

УДК 581.542.441 : 581.524.34(571.51)

**М.Ю. Телятников  
С.А. Пристяжнюк****M. Telyatnikov  
S. Pristyazhnyuk****НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ВОЗДУШНЫХ ВЫБРОСОВ ПРЕДПРИЯТИЙ  
Г. НОРИЛЬСКА НА РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ТУНДРЫ И ЛЕСОТУНДРЫ****NEGATIVE EFFECT OF NORILSK FACTORIES EMISSIONS ON TUNDRA AND  
FOREST-TUNDRA VEGETATION**

Проведены исследования по выявлению влияния воздушных выбросов предприятий г. Норильска на растительный покров прилегающих территорий. Была изучена как фоновая (антропогенно не нарушенная) растительность ключевых участков, так и растительность ключевых участков с разной степенью нарушенности (слабой, средней и сильной). Под воздействием основного деструктивного реагента, диоксида серы, в разных зонах наблюдаются изменения от ожогов частей растений до полной деградации и трансформации растительного покрова. Сравнение участков между собой показало, что наиболее чувствительны даже к небольшому загрязнению лишайники. Чуть менее уязвимы мхи. Еще менее чувствительны ерник, ольха, голубика, деревья (лиственница, ель, береза). Положительное воздействие на загрязнение поллютантами проявляется у части злаков, некоторых видов разнотравья и в целом в роде ива (*Salix*). Чем влажнее местообитание, тем более устойчиво растительное сообщество к воздушному загрязнению. Неустойчивы к загрязнению сообщества дриадовых, цетрариевых, кладониевых тундр, устойчивы ценозы заболоченных тундр и криофитных травяных и гипновых болот. Выявлены и охарактеризованы зоны по степени нарушенности растительного покрова. В качестве примера рассматриваются изменения видового разнообразия и проективного покрытия растительных сообществ бугристых болот на фоновых и нарушенных территориях.

Исследования и ассоциированные с ними методы, которые в настоящее время используются при оценке воздействия поллютантов на природные экосистемы, можно условно разделить на две группы. Первая группа объединяет исследования, связанные с замерами концентраций загрязняющих веществ в различных элементах биогеоценозов (почва, воздух, модельные виды растений, кости животных и т. д.) (напр., Любашевский и др., 1995; Природная среда Ямала, 1995; Аржанова, Скирина, 2000; Свирко, Страховенко, 2006 и др.) Результаты этих замеров зависят от особенностей накопления контрольных веществ разными элементами биосистемы или частями живых организмов. Они дают данные о степени загрязнения природной среды, реакция же биоты на загрязняющие факторы в разных природных условиях и при разных качественных и количественных комбинациях загрязняющих веществ может быть совершенно различной и часто непредсказуемой. Прямого ответа на вопрос об оценке воздействия поллютантов на окружающую среду данная группа методических подходов не дает. Вторая группа исследований направлена на конкретное выявление изменений природной среды (прежде всего, биоты) в результате воздействия загрязняющих агентов.

Большинство работ данного направления связано с определением изменения биологического разнообразия под воздействием антропогенного пресса, выявлением морфологических и физиологических изменений в организмах, а также с изучением регрессивных смен сообществ растений и животных (напр., Черненкова, 2002; Aarrestad, Aamlid, 1995 и др.).

Одним из наиболее перспективных и чувствительных подходов, на наш взгляд, является использование для оценки влияния промышленных загрязнений на экосистемы состояние растительного покрова. Наиболее полную оценку нарушения возможно дать лишь проведя комплексное исследование изменений в составе и структуре растительных сообществ, их видового состава, изменений спектра жизненных форм, морфологические деструктивные изменения, а также проведя аналитическое сопоставление данных результатов применительно к модельным территориям.

Район исследования находится на стыке двух структурно обусловленных геоморфологических элементов: Среднесибирского плоскогорья и Северо-Сибирской низменности. Среднесибирское плоскогорье представлено в своей северо-западной части отрогами гор плато Путорана. Геоморфологическая неоднородность обуславливает неоднородность растительного покрова. Равнинные участки Северо-Сибирской низменности относятся к зоне лесотундры. В горной части выражена поясность растительного покрова, которая представлена двумя подпоясами высокогорного пояса – гольцовым и подгольцовым. Подгольцовый подпояс в нижней части смыкается с лесотундрой равнинной части.

Климат района резкоконтинентальный и характеризуется отрицательной среднегодовой температурой воздуха, равной в среднем минус 11.4°C. Самый холодный месяц – январь при средней температуре минус 31°C. Лето – короткое, холодное и дождливое. Самый теплый месяц – июль при среднемесячной температуре 11–12°C (Справочник по климату СССР, 1967). Годовое количество осадков составляет 400–450 мм. В течение года атмосферные осадки распределяются крайне неравномерно; большая их часть (до 70%) выпадает с конца мая по конец сентября (Справочник по климату СССР, 1969).

### Материалы и методы

За 3 года исследований были проведены исследования на семи ключевых участках, на рис. 1 показано их расположение. Площадь ключевых участков от 40 до 100 км<sup>2</sup>. Было выполнено 330 полных геоботанических описаний растительных сообществ и 1785 описаний пробных площадок напочвенных лишайниковых синузий. На каждом ключевом участке закладывались эколого-геоботанические профили, на которых выявлялось все разнообразие как растительных сообществ, так и их местообитаний при помощи геоботанических описаний. Прокладка профилей осуществлялась с использованием теодолита. Всего заложено 9 детальных экологических профилей общей длиной около 23 километров. Заложено 12 пробных площадей для мониторинга продуктивности наземной фитомассы растительных сообществ. На основе геоботанических описаний соз-

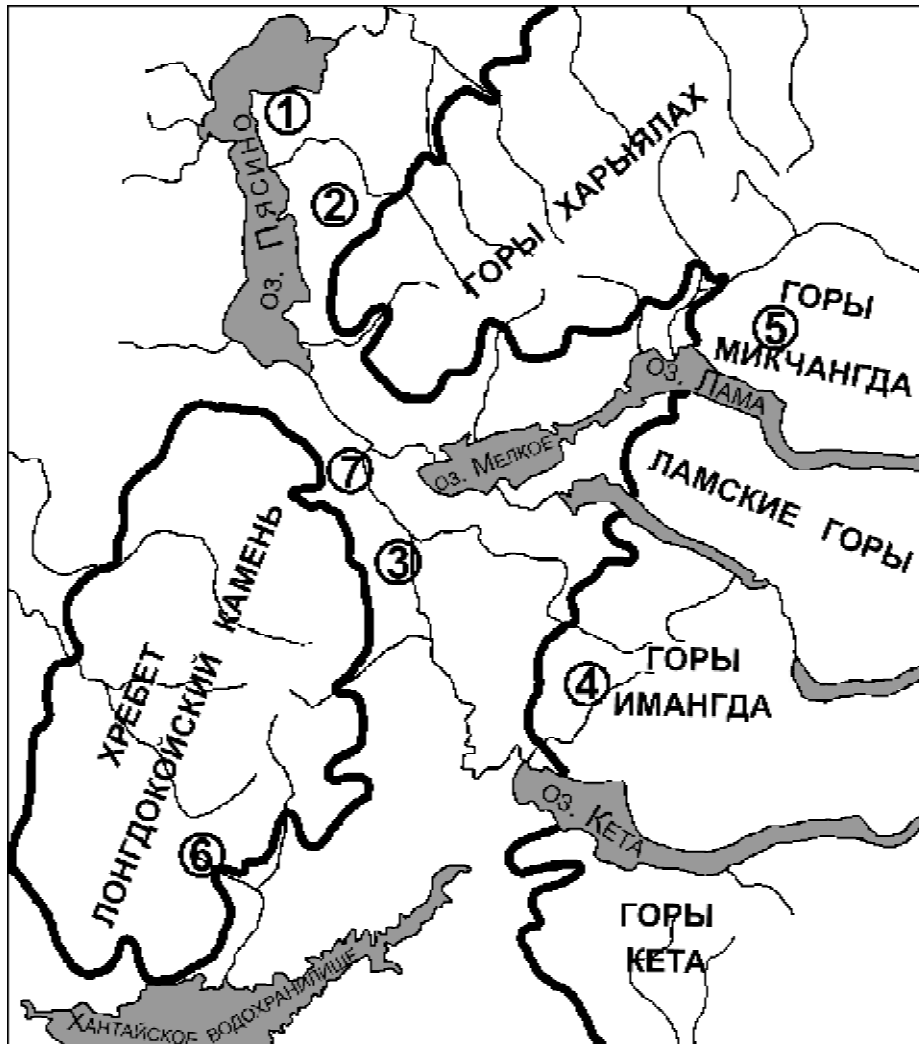


Рис. 1. Карта-схема района исследования.

1 – район р. Пересыхающая, 2 – район р. Самоедская, 3 – район среднего течения р. Рыбная, 4 – верховья р. Маргель, 5 – верховья р. Кыгам, 6 – район р. Лонтоко, 7 – район оз. Большое.

давалась компьютерная база данных (использовался пакет программ TURBO (VEG) (Hennekens, 1996a). Типизация растительности проводилась с помощью стандартного пакета программ MegaTab и TWINSpan (Hill, 1979; Hennekens, 1996a, б), основанных на методах кластерного анализа. Названия сосудистых растений приводятся по Н.А. Секретаревой (2004), лишайников – по сводке М.П. Андреева с соавторами (Andreev, Kotlov, Makarova, 1996) и по монографии О. Пурвиса с соавторами (Purvis, Coppins, Hawksworth et al., 1992), мхов – по М.С. Игнатову и О.М. Афоной (1992).

### Результаты и обсуждение

Проведенные исследования показали, что наиболее уязвимы к антропогенному загрязнению воздушно-пылевыми выбросами (поллютантами) лишайники и мхи (сухих и умеренно-влажных местообитаний). Чуть более устойчивы деревья *Picea obovata*, *Larix sibirica*, *Betula tortuosa*, из кустарников – *Betula nana*, *Duschekia fruticosa*, *Juniperus sibirica*, из кустарничков *Vaccinium subsp. microphyllum*, *V. vitis-idaea subsp. minus*, *Dryas octopetala subsp. subincisa*. Наиболее устойчивы к антропогенному воздействию некоторые злаки – *Calamagrostis neglecta*, *C. langsdorffii*, *Poa alpigena*, *Arctagrostis latifolia*, *Festuca ovina*, *F. altaica*, осоки и пушицы – *Carex sabyensis*, *C. vaginata*, *C. redowskiana*, *C. juncella*, *Eriophorum scheuchzeri*, *E. polystachion*, разнотравье – *Bistorta major*, *B. vivipara*, *Stellaria peduncularis*, *Rubus chamaemorus*, *Hedysarum hedyсарoides subsp. arcticum*, *Saussurea parviflora*, *Petasites frigidus*, *Ptarmica impatiens*, *Chamaenerion angustifolium*, *Equisetum arvense subsp. boreale*, *E. palustre*, *Tofieldia pusilla*, все виды рода ива – *Salix boganidensis*, *S. saxatilis*, *S. hastata*, *S. lanata*, *S. glauca*, *S. reticulata*, эрикоидные кустарнички – *Empetrum subholarcticum*, *Ledum palustre subsp. decumbens*, *L. palustre subsp. palustre*, *Chamaedaphne calyculata*.

подавляющая часть наиболее устойчивых к загрязнению растений произрастают во влажных или избыточно-влажных условиях местообитаний нивальных, субальпийских лугов, заболоченных тундр и болот (травяных и травяно-гипновых). Наоборот, виды сухих и умеренно-сухих условий местообитаний дриадовых, кассиоповых, кладониевых и кустарничково-зеленомошных тундр неустойчивы к загрязнению. Это связано с особенностями поступления влаги. Увлажнение криофитных болот и субальпийских лугов происходит за счет грунтовых вод и вод тающих снежников, сообщества же кустарничковых тундр водное питание получают исключительно за счет атмосферных осадков. Именно на выпуклых, дренированных элементах мезорельефа наблюдается наибольшая степень деформации лишайников. Если учесть, что осадки содержат химические компоненты выбросов, то растения этих местообитаний более интенсивно аккумулируют их. В многолетних частях растений (например, листья дриады или талломы лишайников) аккумулируется больше этих неблагоприятных химических веществ при относительно слабом воздушном загрязнении. Надо учесть, что зимой некоторые многолетнезеленые кустарнички тундр плохо или совсем не укрыты снегом и в зимний период контактируют с воздушно-пылевыми выбросами. Сообщества влажных местообитаний из-за того, что приурочены к отрицательным формам микро- и мезорельефа, зимой укрыты снегом, который скапливается там при сдувании его с выпуклых участков. Важным моментом является и то, что во влажных местообитаниях в основном произрастают травянистые растения, наземная часть которых на зиму отмирает, а на будущий год отрастает заново. Аккумулированные химические вещества остаются в отмершей части и, таким образом, не происходит их многолетнего накопления в растениях.

### Состояние растительного покрова в антропогенных зонах

Первая зона нарушенности включает районы, испытывающие слабое антропогенное влияние. Как правило, они находятся в стороне от области распространения основного воздушно-пылевого шлейфа, но непосредственно прилегающие к ней. Растительность по пространственной структуре и составу доминантов и содоминантов близка к фоновой (не нарушенной). Во влажных и переувлажненных условиях местообитаний (в сообществах болот, нивальных, субальпийских и альпийских лугов) состав, структура и продуктивность ценозов сходны с фоновыми показателями. В сухих и умеренно сухих условиях местообитаний (дриадовых, цетрариевых и кладониевых тундрах) заметно снижается биоразнообразие лишайников – на 10–20% (при относительной стабильности разнообразия высших сосудистых растений). Появляются растения с химическими ожогами отдельных частей (талломов лишайников, листьев и стеблей кустарничков, кустарников, трав и мхов). Снижается продуктивность наземной фитомассы в этих сообществах. В равнинной части исследуемой территории к первой зоне относится ключевой участок №1 (р. Пересыхающая); в горной части территории – ключевой участок № 5 (р. Кыгам), а ключевой участок №6 (р. Лонтоко) можно рассматривать как переходный от 1-й ко 2-й зоне нарушенности (рис.1).

Вторая зона включает территории, испытывающие умеренное антропогенное влияние. Территориально эта зона обрамляет краевые части области распространения воздушно-пылевого шлейфа в летний период. В отличие от первой, во второй зоне выявляются антропогенно трансформированные растительные сообщества. Эти сообщества заметно отличаются от фоновых. В них хоть и сохраняются некоторые основные доминанты сосудистых растений (например, кустарнички), но происходит полная деградация и выпадение лишайников и мхов, вместо которых в сообществах возрастает роль травянистых растений. Данная стадия трансформации подробно изучалась нами в районе оз. Кето в сообществах травяно-шикшевых тундр. Эти нарушенные сообщества по занимаемой площади в разных районах варьируют от 5 до 20%. Здесь наблюдается усыхание некоторых кустарничков и кустарничков (*Juniperus sibirica*, *Cassiope tetragona*, *Dryas octopela* subsp. *subincisa* в районе оз. Кето) в наиболее экстремальных (холодных и сухих) условиях. Начинает просматриваться ряд сообществ по градиенту устойчивости, который совпадает с градиентом влажности. Наиболее устойчивы переувлажненные болотные и умеренно-влажные луговые растительные сообщества (субальпийские разнотравные нивальные луга), и наиболее неустойчивы к влиянию воздушных выбросов сообщества сухих дренированных местообитаний – лишайниковые, кассиоповые и дриадовые тундры.

В равнинной части территории во вторую зону нарушенности попадает ключевой участок № 2 (р. Самоедская), в горной части территории – ключевой участок № 4 (р. Маргель) (рис.1).

Третья зона находится в центре области распространения воздушно-пылевого шлейфа. В данную зону нарушенности попали два ключевых участка, расположенные в равнинной части территории: № 3 (р. Рыбная) и № 7 (оз. Большое)

(рис. 1). Зона характеризуется полной трансформацией естественной растительности. Фиксируются лишь вторичные – измененные стадии деградации, в которых даже основные доминанты отсутствуют (кроме сообществ травяных болот). Мхи и лишайники из разряда основных доминантов в большинстве сообществ переходят в ряд редко встречающихся. Кустарники (*Betula nana*, *Duschekia fruticosa*), также доминанты фоновых сообществ, здесь полностью отсутствуют (о том, что они здесь были, говорят их мертвые древесные остатки скелетных осей). Кустарнички (*Vaccinium uliginosum* subsp. *microphyllum*, *V. vitis-idaea* subsp. *minus*, *Dryas octopetala* subsp. *subincisa*) также становятся редкими. Заметно возрастает роль кустарниковых ив (*Salix lanata*, *S. glauca*, *S. bogalandensis*). Роль кустарничковых ив (*Salix reticulata*, *S. saxatilis*), а также роль багульников (*Ledum palustre* subsp. *palustre* и subsp. *decumbens*) сравнима с фоновыми показателями. Роль трав в целом повышена в сравнении с фоновыми показателями, их проективное покрытие возрастает от 20 до 30%. Основу травяного покрова составляют злаки (*Calamagrostis neglecta*, *C. langsdorffii*) и некоторые виды разнотравья (*Saussurea parviflora*, *Ptarmica impatiens* и др.). Деревья присутствуют только в виде сухостоя. Из-за деградации лишайниково-моховой дернины, которая служит в тундре изолятором для сохранения мерзлоты, происходит повсеместное увеличение глубины сезонно-талого слоя и улучшается дренаж почвогрунтов, что приводит к некоторому "осушению" территории. Меняется экология местообитаний, что ведет к повсеместному доминированию небольшого количества злаков. Тем самым процесс обратного восстановления растительности становится невозможным. В целом в этой зоне катастрофически снижается биологическое разнообразие растительного покрова (по сравнению с фоновыми ключевыми участками биоразнообразие лишайников снизилось в 12 раз, высших сосудистых растений – в 2–3 раза), упрощается структура фитоценозов (из 2–3-ярусной становится одноярусной). Необратимость процесса усугубляется отсутствием на этой территории естественного (природного) банка семян (спор, талломов) не только деревьев, кустарников и кустарничков, но и мхов и лишайников. Разнообразие лишайников сведено к минимуму и составляет лишь 3–8 видов на ключевой участок.

Мхи полностью деградировали в сухих местообитаниях – в сообществах криомезофитных лишайниковых тундр, гемикриомезофитных моховых тундр, гемикриофитно-мезофитных светлохвойных редколесий, меньше загрязнение воздействует на мхи в условиях избыточного увлажнения – в сообществах криогемигигрофитных лугов и крио-гигрофильных травяных болот. Роль сосудистых растений также снижена на 30–35% в сравнении с фоновыми растительными сообществами. Проведенный анализ жизненных форм сосудистых растений показал их разную реакцию на антропогенное загрязнение. Так, деревья полностью уничтожены. Снижена до нуля роль высоких кустарников (среднее проективное покрытие их составило <1%), в то же время, роль кустарников такая же, как и на фоновых участках.

Роль трав в целом повышена в сравнении с фоновыми показателями от 22% до 31% проективного покрытия, его основу составляют злаки – *Calamagrostis neglecta*, *C. langsdorffii* и некоторые виды разнотравья – *Saussurea parvifolia*, *Ptarmica impatiens*.

Сравнение биологического разнообразия сосудистых растений территории, испытывающей наибольшее влияние промышленных эмиссий (район среднего течения р. Рыбная) и территорий, испытывающих слабое влияние (среднее течение р. Самоедская), показало, что биоразнообразие сосудистых растений нарушенного ключевого участка в 2 раза ниже, чем слабо нарушенного (на слабо нарушенном ключевом участке зарегистрировано 164 вида сосудистых растений, а на нарушенном – 83).

В третьей зоне растительность представлена исключительно вторичными трансформированными сообществами. Нами ретроспективно была "восстановлена" растительность, произраставшая здесь до начала действия поллютантов воздушных выбросов предприятий г. Норильска. Ретроспективное восстановление предполагало "восстановление", или реконструкцию нарушенного до неузнаваемости сообщества до первоначального естественного состояния. Восстановление проводилось следующим образом. 1. Выявлялись растения естественных сообществ, которые давно погибли на данной территории и в данном сообществе, но от них остались деревянистые – скелетные части (стволы, стебли, пни), сожженные и мумифицированные части (лишайники), торфяные деформированные и засыхающие подушки мхов (*Sphagnum*, *Polytrichum* и др.), 2. Учитывались особенности рельефа и условий местообитаний. 3. Учитывались подзональные и подпоясные (если это горная территория) особенности растительного покрова. На соседних фоновых (не нарушенных участках) находились сообщества, соответствовавшие ретроспективно восстановленным фитоценозам. Сравнение последних с их нарушенными аналогами позволило выявить особенности изменения состава и структуры ценозов в результате многолетнего действия на них загрязняющих веществ.

В качестве примера рассмотрим трансформированные и "восстановленные" сообщества тундрово-болотного комплекса (табл.1). Данный комплекс характерен для всей исследуемой территории. Последний представляет собой чередование криогенных плоских бугров и понижений – мочажин и приурочен к плоским частям водоразделов, а также выположенным речным и озерным террасам. На буграх развиты кустарничково-мохово-лишайниковые тундры, в мочажинах – фрагменты криофитных осоково-гипновых болот. Они представлены микрокомбинацией двух сообществ – кустарничково-мохово-лишайниковыми тундрами и тундровыми редианами на плоских буграх, и пушицево-осоковыми криофитными болотами в понижениях – мочажинах. Соотношение бугров и мочажин варьирует от 20 к 80% до 80 к 20%. Средняя высота бугров составляет 30–60 см, а площадь варьирует в широких пределах – от нескольких квадратных метров до десятков и сотен квадратных метров.

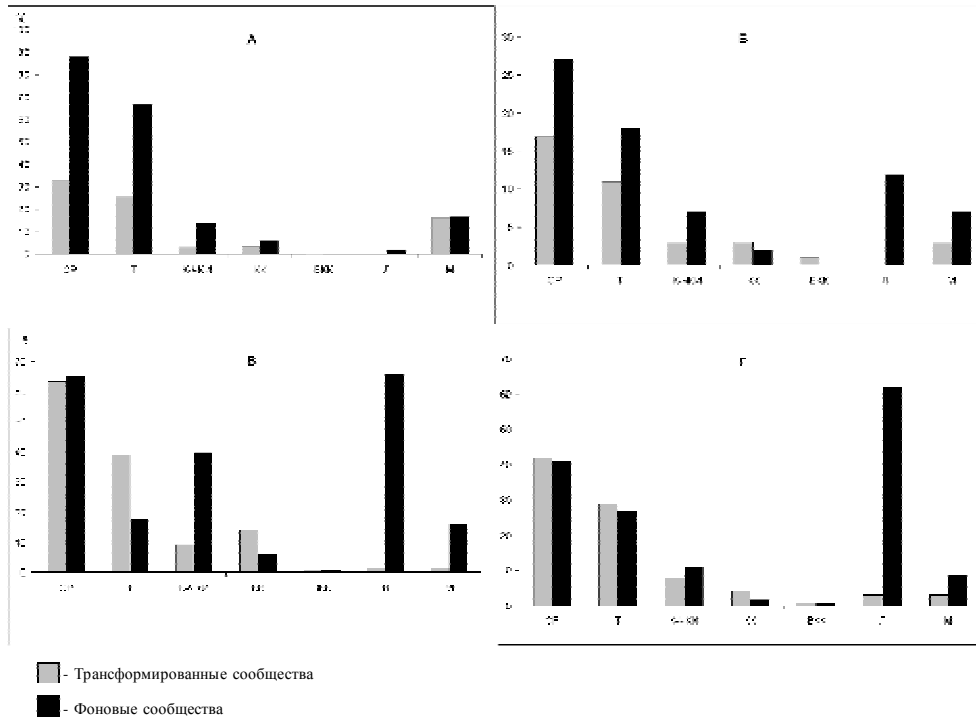


Рис. 3. Соотношение видового богатства и проективного покрытия сосудистых растений, лишайников и мхов фоновых и трансформированных сообществ тундрово-болотных комплексов.

А – проективное покрытие растений в сообществах мочажин, Б – видовое богатство в сообществах мочажин, В – проективное покрытие растений в сообществах бугров, Г – видовое богатство в сообществах бугров.

СР – сосудистые растения, Т – травы, К-ЧКИ – кустарнички, КК – кустарники, ВКК – высокие кустарники, Л – лишайники, М – мхи.

Сравнение проводили (табл. 1) с применением показателей видового богатства и проективного покрытия видов и групп растений (сосудистые растения, мхи и лишайники).

Сравнение трансформированной и фоновой растительности бугров показало, что по обоим показателям на трансформированных участках катастрофически снижается роль лишайников, существенно снижается роль мхов. Заметно возрастает проективное покрытие трав и кустарников, и заметно уменьшается – кустарничков (рис. 2). По показателю видового богатства также возрастает роль трав и кустарничков и снижается роль кустарничков, но степень этих изменений невелика. Разница составляет всего 1–2 вида. Надо заметить, что хотя разница по видовому богатству сосудистых растений невелика, но видовой состав сообществ меняется радикально. Так если на фоновых участках доминируют и содоминируют *Andromeda polifolia* subsp. *pumila*, *Betula nana*, *Carex bigelowii* subsp.



*arctisibirica*, *Eriophorum vaginatum*, *Ledum palustre* subsp. *decumbens*, *Vaccinium uliginosum* subsp. *microphyllum*, *Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*, *Flavocetraria cucullata*, *Racomitrium lanuginosum*, то на нарушенных – *Calamagrostis neglecta*, *C. langsdoiffii*, *Arctagrostis latifolia*, *Salix glauca*, *S. lanata*. Общих для нарушенных и фоновых участков насчитывается 15 видов, покрытие которых в нарушенных сообществах низко и варьирует в пределах 1–3%. Возрастание роли трав и кустарников объясняется тем, что в результате деградации мохово-лишайниковой дернины происходит увеличение площади открытого грунта, который в первую очередь заселяется сосудистыми растениями с высокой скоростью регенерации вегетативных органов (роды *Calamagrostis*, *Salix*, некоторые виды разнотравья). Снижение роли лишайников мхов и большей части кустарничков вызвано тем, что рост и регенерация талломов лишайников, стеблей мхов, и листьев кустарничков существенно ниже негативного процесса ожогообразования в результате воздействия диоксида серы. В итоге эти растения "выгорают" и исчезают из сообщества. При деградации мхов и лишайников для ряда травянистых видов благоприятное влияние снижения конкуренции является более значимым, нежели увеличение антропогенной нагрузки, что и приводит к их экспансии по площади сообществ.

Сопоставление трансформированной и фоновой растительности мочажин выявило, что по обоим показателям существенно снижается роль трав и кустарничков, незначительно снижается значение кустарничков и мхов. Покрытие лишайников в нарушенных и фоновых сообществах мочажин мала из-за того, что чрезмерное увлажнение мочажин в целом чуждо для их процветания. По показателю видового богатства в нарушенных сообществах существенно снижается значение трав, кустарничков и мхов, чуть возрастает количество кустарничков. На нарушенных сообществах не происходит радикальной смены видов доминантов и содоминантов. Это объясняется тем, что переувлажненные местообитания болот осваивает небольшое число видов растений, и при антропогенном влиянии освобождающееся место в сообществах в результате выпадения части видов и заметного снижения их проективного покрытия не заполняется более антропогенно устойчивыми видами из-за их отсутствия. Произрастание в трансформированных сообществах болот видов фоновых сообществ (в том числе и преобладающих) несмотря на заметное снижение их жизненности, говорит о том, что эти виды выживают в условиях сильных антропогенных воздействий, в отличие от сообществ бугров, где наблюдается радикальная перестройка состава и структуры сообществ.

Снижение роли сосудистых растений и мхов в трансформированных сообществах болот, в отличие от трансформированных сообществ бугров, где высвобождающееся место занимает антропогенно устойчивыми видами, а показатели видового богатства и проективного покрытия сосудистых растений бугров меняются незначительно. Болотные сообщества, испытывающие антропогенное влияние, в целом по составу и структуре сходны со своими фоновыми аналогами, а сообщества бугров нет. Следовательно, сообщества мочажин более устойчивы к антропогенному стрессу, чем сообщества бугров.

Таким образом, степень антропогенной трансформации растительного покрова в районе исследования напрямую зависит от степени химического загрязнения приземного слоя атмосферы, и, следовательно, процесс восстановления растительности может начаться только после заметного снижения концентрации загрязняющих химических веществ в городском шлейфе воздушных выбросов.

Сопоставление полученных нами данных по антропогенной трансформации тундровых экосистем с данными Института оптики атмосферы (Состояние загрязнения атмосферы, 2005), показало, что снижение влияния выбросов на экосистемы тундры происходит тогда, когда в газопылевом шлейфе начинается интенсивный переход газообразных примесей в аэрозольные, сопровождаемый изменением химического состава аэрозоля. В результате доминирующим становится сульфатный аэрозоль. Выделенная нами зона 3 (зона максимальной деградации растительности) соответствует наибольшей концентрации диоксида серы в городском шлейфе, зона 2 (зона средней степени деградации растительности) – месту перехода газообразных примесей в аэрозольные, зона 1 (зона слабой степени деградации растительности) – минимальной (остаточной) концентрации диоксида серы.

Индикаторными видами и сообществами мы называем виды и сообщества, наиболее неустойчивые к антропогенному воздействию, и в то же время широко распространенные на исследуемой территории (фоновых участках). Так, из мхов индикаторными являются *Hylocomium alaskanum*, *Aulaconmium turgidum*, *Polypodium strictum*, *Rhytidium rugosum*, *Dicranum elongatum*, *Tomenthypnum nitens*, из сосудистых растений – деревья (*Picea obovata*, *Larix sibirica*, *L. gmelinii*, *Betula tortuosa*, *B. pubescens*), кустарники (*Betula nana*, *Duschekia fruticosa*), кустарнички (*Vaccinium uliginosum* subsp. *microphyllum*, *Dryas octopetala* subsp. *subincisa*, *Vaccinium vitis-idaea* subsp. *minus*).

Наиболее информативными для установления начальных этапов изменения лишайникового покрова по морфологическим признакам являются виды родов *Alectoria*, *Cetraria*, *Flavocetraria* и *Cladonia*. Самыми показательными в этом плане являются виды *Cladonia rangiferina*, *C. arbuscula*, *C. stellaris*, *Cetraria islandica*, *Flavocetraria cucullata*, *Alectoria ochroleuca*. Вначале наблюдается изменения в окраске слоевища в результате частичного отмирания фотобионта, затем фиксируются ожоги краевых, молодых частей талломов. Затем происходит укорочение конечных веточек, нарушение характера ветвления. Через несколько лет происходят изменения габитуса лишайников вплоть до смены жизненной формы, причем зафиксированы переходные формы даже между крупными группами жизненных форм. Так например, *Cetraria islandica* образует промежуточную форму от кустистой к чешуйчатой, а *Cladonia arbuscula* – от кустистой к накипной, формируя "щетинистую" корку. На крайних стадиях деградации происходит отмирание лишайников. Отмершие лишайники представляют собой обугленные талломы, по внешнему виду напоминающие пепел, но сохраняющие свою форму. В результате снежной, водной и ветровой эрозии эти "мумифицированные" останки развеиваются, оставляя после себя открытый грунт.

Из растительных сообществ наиболее чувствительны к антропогенному загрязнению ценозы дриадовых, цетрариевых, кладониевых, травяно-зеленомошных, ерниковых и ольховниковых тундр.

Для демонстрации изменения разнообразия лишайников, образуемых ими синузий и весовых показателей в растительном покрове наглядные результаты дает сравнение характеристик лишайникового покрова ключевых участков, относящихся к разным зонам нарушенности (рис. 3). Так, на равнинных территориях растительность ключевого участка № 1 (р. Пересыхающая) была оценена как близкая к фоновой, № 2 (р. Самодская) – как относящаяся к 1-й зоне нарушенности, растительность ключевых участков № 3 и № 7 – как относящиеся к 3-й зоне нарушенности.

В первой зоне нарушенности (ключевой участке № 1, р. Пересыхающая) выявлен 101 вид и внутривидовая единица напочвенных лишайников, во второй зоне (ключевом участке № 2, р. Самодская) – 59, в третьей (ключевые участки № 3, р. Рыбная и № 7, оз. Большое) – 12. В третьей зоне нарушенности число видов напочвенных лишайников уменьшается по сравнению с первой зоной в 8,5 раз, а сосудистых растений – в два раза. Таким образом, чувствительность разно-

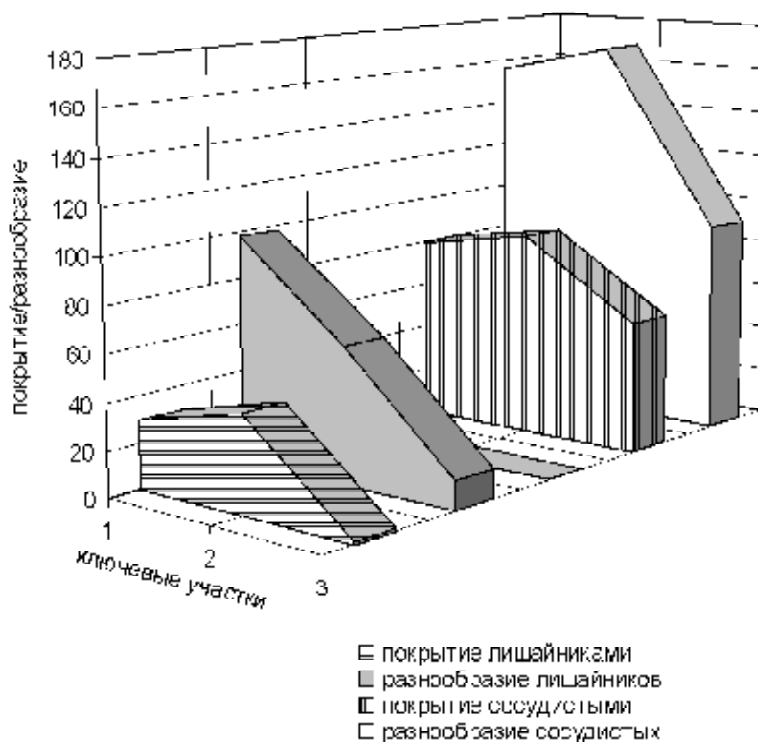


Рис. 3. Изменение среднего проективного покрытия и видового разнообразия лишайников и сосудистых растений на 3-х ключевых участках.

образия лишайников к химическому загрязнению на исследованных территориях в несколько раз выше, чем этот показатель у сосудистых растений (рис. 3).

Фоновая растительность гор Путорана КУ № 5 (р. Кыгам) включает 107 видов напочвенных лишайников. На КУ № 6 (р. Лонтоко) и № 4 (р. Маргель), находящихся в пределах первой и второй зон нарушенности соответственно, выявлено 68 и 64 видов напочвенных лишайников, что составляет 60 и 64%, соответственно.

В горных массивах существуют рефугиумы, "затененные" от прямого переноса воздушных масс с загрязняющими веществами, и по своему состоянию сходные с фоновыми, ненарушенными сообществами. С другой стороны, в горных условиях наблюдается большее количество сообществ, в значительной степени деградировавших и по уровню своей деградации соответствующих следующей, более сильной степени нарушенности. В случае длительного ослабления антропогенного пресса можно прогнозировать, что восстановление лишайникового компонента растительного покрова в горах будет проходить более быстрыми темпами, чем на равнинных территориях, не имеющих таких рефугиумов и нуждающихся в случае восстановления миграции видов с удаленных территорий.

### Выводы

Наиболее чувствительны даже к небольшому загрязнению лишайники. Чуть менее уязвимы мхи. Еще менее чувствительны ерник, ольха, голубика, деревья (лиственница, ель, береза). Положительное воздействие на загрязнение поллютантами проявляется у злаков, некоторых видов разнотравья и в целом для видов рода ива (*Salix*).

По степени антропогенной трансформации растительного покрова выявлены и охарактеризованы зоны нарушенности – слабая, средняя и сильная.

В зоне слабых нарушений растительность по пространственной структуре и составу доминантов и содоминантов близка к фоновой. В зоне средних нарушений наряду с естественными сообществами выявляются антропогенно трансформированные растительные сообщества. В районе сильного антропогенного воздействия наблюдается катастрофическое снижение роли лишайников и мхов и возрастание роли некоторых сосудистых растений, в частности, злаков; роль ив не изменилась. Растительность представлена исключительно вторичными ценозами.

Наиболее устойчивы к антропогенному воздействию сообщества влажных и переувлажненных местообитаний, неустойчивы – сообщества сухих дренированных местообитаний. Избыточное увлажнение местообитаний играет защитную роль при воздействии диоксида серы городского шлейфа на растительный покров.

В связи с постоянным воздействием загрязненного воздушного шлейфа предприятий пока невозможно естественное восстановление растительности из-за высоких уровней ПДК поллютантов в данном районе. Антропогенный фактор здесь является лимитирующим.

Таблица 1.

## Видовой состав тундрово-болотных комплексов

	Тундрово-болотные комплексы			
	Трансформированные Сообщества (зона 3)		Фоновые сообщества	
	Вейниковые с ивами и багульником вторичные сообщества	Пушицево-злаковые и осоково-злаковые вторичные болотные сообщества в мочажинах	Ерничково-кустарничково-мохово-лишайниковых тундр и тундровых редин на плоских буграх	Пушицево-осоковые криофитные болота в мочажинах
<b>Сосудистые растения</b>				
<i>Andromeda polifolia</i>	.	.	71 (7)	89 (8)
<i>Arctagrostis latifolia</i>	38 (5)	50 (5)	43 (2)	11 (1)
<i>Arctous alpina</i>	.	.	14 (3)	.
<i>Artemisia latifolia</i>	.	.	7 (3)	.
<i>Baeothryon cespitosum</i>	.	.	.	22 (4)
<i>Betula nana</i>	.	25 (7)	100 (15)	89 (6)
<i>Bistorta major</i>	13 (2)	.	29 (2)	.
<i>B. vivipara</i>	.	.	7 (2)	44 (2)
<i>Calamagrostis purpurea</i> subsp. <i>langsдорffii</i>	50 (5)	60 (4)	.	.
<i>C. neglecta</i>	100 (7)	75 (8)	.	.
<i>Cardamine macrophylla</i>	25 (1)	.	.	.
<i>Carex bigelowii</i> subsp. <i>arctisibirica</i>	.	.	64 (8)	11 (15)
<i>C. chordorrhiza</i>	.	.	.	67 (8)
<i>C. aquatilis</i> subsp. <i>stans</i>	.	.	14 (3)	56 (20)
<i>C. parallela</i> subsp. <i>redowskiana</i>	13 (2)	25 (6)	7 (6)	11 (20)
<i>C. glacialis</i>	.	.	21 (2)	.
<i>C. lapponica</i>	.	25 (5)	.	.
<i>C. loliacea</i>	.	25 (5)	.	.
<i>C. rariflora</i>	.	.	7 (6)	78 (24)
<i>C. rotundata</i>	.	50 (6)	.	67 (5)
<i>C. sabynensis</i>	13 (3)	.	.	.
<i>C. vaginata</i> subsp. <i>quasivaginata</i>	25 (3)	.	14 (2)	11 (1)
<i>C. williamsii</i>	.	.	.	11 (6)
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	38 (6)	25 (5)	.	.

Продолжение таблицы 1

<i>Chamaenerion angustifolium</i>	38 (3)	.	.	.
<i>Comarum palustre</i>	.	.	.	11 (2)
<i>Dryas octopetala</i> subsp. <i>subincisa</i>	.	.	21 (3)	22 (4)
<i>Duschekia fruticosa</i>	.	.	29 (6)	11 (4)
<i>Empetrum subholarcticum</i>	50 (2)	.	36 (3)	.
<i>Epilobium davuricum</i>	13 (1)	.	.	.
<i>Equisetum arvense</i> subsp. <i>boreale</i>	88 (4)	.	7 (4)	11 (6)
<i>E. palustre</i>	25 (5)	.	7 (2)	11 (5)
<i>E. pratense</i>	13 (1)	.	.	.
<i>E. scirpoides</i>	13 (2)	.	.	.
<i>Eriophorum polystachyon</i>	13 (2)	50 (5)	7 (3)	89 (11)
<i>E. russeolum</i>	.	60 (4)	.	40 (6)
<i>E. scheuchzeri</i>	13 (2)	.	.	.
<i>E. vaginatum</i>	13 (2)	.	64 (11)	33 (13)
<i>Festuca altaica</i>	63 (5)	.	.	.
<i>F. ovina</i>	13 (4)	.	.	.
<i>Hedysarum hedysaroides</i> subsp. <i>arcticum</i>	.	.	7 (1)	.
<i>Hierochloë alpina</i>	.	.	21 (2)	.
<i>Ledum palustre</i> subsp. <i>decumbens</i>	25 (2)	.	93 (18)	33 (4)
<i>L. palustre</i>	63 (5)	.	.	.
<i>Luzula confusa</i>	.	.	7 (1)	.
<i>Minuartia arctica</i>	.	.	7 (2)	.
<i>M. macrocarpa</i>	.	.	7 (0.1)	.
<i>M. stricta</i>	13 (1)	.	.	.
<i>Oxytropis nigrescens</i>	.	.	7 (1)	.
<i>Parrya nudicaulis</i>	.	.	14 (1)	.
<i>Pedicularis interioroides</i>	.	.	.	44 (1)
<i>P. labradorica</i>	.	.	50 (1)	11 (1)
<i>Petasites frigidus</i>	63 (4)	.	.	.
<i>Poa alpigena</i>	63 (5)	.	.	.
<i>P. arctica</i>	.	.	.	11 (1)
<i>P. pratensis</i>	13 (1)	.	.	.
<i>Ptarmica impatiens</i>	13 (4)	.	.	.
<i>Rubus arcticus</i>	13 (2)	.	.	.
<i>R. chamaemorus</i>	63 (3)	.	29 (4)	.
<i>Rumex arcticus</i>	.	.	7 (1)	.
<i>Salix boganidensis</i>	38 (4)	50 (1)	.	.

Продолжение таблицы 1

<i>S. glauca</i>	50 (6)	.	29 (3)	44 (3)
<i>S. hastata</i>	63 (4)	.	.	.
<i>S. jenseensis</i>	25 (5)	.	.	.
<i>S. lanata</i>	75 (6)	25 (5)	.	.
<i>S. myrtilloides</i>	13 (1)	25 (3)	7 (4)	33 (15)
<i>S. polaris</i>	.	.	7 (4)	.
<i>S. pulchra</i>	.	.	50 (3)	78 (5)
<i>S. reticulata</i>	13 (2)	.	.	22 (7)
<i>S. saxatilis</i>	63 (4)	25 (5)	14 (3)	.
<i>Saussurea parviflora</i>	63 (2)	.	.	.
<i>Saxifraga foliolosa</i>	.	.	.	22 (1)
<i>S. hirculus</i>	.	.	.	22 (1)
<i>Sorbus sibirica</i>	.	25 (2)	.	.
<i>Stellaria peduncularis</i>	75 (4)	.	36 (0,1)	.
<i>Tofieldia coccinea</i>	.	.	50 (1)	.
<i>T. pusilla</i>	13 (1)	.	.	.
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> subsp. minus	13 (1)	.	50 (8)	11 (6)
<i>V. uliginosum</i> subsp. microphyllum	.	.	100 (18)	44 (4)
<i>Veratrum lobelianum</i>	.	.	7 (1)	.
<b>Лишайники</b>				
<i>Alectoria nigricans</i>	.	.	29 (5)	.
<i>A. ochroleuca</i>	.	.	43 (5)	.
<i>Arctocetraria andrejevii</i>	.	.	8 (0,6)	.
<i>Asahinea chrysantha</i>	.	.	21 (4)	.
<i>Baeomyces carneus</i>	.	.	8 (ед.)	.
<i>B. placophyllus</i>	.	.	8 (0,5)	.
<i>B. rufus</i>	.	.	8 (0,1)	.
<i>Biatora vernalis</i>	.	.	8 (ед.)	.
<i>Bryocaulon divergens</i>	.	.	43 (5)	.
<i>Bryoria nitidula</i>	.	.	43 (7)	.
<i>Cetraria islandica</i>	.	.	64 (9)	33(0,8)
<i>C. laevigata</i>	.	.	71 (7)	.
<i>C. nigricans</i>	.	.	7 (4)	.
<i>Cetrariella delisei</i>	.	.	36 (7)	17 (0,3)
<i>C. fastigiata</i>	.	.	13 (0,3)	17 (ед.)
<i>Cladonia alaskana</i>	.	.	15 (0,4)	.
<i>C. amaurocraea</i>	.	.	57 (6)	.
<i>C. arbuscula</i>	.	.	93 (11)	17(0,5)

Продолжение таблицы 1

<i>C. arbuscula</i> subsp. <i>mitis</i>	.	.	8 (ед.)	.
<i>C. cenotea</i>	.	.	15 (ед.)	.
<i>C. cervicornis</i> subsp. <i>verticillata</i>	.	.	8 (ед.)	.
<i>C. chlorophaea</i>	.	.	85 (0.9)	17 (ед.)
<i>C. ciliata</i> var. <i>tenuis</i>	.	.	8(ед.)	
<i>C. coccifera</i>	.	.	7 (2)	17 (ед.)
<i>C. cornuta</i>	.	.	69 (0.5)	.
<i>C. crispata</i>	.	.	31 (ед.)	.
<i>C. cyanipes</i>	13 (ед.)	.	38 (1,8)	.
<i>C. deformis</i>	.	.	31 (0.8)	.
<i>C. ecmocyna</i>	.	.	8 (0.2)	17(0.2)
<i>C. furcata</i>	.	.	7 (2)	.
<i>C. gracilis</i>	.	.	8 (ед.)	.
<i>C. gracilis</i> subsp. <i>elongata</i>	.	.	79 (5)	.
<i>C. grayi</i>	.	.	15 (ед.)	.
<i>C. macilenta</i>	.	.	8 (ед.)	.
<i>C. macroceras</i>	.	.	23 (ед.)	17(0,2)
<i>C. macrophylla</i>	.	.	8 (0,2)	.
<i>C. pleurota</i>	.	.	15 (0,3)	.
<i>C. rangiferina</i>	.	.	86 (8)	17 (ед.)
<i>C. sp.</i>	25 (ед.)	.	.	.
<i>C. stellaris</i>	.	.	43 (5)	.
<i>C. stricta</i>	.	.	.	17 (ед.)
<i>C. subrangiformis</i>	.	.	.	17 (ед.)
<i>C. sulphurina</i>	.	.	36 (3)	.
<i>C. uncialis</i>	.	.	21 (10)	.
<i>Dactylina arctica</i>	.	.	43 (2)	.
<i>Flavocetraria cucullata</i>	.	.	93 (11)	33 (ед.)
<i>F. nivalis</i>	.	.	64 (9)	.
<i>Hypogymnia physodes</i>	.	.	8 (ед.)	.
<i>H. vittata</i>	.	.	8 (0.6)	.
<i>Japewia tornoenensis</i>	.	.	8 (0.1)	.
<i>Lecanora leptacina</i>	.	.	8 (ед.)	.
<i>Lecidea sp.</i>	90 (2)	.	.	.
<i>Lopadium pezizoideum</i>	.	.	8 (0.2)	.
<i>L. coralloideum</i>	.	.	8 (0.1)	.
<i>Micarea assimilata</i>	.	.	15 (ед.)	.
<i>Ochrolechia inaequatula</i>	.	.	54 (1)	.



Продолжение таблицы 1

<i>O. frigida</i>	.	.	46 (0,4)	.
<i>Pertusaria dactylina</i>	.	.	46 (0.3)	.
<i>P. geminipara</i>	.	.	15 (0.2)	.
<i>P. octomela</i>	.	.	8 (ед.)	.
<i>P. panyrga</i>	.	.	8 (ед.)	.
<i>Rinodina turfacea</i>	.	.	8 (ед.)	.
<i>Sphaerophorus globosus</i>	.	.	29 (4)	.
<i>Stereocaulon alpinum</i>	.	.	15 (ед.)	.
<i>S. glareosum</i>	.	.	8 (ед.)	.
<i>Thamnotia vermicularis</i>	.	.	64 (4)	.
<b>Мхи</b>				
<i>Aulacomnium palustre</i>	.	.	7 (5)	67 (8)
<i>A. turgidum</i>	.	.	7 (5)	.
<i>Blepharostoma trichophyllum</i>	.	.	21 (22)	11 (35)
<i>Calliergon stramineum</i>	13 (8)	25 (8)	.	22 (14)
<i>Dicranum species</i>	13 (5)	.	7 (2)	11 (6)
<i>Drepanocladus aduncus</i>	13 (7)	.	.	89 (22)
<i>Hylocomium splendens</i>	.	.	7 (10)	11 (10)
<i>Meesia uliginosa</i>	.	.	.	33 (12)
<i>Paludella squarrosa</i>	.	.	.	11 (5)
<i>Polytrichum juniperinum</i>	.	.	36 (4)	.
<i>Cephalozia bicuspidata</i>		40 (10)	.	.
<i>Pohlia nutans</i>		50 (20)	.	.
<i>Polytrichum strictum</i>	.	.	29 (9)	.
<i>Ptilidium ciliare</i>	.	.	21 (17)	11 (7)
<i>Racomitrium lanuginosum</i>	.	.	79 (4)	.
<i>Sphagnum balticum</i>	.	.	.	11 (20)
<i>Tomentypnum nitens</i>	.	.	.	22 (10)

Примечание. Встречаемость и проективное покрытие видов приведены в %, ед. – проективное покрытие менее 0.1%.

Исследование было поддержано интеграционным проектом СО РАН № 5.17 "Исследование динамики экосистем криолитозоны в естественном (фоновом) состоянии и условиях длительного воздействия крупных промышленных предприятий".

#### ЛИТЕРАТУРА

**Аржанова В.С., Скирина И.Ф.** Значение и роль лишеноиндикационных исследований при эколого-геохимической оценке состояния окружающей среды. // География и природные ресурсы, 2000. – № 4. – С. 33–40.

**Игнатов М.С., Афонина О.М.** Список мхов территории бывшего СССР // Арктоа, 1992. – Т. 1, № 1–2. – С. 1–85.

**Любашевский Н.М., Аржанова Е.В., Баллонов М.И. и др.** Радиэкология полуострова Ямал // Природа Ямала. – Екатеринбург: УИФ Наука, 1995. – С. 338–348.

**Цибульский В.Р., Валеева Э.И., Арефьев С.П. и др.** Природная среда Ямала. – Тюмень: Институт освоения Севера СО РАН, 1995. – Т. 2. – 168 с.

**Свирко Е.В., Страховенко В.Д.** Тяжелые металлы и радионуклеотиды в слоевищах лишайников в Новосибирской области, Алтайском крае и Республике Алтай // Сибирский экологический журнал, 2006. – № 3. – С. 385–390.

**Секретарева Н.А.** Сосудистые растения Российской Арктики и сопредельных территорий. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. – 129 с.

Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России в 2004 г. – С-Пб.: Гидрометеоздат, 2005. – 199 с.

Справочник по климату СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1967, – Вып. 21, ч. 2. – 504 с.

Справочник по климату СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1969, – Вып. 21, ч. 4. – 402 с.

**Черненко Т.В.** Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. – М.: Наука, 2002. – 191 с.

**Aarrestad A., Aamlid D.** Vegetation monitoring in South-Varanger, Norway – species composition of ground vegetation and its relation to environmental variables and pollution impact // Environmental Monitoring and Assessment, 2004. – V. 58, N 1. – P. 1–21.

**Andreev M., Kotlov Yu., Makarova I.** Checklist of lichens and lichenicolous fungi of the Russian Arctic // The Bryologist, 1996. – Vol. 5, N 6. – P. 813–838.

**Hennekens S.** MEGATAB a visual editor for phytosociological tables. – Giesen & Geurnt Ulf., 1996a. – 11 p.

**Hennekens S.** TURBO(VEG) Software package for input processing, and presentation of phytosociological data. User's guide. – JBN-DLO. University of Lancaster, 1996b. – 59 p.

**Hill M.O.** DECORANA and TWINSpan, for ordination and classification of multivariate species data: a new edition, together with supporting programs, in FORTRAN 77. – Huntingdon: Institute of Terrestrial Ecology, 1979. – 58 p.

**Purvis W., Coppins B.J., Hawksworth D.L. et al.** The Lichen Flora of Great Britain and Ireland. – London, 1992. – 710 p.

#### SUMMARY

The object of the study is the influence of air pollution caused by Norilsk factories on vegetation. Investigations were carried out on key plots with different level of disturbances –

low, medium and strong. The main destructive pollutant, sulfur dioxide, is the cause of different disturbances varying from burns of plants to absolute degradation of plant cover. Comparative analysis has shown that most sensitive even to minor pollution are lichens. Somewhat less vulnerable are mosses. Less sensitive are yernik, alder-tree, blueberry, larch, fir, birch. Some cereals and some motley grasses as well as willows positively respond to pollution. There is some dependence between the humidity and resistance. The more humid the ecotope the more stable is plant community to air pollutions. In the paper zones of plant cover disturbances are described. Regressive changes the flora and vegetation on natural and disturbed frost mound bogs is demonstrated as an example.

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН,  
г. Новосибирск

Получено 12.11.2006