показатели
<p>В реках: рост минерализации воды, содержания сульфатов, хлоридов</p> <p>В озерах и старицах: рост минерализации воды, содержания сульфатов, хлоридов, снижение содержания азота к фосфору, переход к хлоридно-кальциевому типу вод. Увеличение концентрации Ва, Рb, Ni более ПДК</p>	<p>Увеличение содержания НУ, Ва, Рb и V &gt; 2РГФ, Cu &gt; 2-3РГФ. Рост в структуре веществ группы ПАУ доли нафталина (50 % и более)</p>	<p>Увеличение содержания в аккумулятивном (органогенном) горизонте:            НУ &gt; 3РГФ, Сu, Ва, Рb &gt; 2РГФ</p> <p>Рост в структуре веществ группы ПАУ доли нафталина (50 % и более)</p> <p>В илловальном (минеральном) горизонте:            НУ &gt; 1,5 РГФ, Сu, Ni &gt; 2-3РГФ, Ва, Рb &gt; 2РГФ</p>	<p>Увеличение содержания в <i>Ledum desimbens</i> и <i>Vaccinium vitis-idaea</i>:            Ва, Сu, Zn и Ni &gt; 1,5РГФ, Со, Рb, Cr &gt; 2РГФ</p> <p>В <i>Cladonia alpestris</i>:            Ва, Мп, Сu, Hg &gt; 1,5РГФ, Ni, Со, Рb &gt; 2РГФ</p> <p>3-кратное увеличение K<sub>6</sub> Мп и Сu по сравнению с фоновыми значениями K<sub>6</sub> во всех индикаторных видах растений</p> <p>Снижение проективного покрытия в сообществе по схеме лишайники → кустарнички → злаки → осоки</p>	<p>Увеличение в индикаторных видах растений варибельности содержания микроэлементов и значений К<sub>6</sub> по сравнению с фоновыми ПТК в 2 и более раз</p> <p>Проявление термокарста, активация эрозийных и термоэрозийных процессов</p> <p>Образование фрагментарного растительного покрова</p> <p>Опустынивание ландшафта с развитием разноотравно-злаковых сообществ (<i>Chamaerion angustifolium</i>, <i>Tripleurospermum inodorum</i>, <i>Equisetum arvense</i>, <i>Calamagrostis holmii</i>, <i>C. lapponica</i>, <i>Deschampsia borealis</i>, <i>Festuca rubra</i>, <i>Arctagrostis latifolia</i>)</p> <p>Вторичное заболачивание с образованием осоково-пушицевых сообществ (<i>Etiopogon russeolum</i>, <i>E. scheuchzeri</i>, <i>Carex aquatilis</i>)</p> <p>Увеличение проективного покрытия <i>Polytrichum strictum</i> с одновременным снижением доли <i>Polytrichum commune</i></p> <p>Полная деградация биогенозов</p>

Рис. 5. Комплекс показателей изменения состояния ПТК под влиянием нефтегазодобычи

но хорошо это выражено у *Ledum decumbens* и *Cladonia alpestris*, что позволяет отнести указанные виды к непривычным концентраторам и использовать их в качестве индикаторов техногенного загрязнения металлами при нефтегазодобыче на территории Надым-Пур-Тазовского междуречья (см. рис. 5). Индикация комплексных геомеханических нарушений территории и прогноз развития эффективен по флористическим и фитоценотическим показателям. Большинство изученных лицензионных участков в настоящее время находится в состоянии, близком к естественному, однако имеются признаки техногенной нарушенности ландшафтов.

По данным флористических и фитоценологических исследований структура растительности типична для природных комплексов севера Западной Сибири [Ильина и др., 1989; Кобелева, 2012; и др.]. В каждой из выделенных корреляционных групп присутствуют апохорные виды, получающие преимущественное развитие при нарастании техногенной нагрузки и указывающие на направленность сукцессионных процессов – *Betula tortuosa*, *Calamagrostis lapponica*, *Polytrichum strictum*, *Cladonia deformis* и др.

Восстановление растительного покрова ПТК проходит как за счет ресурсов местной флоры, так и за счет внедрения бореальных видов. На техногенных местообитаниях при ослаблении позиций мхов и гипоарктических кустарников и кустарничков наблюдается широкое распространение бореальных видов *Chamaerion angustifolium*, *Festuca ovina*, *Equisetum arvense* и др.

Скорость восстановления растительного покрова и тип вторичных фитоценозов определяется влажностью почв и степенью их нарушенности. При разработке и обустройстве нефтегазовых месторождений нарушение растительности сопровождается как вторичным заболачиванием, так и олуговением (опустыниванием) ПТК. Олуговение тундры выражается разрастанием злаков *Calamagrostis holmii*, *C. langsdorffii*, *Arctagrostis latifolia* и др. Оно отмечается на дренированных участках с песчаными почвами вблизи законсервированных буровых, вокруг установленных тригопунктов и по вездеходным трассам. При полном сведении растительного покрова, а

также на песчаных отсыпках и в карьерах основными ценозообразователями выступают *Chamaerion angustifolium*, *Tripleurospermum phaeocephalum* (Rupr.) Pobed., *Artemisia tilesii*, *Tanacetum bipinnatum*, *Polemonium boreale*, *Cerastium maximum* и др. Вторичные луговые фитоценозы, возникшие в местах техногенного нарушения, очень устойчивы и сохраняются многие годы [Сумина, 2011].

При уничтожении растительности на переувлажненных местообитаниях или при сильном повреждении почвенного покрова сухих микрокомплексов, способствующих оттайке многолетнемерзлых пород, процесс восстановления фитоценозов идет по пути образования вторично заболоченных участков с доминированием *Eriophorum angustifolium*, *E. scheuchzeri*, *Carex aquatilis*, *C. rostrata*, *Arctophila fulva*, *Equisetum fluviatile* и др. (см. рис. 4, плеяда XX). Подобные растительные сообщества распространяются в Надым-Пур-Тазовском междуречье по нарушенным низким берегам рек, ручьев и озер, а также по вездеходным трассам, проходящим по болотистым участкам, где моховой покров полностью уничтожен [Ишбирдин и др., 1999].

Согласно результатам проведенных исследований, последствия нарушения ПТК при нефтегазодобыче зависят от исходной нарушенности территории. Одной из существенных причин уничтожения растительности в тундре становятся пожары, имеющие главным образом антропогенное происхождение. В корреляционном дендрите межвидовых связей выделилась плеяда XIX (см. рис. 4), объединяющая виды мохово-лишайникового яруса вторичных послепожарных сукцессий. Известно, что характер восстановления фитоценоза зависит от силы пожара и конкретных физико-географических условий [Москаленко, 1991; Сумина, 2011; и др.]. После слабых низовых пожаров в лесотундровых ПТК большая часть древостоя сохраняется, и в дальнейшем идет восстановление исходного растительного покрова. Если в результате пожара произошло полное уничтожение растительности, то образуются значительные пространства открытого грунта – песчаные раздувы, которые долгое время вообще не зарастают. Последствия загрязнения и нару-

шения окружающей среды в результате нефтегазодобычи в этих условиях будут качественно отличаться.

Широко распространенные в южной части территории исследований березовые леса относятся к производным от лиственных и темнохвойных сообществ. Они только косвенно связаны с влиянием нефтегазодобычи, отражая динамические категории короткопроизводных сообществ послепожарных сукцессий [Полевая геоботаника, 1976].

Загрязнение депонирующих сред и ландшафтно-деструктивные нарушения, обусловленные геомеханическими воздействиями, пожарами и перевыпасом оленей, сопровождаются вульгаризацией флоры. В целом за последние 25 лет площади лишайниковых тундр сократились в 2 раза, а процесс деградации оленьих пастбищ наблюдается на четверти их территории. Часто на месте типичной мохово-кустарниковой растительности возникают антропогенные сообщества злаков [Москаленко, 1991; Андреяшкина, 2013].

Таким образом, для оценки трансформации ПТК под влиянием нефтегазодобычи эффективно использование комплекса биоиндикационных признаков, в основе которого лежит анализ химического состава компонентов ПТК, флористических и фитоценологических параметров (см. рис. 5).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные многолетние исследования показали, что изученная территория в региональном масштабе в настоящее время характеризуется низким уровнем химического загрязнения и находится в состоянии, близком к естественному. Сопряженный анализ состава воды, донных осадков и почв в пределах фоновых ландшафтов и на нарушенных территориях свидетельствует об отсутствии загрязнения металлами перечисленных компонентов. Повышение концентраций ТМ (V, Cu, Pb, Ni, Co, Zn) в поверхностных водах, донных осадках и почвах установлено на локальном уровне при прямом воздействии объектов нефтегазодобычи.

Основную индикаторную функцию в донных осадках и почвах на региональном и ло-

кальном уровнях выполняют нефтяные углеводороды и ПАУ, в структуре которых резко увеличивается доля нафталина.

Из всех изученных компонентов наиболее чувствительным индикатором загрязнения служат растения (*Cladonia alpestris*, *Ledum decumbens*), в которых уже на региональном уровне обнаружены статистически значимые различия в содержании металлов фоновых и нарушенных территорий (*Cladonia alpestris* – Ba, Zn, Cu, Cd и Fe, *Ledum decumbens* – Ba, Cu, Ni, Co, Cd, Cr и V).

Индикаторная роль растений при существующем уровне нарушенности показана на основе флористических и фитоценологических исследований. Для территории Надым-Пур-Тазовского междуречья характерно сохранение естественных ПТК с активным участием гипоарктических сибирских и евроазиатских видов растений. Однако в результате продолжающегося активного освоения нефтегазовых месторождений происходит постепенная трансформация ландшафтов, основными показателями которой служат продвижение бореальной растительности на север и постепенное вытеснение лишайников травянистыми видами.

Анализ дендрита корреляционных связей растительности севера Западной Сибири показал, что в результате механического воздействия на растительность и почвы изменение естественных ПТК развивается в двух направлениях. С одной стороны, на дренированных песчаных почвах начинается процесс олуговения тундры, с другой, при сильном повреждении почвенного покрова и нарушении стока развивается вторичное заболачивание участков с осоково-пушицевыми сообществами. Это сопровождается уменьшением видового разнообразия фитоценозов, а следовательно, снижением устойчивости северных ландшафтов к техногенезу и изменениям климата.

Работа выполнена при поддержке гранта РГО-РФФИ № 17-05-41070.

#### ЛИТЕРАТУРА

Андреяшкина Н. И. Современное состояние равнинных и горных растительных сообществ: состав и структура (полуостров Ямал, Полярный Урал) // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2013. № 1 (21). С. 30–43.

- Арестова И. Ю. Оценка устойчивости тундровых экосистем с использованием геохимических и фитоиндикационных показателей: дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2003. 171 с.
- Водяницкий Ю. Н. Соединения железа и биодegradация нефти в переувлажненных загрязненных почвах (обзор литературы) // Почвоведение. 2011. № 11. С. 1364–1374 [Vodyanitskii Y. N. Iron compounds and oil biodegradation in overmoistened contaminated soils: a review of publications // Eurasian Soil Sci. 2011. Vol. 44, N 11. P. 1250–1259].
- Водяницкий Ю. Н., Аветов Н. А., Савичев А. Т., Трофимов С. Я., Шишконокова Е. А. Влияние загрязнения нефтью и пластовыми водами на зольный состав олиготрофных торфяных почв в районе нефтедобычи (Приобье) // Там же. 2013. № 10. С. 1253–1262 [Vodyanitskii Y. N., Avetov N. A., Trofimov S. Y., Savichev A. T., Shishkonakova E. A. Influence of oil and stratal water contamination on the ash composition of oligotrophic peat soils in the oil-production area (the Ob' region) // Ibid. 2013. Vol. 46, N 10. P. 1032–1041].
- Дмитриев В. В., Фрумин Г. Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем: учеб. пособие. СПб.: Наука, 2004. 294 с.
- Ишбирдин А. Р., Хусаинов А. Ф., Миркин Б. М. Техногенная сукцессионная система растительности месторождения "Медвежье" и управление восстановительными процессами // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1999. Т. 104, вып. 1. С. 40–48.
- Ильина И. С., Кобелева Н. В., Масалкин С. Д., Ребриская О. В. и др. Характеристика геологических и почвенно-растительных особенностей территории газоконденсатного месторождения севера Тюменской области. М., 1989. С. 13–98.
- Капелькина Л. П. Трансформация тундровых экосистем на нефтепромыслах Севера России // Теорет. и прикл. экология. 2014. № 1. С. 49–52.
- Кобелева Н. В. Крупномасштабное эколого-фитоценологическое картографирование на основе аэроснимков и ГИС-технологий (на примере центральной части Тазовского полуострова) // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2012. Т. 14, № 1 (6). С. 1607–1617.
- Лаверов Н. П., Богоявленский В. И., Богоявленский И. В. Фундаментальные аспекты рационального освоения ресурсов нефти и газа Арктики и шельфа России: стратегия, перспективы и проблемы // Арктика: экология и экономика. 2016. № 2 (22). С. 4.
- Москаленко Н. Г. Антропогенная динамика растительного покрова севера Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. 1991. 44 с.
- Московченко Д. В. Геохимия ландшафтов севера Западно-Сибирской равнины: структурно-функциональная организация вещества геосистем и проблемы экодиагностики: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. СПб., 2010. 42 с.
- Московченко Д. В., Бабушкин А. Г., Убайдулаев А. А. Солевое загрязнение поверхностных вод на нефтяных месторождениях Ханты-Мансийского автономного округа – Югры // Водн. ресурсы. 2017. Т. 44, № 1. С. 91–102 [Moskovchenko D. V., Babushkin A. G., Ubaidulaev A. A. Salt pollution of surface water in oil fields of Khanty-Mansi Autonomous Area-Yugra // Water Res. 2017. Vol. 44, N 1. P. 128–138].
- Нешатаев Ю. Н. Методы анализа геоботанических материалов. Л.: Ленингр. гос. ун-т, 1987. 192 с.
- Опекунов А. Ю., Опекунова М. Г., Кукушкин С. Ю., Ганул А. Г. Оценка экологического состояния природной среды районов добычи нефти и газа в Ямало-Ненецком автономном округе // Вестн. СПбГУ. Сер. 7. Геология, география. 2012. № 4. С. 87–101.
- Опекунов А. Ю., Митрофанова Е. С., Санин С., Коммелал Р., Опекунова М. Г., Андреа Б. Полициклические ароматические углеводороды в донных отложениях рек и каналов Санкт-Петербурга // Вестн. С.-Петерб. ун-та. 2015. Сер. 7, вып. 4. С. 98–109.
- Опекунова М. Г. Диагностика техногенной трансформации ландшафтов на основе биоиндикации: дис. ... д-ра геогр. наук. СПб., 2013. 402 с.
- Опекунова М. Г., Кукушкин С. Ю., Широков М. Ю. О влиянии природных и антропогенных факторов на химический состав почв и растений севера Западной Сибири // География: развитие науки и образования. Коллективная монография по мат-лам ежегодной Междунар. науч.-практ. конф. LXVIII Герценовские чтения / отв. ред. В. П. Соломин, В. А. Румянцев, Д. А. Субетто, Н. В. Ловелиус. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2015. С. 334–338.
- Патин С. А. Нефть и экология континентального шельфа. М.: Изд-во ВНИРО, 2001. 247 с.
- Полевая геоботаника / под общ. ред. Е. М. Лавренко, А. А. Корчагина. Л., 1976. Т. 5. 320 с.
- Солнцева Н. П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1998. 376 с.
- Сумина О. И. Формирование растительности на техногенных местообитаниях Крайнего Севера России: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 2011. 46 с.
- Сысо А. И., Васильев С. В., Смоленцев Б. А., Сеньков А. А. Ландшафтно-геохимический анализ изменения природной среды в районах нефтедобычи // Сиб. экол. журн. 2001. № 3. С. 333–342.
- Терентьев П. В. Метод корреляционных плеяд // Вестн. Ленингр. ун-та. Сер. биол. 1959. № 9, вып. 2. С. 137–141.
- Хаустов А. П., Редина М. М. Охрана окружающей среды при добыче нефти. М.: Дело, 2006. 544 с.
- Banat K. M., Howari F. M., Al-Shatnawi S. Y. Stability and environmental profile of toxic heavy metals in soil around a crude oil refinery // Int. Journ. Environ. Poll. 2006. Vol. 28. P. 162–184.
- Barnes D. L., Chuvilin E. Migration of petroleum in permafrost affected regions // Soil Biol. 2009. Vol. 16. P. 263–278.
- Bioremediation of Petroleum-Hydrocarbons in Cold Regions / eds. D. M. Filler, I. Snape, D. L. Barnes. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. Vol. XXIV. 273 p.
- Essoka P. A., Ubodu A. E., Uzu L. An overview of oil pollution and heavy metals concentration in Warri area, Nigeria // Manag. Environ. Qual.: Int. Journ. 2006. Vol. 17. P. 209–215.



Pinedo J., Ibacez R., Primo O., Gomez P., Irabien A.  
Preliminary assessment of soil contamination by  
hydrocarbon storage activities: Main site investigation

selection // J. Geochem. Exploration. 2014. Vol. 147.  
Part B. Soil pollution and reclamation: Advances in  
data, experiments and application. P. 283–290.

## **The Assessment of the Environment Transformation in the Areas of Hydrocarbon Deposits in the North of Western Siberia**

M. G. OPEKUNOVA, A. Yu. OPEKUNOV, S. Yu. KUKUSHKIN, I. Yu. ARESTOVA

*St. Petersburg State University*  
199178, St. Petersburg, V.O. 10-th Line, 33/35  
E-mail: m.opekunova@mail.ru

Based on a multi-year research (1993–2016), an assessment of the state of the environment in the area of development of oil and gas condensate fields in the north of Western Siberia (YaNAD) is given. The content of petroleum hydrocarbons, PAHs and heavy metals (Cu, Zn, Fe, Pb, Cd, Ni, Co, Cr, Ba, Cd and Mn) was determined in soils, natural waters, bottom sediments and in indicator plants – *Larix sibirica*, *Betula nana*, *Salix lanata*, *Ledum decumbens*, *Vaccinium vitis-idaea*, *V. uliginosum* and *Cladonia alpestris*. Using the calculation of the coefficients of interspecies conjugation of plants, pleiads of species corresponding to the ecological conditions of habitats and the intensity of the technogenic impact were identified. A set of indicators for assessing the transformation of natural complexes under the influence of oil and gas extraction is proposed.

**Key words:** transformation of the environment, north of Western Siberia, contamination, heavy metals, petroleum, bioindication.