



УДК 571.511 + 581.526.33 +504.054

Л.В. Карпенко

ДИАГНОСТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ БОЛОТ В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

В статье приведены результаты экологического состояния растительности гидроморфных ландшафтов в зоне аэротехногенных выбросов предприятий Норильского промышленного района. Установлено, что растительность болотных ландшафтов, находящихся в непосредственной близости от факела выбросов, испытывает сильный техногенный пресс.

Ключевые слова: болота, растительность, поллютанты, трансформация фитоценоза.

L. V. Karpenko

THE ECOLOGICAL STATE DIAGNOSTICS OF SWAMP VEGETATION IN THE AEROTECHNOGENIC POLLUTION CONDITIONS

The results of the ecological state of the hydro-morphic landscape vegetation in the zone of aerotechnogenic emissions of the Norilsk industrial region enterprises are given in the article. It is established that the vegetation of swamp landscapes located next to the emission flame experience the strong technogenic press.

Key words: swamps, vegetation, pollutants, phytocoenosis transformation.

Введение. Предприятия Норильского промышленного района (НПР) уже более 70 лет являются основным источником аэротехногенного загрязнения атмосферы и почв криолитозоны Красноярского края. Преобладающими компонентами выбросов этих предприятий являются диоксид серы и тяжелые металлы. В общем объеме Норильский комбинат в год выбрасывает в атмосферу примерно около 2 млн т загрязняющих веществ, что превышает уровень загрязнения в Красноярске в 6,9 раза [1]. Негативные воздействия этих выбросов на лесотундровые и лесные экосистемы прослеживаются на десятки километров от источника, однако максимальному техногенному прессу подвержены низменные центральные участки Норильской котловины на отрезке расстояния от НПР примерно 0–70 км [2].

Цель исследований. Дать визуальную оценку экологического состояния растительности болот, расположенных в непосредственной близости от источника выбросов, и на основе метода биоиндикации, т.е. определения биологически значимых антропогенных нагрузок, сравнить концентрации поллютантов – меди, никеля, кобальта, свинца и серы в растениях-индикаторах фонового и изучаемого болотных массивов.

Объекты и методы исследований. Объектами наших исследований являлись гидроморфные экосистемы лесотундры Средней Сибири, которые непосредственно находятся в зоне факела выбросов НПР (в 30 км на юг). Географические координаты исследований – 69°07' с.ш., 88°49' в.д. Исследования проводились в Норильской котловине, по которой протекает р. Рыбная и ее многочисленные притоки. Здесь абсолютно доминируют мохово-лишайниковые тундры в сочетании с обширными массивами плоскобугристых болот, в которые вкраплены разрозненные островки березово-лиственничных мохово-лишайниковых редин.

Краткое описание территории района исследований. В геоморфологическом отношении она представляет собой низменную аккумулятивную равнину водно-ледникового генезиса, подверженную устойчивым неотектоническим опусканиям. Фоновые высоты составляют 60–100 м и последовательно нарастают к югу. Поверхность в целом плосковолнистая с преобладающими уклонами 0–1°. Равнинный рельеф местами нарушается увалообразными и гривистыми формами, часто по межгривным понижениям встречаются озера [3]. Повсеместно распространена длительная мерзлота, которая залегает на глубине в среднем 0,5–0,6 м и выполняет роль водоупора. По этой причине равнинные участки поверхности с малыми уклонами дренируются недостаточно и почти сплошь заболочены.

В ботанико-географическом отношении это подзона равнинных лесотундр, в которых главными зональными компонентами растительности являются низкопродуктивные леса северотаежного облика и мохово-лишайниковые тундры. Характерными элементами ландшафта являются также мерзлые мохово-лишайниковые болота, образующие обширные комплексы с тундрами и лесными рединами.

Объектом наших исследований являлось евтрофное осоково-пушицево-гипновое болото, расположенное в неглубокой водораздельной депрессии. Питание болота осуществляется водами ручьев, стекающих со склонов хребта Тагенара (Норильское плато), а также атмосферными осадками и водами тающей мерзлоты. Основными методами исследований являлись геоботанический, биоиндикационный и метод атомно-абсорбционной спектроскопии.

Геоботаническое описание растительности проводилось в соответствии с топологическими условиями и признаками морфологической дифференциации болотного массива – рельефа (макро-, мезо-, микро-, нанорельеф, форма, размер бугров, гряд, мочажин) и увлажнения (атмосферное, грунтовое, пойменное и т.д.). Оценка обилия растительности болотных группировок выполнялась визуально по проективному покрытию с использованием шкалы О. Друде и отметкам о жизнеспособности различных видов, их высоте и проективном покрытии.

В наших исследованиях в качестве биоиндикаторов служили доминанты растительного покрова болот: сфагновые (*Sphagnum fuscum*, *S. rubellum*) и гипновые мхи (виды родов *Drepanocladus*, *Polytrichum*, *Dicranum*), лишайники (*Cladonia rangiferina*, *C. stellaris*, *C. amaurocraea*, *Peltigera aphthosa*) и морошка (*Rubus chamaemorus*).

Химические анализы на содержание валовых форм тяжелых металлов – меди, никеля, кобальта и свинца, а также серы, в растениях-индикаторах были выполнены в сертифицированной лаборатории Института биофизики СО РАН (г. Красноярск) с использованием метода атомно-абсорбционной спектроскопии.

При сравнительной оценке в качестве фона использовались те же виды болотных растений, отобранные на болотном массиве в долине р. Черной (правобережный приток Енисея, 240 км на юго-запад от источника выбросов).

Результаты исследований и их обсуждение. В биоиндикации используются следующие морфологические признаки изменения растений: 1) изменение окраски листьев (неспецифическая, реже специфическая реакция на различные поллютанты); 2) хлороз – бледная окраска листьев между жилками (при избытке в почве тяжелых металлов и при газодымовом загрязнении воздуха); 3) покраснение листьев, связанное с накоплением антоциана (наблюдается под действием сернистого газа); 4) дефолиация (например, осыпание хвои при газодымовом загрязнении воздуха). Другими признаками антропогенного загрязнения тяжелыми металлами и диоксидом серы является изменение размеров и формы органов растений, их жизнеспособности (изреживание кроны, уменьшение прироста, снижение бонитета и др.), изменение продуктивности, уменьшение плотности (количество особей на единицу площади) и т.д. [4].

Приведем геоботаническую и экологическую характеристику болотной растительности. Микрорельеф болота образуют плоские торфяные бугры с мерзлым минеральным ядром, мочажины различной степени увлажнения, микроповышения (остатки деградированных сфагновых гряд, состоящие из собственно бугра, валиков и пятен «выливания»), пятна деградированного «голового» торфа и многочисленные озера, различные по площади и глубине.

Естественный растительный покров плоскобугристых комплексов сильно нарушен, лишь кое-где в единичном количестве встречаются низкорослый багульник (*Ledum decumbens*) и кассандра (*Chamaedaphne calyculata*). На отдельных кочках и бугорках растут злаки – вейник (*Calamagrostis langsdorffii*, *C. neglecta*), овсяница овечья (*Festuca ovina*) и алтайская (*F. altaica*), мятлик (*Poa palustris*), зубровка (*Hierochloa spp.*), в микропонижениях – морошка, водяника, звездчатка (*Stellaria spp.*), хвощ полевой (*Equisetum arvense*.) Общее покрытие бугра – sp.-sol. Мохово-лишайниковый покров на поверхности бугров отсутствует.

Растительность мочажин с открытой водной поверхностью представлена мощными зарослями пушиц: многоколосковой (*Eriophorum polystachyon*), Шейхцера (*E. scheuchzeri*) и рыжеватой (*E. russeolum*). Рыхлый моховый ковер, имеющий характер сплавин, на 100 % образован гипновыми мхами *Meesia triquetra*, *Drepanocladus fluitans*, *D. lycopodioides*, переплетенными талломами печеночных мхов (*Cephalozia connivens* (Dicks) Spruce).

В сухих, начинающих деградировать мочажинах, в растительном покрове доминируют осоки круглолистная (*Carex rotundata*) и прямостоячая (*C. stans*), а также пушицы, вейники, хвощ, морошка, багульник, обилие которых не более sp.-sol.

Растительный покров моховых гряд сильно деградирован и представлен единичными сухими мертвыми листовницами. Поверхность гряд и бугорков обильно покрыта отмершими стволами и сучьями ив и карликовой березы, отбеленных кислотными дождями. Здесь же растут низкорослая (высота 3–5 см) морошка с красно-фиолетовыми листьями и цветущий багульник, у которого отсутствуют вегетативные побеги и листья оранжевого цвета. Живой моховый покров отсутствует. Вероятно, раньше на месте этой раститель-

ной ассоциации были лишайниково-кустарниковые тундры, так как на поверхности деградированного торфа остались пятна от кладоний и цетрарий, но лишайники сильно разрушены и не поддаются идентификации.

Валики, окаймляющие пятна выливания, заняты *ивняково-разнотравной группировкой растительности*, в первом ярусе которой доминируют различные виды ив, а во втором – пушицы, вейник, хвощ, осоки, а также мытник (*Pedicularis palustris*) и нардоsmithия (*Nardosmia frigida*). Пятна “выливания” преимущественно заняты *разнотравной группировкой растительности*. Ее образуют хвощ, пушица, вейник, осоки, покрытие которыми не превышает *sp.-sol*. В отдельных пятнах редко встречаются мытник, соссюрея (*Saussurea parvifolia*) и кипрей (*Epilobium palustre*).

Пятна “голово” торфа заняты редко растущей пушицей рыжеватой и Шейхцера, осоками вздутой, плетивидной и прямостоячей и сильно деградированными зелеными мхами. По краям пятен имеются валики из торфа, на которых растут вейник незамечаемый, овсяница овечья, мятлик арктический и болотные кустарнички высотой 3–5 см. Багульник, кассандра и морошка имеют проективное покрытие не выше *sol*. Кустарнички распластанной формы, их листья пожухлые, красно-фиолетового цвета. Деградированный моховый покров по крайкам пятен образован *Drepanocladus aduncus*, *D. lycopodioides*, *Meesia triquetra*.

Озера – важный элемент микрорельефа болот в долине р. Рыбной. Размер их различный – от мелких до крупных. Дно озер обычно торфяное, глубина от 0,5 до 2,5 м. У берегов озер часто встречается осоково-пушицево-гипновая сплавина. Первый ярус травянистой растительности высотой 60–70 см образуют осоки водяная, прямостоячая, пушицы многоколосковая и Шейхцера, хвощ болотный и арктофила рыжеватая (*Arctofila fulva*). Проективное покрытие этими растениями – *cop.2 – cop.1*. На кочках у озер обычны осока дернистая (*Carex caespitosa*) и вейник Лангсдорфа. Во втором ярусе высотой 20–30 см доминируют крестовник арктический (*Senecio arcticus*) и хвостник обыкновенный (*Hippurus vulgaris*), образующие на голом торфе по берегам озер обильно заросшие поляны. На моховом ковре из *Drepanocladus aduncus*, *D. fluitans* в самых обводненных местах встречается низкорослый сабельник угнетенного вида и лютик Палласа (*Ranunculus pallasii*), образующий мощные заросли.

Как следует из вышесказанного, на положительных формах микрорельефа произошла значительная трансформация исходного состояния болотного фитоценоза, о чем свидетельствует неестественная окраска листьев болотных кустарничков, изменение их высоты и формы куста, низкое обилие и проективное покрытие, смена эдификаторных и доминантных групп болотных растений. А растительный покров сильно увлажненных мочажин и озер вполне соответствует зональному.

Проанализируем далее содержание элементов токсикантов в растениях-индикаторах и сравним их содержание с условно фоновыми значениями. Растения интенсивно поглощают химические элементы из почвы и воздуха, поэтому они являются информативными для оценки параметров и степени загрязнения. Отмечено, что для тундровой зоны характерна единая направленность биогенного потребления химических элементов всеми растениями, особенно активно концентрируются в них N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Ni и др. [5]. Подвижность элементов прямо зависит от характера и режима увлажнения, кислотности среды, геохимических барьеров, литогенной основы.

Результаты химического анализа болотных растений-индикаторов фонового и исследованного болот представлены в таблице.

Содержание валовых форм тяжелых металлов и серы в растениях-индикаторах фонового и исследуемого болота, мг/кг

Ключевой участок	Cu	Ni	Co	Pb	S
Зеленые мхи					
Черная	7,4	6,6	0,9	8,1	1802
Рыбная	365,9	855,2	26,0	15,3	6190
Сфагновые мхи					
Черная	4,3	1,4	0,1	2,4	1065
Рыбная	336,5	644,2	21,3	21,8	3450
Морошка (листья)					
Черная	5,9	1,8	0,05	0,2	3111
Рыбная	50,0	114,1	4,1	6,1	7733

Примечание. Все значения концентраций в таблице округлены до десятых долей.

Оценка уровня загрязнения по накоплению элементов поллютантов в болотных растениях показала следующее. Концентрация меди в зеленых мхах превышает фон в 49,4 раза, никеля – в 129,6, кобальта – в 28,9, свинца – в 1,8, серы – в 3,4 раза. Превышение концентрации тяжелых металлов и серы в сфагновых мхах составляет по меди – 78,2 раза, никелю – 460,1, кобальту – 213,0, свинцу – 9,1, сере – 3,2 раза. Необходимо отметить, что сфагновый покров болота полностью деградировал, а образцы для анализа мы нашли и отобрали совершенно случайно в защищенном от ветра выходом скального грунта в сухом микропонижении болота.

Содержание поллютантов в листьях морошки исследованного болота показало, что концентрация меди в них выше фона в 8,5 раза, никеля – в 63,4, кобальта – в 82,0, свинца – в 30,5, серы – в 2,5 раза.

Заключение. Установлено, что на болотном массиве, расположенном в долине р. Рыбной, в зависимости от локализации по элементам микрорельефа состояние растительности оценивается в диапазоне крайних значений: сильно (тотально) нарушенная – на мерзлых буграх пучения, сильно или умеренно нарушенная – в талых мочажинах, ненарушенная – в болотных озерах. На грядах и буграх пучения из растительного покрова полностью выпали лиственница, березы карликовая и тощая (*B. exilis*). Из ив произрастают только низкорослые формы: *Salix glauca*, *S. lanata*, *S. hostata*, *S. Bogojadensis* и др. Болотные кустарнички – багульник, кассандра – имеют распластанную форму куста и почти полное отсутствие вегетативных побегов. Листья кустарничков неестественного цвета, красно-фиолетовые или оранжевые с коричневым оттенком, со следами ожогов серной кислотой и других реагентов. Произошла активизация злаков и разнотравья, которые не свойственны болотным местообитаниям.

Моховый покров гряд и мочажин сильно деградирован (произошло полное выпадение из растительного покрова сфагнового мха), происходит частичная деградация гипновых мхов, особенно в сухих мочажинах. Из-за большой чувствительности лишайников к токсичным веществам полностью разрушен лишайниковый покров болота. Лишь белесые и обугленные пятна на сухих торфяных подушках свидетельствуют о былом распространении здесь кладоний и цетрарий.

Известно, что гидроморфные экосистемы имеют специфическую ответную реакцию на негативное техногенное влияние [5]. На болотах велика роль узлокальных эдафических факторов (в первую очередь характера и степени увлажнения) в трансформации степени воздействия деструкций. Обильное проточное увлажнение, как правило, существенно снижает уровень дигрессивных изменений в растительном покрове. Вероятно поэтому, несмотря на то, что концентрации загрязняющих элементов в десятки (медь) и сотни раз (никель и кобальт) превышают фоновые, растительность болот влажных местообитаний (проточные мочажины и озера) по облику близка зональной.

Литература

1. Материалы website // http://www.fil_nikel-report-bellona-2010.ru.
2. Леса Красноярского Заполярья /А.П. Абаимов, А.И. Бондарев, О.А. Зырянова [и др.]. – Новосибирск: Наука, 1977. – 208 с.
3. Горожанкина С.М., Калашников Е.Н., Карпенко Л.В. Ландшафтные закономерности структуры растительного покрова западных отрогов гор Путорана // География и природные ресурсы. – 2005. – № 3. – С. 75–79.
4. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере /В.К. Жиров, Е.И. Голубева, А.Ф. Говорова [и др.]. – М.: Наука, 2007. – 166 с.
5. Природная среда Ямала /В.Р. Цибульский, Э.И. Валеева, С.П. Арефьев [и др.]. – Тюмень: Ин-т проблем освоения Севера СО РАН, 1995. – Т. 2. – 104 с.
6. Определение пределов устойчивости геосистем на примере окрестностей Мончегорского металлургического комбината /А.Д. Арманд, В.В. Кайданова, Г.В. Кушнарёва [и др.] // Изв. Акад. наук. – 1991. – № 1. – С. 93–104.

