

Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное
Учреждение высшего образования
"Санкт-Петербургский государственный университет"
Институт Наук о Земле

Курсовая работа на тему:

**«Применение методов биоиндикации при экологическом мониторинге
окружающей среды территорий газоконденсатных месторождений севера
Западной Сибири»**

Выполнил: студент 3 курса, направления
«Экология и рациональное природопользование»

Лисенков Сергей

Научный руководитель: доктор географических наук,
профессор кафедры геоэкологии и природопользования ИНоЗ СПбГУ

М. Г. Опекунова

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ БИОИНДИКАЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ИССЛЕДОВАНИИ	5
1.1. Становление биоиндикации	5
1.2. Понятие биоиндикации	6
1.3. Методы исследования	8
ГЛАВА 2. КРАТКОЕ ФИЗИКО—ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	14
2.1 Геологическое строение и рельеф	14
2.2 Климат и гидрология	14
2.3 Почвы и растительность	15
ГЛАВА 3. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ОСНОВАНИИ ПРОВЕДЕННЫХ БИОИНДИКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	18
3.1 Анализ содержания ТМ в почвах: валовое содержание и подвижные формы	18
3.2 Оценка токсичности проб почв при помощи биотестирования	19
3.3 Сопоставление результатов озоления и химического состава корки листовницы . 24	
3.4 Корреляционный и факторный анализы полученных данных химического состава проб почв и биотестирования	27
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	29
Список литературы	30

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО) относится к активно развивающимся регионам с высокой степенью техногенного воздействия на окружающую среду. Сегодня на территории автономного округа осуществляют производственную деятельность более 60 нефтегазовых предприятий, среди которых дочерние предприятия компаний "Газпром", НК "Роснефть", НОВАТЭК, "Газпром нефть", НК "Лукойл" и другие предприятия. В 2016 году фактическая добыча углеводородного сырья составила: по нефти - 26,9 млн тонн; по конденсату - 19,3 млн тонн; по газу - 509,3 млрд м³ (Годовой отчет ПАО «Газпром нефть» за 2016 г., 2017).

Экосистемы тундры очень уязвимы перед процессами, связанными с нефте- и газодобычей. В рамках существующих методов локального мониторинга не учитываются производственная специфика и региональные различия природно-территориальных комплексов (Опекунов и др., 2012). Кроме того, уровень химического загрязнения при разработке нефтяных и газоконденсатных месторождений различается. Так, например, разработка последних, и сопутствующий сброс шламовых вод приводит к малозаметным изменениям окружающей среды, которые плохо фиксируются при помощи существующих методов локального мониторинга (Опекунова и др., 2018).

Одной из основных проблем становится своевременное выявление влияния загрязняющих веществ на нарушения природной среды, контроль антропогенного воздействия. Именно на решение этой задачи нацелены методы биологической индикации (биоиндикации), т. е. использование хорошо заметных биологических объектов (индикаторов) для выявления компонентов сложнее наблюдаемых (индикатов), в качестве которых, и выступают различные загрязняющие вещества.

В мировой практике экологического мониторинга наземных экосистем разработано множество методов и приемов биоиндикации. Оформились направления, основанные на использовании приоритетных групп микроорганизмов, водорослей, растений и животных. При этом применяются два подхода в оценке реакции организмов на воздействие окружающей среды:

- На основе реакции видов и их сообществ, распространенных на исследуемой территории (дендро-, лишено-, бриоиндикация и др.)
- На основе реакции тест-объектов, размещенных в испытываемой среде – биотестирование (Опекунова, 2013)

Целью исследования является изучение методов биоиндикации (дендроиндикация и биотестирование), а также возможность их применения при экологическом мониторинге на территории газоконденсатных месторождений ЯНАО.

Основными задачами данной работы стали:

1. Сопоставление полученных данных общего физико-химического анализа образцов с данными по дендроиндикации и биотестированию;

2. Выявление значимых концентраций поллютантов;
3. Обоснование возможности использования различных методов биоиндикации при оценке состояния окружающей среды на территории севера Западной Сибири.

Объект исследования: территория лицензионных участков нефтегазоконденсатных месторождений ЯНАО;

Предмет исследования: применение различных методов биоиндикации при проведении экологического мониторинга окружающей среды севера Западной Сибири.

В рамках проведенного исследования обрабатывались пробы, собранные коллективом научно-исследовательской группы ИНОЗ СПбГУ (руководитель М. Г. Опекунова) летом 2017 (корка лиственницы) и 2018 (пробы почвы) гг. с 3 лицензионных участков месторождений (Пырейное, Береговое, Ямбургское). Общий физико-химический анализ образцов, определение содержания подвижных форм металлов в почвах (в вытяжке ацетатно-аммонийным буфером pH 4,8), биотестирование почв с применением дафнии *Daphnia magna* Straus. и хлореллы *Chlorella vulgaris* Beijer., а также определение зольности корки лиственницы *Larix sibirica* Ledeb. осуществлены в лаборатории экологического мониторинга Института наук о Земле СПбГУ.

Работа состоит из введения; основной части, содержащей главы анализа литературных источников, краткого физико-географического описания территорий и результатов, полученных в ходе исследования; заключения и списка литературы. Всего 31 страница текста, содержит 13 рисунков и 4 таблицы.

Курсовая работа выполнена при поддержке гранта РГО-РФФИ № 17-05-4107.

ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ БИОИНДИКАЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ИССЛЕДОВАНИИ

1.1. Становление биоиндикации

История зарождения биологической индикации уходит своими корнями в глубокую древность и отсылает к трудам античных философов, писателей и агрономов (Опекунова, 2016), которые изучали окружающий мир скорее с практической точки зрения. Возможно, закономерности распределения растительности в соответствии с зонально-климатическими характеристиками и почвенным покровом ощущались людьми хотя бы на интуитивном уровне еще во времена перехода от собирательства к земледелию, но это всего лишь предположения, потому что никаких доказательств, дошедших до нашего времени, мы не имеем. Тем не менее, в трудах Катона Старшего (234-149 гг. до н.э.), Римского инженера Витрувия (I в. до н.э.) римского писателя и агронома Ю. Колумелла (I в. н.э.), Вергилия (36-29 гг. до н.э.) в его работе «Георгики», в высказываниях римского ученого и писателя Плиния Старшего (23 или 24 – 79 гг. н.э.) рассматриваются факторы, влияющие на плодородие почвы, на урожайность посевных культур; оценивается пригодность земель для возделывания культурных растений, по произрастающим на тех же территориях (или в похожих условиях) «диких» или схожих видов растений; доказывається, что разные растения требуют разного местообитания (Опекунова, 2016).

В накоплении теоретических и практических знаний для становления биоиндикации приняли участие такие ученые и исследователи, как А. Гумбольдт (обоснование зонально-климатического распределения растительности), Т. Гартиг и Г. Котт (методы бонитировки лесных и сельскохозяйственных угодий), Ф. Унгер (изучение кальцефильности и сицицифильности растений, начало работ в области растительных индикаторов).

В нашей стране основоположником биоиндикационного использования растений, оценки свойств почв и подстилающих горных пород по особенностям развития растений и составу растительного покрова бесспорно считают Ф. И. Рупрехта. В его работе 1866 г. были приведены примеры практического использования индикаторов почвы. Он обосновал связь образования чернозёма со степной растительностью, дал классификацию местных флор по их относительной (геологической) древности. Хотя, за 20 лет до Рупрехта в 1844 г. А. П. Карпинским были составлены первые схемы растений – индикаторов горных пород. Он выделял новое направление в изучении комплексных индикаторов – растительных сообществ. Его работу, посвящённую приуроченности растений к различным горным породам и опубликованную в 1841 г., до сих пор нередко используют.

Основой биоиндикации является теснейшая взаимосвязь всех явлений природы. Она представляет собой частный случай приложения идей В. В. Докучаева о связи всех элементов условий среды с решением практических задач. В. В. Докучаевым (1883, 1893 г.) было развито представление о почве как об особом естественно- историческом образовании. В 1898 г. им был

сформулирован "закон постоянства взаимоотношений между почвой и обитающими на ней растительными организмами как во времени, так и в пространстве". Глубокие связи между почвой, породой и растительностью изложены в трудах П. А. Костычева (1890). Отсюда и возникла возможность устанавливать по растительности компоненты, особенности почвы и ландшафта в целом. В связи с этим одним из первых направлений в биоиндикации была индикационная геоботаника. Из теоретических, обобщающих работ по биоиндикации первой наиболее фундаментальной и выдающейся была сводка Ф. Клементса (Clements, 1920). Он подчеркивал, что каждое растение или растительное сообщество "представляет лучшую меру условий, в которых оно произрастает". Учение о растительных индикаторах развилось в самостоятельную ветвь ботаники - фитоиндикацию, которая изучает теоретические основы и практические способы использования растительного покрова как индикатора (показателя) условий среды.

Значительный интерес представляют работы по использованию растительности как показателя климата (Гумбольдт, 1823); типов леса (Сукачёв, 1961); уровня залегания грунтовых вод (Викторов, Востокова, Вышивкин, 1962). Идеи В. И. Вернадского (1926,1934), А. П. Виноградова (1952,1954) дали обоснование возможности использования растений и растительных сообществ в целях индикации полезных ископаемых, направленности геохимических процессов. Широко используются растительные индикаторы при изучении сельскохозяйственных угодий, оценке богатства, засоления, увлажнения, механического состава почв, стадий пастбищной дигрессии. Последовательный анализ экологических условий земель и их оценка по растительному покрову содержатся в трудах Л. Г. Раменского (1938, 1941), В.И. Ларина (1953) (Артамонов, 1989). Обширные сведения о растительных индикаторах обобщены в обзорной статье А. Сэмпсона "Растительные индикаторы" (Sampson, 1939) Б. В. Виноградова (1964) "Растительные индикаторы..."; С. В. Викторова, Г. Л. Ремезовой (1988) "Индикационная геоботаника". В последней работе особое внимание уделяется применению в биоиндикации дистанционных методов с использованием аэрофото- и космических снимков, послуживших основой для интенсивного развития нового направления - ландшафтной индикации (Каплин, 2001).

1.2. Понятие биоиндикации

Одной из задач биоиндикации является адекватная оценка антропогенного воздействия на окружающую среду, под которой понимается совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов (ФЗ «Об охране окружающей среды» 2002 г.). На сегодняшний день физические и химические методы экологического мониторинга, которым отводится ведущая роль при оценке состояния окружающей среды, учитывают факторы как живой, так и неживой природы, которые в свою очередь могут модифицироваться и изменяться в процессе воздействия на среду. Это приводит к оценке косвенных влияний, не дающих точных характеристик конкретных загрязняющих веществ. Однако, при биоиндикации учитывается реакция живого организма (сообщества живых организмов), позволяющая оценить величину антропогенного влияния на среду обитания в показателях,

имеющих биологический смысл, а зачастую и таких, которые можно перенести на человека (Криволуцкий, 1988).

Таким образом под термином биоиндикация понимается оценка качества природной среды по состоянию её биоты (Вайнерт, и др. 1988). Оценить биотические последствия отклонения экологических факторов и условий от нормы (фоновых значений) можно на примере живого организма или их совокупности - сообщества. Это напрямую связано с явлением изменчивости и механизмами адаптации живых организмов. Пожалуй, центральным понятием в биоиндикации является «Биоиндикатор» (Опекунова, 2016). С греческого «bios» –жизнь, а «indicare» – указатель, если переводить дословно – биоиндикатор – «живой указатель». В роли таких «указателей» могут выступать живые организмы, наиболее тесно взаимодействующие с определёнными факторами среды, или обладающие хорошо выраженной реакцией на внешнее воздействие. Некоторые биоиндикаторы очень восприимчивы к определённому виду загрязнений и/или иных изменений в окружающей среде, что позволяет обнаружить последствия этих изменений и предположить причину их возникновения.

Биоиндикация подразделяются на уровни в соответствии с уровнями организации биологических систем. (Шуберт и др., 1988) (табл.1).

Таблица 1. Уровни биологических систем и соответствующие им уровни биоиндикации

<i>Уровень организации живого вещества</i>	<i>Уровень биоиндикации</i>
1.Молекулярный уровень	1.Биохимические и физиологические реакции.
2.Клеточный уровень	
3.Тканевый уровень	
4.Организменный уровень	2.Анатомические, морфологические, биоритмические и поведенческие отклонения.
5.Популяционно-видовой уровень	3.Флористические, фаунистические и хорологические изменения.
	4.Ценотические изменения.
6.Биогеоценотический уровень	5.Биогеоценотические изменения.
7.Биосферный уровень	6.Изменения ландшафтов.

Стоит указать, что для низших уровней организации живых систем возможны прямые и специфические формы биоиндикации, тогда как для высших – только косвенные и неспецифические. Однако более высокие уровни организации дают возможность более глобально оценить антропогенное влияние на окружающую среду и природу в целом, что имеет большое значение для экологии как науки.

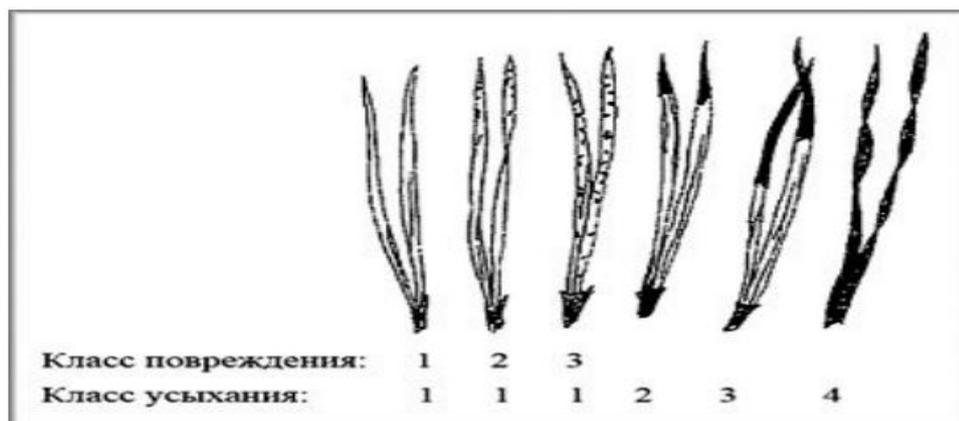
1.3. Методы исследования

К настоящему времени разработано довольно большое количество приемов оценки состояния окружающей среды по индикаторным видам и различным параметрам структуры и строению биоценозов. К числу наиболее распространенных методов относятся: биогеохимический, спектрофотометрический, микробиологический, фитоиндикационный, зооиндикационный, биоценотический, биотестирование и др. В исследованиях наземных экосистем применяется широкий комплекс методов, состав которых зависит от интенсивности и характера загрязнений, природных особенностей территории, целей и задач геоэкологических изысканий. В данной работе рассматриваются методы дендроиндикации и биотестирования.

Дендроиндикация — это метод биоиндикации, позволяющий на основе анализа характеристик древесного яруса и полога подроста (радиальный и линейный прирост, продолжительность жизни хвои, наличие некроза и хлороза, жизненное состояние древостоя и т. д.) судить о состоянии природной среды. Древесные растения наиболее часто выбираются для биоиндикационных исследований в силу их высокой индикаторной значимости. Ведущая роль в биоиндикации состояния окружающей среды принадлежит древесным растениям. Они способны поглощать и нейтрализовать часть атмосферных поллютантов, задерживать пылевые частицы, а также индицировать особенности загрязнения посредством разнообразия ответных реакций. Реакция древесных пород на загрязнение окружающей среды существенно различается. Так, например, сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* очень чувствительна к таким поллютантам атмосферного воздуха, как HF, HCl, SO₂, NH₃, CL₂. (Dässler, 1981).

При загрязнении фтором, отмечаются повышенная дефолиация кроны, некрозы хвои, нарушение осевого ветвления, суховершинность, сокращение срока жизни хвои, деформация побегов. При загрязнении серой, кремнием, свинцом и железом, также увеличивается уровень дефолиации кроны, снижение продолжительности жизни хвои, сокращение массы и количества хвои на побеге. Длительное воздействие сернистого газа вызывает, помимо внешних деформаций, снижение содержания хлорофилла в хвое, а также — увеличение воскового покрытия хвоинок. Благодаря широкому распространению сосны обыкновенной она используется во множестве методик оценки состояния компонентов среды: (рис.1)

Классы повреждения и усыхания хвои



Повреждения: 1 – хвоинки без пятен; 2 – с небольшим числом мелких пятнышек; 3 – с большим числом черных и желтых пятен, некоторые из них крупные, во всю ширину хвоинки;

Усыхание: 1 – нет сухих участков; 2 – усох кончик на 2–5 мм; 3 – усохла треть хвоинки; 4 – вся хвоинка желтая или более половины ее длины сухая.

Экспресс-оценка загрязнения воздуха (I – VI) с использованием сосны обыкновенной

Максимальный возраст хвои	Класс повреждения хвои на побегах второго года жизни		
4	I	I – II	III
3	I	II	III – IV
2	II	III	IV
2	НС	IV	IV – V
1	НС	IV	V – VI
1	НС	НС	VI

I – воздух идеально чистый; II – чистый; III – относительно чистый («норма»); IV – загрязненный («тревога»); V – грязный («опасно»); VI – очень грязный («вредно»); НС – невозможные сочетания.

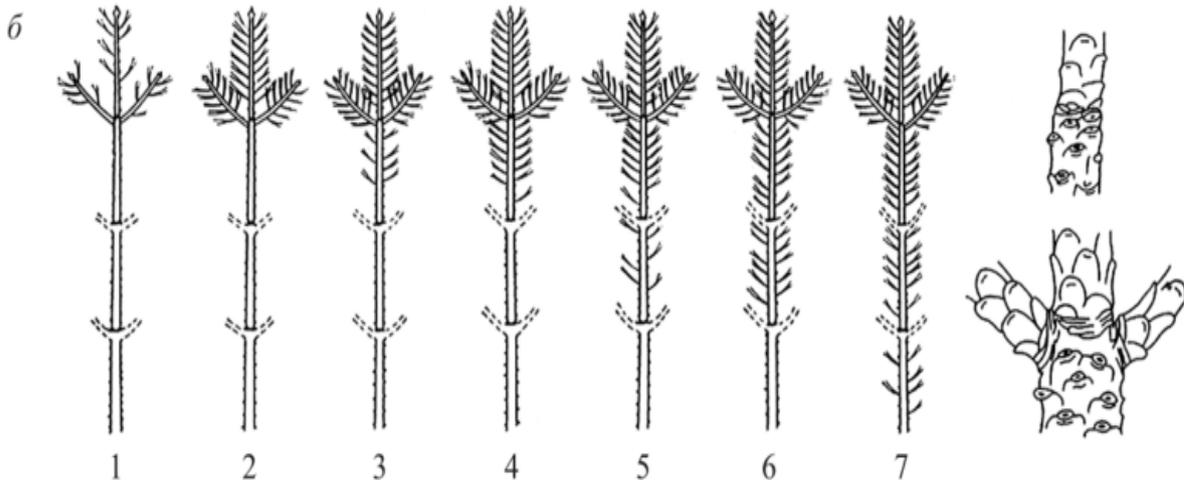


Рис. 1. Таблицы для экспресс-оценки загрязнения воздуха с использованием сосны обыкновенной (с дополнениями). (Биоиндикация загрязнений наземных экосистем, под ред. Р. Шуберта, 1988.)

В предложенном исследовании изучалась общая зольность корки лиственницы *Larix sibirica* Ledeb. Корка у деревьев представляет собой наружный слой тканей, состоящий из мертвых клеток, и предназначенный для защиты от неблагоприятных воздействий внешней среды. Для *Larix sibirica* характерно содержание минеральной части в процентном отношении от общей массы корки в пересчете на сухое вещество около 2 %, причем изменяться это значение может от 0,8 до 3,6 % (Инструкция..., 1982). В условиях антропогенного загрязнения зольность растений значительно возрастает, что является индикаторным признаком происходящих нарушений в массообмене.

Анализ 40 отобранных проб корки лиственницы (2017 г.) осуществлен в аккредитованных лабораториях ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского и центре «Эколаб». Тяжелые металлы (ТМ) — Cu, Zn, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, Pb, Hg, Cd, Ba, Sr, Sc — определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на приборе «ELAN-6100 DRC» с полным кислотным разложением проб по ПНД Ф 16.1:2.3:3.11—98.

Сухое озоление проводилось согласно методическим указаниям (Опекунова и др., 2002) в лаборатории экологического мониторинга Института Наук о Земле СПбГУ. Навеска растительного материала помещалась в муфельную печь на 5 часов при температуре 450-500° С (рис. 2). Работа проводилась в двукратной повторности, разница между двумя взвешиваниями не должна была составлять больше 10%, для расчетов использовалось среднее значение двух наиболее близких значений. Анализ полученных данных представлен в главе 3.



Рис. 2. Пробы растений, подготовленные для сухого озоления (измельченная корка лиственницы в тиглях сверху слева). (Фото автора)

Биотестированием называется метод определения степени токсического воздействия физических, химических и биологических факторов среды, потенциально опасных для живых организмов данной экосистемы. Биотестирование осуществляется экспериментально в лабораторных или в естественных условиях путем регистрации изменения биологически значимых показателей исследуемых природных или природно-техногенных объектов с последующей оценкой их состояния в соответствии с выбранными критериями токсичности. Тест-объектами (организмами) могут быть бактерии, дрожжи, простейшие, водоросли, пиявки, моллюски, рыбы и

т. д. Кроме того, наравне с целостными организмами в качестве тест-объектов выступают отдельные органы, ткани или клетки. В основе методики биотестирования лежит сравнение тестируемых образцов с контрольными пробами в течение определенного времени. При этом могут проводиться экспериментальное биотестирование (до нескольких часов), оценка острого токсического воздействия (в течение 1–3 суток экспозиции), хронического токсического воздействия (через 7–10 суток экспозиции), а также прогноз отдаленных последствий (через 2–3 недели экспозиции). Всего к настоящему времени разработано более 50 стандартов (НИА-Природа, 2002).

В исследованиях на токсичность были использованы методики определения смертности дафний *Daphnia magna* Straus. при воздействии токсических веществ, присутствующих в водной вытяжке, по сравнению с контрольной культурой в пробах, не содержащих токсических веществ (контроль), и регистрации различий в величине оптической плотности тест-культуры *Chlorella vulgaris*. Вејјер при воздействии токсических веществ, присутствующих в водной вытяжке (Биотестирование вод..., 1992) (рис.3)

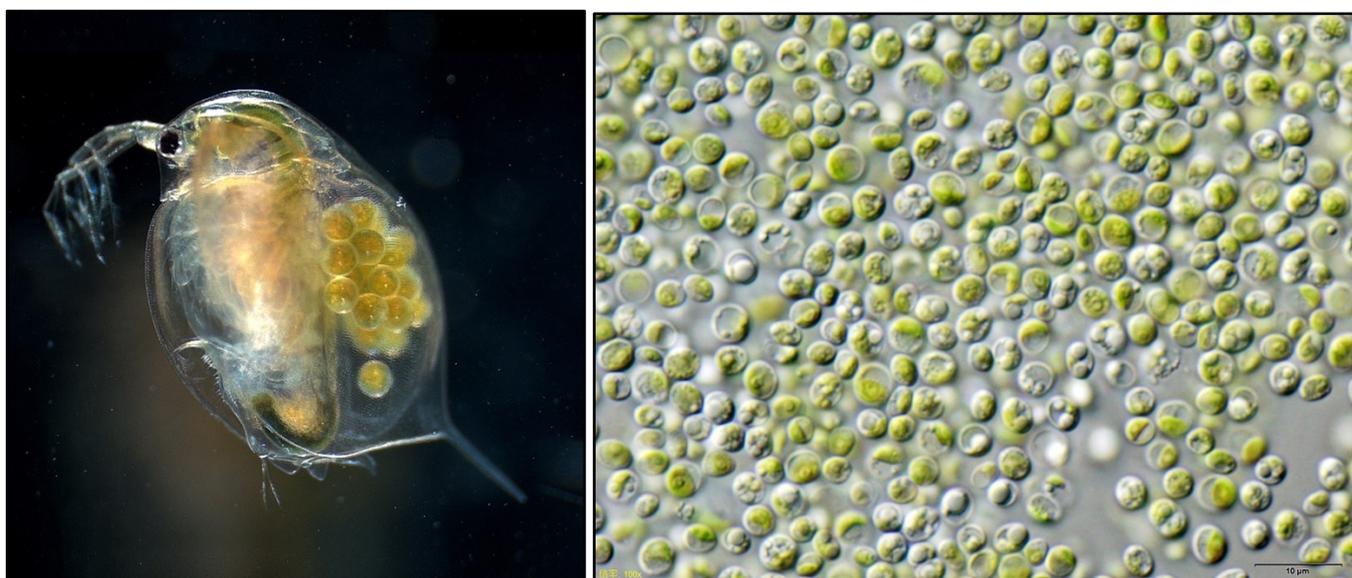


Рис. 3. Тест-объекты: рачок *Daphnia magna* Straus. слева и водоросль *Chlorella vulgaris*. Вејјер справа (источник: <http://pitomecdoma.ru/akvariumistika>)

Первая методика основана на определении смертности и изменений в плодовитости дафний *D.magna* при воздействии токсических веществ, присутствующих в исследуемой водной среде, по сравнению с контрольной культурой в пробах, не содержащих токсических веществ (контроль). Острое токсическое действие растворов отдельных химических веществ, исследуемой воды или водной вытяжки из почв, осадков сточных вод и отходов на дафний определяется по их смертности (летальности) за определенный период экспозиции. Критерием острой токсичности служит гибель 50 % и более дафний за 96 часов в исследуемой воде при условии, что в контрольном эксперименте гибель не превышает 10 %. В краткосрочных экспериментах по определению острого токсического действия устанавливают:

- острую токсичность или среднюю летальную концентрацию отдельных веществ (кратность разбавления вод или водной вытяжки из почв, осадков сточных вод и отходов, содержащих смеси веществ), вызывающую гибель 50 % и более тест-организмов (ЛК50-96, ЛКР50-96);

- безвредную (не вызывающую эффекта острой токсичности) концентрацию отдельных веществ (кратность разбавления вод или водной вытяжки из почв, осадков сточных вод и отходов, содержащих смеси веществ), вызывающую гибель не более 10 % тест-организмов (БК10-96, БКР10-96).

Вторая методика основана на регистрации различий в величине оптической плотности тест-культуры водоросли хлорелла, выращенной на среде, не содержащей токсических веществ (контроль) и тестируемых проб поверхностных пресных, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных вытяжек из почвы, осадков сточных вод и отходов производства и потребления (опыт), в которых эти вещества могут присутствовать. Измерение оптической плотности суспензии водоросли позволяет оперативно контролировать изменение численности клеток в контрольном и опытном вариантах острого токсикологического эксперимента, проводимого в специализированном многокуветном культиваторе (рис. 4). Критерием токсичности воды является снижение на 20 % и более (подавление роста) или увеличение на 30 % и более (стимуляция роста) величины оптической плотности культуры водоросли, выращиваемой в течение 22 часов на тестируемой воде по сравнению с ее ростом на контрольной среде, приготовленной на дистиллированной воде.



Рис. 4. Измерение оптической плотности суспензии водоросли, работа с культиватором, процесс подсчета выживших особей дафний (Фото автора).

В экспериментах по определению острого токсического действия устанавливают токсичную концентрацию отдельных веществ или токсичную кратность разбавления вод и водных вытяжек, содержащих смеси веществ, вызывающие снижение на 20 % и более или увеличение на 30 % и более величины оптической плотности тест-культуры водоросли по сравнению с контролем за 22 часа световой экспозиции.

Таким образом, в 192 проведенных экспериментах исследована токсичность 46 проб почв с использованием методики определения смертности *D.magna* при воздействии токсических веществ в водной вытяжке. Время экспозиции — 1, 6, 24 и 48 часов. Проведены эксперименты с измерением оптической плотности культуры водоросли *C.vulgaris*. Работы проводились в лаборатории экологического мониторинга Института Наук о Земле СПбГУ согласно методическим указаниям (Александрова, 2013). Водная вытяжка готовилась в объемном соотношении 1:4. Работы проводились совместно с аспирантом кафедры геоэкологии и природопользования Спасским В. В.

При камеральной обработке материалов использовались методы описательной статистики, парной корреляции Пирсона, факторный анализ методом главных компонент.

ГЛАВА 2. КРАТКОЕ ФИЗИКО—ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Геологическое строение и рельеф

Равнинная часть ЯНАО расположена в пределах Западно-Сибирской платформы (плиты) и приурочена к интенсивно расчленённой Ямало-Тазовской мегасинеклизе в наиболее опущенной части Внутренней тектонической области. Мегасинеклиза включает глубокие впадины – Надым-Тазовскую, Усть-Енисейскую, Ямало-Гыданскую и Пурский жёлоб. В осадочном чехле Ямало-Тазовской мегасинеклизы сформировался газонефтяной суббассейн (часть Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции) с ритмичным строением: в нём чётко выделяются крупные трансгрессивные и регрессивные циклы. Основные продуктивные интервалы чехла связаны с отложениями сеномана – турона верхнего мела (преим. газоносные), апта – альба (нефте- и газоносные) и неокома (конденсато- и нефтеносные) нижнего мела, верхней и средней юры (конденсато- и нефтеносные) (Самойлова, 2002).

Округ занимает 1-е место в РФ по запасам природного горючего газа; 2-е место – по запасам нефти. С начала геологического изучения территории округа открыто свыше 200 месторождений углеводородного сырья. Среди месторождений с запасами газа – 18 уникальных, в их недрах сосредоточено до 80% разведанных запасов: Уренгойское месторождение, Бованенковское нефтегазоконденсатное месторождение, Ямбургское месторождение, Заполярное месторождение и др. Месторождений с запасами нефти открыто 70; из них 3 – с уникальными запасами (Уренгойское, Русское и Восточно-Мессояхское). В недрах Ямбургского, Песцового, Бованенковского, Харасавэйского и Заполярного месторождений заключены крупные запасы конденсата. Полярный Урал богат разнообразными полезными ископаемыми: выявлены месторождения руд марганца, хрома, меди, свинца, никеля, кобальта, сурьмы, редких металлов (ниобий, тантал); фосфоритов, барита, бокситов и др (Чистякова, 2015).

Округ расположен в пределах Западно-Сибирской равнины и частично на Полярном Урале. Преобладают низменности высотой до 100 м в сочетании с участками полого-холмистого рельефа (до 200 м). Наиболее крупные низменности – Нижнеобская, Надымская, Пурская, Тазовская, Мессояхская; возвышенности – Полуйская, Ненецкая, Пур-Тазовская, Среднетазовская, Нижнеенисейская (отроги). Низменности заболочены, много мерзлотных форм рельефа (термокарстовые котловины, бугры пучения и пр.). Южную границу образуют Сибирские Увалы. К западу от долины р. Обь протягиваются Мужинские Увалы (высотой до 290 м), переходящие в предгорья и среднегорья Полярного Урала (гора Пайер, 1472 м. – высшая точка округа) (Чистякова, 2015)

2.2 Климат и гидрология

Район исследований расположен в субарктическом и умеренном поясах. В центральном и южном районах полуостровов (до Полярного круга) климат субарктический. Зима суровая, продолжительность устойчивых морозов 200–210 дней. Средняя температура января от –22 (–24) °С на

западе до -26 (-27) °С на востоке (абсолютный минимум -57 °С, Тазовский). Высота снежного покрова 35–50 см, длительность залегания 210–220 дней. Лето прохладное (65–68 дней). Средняя температура июля 8–13 °С (абсолютный максимум 28 °С, Марре-Сале). Осадков 250–280 мм в год (преимущественно во 2-й половине лета). Вегетационный период до 44 дней. В южной части округа климат континентальный, степень его континентальности увеличивается к востоку. Зима холодная, продолжительность устойчивых морозов 180–190 дней. Средняя температура января от -23 °С на западе до -26 °С на востоке (абсолютный минимум -61 °С, Тарко-Сале). Высота снежного покрова от 60–70 см в горах до 80 см на востоке (бассейн р. Таз), длительность залегания 200 дней. В горах лавиноопасно. Средняя температура июля 14–16 °С (абсолютный максимум 34 °С, Толька). Осадков до 500 мм в год (преимущественно в августе). Вегетационный период 110–115 дней. В северных районах распространена сплошная мерзлота (мощность 300–400 м), на юге – прерывистая; под руслами рек – талые грунты.

Все 50 тысяч рек округа принадлежат бассейну Карского моря. Главные реки – Обь (с притоками Куноват, Полуй, Сыня, Войкар, Сось), Надым, Пур, Таз. Питание рек снеговое, частично дождевое. Продолжительная зимняя межень сменяется высоким половодьем. Ледостав длится 7–8 месяцев. Весной характерны заторы в низовьях. Все реки имеют широкие поймы, меандрирующие русла, протоки и рукава. Мелкие реки промерзают до дна. В округе – 300 тысяч озёр (термокарстовые, пойменные, торфяные, прибрежно-лагунные, ледниковые и пр.), наиболее крупные из них – Шурышкарский сор, Нейто, Ярато. Значительные площади заняты болотами (Самойлова, 2002).

2.3 Почвы и растительность

Зональное распределение количества тепла и влаги на Западно-Сибирской равнине обуславливает и зональное распространение в ее пределах типов почвенного покрова и растительности. На ее территории природные зоны сменяют постепенно, в соответствии с широтной поясностью – тундры, лесотундры, лесная. При общем зональном распределении почвенных типов размещение их внутри зон тесно связано с микрорельефом и, в особенности, со степенью дренирования местности (Чистякова, 2015).

В типичной тундре, к югу от 70° с. ш., развиты торфянисто-поверхностноглеевые суглинистые почвы. Подзолистые почвы встречаются только на песках, в наиболее сухих местах. В основной массе растительность тундры представлена кустарничково-мохово-лишайниковыми сообществами. К основным видам, распространенным на территории, можно отнести представителей родов *Cladonia*, *Cetraria*, *Sphagnum*. В слабо развитом травянистом покрове преобладают *Empetrum nigrum* L. - водяника, *Carex* L. - осока, *Eriophorum* L. - пушица, наиболее распространенный кустарник – *Betula nana* L. - карликовая береза. Южнее, приблизительно между 66 и 68° с. ш., в лесотундровой зоне почвы – переходные от торфяно-глеевых к подзолисто-глеевым. В лесотундре среди редких елово-лиственничных участков леса основу растительного покрова составляют лишайники (ягель) - *Cladonia* sp, и мхи - *Cetraria* sp., *Sphagnum* sp. Хорошо развиты карликовая береза *B. nana*, ива

сизая *Salix glauca* L., богульник *Ledum decumbens* (Aiton) Lodd. Ex Steud. и голубика *Vaccinium uliginosum* L.

На морских террасах в понижениях формируются злаково-осоковые приморские луга (тампы) на маршевых почвах. Распространены кустарничково-мохово-лишайниковые (типичные) тундры на тундрово-глеевых почвах в сочетании с осоково-пушицевыми низинными болотами на торфяно-глеевых и болотно-мерзлотных почвах (рис.5). Южная тундра – кустарниковая (ерниковая и ивняковая) на тундровых иллювиально-гумусовых почвах с обилием болот (кочкарных, грядово-мочажинных) на торфяно-болотных почвах. Все виды тундр используют под олени пастбища.



Рис. 5. Типичная тундра: кустарничковое лишайниковое сообщество с пятнами голого грунта (слева); плоскобугристый торфяник ерниковый лишайниково-моховой (справа) (Фото Опекуновой М. Г.).

В узкой полосе зоны лесотундры редины с лиственницей сибирской - *Larix sibirica* Ledeb. (местами с примесью ели - *Picea obovata* Ledeb.) сочетаются с мохово-кустарниковыми тундрами и болотами. Подзона северной тайги представлена редкостойными лиственничными лесами *Larix sibirica* с примесью ели - *Picea obovata*, кедра - *Cedrus* Trew., и сосны сибирской - *Pinus sibirica* Du Tour. на подзолах иллювиально-гумусовых

По преобладающему распространению древесной растительности выделяются две подзоны (с севера на юг):

1. Узкая полоса редкостойных заболоченных елово-лиственничных лесов. Ель произрастает больше на глинистых почвах, лиственница - на песках. Кустарниковый ярус состоит из карликовой березы и болотных кустарничков и полукустарничков.

2. Кедрово-болотная широкая полоса располагается примерно между 65 и 60-61° с. ш.

В лесах преобладает кедр - *Pinus sibirica* Du Tour; встречаются смешанные леса, в составе которых - сосна - *P.sibirica*, лиственница - *L.sibirica*, ель - *P.obovata*, пихта - *Abies* Mill., береза - *Betula pubescens* Ehrh., осина - *Populus tremula* L (рис.6).



Рис. 6. Древесная растительность: лиственнично-кедровое кустарничково-лишайниковое редколесье (слева); Смешанный березово-кедрово-еловый бруснично-зеленомошный лес (справа) (Фото Опекуновой М. Г.).

Таким образом, территория исследования представлена широким выбором вариантов природно-территориальных комплексов (ПТК), что позволяет выделить наиболее характерные участки для условно-фоновых и контрольных станций экологического мониторинга. В ходе проведения мониторинга возможно проводить оценку состояния почв, атмосферного воздуха (по индикаторным видам растений), кормовых и лекарственных растений, нарушения почвенного и растительного покровов. Характерная для изучаемых территорий ландшафтно-геохимическая структура ПТК позволяет судить о том, что при наличии источников техногенного загрязнения на разных участках латеральная и радиальная миграция, а также аккумуляция поллютантов, могут проявляться по-разному. Для этого исследования проводятся на различных элементарных геохимических ландшафтах.

На территории исследования присутствуют необходимые для дендроиндикации виды растений. Накопление загрязняющих веществ в различных типах почв происходит с разной скоростью, помимо этого, концентрация будет различной в зависимости от горизонтов (органогенные и минеральные). Кроме того, стоит отметить присутствие многолетнемерзлотных пород, которые подвержены сезонному оттаиванию, что может повлиять на распределение поллютантов по почвенному профилю.

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ОСНОВАНИИ ПРОВЕДЕННЫХ БИОИНДИКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Анализ содержания ТМ в почвах: валовое содержание и подвижные формы

Химический анализ проводился по 9 металлам (Mn, Zn, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, Cr, Fe) в пробах почв с трех лицензионных участков. Всего исследовано 46 проб, из них 17 проб органогенного горизонта, 6 торфяного горизонта и 23 срединного. В тексте работы содержится таблица статистических характеристик (табл. 2).

Таблица 2. Статистические характеристики химического состава проб почв (подвижные формы и валовое содержание в мг/кг)

Параметр	Mn	Zn	Cu	Ni	Co	Pb	Cd	Cr	Fe									
<i>Береговой ЛУ</i>																		
Среднее	73,2	411	1,7	34	5,2	10	1,5	18	0,21	8	1,68	14,68	0,032	0,142	1,1	53	194	19920
Максимум	842,0	1240	5,9	50	9,5	19	3,0	33	1,84	14	6,02	23,70	0,117	0,410	3,4	74	525	28280
Минимум	0,5	132	0,2	16	0,3	4	0,0	7	0,00	2	0,00	9,98	0,001	0,026	0,1	19	34	6510
<i>Пырейный ЛУ</i>																		
Среднее	6,8	166	1,3	23	3,4	7	0,5	10	0,13	4	1,07	9,39	0,038	0,101	1,3	31	251	13335
Максимум	38,5	419	5,9	42	11,3	15	2,9	22	1,30	12	2,86	16,70	0,141	0,370	3,7	70	784	26600
Минимум	0,0	25	0,0	9	0,0	3	0,0	3	0,00	1	0,00	1,47	0,001	0,019	0,0	3	14	3570
<i>Ямбургский ЛУ</i>																		
Среднее	41,9	359	12,3	43	3,0	10	1,9	13	1,02	9	1,23	9,66	0,053	0,263	1,8	25	1346	27590
Максимум	293,6	2513	86,0	301	21,3	70	13,2	90	7,13	61	8,62	67,65	0,372	1,840	12,8	174	9422	193130
Минимум	149,0	1240	63,2	163	5,8	29	4,4	19	2,40	18	4,09	15,70	0,140	0,470	2,9	43	3770	61460

В ходе проведения анализа и интерпретации результатов получены аномальные значения по Mn (проба 105-1А), Zn (проба СКВ-225), Co (проба СКВ-224), Pb (проба 131-1А) Ni (проба СКВ-220) и Fe (пробы СКВ-220 и СКВ-224). Все эти пробы отобраны на станциях мониторинга, ориентированных на контроль загрязнения ПТК. Например, на станции СКВ-220 подрядная организация на момент обследования на объекте закончили работы по ликвидации скважины и проводился демонтаж оборудования. Однако, с другой стороны, это может быть человеческий фактор или ошибка прибора.

Результаты определения ТМ (подвижные формы) сравнивались с фоновыми содержаниями (Опекунова и др., 2019) для данной территории. Так, например, если отсечь аномальные значения по Mn в пробе 105-1А, то превышения с региональным фоном прослеживаются только по Cu и Zn в пяти пробах почвы срединного горизонта на станциях Берегового и Пырейного месторождений. Это позволяет сделать вывод о том, что на исследуемых площадках Cu и Zn, хоть и незначительно, но накапливаются в иллювиальных горизонтах.

Сопряженный анализ полученных данных, ландшафтно-геохимической обстановки и источников антропогенного воздействия показал, что существует несколько факторов, определяющих варьирование концентрации ТМ в почвах изученной территории. К их числу относятся высокая контрастность природных условий, определяющая сложный и мозаичный характер почвенного покрова, а также закономерности радиальной и латеральной миграции химических элементов. Содержание в почвах химических веществ характеризуется низкими значениями, не превышающими ПДК. Уровень загрязнения ТМ почв даже в непосредственной близости к шламовым амбарами незначителен. Это подтверждает положение о том, что существующие методы локального экологического мониторинга не совершенны и применение методов биоиндикации, в частности - биотестирования, позволяют получить достоверное и конкретное представление о происходящих изменениях в среде

3.2 Оценка токсичности проб почв при помощи биотестирования

По результатам биотестирования получены следующие данные:

На территории Берегового месторождения было отобрано 14 проб на пяти станциях экологического мониторинга: – 105-1, 105-2, 105-3 (вблизи куста скважин 105), 131 (условно фоновая), 138 (вблизи УКПГ, 200 м от факельной установки) (рис.7).

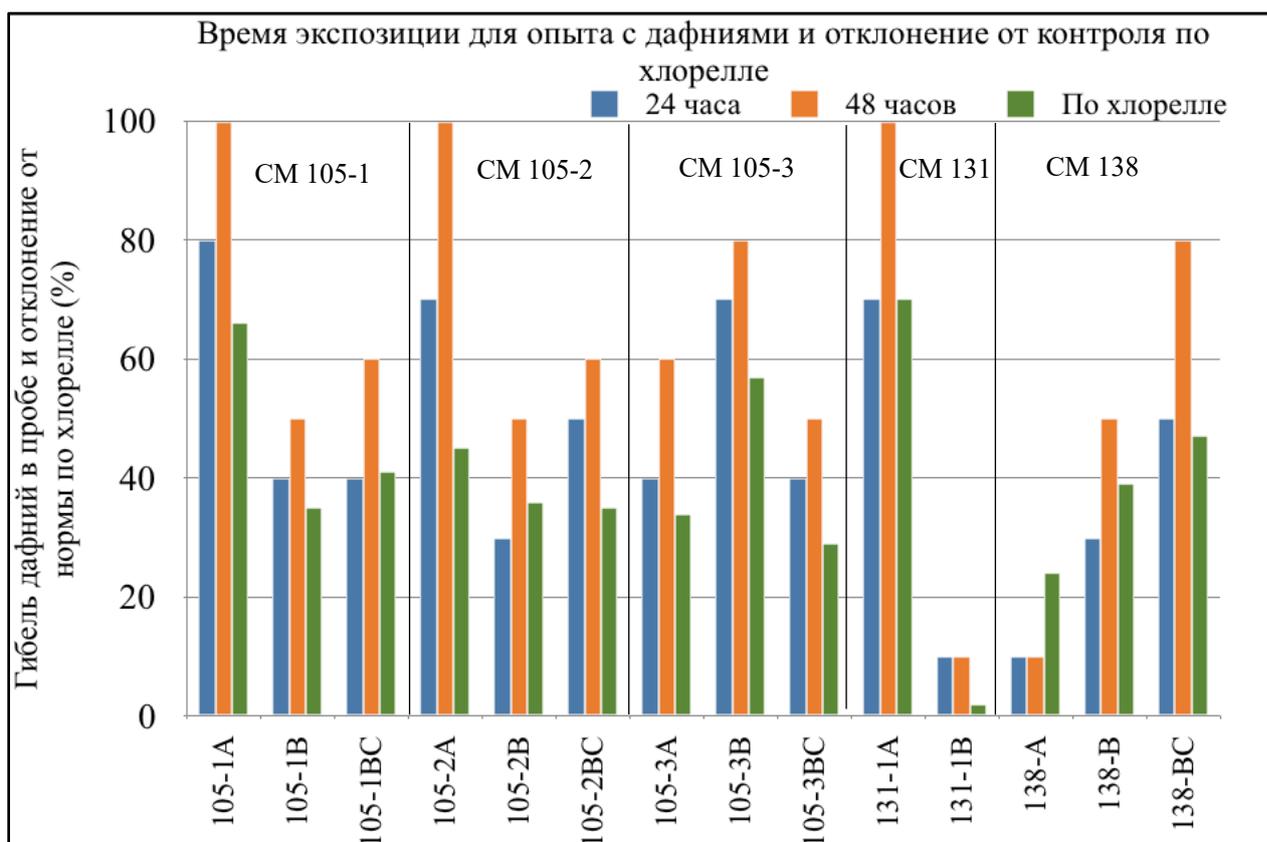


Рис. 7. Результаты биотестирования проб почв Берегового месторождения

- после 24 часов от начала проведения биотестирования было зафиксировано: 30 % гибель дафний в пробе 105-2B, 40% гибель в пробах 105-3A, 105-1B, 105-1BC, 105-3BC, 50% гибель и больше – в пробах 105-1A, 105-2A, 105-3B, 105-2BC;

Анализ определения токсического действия водных вытяжек на дафний *Daphnia magna* Straus показывает, что большинство образцов вызвали гибель 50% дафний в течение 48 часов экспозиции, что свидетельствует об остром токсическом действии тестируемой воды на тест-объект. Пробы 105-1А, 105-2А и 131-А вызвали 100% гибель дафний. Пробы 131-1В и 138-А оказались экологически безопасными, гибель тест-объекта составила 10%. Сопоставив результаты биотестирования с источниками антропогенного воздействия для данной территории, можно проследить зависимость между наличием скважины и смертностью дафний в органогенном горизонте. Общий тренд снижения токсичности с продвижением по почвенному профилю вниз наблюдается на станциях мониторинга вблизи куста скважин 105. Токсичность исследуемых проб связана с превышением фонового содержания для Cd, Zn и Pb в поверхностных горизонтах почв, обусловленное поступлением минеральных частиц от материала отсыпки и буровых растворов. Важно отметить, что токсичность проб почвы со станции 105-3 значительно ниже, чем у проб станций 105-1 и 105-2, а также условно-фоновой 131. Такая же тенденция прослеживается при анализе концентраций ТМ в почвах этих участков.

При проведении исследований с *C.vulgaris* критерием токсичности пробы воды является снижение средней величины оптической плотности по сравнению с контрольным вариантом на 20% и более в случае подавления роста тест-культуры или ее повышение на 30% и более при стимуляции ростовых процессов. На графике (рис.7) показано отклонение от контрольной пробы (дистиллированная вода) выраженное в %.

- В пробах 105-1А, 105-3В и 131-А было зафиксировано наибольшее снижение средней величины оптической плотности по сравнению с контрольным вариантом (более 50%). Это свидетельствует об остром токсическом действии тестируемых вод на тест-объект *C. vulgaris*;

- В пробах 105-2А, 105-3А, 105-1В, 105-2В, 105-1ВС, 105-2ВС, 105-3ВС было зарегистрировано снижение средней величины оптической плотности по отношению к контрольному варианту от 20 до 50%. Здесь также можно сделать вывод об остром токсическом действии тестируемых вод на тест-объект.

- В пробе 131-1В было обнаружено оптимальное снижение средней величины оптической плотности по сравнению с контрольным вариантом (меньше 20%). Это означает, что водные вытяжки этого образца не оказывают острого токсического действия на тест-объект.

Важно отметить, что результаты биотестирования двумя методами сопоставимы друг с другом. Согласно бланкам описания СМ 131 можно отнести к условно-фоновой, это подтверждают результаты биотестирования. Высокая токсичность органогенного горизонта может быть связана со специфическими ландшафтно-геохимическими условиями севера Западной Сибири – кислой реакцией среды, высоким содержанием полуторных окислов и большим количеством органических кислот в почвах (Опекунова и др., 2019). В связи с этим нарушается развитие тест-организмов, для которых оптимальными являются нейтральные условия среды.

Для биотестирования на территории Пырейного месторождения были отобраны 26 проб с 9 станций экологического мониторинга - 203 (условно фоновая), 203-1 (условно фоновая), 203-2 (условно фоновая), 204 (условно фоновая), 208 (контрольная - вблизи площадки прожигания факела), 208-1 (контрольная), 208-2 (контрольная), 208-3 (контрольная), 221 (контрольная -70 м от факельной отсыпки на СЗ от куста скважин К-5) (рис.8).

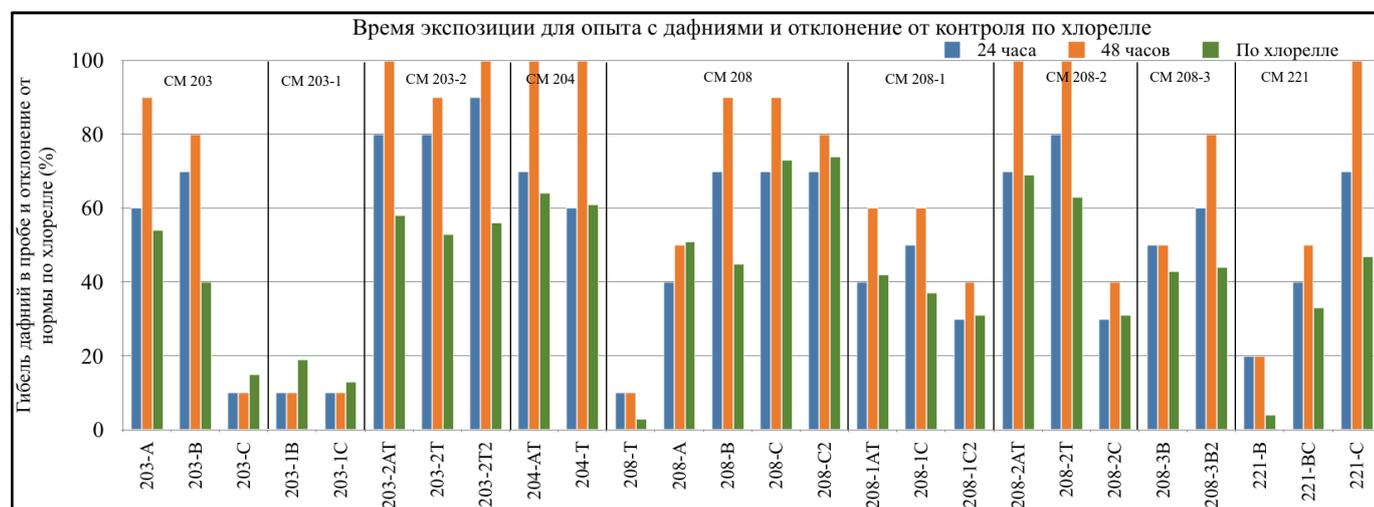


Рис. 8. Результаты биотестирования проб почв Пырейного месторождения

Анализ определения токсического действия водных вытяжек на дафний *D. magna* показывает, что наибольшей токсичностью обладают пробы 203-А, 203-2АТ, 203-2Т, 203-2Т2, 203-В, 204-АТ, 204-Т, 208-2АТ, 208-2Т, 221-С. Эти образцы вызвали гибель 50% дафний в течение 48 часов экспозиции, что свидетельствует об остром токсическом действии тестируемой воды на тест-объект. Пробы 203-1В, 203-С, 203-1С, 221-В и 208-Т – экологически безопасны, так как вызвали гибель не более 10% дафний. Для Пырейного месторождения интересно то, что наиболее загрязненными являются либо поверхностные слои почвы, либо нижние минеральные горизонты. Это обусловлено миграцией загрязняющих веществ по почвенному профилю в связи с промывным водным режимом. Так, например, накопление поллютантов на станции 221 происходит в горизонте С, что обусловлено вымыванием поступивших на поверхность почв пластовых вод. Однако на станции № 208 (вблизи станции прожигания факела) наиболее токсичными были пробы почвы с поверхностного горизонта.

Стоит отметить, что на станции мониторинга № 208 (контрольная) в торфяном горизонте, который характеризуется высокой кислотностью, токсичность по результатам биотестирования минимальна. Однако, на станции № 204 (фоновая) в торфяных горизонтах наблюдалась острая токсичность. Подобный парадокс можно связать с кислой средой исследуемых проб почвы. Так, например, на поверхностные горизонты фоновой станции мониторинга № 204 не оказывалось антропогенного воздействия, рН среды там составил 4,0 - 4,2 в то время, как на контрольной станции мониторинга № 208 водородный показатель был ближе к нейтральной среде. Такое изменение величины рН в ландшафтно-геохимических условиях севера Западной Сибири с кислой на нейтральную возможно при сбросе минерализованных пластовых вод. В процессе подщелачивания

кислая среда органогенных горизонтов нормализовалась, а токсичность нижележащих слоев контрольных площадок обусловлена поступлением в почвенные горизонты Na. Этим же объясняется ситуация на площадке № 221: Станция мониторинга ориентирована на контроль состояния наземных ПТК вблизи факельной отсыпки на СЗ от куста скважин К-5 (рис.9)



Рис. 9. Станция мониторинга № 221. Наблюдается иссушение растительности по краю отсыпки в зоне разлива пластовых вод (фото Опекуновой М.Г.).

Анализируя полученные данные после измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла *C. vulgaris* было зафиксировано в пробах 203-А, 203-2АТ, 203-2Т, 203-2Т2, 204-Т, 204-АТ, 208-А, 208-2АТ, 208-2Т, 208-С, наибольшее снижение средней величины оптической плотности по сравнению с контрольным вариантом (более 50%). Это свидетельствует об остром токсическом действии образцов на тест-объект *C. vulgaris*. В пробах 203-1В, 203-С, 203-1С, 208-Т и 221-В было обнаружено оптимальное снижение средней величины оптической плотности по сравнению с контрольным вариантом (меньше 20%). Это означает, что водные вытяжки этих образцов не оказывают острого токсического действия на тест-объект. Показательным для участков Пырейного месторождения также является сопоставимость двух методов биотестирования.

На территории Ямбургского месторождения были отобраны 7 проб поверхностных горизонтов почвы со станций мониторинга: СКВ 220-А, СКВ 223-А, СКВ 224-А, СКВ 225-А, СКВ 226-А, ПО-254АТ, ПО-254Т1 (рис.10). Все станции мониторинга ориентированы на контроль за возможным негативным воздействием при строительстве и ликвидации поисково-разведочных скважин Ямбургской площади.

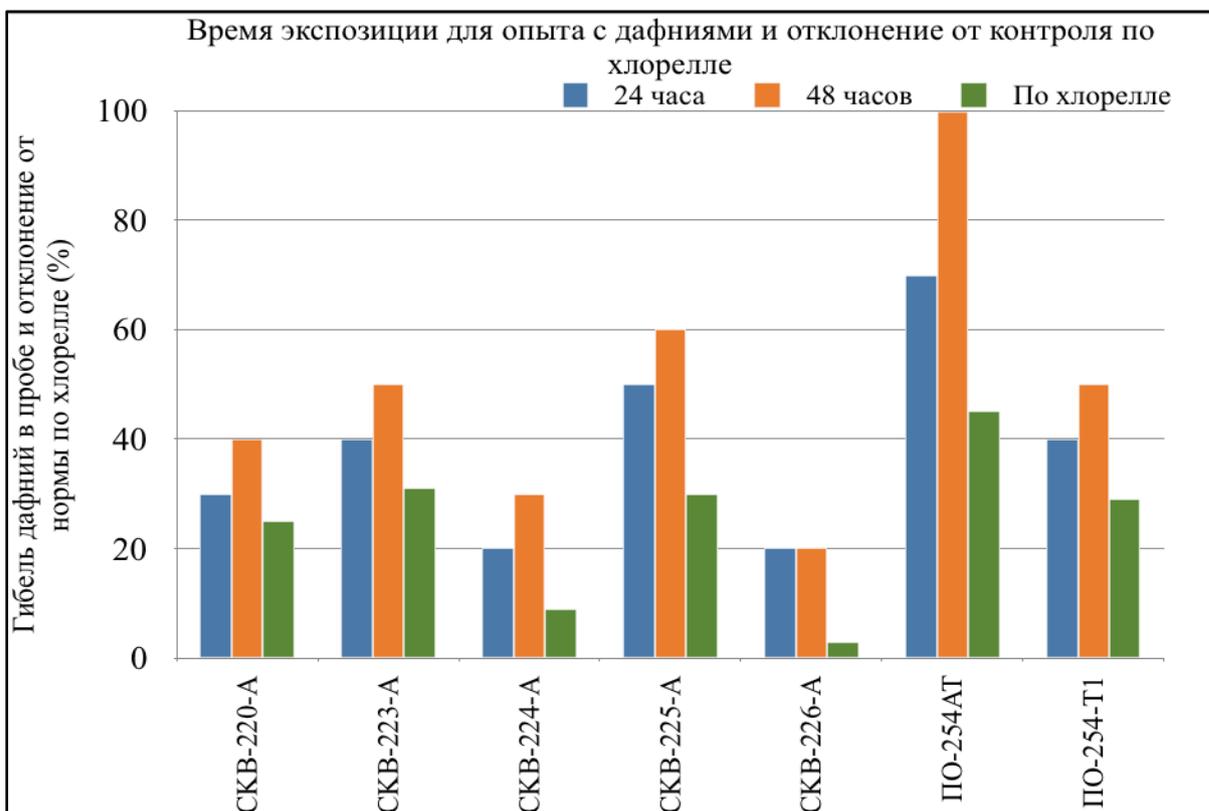


Рис. 10. Результаты биотестирования проб почв Ямбургского месторождения

Анализ определения токсического действия водных вытяжек на дафний *D. magna* показывает, что пробы СКВ-223, СКВ-225, ПО-254-АТ, ПО-254-Т1 вызвали 50% гибель дафний в течение 48 часов экспозиции, что свидетельствует об остром токсическом действии тестируемой воды на тест-объект. Ландшафты исследуемых территорий являются типичными тундрами на торфянисто-поверхностноглеевых суглинистых почвах. Растительность представлена кустарничково-мохово-лишайниковыми сообществами. Водородный показатель среды варьирует от 5,5 до 6,4 на станциях мониторинга вблизи скважин, где подрядная организация ведет работы по ликвидации скважины, в то время как на станции ПО-254 (работы закончены, отсыпка территории) рН равен фоновым значениям для ландшафтов севера Западной Сибири (4,0 - 4,2). По результатам биотестирования можно сделать выводы о наличии сброса минерализованных пластовых вод вблизи скважин. Именно этим объясняются низкие показатели токсичности в органогенных горизонтах почв: кислая среда нейтрализуется слабощелочными растворами пластовых вод.

Анализируя полученные данные после измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла *C. vulgaris* было зафиксировано в пробах СКВ - 220, СКВ - 223, СКВ - 225, ПО - 254-АТ, ПО - 254-Т1 снижение средней величины оптической плотности по отношению с контрольным вариантом от 20 до 50%. Это свидетельствует об остром токсическом действии образцов на тест-объект *C. vulgaris*. В пробах СКВ - 224 и СКВ - 226 было обнаружено оптимальное снижение средней величины оптической плотности по сравнению с контрольным вариантом (меньше 20%). Это означает, что водная вытяжка этих образцов не оказывает острого токсического действия на тест-объект.

Таким образом, проведенное биотестирование позволило выявить наиболее токсичные пробы. Результаты двух методик по *C. vulgaris* и *D. magna* сопоставимы и не противоречат друг другу. Результаты исследования позволяют сделать выводы о распределении загрязняющих веществ на контрольных и условно-фоновых станциях экологического мониторинга. При наличии сброса пластовых вод, загрязняющие вещества попадают в срединные горизонты. 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*. Рассматривая показатели по почвенному профилю на отдельно взятой точке можно судить о миграции поллютантов по стволу профиля, а вместе с тем и выделить очаги активного накопления загрязняющих веществ. Отбор проб из иллювиального и органического горизонтов обусловлен влиянием активной латеральной и радиальной миграцией поллютантов в почве.

3.3 Сопоставление результатов озоления и химического состава корки лиственницы

Дендроиндикация проводилась на 48 площадках (29 станций Берегового месторождения и 17 Пырейного). Проведено сухое озоление 40 проб корки лиственницы, определены ТМ с пересчетом мг/кг сухого вещества. Результаты сравнивались с данными 2017 года (на этих же площадках) Табл.3,4.

Таблица 3. Статистические характеристики химического состава корки лиственницы (2018 г.)

Вид	Параметр	Зольность	Ba	Mn	Zn	Cu	Ni	Co	Pb	Cd	Cr	Fe	V	Sr
<i>Береговой ЛУ</i>														
Larix sibirica (n=6)	Среднее	1,5	159	172	22	2,9	1,0	0,16	1,87	0,075	0,5	158	0,54	14,3
	Минимум	0,7	118	98	13	2,4	0,7	0,09	0,80	0,035	0,2	64	0,22	10,7
	Максимум	2,8	225	346	35	3,4	1,8	0,25	3,08	0,120	1,0	309	1,02	19,2
<i>Пырейный ЛУ</i>														
Larix sibirica (n=3)	Среднее	1,6	156	143	17	3,1	0,7	0,16	2,51	0,066	0,4	124	0,42	23,2
	Минимум	0,2	134	89	12	2,8	0,5	0,12	2,11	0,041	0,4	92	0,39	18,9
	Максимум	2,6	172	186	21	3,4	0,8	0,22	3,30	0,087	0,4	149	0,47	31,7
Кларк растений суши (Добровольский, 2003)			22,5	205	30	8	2	0,5	1,25	0,035	1,8	—	1,5	0,25

Таблица 4. Статистические характеристики химического состава корки лиственницы (2017 г.)

Вид	Параметр	Зольность	Ba	Mn	Zn	Cu	Ni	Co	Pb	Cd	Cr	Fe	V	Sr	Sc
<i>Береговой ЛУ</i>															
Larix sibirica (n=26)	Среднее	1,7	144	208	25	3,3	0,9	0,14	2,45	0,101	0,4	167	0,63	17,1	0,1
	Минимум	0,6	35	63	6	1,8	0,4	0,07	1,01	0,028	0,2	70	0,26	5,0	0,0
	Максимум	2,9	319	657	94	9,5	2,6	0,36	7,23	0,457	1,2	369	1,40	33,4	0,1
<i>Пырейный ЛУ</i>															
Larix sibirica (n=14)	Среднее	1,6	141	204	21	3,4	0,9	0,15	2,99	0,067	0,5	210	0,75	20,1	0,1
	Минимум	0,3	40	32	4	0,9	0,2	0,02	0,72	0,019	0,1	36	0,12	4,2	0,0
	Максимум	2,7	319	416	37	5,2	1,7	0,20	4,67	0,108	1,0	394	1,33	40,4	0,1
Кларк растений суши (Добровольский, 2003)			22,5	205	30	8	2	0,5	1,25	0,035	1,8	—	1,5	35	0,25

В ходе проведенного исследования были получены следующие данные:

- Средняя зольность корки лиственницы по площадкам Берегового месторождения составила 1,5 %, Пырейного месторождения 1,6 %, на 0,1 % меньше, чем результаты за 2017 год (1,7 % и 1,6 % для Берегового и Пырейного соответственно). Средние величины достоверно не различаются, это подтверждает расчет критерия Фишера для двух выборок на уровне значимости $\alpha = 0,05$ ($F_{эмп} = 1,04 < F_{кр} = 1,65$ для Берегового месторождения и $F_{эмп} = 1,05 < F_{кр} = 2,38$ для Пырейного). Расчет критерия Стьюдента для двух средних значений зольности по годам на каждом из месторождений показал, что средние двух выборок относятся к одной и той же совокупности. Существенного различия в значениях зольности корки лиственницы на каждом из месторождений в 2017-2018 гг. не выявлено.

Наиболее высокими значениями зольности (> 2 %) характеризуются контрольные станции расположенные вблизи локальных источников загрязнения, например: станция №106, расположенная в 100 м от куста скважин, №121 – в 350 м. от куста скважин, №225 в 300 м. от автодороги, напротив въезда на месторождение, № 208 - вблизи площадки прожигания факела и др. На этих участках зафиксированы следы вторичной сукцессии и слабая нарушенность растительного покрова – индикаторы пожара. Минимальные значения зольности (0,7 - 0,9 %) зафиксированы на площадках № 126 – в 200 м от куста скважин, на берегу старицы реки Вэнткойяха; № 212 – вблизи от ВЖК и ВЗС.

- Средняя зольность на контрольных площадках составляет 1,67 %, в то время как на условно-фоновых станциях мониторинга среднее значение зольности корки лиственницы более чем в 1,5 раза меньше и составляет 1,02 % (рис.11). Расчет критериев Стьюдента и Фишера для двух выборок (условно-фоновые и контрольные СМ) показал, что при 5% уровне значимости между выборками имеются различия по степени однородности такого показателя, как зольность. На контрольных станциях мониторинга зольность в среднем выше, чем на фоновых. В эксперименте $t_{эмп} = 3,93 > t_{кр} = 2,02$. По критерию Фишера выборки достоверно различаются.

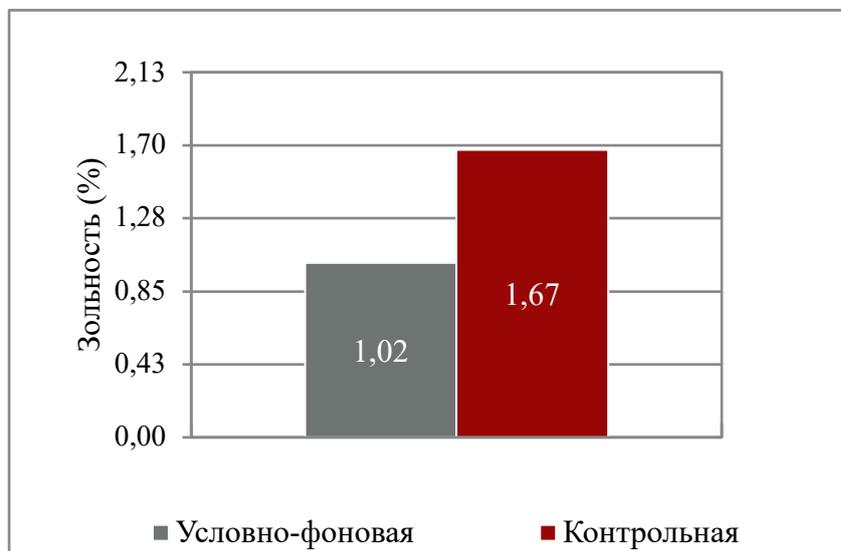


Рис. 11. Средняя зольность корки лиственницы на контрольных и фоновых площадках Берегового и Пырейного ЛУ.

Эта разница в средних значениях может быть вызвана накоплением загрязняющих веществ через осаждение мелких частиц на корке лиственницы вблизи локальных источников загрязнения (автомобильная дорога, разрабатываемые месторождения, на которых размещается тяжелая техника и оборудование, работающее на дизельном топливе, и др.).

Среднее содержание Ва в изученных пробах более чем в 6 раз превышает Кларк растений суши (по Добровольскому) (рис.12). Существенные превышения наблюдаются по Mn, Pb и Cd. Содержание Pb в пробах Берегового месторождения превышает Кларк в 2 раза, по пробам с Пырейного – в 2,5. По кадмию зафиксированы превышения почти в 3 и 2 раза для Берегового и Пырейного месторождений соответственно. Следует отметить, что в сравнении с Кларком для растений суши в пробах с исследуемых площадок в 2 раза меньше Cu, Ni, V и Sr, а в 3 раза меньше таких элементов, как Co, Cr, и Sc.

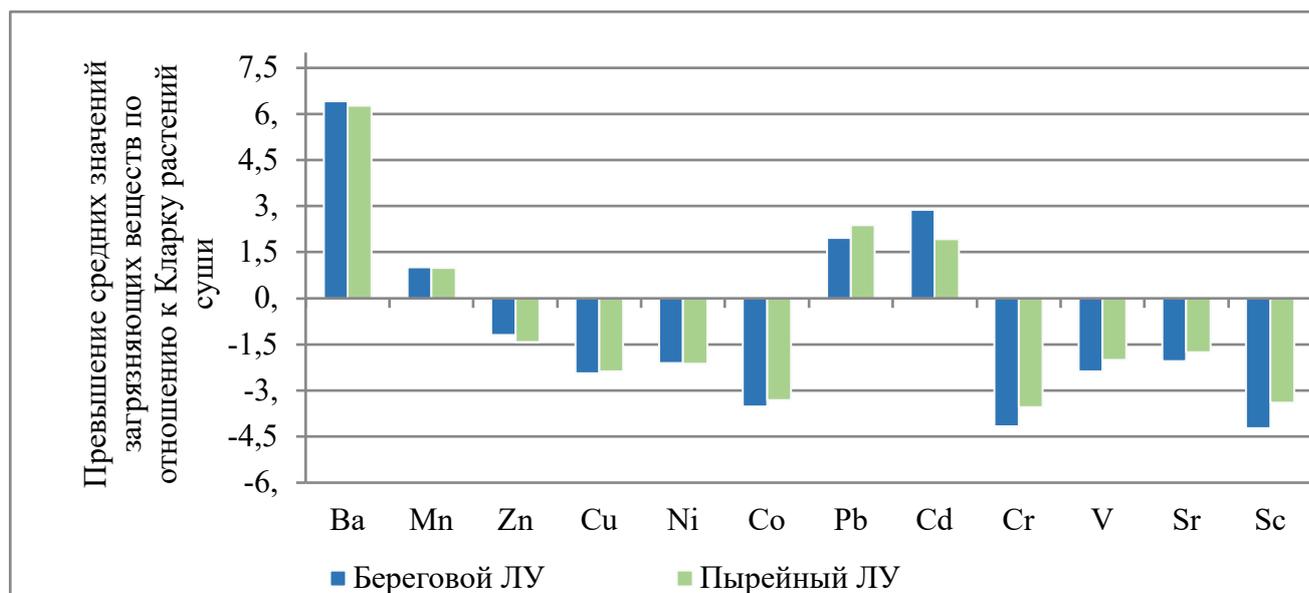


Рис. 12. Отношение среднего содержания химических элементов в корке лиственницы к Кларку для растений суши (по Добровольскому) для исследованных участков.

Расчет коэффициентов биологического поглощения, представляющих собой частное от деления содержания химического элемента в сухом веществе растения на его содержание в почвообразующей породе или в почве, на которой произрастает данное растение, показал, что значениями КБП >1 характеризуются Mn и Zn, максимальным коэффициентом обладают растения с площадки № 208 Пырейного месторождения, расположенного вблизи площадки прожигания факела. Для Cu и Cd коэффициент биологического поглощения составляет 0,5; по таким элементам как Ni, Co, Cr и Fe значения КБП не достигает и 0,1. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что вблизи источника антропогенного нарушения происходит активное вовлечение Mn и Zn в биологический круговорот, путем поглощения этих элементов из почвы и накопление в корке лиственницы.

Таким образом, показатели общей зольности позволяют судить о том, что на контрольных площадках в корке лиственницы накапливается больше элементов, в первую очередь Ba, Mn и Zn, что свидетельствует о наличии загрязнения почвенного покрова на данных территориях. Помимо этого, наблюдаются превышения Pb и Cd, что может быть связано с наличием атмосферного загрязнения от близкого расположения автомобильных дорог и факельных установок.

3.4 Корреляционный и факторный анализы полученных данных химического состава проб почв и биотестирования

Результаты биотестирования с применением тест-объектов *C. vulgaris* и *D. magna* показали высокую степень сходимости: коэффициент парной корреляции между процентом гибели *D.magna* и оптической плотностью *C.vulgaris* достигает 0,89, в то время как критическое значение при уровне значимости $p = 0,05$ составляет 0,36.

Было выявлено, что основными источниками загрязнения в пределах изученных лицензионных участков служат строительство скважин, движение автотранспорта и складирование буровых отходов в шламовые амбары. На практике часто наблюдается разрушение стенок амбаров и сток отходов в тундру, накопление поллютантов в почвенных горизонтах, что приводит к деградации растительности на подвергшихся загрязнению участках за пределами промышленных площадок. Это утверждение подтверждают данные полевых описаний и проведенные эксперименты по биотестированию.

В связи с этим важным представляется идентификация поллютантов-индикаторов загрязнения ПТК буровыми отходами. Проследить взаимосвязь позволяет корреляция смертности дафний *D.magna* при воздействии токсических веществ в водной вытяжке и измерение оптической плотности культуры водоросли *C.vulgaris* с концентрациями изученных загрязняющих веществ (рис.13).

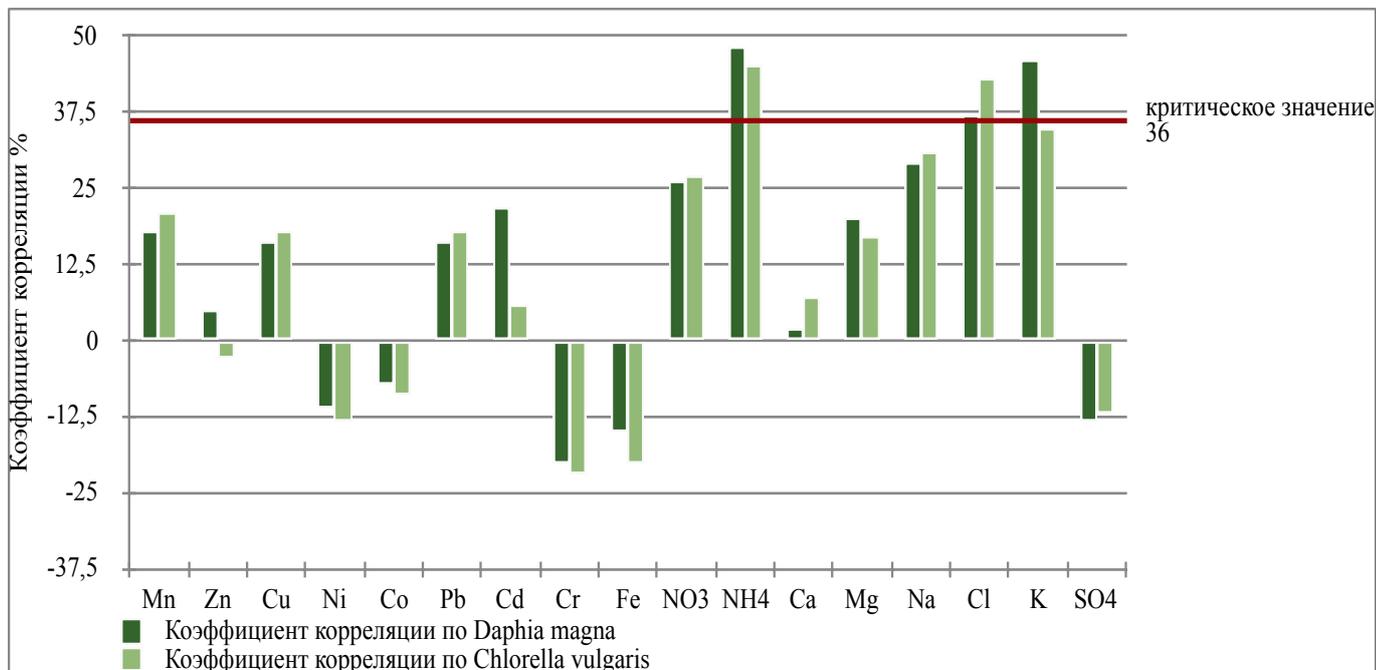


Рис. 13. Статистические зависимости токсичности проб от концентрации загрязняющих веществ по результатам биотестирования для *D. magna* и *C. vulgaris*.

Из изученного перечня загрязняющих веществ достоверная положительная корреляция токсического воздействия на тест-объекты установлена с содержанием в водной вытяжке амонийного азота (NH_4) с корреляцией $r=0,48$ и $0,45$ для *D. magna* и *C. vulgaris* соответственно, хлоридов (Cl) ($r=0,37$ и $0,43$), калия (K) ($r=0,46$ и $0,35$) и натрия (Na) ($r=0,29$ и $0,31$). Хлориды проявляют себя как индикаторы загрязнения почв буровыми шламами. С учетом этих результатов и анализа источников можно сделать вывод, что на ландшафты севера Западной Сибири, в которых относительно низки скорости латеральной миграции вещества, наиболее губительно воздействие засоления почв, имеющее место при сбросе пластовых вод и аварийных разливах отработанных буровых растворов.

Метод главных компонент факторного анализа подтвердил, что на содержание ТМ в растениях, которые характеризуются высокой вариабельностью, сильно влияет техногенез. Рядом с производственными объектами промыслов на формирование микроэлементного состава растений влияют поступление шламовых вод в почвенный покров (Ba), а также аэротехногенный перенос поллютантов от факельных установок, с отсыпных производственных площадок и автодорог (Pb—Cd). Это положение подтверждается результатами биотестирования и литературными источниками (Опекунова и др., 2018).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при написании данной курсовой работы, были изучены, освоены и опробованы несколько различных методов физико-химического анализа, биотестирования и дендроиндикации. Получены важные теоретические знания в области применения методов биоиндикации для проведения экологического мониторинга, подтверждены положения о необходимости применения биологических методов контроля состояния среды. На основании результатов исследования можно сделать следующие выводы:

1. При проведении локального мониторинга на территории добычи газа и газоконденсата фиксация малозаметных изменений окружающей среды на основе изучения только элементного состава компонентов ПТК 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. Изучение корки лишайницы в рамках дендроиндикации позволяет оценить продолжительное воздействие аэротехногенного переноса поллютантов.

4. На ландшафты севера Западной Сибири, в которых относительно низки скорости латеральной миграции вещества, наиболее губительно воздействие засоления почв, имеющее место при сбросе пластовых вод и аварийных разливах отработанных буровых растворов.

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

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

Выражаю благодарность коллективу научно-исследовательской группы ИНОЗ СПбГУ и лично руководителю Опекуновой М.Г.

Список литературы

1. Александрова В. В. *Биотестирование как современный метод оценки токсичности природных и сточных вод: Монография.* — Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2013.
2. Алексеев Ю.В. *Тяжелые металлы в почвах и растениях.* Л.: Агропромиздат, 1987. - 142 с.
3. Артамонов В. *Зеленые оракулы.* М: Мысль. 1989.
4. Биотестирование вод, загрязненных поверхностно-активными веществами // *Известия Академии наук, сер. биологическая.* 1992. № 3. 452—458 с.
5. Бурко Р. А., Т. Т.. Экологические проблемы современного общества и их пути решения . *Молодой Ученый,* 2013.
6. Вайнерт Э., Вальтер Р., Ветцель Т., Егер Э., Клоц Б. *Биоиндикация загрязнений наземных экосистем.* (Р. Шуберт, Д. А. Криволицкий, Ред., В. А. Турчанинова, Г. И. Лойдина, Перев.) М: Мир. 1988.
7. Виноградов А.П. *Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах.* М.: Изд-во АН СССР, 1957. -234 с.
8. Влияние загрязнений воздуха на растительность. Причины. Воздействие. Ответные меры. / Под ред. Х. -Г. Дасслера. -М.: *Лесная промышленность,* 1981. -184 с.
9. Гумбольдт А. фон. *О физиогномике растений* / Пер. с нем. А. Ф. Севастьянова. — СПб.: Имп. АН, 1823
10. Добровольский В. В., *Основы биогеохимии: Учебник для студ. высш. учеб. заведений.* М., 2003. -227 с.
11. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва растение. Новосибирск: Наука, 1991. -151 с.
12. Капелькина Л. П., Чугунова М. В., Бардина Т. В., Малышкина Л. А., Герасимов А. О., Оценка токсичности буровых шламов // *Токсикологический вестник* 6. 2013. 46–52 с.
13. Каплин В. Г. *Биоиндикация состояния экосистем. Учеб. пособие для студентов биол. специальностей ун-тов и с.-х. вузов.* Самара: Самарская ГСХА. 2001.
14. Кукушкин С.Ю., Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю. Оценка загрязнения почв тундр на участках поисково-оценочного бурения (Ямало-Ненецкий автономный округ). *Отходы, причины их образования и перспективы использования: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф.* / Краснодар: КубГАУ, 2019. 325-328 с.
15. Левич А. П., Терехин А. Т. Метод расчета экологически допустимых уровней воздействия на экосистемы (метод ЭДУ). *Водные ресурсы* №3, 1997.
16. Мелехова О. П., Сарапульцева Е. И. *Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование* // М. Издательский центр «Академия», 3-е изд. 2010.
17. Мукминов М. Н., Шуралев Э. А. *Методы биоиндикации: учебно-методическое пособие.* Казань: Казанский университет. 2011.
18. Опекунов А.Ю., Ганул А.Г. *Теория и практика экологического нормирования в России. Учебное пособие.* СПб: изд-во С.-Петербур. ун-та, 2014. -332 с.
19. Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Кукушкин С. Ю., Ганул А. Г. Оценка экологического состояния природной среды районов добычи нефти и газа в ЯНАО // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7: Геология, география.* 2012. Вып. 4. 86-100 с.
20. Опекунова М. Г. *Биоиндикация загрязнений: учеб.пособие.* Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский Государственный университет. 2016.
21. Опекунова М.Г. Диагностика техногенной трансформации ландшафтов на основе биоиндикации. *Автореферат дисс. на соискание ученой степени док. геогр. наук:* 25.00.23. СПб, 2013.
22. 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. 326–344 с.
23. Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. – М.: РЭФИА, *НИА–Природа,* 2002. – 118 с.
24. Смит У. Х. *Лес и атмосфера.* М. 1987.
25. Степановских А. *Экология. Учебник для вузов.* М: Юнити-Дана. 2001.

26. Сукачѳв В. Н. Зонн С. В. *Методические указания к изучению типов леса. 2-е изд.* М: АН СССР. 1961.
27. Чеснокова, С. М. *Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2. Методы биотестирования* / Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008.
28. Экологический мониторинг Ямало-Ненецкого автономного округа. *Справочник по применению средних региональных значений содержания контролируемых компонентов на мониторинговых полигонах при оценке состояния и уровня загрязнения окружающей среды на территории Ямало-Ненецкого автономного округа.* Братск, 2014. -19 с.
29. Clements F. E.. *Plant Indicators.* 1920
30. Cropp R., Gabric A. *Ecosystem adaptation: do ecosystems maximize resilience?* // Ecology. 2002.
31. Pimentel D. *Human Ecology magazine,* 2017. 36-40 с.

Интернет источники

1. Годовой отчет ПАО «Газпром нефть» за 2016 г. Электронная версия (2017);
<http://ar2016.gazprom-neft.ru/#company-today> Дата обращения: 09.11.2018
2. Самойлова Г. С., Чистякова Н. Ф. и др. ЯМАЛО-НЕНЕЦКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ // Большая российская энциклопедия. Электронная версия (2017);
<https://bigenc.ru/geography/text/4926339> Дата обращения: 18.03.2019
3. Постановление Правительства Ямало-Ненецкого Автономного Округа от 25 декабря 2013 года N 1135-П «Об утверждении государственной программы Ямало-Ненецкого Автономного Округа “Охрана окружающей среды на 2014-2021 годы”»;
<http://docs.cntd.ru/document/453125387> Дата обращения: 15.03.2019
4. Kukushkin S., Opekunova M., Opekunov A., Arestova I., Nikitina M. Assessment of the transformation of natural complexes in the of oil and gas production areas of North (north of Western Siberia). References: 17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2017
www.sgemiennagreen.org Дата обращения: 03.03.2019