

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А. И. ГЕРЦЕНА
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОГРАФИИ
НОЦ «ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ»
ИНСТИТУТ ОЗЕРОВЕДЕНИЯ РАН
РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

RUSSIAN STATE PEDAGOGICAL UNIVERSITY OF A.I. HERZEN
FACULTY OF GEOGRAPHY
REC «ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT»
LIMNOLOGY INSTITUTE OF RAS
RUSSIAN GEOGRAPHIC SOCIETY

География: развитие науки и образования

Geography: Development of Science and Education

II

Коллективная монография
по материалам Всероссийской, с международным участием,
научно-практической конференции LXXII Герценовские чтения
18-21 апреля 2019 года,
посвященной 150-летию со дня рождения В.Л. Комарова,
135-летию со дня рождения П.В. Гуревича,
90 -летию со дня рождения В.С. Жекулина

Collective monograph
on the materials of annual All-Russian with the international participation,
Scientific-Practical Conference LXXII Herzen readings 18-21 April 2019,
devoted to the 150 anniversary since the birth of V.L. Komarov,
to the 135 anniversary since the birth of P.V. Gurevich,
to the 90 anniversary since the birth of V.S. Zhekulin

Санкт-Петербург
2019

Рецензенты:

Д.В. Севастьянов, Ал.А. Григорьев

Ответственные редакторы:

С.И. Богданов, Д.А. Субетто, А.Н. Паранина

Редакционная коллегия:

*Л.Б. Вампилова, Д.А. Гдалин, Ю.Н. Гладкий, С.В. Ильинский, Е.Д. Краснова, В.Ф. Куликов,
С.И. Махов, Л.Г. Мачавариани, В.Г. Мосин, Е.М. Нестеров, Л.А. Пестрякова, В.Д. Сухоруков*

Техническое редактирование:

*А.С. Баранов, М.А. Бахир, В.В. Брылкин, Л.Б. Вампилова, Р.В. Паранин, А.Н. Паранина,
Е.Д. Краснова, В.Ф. Толкачева*

География: развитие науки и образования. Том II. Коллективная монография по материалам ежегодной Всероссийской с международным участием научно-практической конференции LXXII Герценовские чтения, посвященной 150-летию со дня рождения В.Л. Комарова, 135-летию со дня рождения П.В. Гуревича, 90-летию со дня рождения В.С. Жекулина, Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена, 18-21 апреля 2019 года / Отв. ред. С.И. Богданов, Д.А. Субетто, А.Н. Паранина. – СПб.: Изд-во Астерион, 2019. – с. 652

Geography: development of science and education. Part II. Collective monograph on materials of the annual All-Russian with the international participation, scientific and practical conference LXXII Gertsensovsky readings, devoted to the 150 anniversary since the birth of V.L. Komarov, to the 135 anniversary since the birth of P.V. Gurevich, to the 90 anniversary since the birth of V.S. Zhekulin. St. Petersburg, RSPU of A.I. Herzen, on April 18-21, 2019 / by edition S.I. Bogdanov, D.A. Subetto, A.N. Paranina. – St. Petersburg: Asterion, 2019. – с. 652.

Коллективная монография «География: развитие науки и образования» представляет новые результаты развития географии и географического образования в России и других странах. Монография отражает основные направления работы ежегодной научно-практической конференции Герценовские чтения, проведенной на факультете географии РГПУ им. А.И. Герцена 18-21 апреля 2019 г. Монография адресуется представителям географической науки и образования, специалистам в области географии, смежных естественных и гуманитарных наук. Материалы сгруппированы в два тома. Том I включает вступительную главу и разделы: 1. физическая география: направления, методы и междисциплинарные исследования; 2. полярные исследования и пути освоения Арктики; 3. исследования меромиктических озёр России; 4. современные проблемы теоретической и прикладной лимнологии и гидрологии; 5. эволюционная и историческая география, ритмика процессов и явлений. Том II включает разделы: 1. геоэкология, природопользование и охрана окружающей среды; 2. социально-экономические системы и географические аспекты глобализации; 3. развитие географического образования; 4. регионоведение, краеведение, туризм, природное и культурное наследие.

Материалы публикуются в авторской редакции

978-5-00045-696-5

978-5-00045-698-9

© Издательство РГПУ им. А. И. Герцена, 2019

© Институт озероведения РАН, 2019

© РГО, 2019

© Авторы статей, 2019

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДОВ БИОИНДИКАЦИИ ПРИ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ТЕРРИТОРИИ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

М.Г. Опекунова, А.Ю. Опекунов, С.Ю. Кукушкин, И.Ю. Арестова,
В.В. Спасский, С.А. Лисенков

*СПбГУ, г. Санкт-Петербург, m.opekunova@mail.ru, a_opekunov@mail.ru,
s.kukushkin@spbu.ru, i.arestova@spbu.ru, vvs61991@yandex.ru, serlisenkov@mail.ru*

TO THE QUESTION OF THE USE OF BIOINDICATION METHODS FOR ENVIRONMENTAL MONITORING OF THE TERRITORY OF GAS AND CONDENSATE DEPOSITS IN THE NORTH OF WESTERN SIBERIA

M.G. Opekunova, A.Yu., Opekunov, S.Yu. Kukushkin, I.Yu. Arestova,
V.V. Spassky, S.A. Lisenkov

St. Petersburg State University, St. Petersburg

Аннотация. При экологическом мониторинге окружающей среды на территории лицензионных участков нефтегазодобычи севера Западной Сибири применен метод биоиндикации, включающий определение химического состава почв и растений, и биотестирование водных вытяжек почв с использованием тест-объектов *Chlorella vulgaris* и *Daphnia magna*. Определено содержание тяжелых металлов Zn, Cd, Cu, Sr, Fe, Mn, Cr, Pb, Ba, Co и Ni в 16 видах растений. Выявлены индикаторы ранних трендов трансформации природных комплексов под влиянием антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: тяжелые металлы, загрязнение, газоконденсатное месторождение, север Западной Сибири, биоиндикация, биотестирование.

Введение

Разведка и освоение месторождений углеводородов на севере Западной Сибири приводят к техногенной трансформации окружающей среды. Как показали многолетние исследования, охватившие территорию 40 лицензионных участков севера Западной Сибири [2, 5], на газовых и газоконденсатных месторождениях значимое изменение состояния окружающей среды носит локальный характер и наблюдается, главным образом, на стадии проведения буровых работ. В этот период отмечаются ландшафтно-деструктивные нарушения и загрязнение компонентов ландшафтов. На этапе эксплуатации основными источниками техногенного воздействия на компоненты ландшафтов служат шламовые амбары и сброс пластовых вод на рельеф при технологических операциях на скважинах. При загрязнении отработанными буровыми растворами отмечается подщелачивание почвенных растворов, возрастание концентрации нефтяных углеводородов, фенолов, хлоридов, сульфатов и фосфатов, а также Ba, Sr, Fe и Na в компонентах ландшафтов. Индикаторами поступления пластовых вод в окружающую среду служат фенолы, хлориды, Na и Ba. Вместе с тем, за счет активной латеральной и радиальной миграции химических веществ на территории газоконденсатных месторождений отмечается постепенное самоочищение ландшафтов [2]. Таким образом, спустя несколько лет эксплуатация месторождений приводит к изменениям окружающей среды, плохо фиксируемыми используемыми физико-химическими методами анализа и методиками, не учитывающими региональные особенности и различия природно-территориальных

комплексов (ПТК) [3]. В то же время при слабо проявленных изменениях окружающей среды хорошо зарекомендовали себя биологические методы исследований [4, 5]. Целью проводимых работ стал выбор и оценка результативности методов биоиндикации и биотестирования в сочетании с физико-химическими методами анализа загрязнения окружающей среды при проведении экологического мониторинга на территории газоконденсатных месторождений севера Западной Сибири.

Регион исследований, объекты и методы

В период с 1993-го по 2018 гг. проведен экологический мониторинг на территории лицензионных участков ЯНАО. В комплекс исследований входило изучение водных и наземных ПТК с отбором проб природных вод, донных отложений, снега, почв и растений. По результатам исследований установлен региональный геохимический фон донных отложений и почв. Дополнительно летом 2017-18 гг. на территории десяти газоконденсатных месторождений при проведении локального экологического мониторинга осуществлена отработка биоиндикационных методов для оценки интенсивности антропогенной нагрузки при добыче углеводородов.

Работы проводились на пробных площадях размером 20x25 м в типичных природных комплексах на всех уровнях элементарного геохимического ландшафта: элювиальном, трансэлювиальном, субаквальном и аквальном. Исследования осуществлялись на контрольных (находящихся под прямым воздействием источника загрязнения), условно-контрольных (под потенциальным воздействием источников загрязнения) станциях мониторинга (СМ) и в пределах фоновых территорий. На каждой СМ выполнялось описание ПТК, обследование близ расположенных водных объектов, отбирались пробы поверхностных вод, донных отложений, почв и растений на химический анализ.

Для выявления особенностей накопления поллютантов на каждой СМ отбирались дикорастущие растения, известные как хорошие индикаторы загрязнений [4]: мхи *Anacomnum turgidum* (Wahlenb.) Schwagr., *Pleurozium schreberi* (Willd. Ex Brid.) Mitt., лишайники – *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar & Vezda, *C. Rangiferinan* (L.) F.H. Wigg., *Cetraria delisei* (Bory) Th. Fr., *C. islandica* (L.) Ach., *C. cucullata* (Bellard.) Ach., травянистые растения *Rubus chamaemorus* L., кустарнички багульник *Ledum decumbens* (Ait.) Lodd. ex Steud., *Vaccinium uliginosum* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Empetrum nigrum* L., *Arctous alpina* (L.) Nied., *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng, кустарники *Betula nana* L., а также дерево лиственница *Larix sibirica* Ledeb.

Всего обследована 261 пробная площадка, дана их детальная экологическая характеристика, отобрано 125 проб воды, 92 донных отложений, 474 почв и 381 проба индикаторных видов растений.

Определение тяжелых металлов (ТМ – Mn, Cr, Pb, Zn, Cd, Cu, Ba, Co, Sr, Fe, Sc, Hg и Ni) в донных осадках, почве и растениях проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на приборе «ELAN-6100 DRC» с полным кислотным разложением проб; анализ нефтяных углеводородов (НУ) – флуориметрическим методом; хлоридов, сульфатов,

фосфатов и нитратов – методом ионной хроматографии. Определение ТМ в воде выполнено на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Квант-Z-ЭТА».

Биотестирование выполнялось по образцам, отобраным вблизи шламовых амбаров, на которых бурение проводилось как на момент проведения исследований, так и в ретроспективе с 2009 г. Кроме того, были изучены почвы в месте разливов пластовых вод, а также вблизи УКПГ, автодороги Уренгой-Тазовский и на фоновых участках. В 2017 г. проведено 156 экспериментов (1, 6, 24, 48, 72 и 96 час.) на токсичность 26 проб почв с использованием методики определения смертности *Daphnia magna* Straus. при воздействии токсических веществ в водной вытяжке. В 16 пробах поставлены эксперименты с измерением оптической плотности культуры водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer. Исходя из результатов биотестирования в 2017 г. [5], в 2018 г. изучена токсичность 46 проб почв с использованием *C. vulgaris* и *D. magna* (1, 6, 24 и 48 час.).

В процессе камеральной обработки материалов использовались методы описательной статистики, парной корреляции Пирсона, факторный анализ методом главных компонент.

Обсуждение результатов

Анализ химического состава природных вод, донных отложений, почв и растений показал, что общий уровень загрязнения ландшафтов низкий и имеет локальный характер. Только в непосредственной близости от источника загрязнения отмечаются повышенные содержания поллютантов. В почвах и донных осадках при антропогенном воздействии значительного роста концентрации загрязняющих веществ не установлено. Однако при использовании показателя техногенности Tg [1] выявлено влияние различных объектов нефтегазодобычи на их химический состав. Интенсивная радиальная и латеральная миграция металлов приводит к вымыванию их из верхнего горизонта почв в нижние и миграции вниз по склону в пределах ландшафтной катены, что в конечном счете сопровождается снижением концентрации ТМ в почвах до фоновых значений. Загрязнения водных объектов, расположенных на расстоянии 350-500 м от площадки буровой скважины, не наблюдается.

Наиболее чутко на воздействие со стороны объектов добычи углеводородов реагирует растительность. Это проявляется в увеличении зольности и накоплении металлов в растениях. Все 16 видов растений характеризуются собственными биогеохимическими особенностями. Однако в условиях техногенного воздействия они концентрируют большинство металлов, за исключением Mn, что вызвано его антагонистическим взаимодействием в тканях растений с Cu, Fe, Cr, V, Cd и Pb. Каждый из рассмотренных видов воздействия характеризуется определенной ассоциацией металлов, накапливающихся в наземной биомассе растений и положительно коррелирующей с содержанием загрязняющих веществ в почвах.

Наиболее показательными видами растений в изученных ландшафтах являются багульник *Ledum decumbens* и лишайник *Cladonia stellaris*, которые индицируют разные типы и механизмы загрязнения. В целом в условиях антропогенной нагрузки в *L. decumbens* снижается интенсивность аккумуляции Mn и Zn

и увеличивается накопление литофильных и сидерофильных элементов: Ni, Cd, Pb и Sr в 1,5-2,5 раза, Cr, Co, Fe – в 5-7 раз, V и Sc – в 8,5 раз выше регионального геохимического фона. К числу наиболее надежных индикаторов антропогенной нагрузки относится увеличение аккумуляции в *L. decumbens* Fe, Cr, Co и V. В лишайнике *C. stellaris* рост техногенной нагрузки индицируется высокими концентрациями практически всех изученных ТМ, в том числе, зольности. Различия химического состава рассматриваемых видов растений обусловлены как их биологическими особенностями, так и разным характером антропогенного воздействия и путей поступления химических веществ в биомассу. На лишайники основное влияние оказывает аэротехногенное поступление веществ вследствие работы факельных установок и перенос тонкодисперсного материала с отсыпки промышленных площадок и автодорог. В багульнике антропогенное воздействие при добычных работах проявляется шире: помимо прямого осаждения минеральных частиц на растения, выявлено влияние буровых шламов (Ba-Sr-Ni), поступающих при корневом поглощении.

Биотестирование образцов почв с использованием дафний *D. magna* и тест-культуры хлореллы *C. vulgaris* показало, что специфические ландшафтно-геохимические условия севера Западной Сибири – кислая реакция, высокое содержание полуторных окислов и большое количество органических кислот в почвах – ингибируют развитие тест-организмов, для которых оптимальным являются нейтральные условия среды. Поэтому при анализе качества грунтов следует вносить поправки на критические значения показателей токсичности, исходя из результатов, полученных на фоновых участках. Среди проб, взятых вблизи источников загрязнения, выделено две группы. В одной (в основном вблизи действующих источников техногенного загрязнения, а также современных разливов буровых растворов) зафиксировано 50% и более гибели дафний и такой же процент снижения средней величины оптической плотности культуры *C. vulgaris* по сравнению с контрольным вариантом, что означает острое токсическое действие тестируемых проб на тест-объекты. В другой группе (почвы, отобранные на участках законсервированных разведочных буровых, вблизи автомобильных дорог) было зарегистрировано среднее токсическое действие тестируемых проб, выраженное в снижении средней величины оптической плотности *C. vulgaris* по отношению с контрольным вариантом от 20 до 50% и гибель 20-40% *Daphnia magna*. Достоверная положительная корреляция токсического действия почв на тест-объекты наблюдается только с концентрацией в водной вытяжке нитратов, хлоридов и фосфатов, а также валовым содержанием Hg и Cd. Статистически значимое влияние подвижных форм металлов на тест-объекты установлено для Cd и Cu.

Выводы

1. При проведении локального мониторинга на территории добычи газа и газоконденсата фиксация малозаметных изменений окружающей среды на основе изучения только элементного состава абиотических компонентов ПТК (почвы и донных осадков) недостаточно эффективна. В этом случае в комплекс мониторинговых исследований целесообразно включать биологические методы

контроля загрязнения среды.

2. Индикаторные виды растений реагируют на малозаметные изменения через возрастание зольности и рост интенсивности поглощения металлов, что отражается в увеличении коэффициента биологического накопления.

3. Перечень металлов-индикаторов загрязнения зависит от типа воздействия и вида растений. При анализе воздействия объектов нефтегазодобычи на компоненты окружающей среды наиболее показательным изменением в них концентрации Na, Ba, Sr, Fe, Mn, Zn, V, Cr.

4. Биотестирование целесообразно использовать для оценки токсичности среды, особенно вблизи объектов техногенеза. В связи с активной латеральной и радиальной миграцией поллютанов в почвенной катене необходимо тестирование проб из органического и иллювиального горизонтов.

Благодарности

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

Литература

- [1] Водяницкий Ю.Н., Плеханова И.О., Прокопович Е.В., Савичев А.Т. Загрязнение почв выбросами предприятий цветной металлургии. / Почвоведение. 2011. Т. 44. № 2. – С. 217-226.
- [2] Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Кукушкин С. Ю., Ганул А. Г. Оценка экологического состояния природной среды районов добычи нефти и газа в ЯНАО. / Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7: Геология, география. 2012. Вып. 4. – С. 86-100.
- [3] Опекунов А.Ю., Ганул А.Г. Теория и практика экологического нормирования в России. Учебное пособие. СПб: изд-во С.-Петерб. ун-та, 2014. – 332 с.
- [4] Опекунова М.Г. Диагностика техногенной трансформации ландшафтов на основе биоиндикации. Автореферат дисс. на соискание ученой степени док. геогр. наук: 25.00.23. СПб, 2013.
- [5] Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Арестова И.Ю., Кукушкин С.Ю., Спасский В.В., Никитина М.А., Елсукова Е.Ю., Шейнерман Н.А., Недбаев И.С. Использование методов биоиндикации и биотестирования в оценке экологического состояния территории газоконденсатных месторождений севера Западной Сибири. / Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018. Т. 63. Вып. 3. С. 326-344. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2018.305>

S u m m a r y. The method of bioindication and biotesting is applied in environmental monitoring in the oil and gas production area in the north of Western Siberia. Chemical analysis of soil and plants and biotesting of water extracts of soils using test objects *Chlorella vulgaris* L. and *Daphnia magna* Straut. was carried out. The content of heavy metals Zn, Cd, Cu, Sr, Fe, Mn, Cr, Pb, Ba, Co and Ni in 16 plant species was analyzed. Indicators of early trends in the transformation of natural complexes under the influence of anthropogenic load are determined.