

УДК 630*184.4+551.510.42 (470.21)

ИЗМЕНЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ЛЕСНОГО ПОКРОВА МАКРОСКЛОНОВ К ОЗЕРУ ИМАНДРА В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

**Т. В. Черненькова¹, Н. Е. Королева², Е. А. Боровичев^{3,4},
А. В. Мелехин²**

¹ *Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН*

² *Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина
Кольского научного центра РАН*

³ *Институт проблем промышленной экологии Севера
Кольского научного центра РАН*

⁴ *Институт леса Карельского научного центра РАН*

Исследованы северотаежные леса и березовые кривоlessя на макросклонах гор Мончетундра и Хибины к озеру Имандра, на градиенте аэротехногенного загрязнения в результате выбросов металлургического предприятия, в трех зонах – импактной, буферной и фоновой. По эколого-фитоценотической классификации на базе 166 геоботанических описаний выделено 15 групп ассоциаций. Приведена их характеристика, а также оценка занимаемой площади и доли в растительном покрове, полученная с использованием данных дистанционного зондирования. В группах ассоциаций определена активность видов по Л. И. Малышеву (1973) и проведен кластерный анализ с использованием критерия Евклидова расстояния для оценки степени их сходства. Для оценки изменений фиторазнообразия использовали среднее число видов на единицу площади (400 м²), индекс Сьеренсена, как меру среднего сходства сообществ, индекс Уиттекера, как меру флористической неоднородности сообществ, а также индекс Шеннона. Выявлены особенности изменения видового и типологического разнообразия растительности на техногенном градиенте с учетом высотной поясности. Изменение состава древесного полога, сопровождающееся гибелью хвойных деревьев и заменой их на мелколиственные породы, приводит к более значительному преобразованию структуры лесных сообществ нижних и средних частей склонов по сравнению с березовыми кривоlessями на верхних отметках. С другой стороны, изменение состава напочвенного покрова по направлению к источнику загрязнения в березовых кривоlessях происходит более динамично, чем в хвойных лесах. При этом наибольшие преобразования разнообразия и обилия видов в первую очередь касаются мохово-лишайникового покрова. Увеличение в лесах буферной зоны видового разнообразия, главным образом сосудистых растений, происходит за счет появления нехарактерных для зональных сообществ синантропных и заносных видов и является приспособительной реакцией нарушенных экосистем. Смена зеленомошной синузии на печеночниковую и полиевую в моховом покрове, а кустисто-лишайниковую на корково-лишайниковую в лишайниковом покрове также является проявлением механизмов адаптации к техногенной нагрузке на внутриценоцическом уровне. По направлению к источнику загрязнения отмечено увеличение типологического разнообразия в поясе лесов, с выраженным пиком в буферной зоне, а также смещение вниз по склону гра-

ниц поясов лесов и криволесий, что является реакцией надценотического уровня на нарушение природной среды. Смещение границ поясов иллюстрировано фрагментами карты растительности.

Ключевые слова: лесные сообщества; еловые леса и березовые криволесья; градиент загрязнения; Мурманская область; видовое разнообразие.

**T. V. Chernen'kova, N. E. Koroleva, E. A. Borovichev, A. V. Melekhin.
CHANGE OF THE FOREST COVER ON THE SLOPES ORIENTED TOWARDS
LAKE IMANDRA LAKE UNDER INDUSTRIAL POLLUTION**

Northern taiga and mountain birch forests were investigated on the slopes of Monche tundra and Khibiny Mountains (Murmansk Region, Russia) oriented towards Lake Imandra under long-term air-borne pollution from the metal processing industry. The subject of the study was the species composition and typological diversity of vegetation along the pollution gradient at different altitudes above sea level. Three zones were distinguished – impact zone, buffer zone, and unpolluted zone as the control, 166 relevés were included in the classification that resulted in 15 groups of associations. The groups of associations were characterized; the area occupied and the proportion in the plant cover were given based on remote sensing data. Changes in plant diversity along the pollution gradient were assessed using the average number of species per 400 m², Sørensen index, Whittaker index, as well as Shannon index. The activity of species (*sensu* Malyshev) was determined in groups of associations, and cluster analysis (with Euclidean distance) was undertaken to assess the similarity between the groups of associations. In the tree layer, conifers were replaced with small-leaved species, and the structure of mountain taiga on the lower and middle parts of the slopes was significantly transformed compared to mountain birch forest. On the other hand, the composition of the field layer changed towards the pollution source in the mountain birch forest more essentially than in mountain taiga. The most essential were changes of the diversity and abundance of mosses and lichens in the ground layer. The species diversity (mainly of vascular plants) increased in the buffer zone of mountain taiga due to the advance of adventitious species atypical of the zonal communities. This increase apparently represents an adaptive response of the damaged ecosystems. Green mosses were substituted by liverworts and *Pohlia* mosses towards the pollution source, fruticose lichens – by crustose lichen, which is considered as an adaptation to contamination at the level of phytocoenoses. The typological diversity slightly increased towards the pollution source in the mountain taiga zone, and peaked in the buffer zone. The boundary between mountain taiga and mountain birch forest has shifted to a lower altitude, towards the pollution source, as illustrated by fragments of the vegetation map. This is considered to be an adaptation to the environmental damage at the level of complexes of phytocoenoses.

Keywords: forest communities; northern taiga; mountain birch forest; pollution gradient; Murmansk Region; species diversity.

Введение

В районах интенсивного хозяйственного освоения антропогенный фактор в значительной степени определяет структуру и динамику растительного покрова. Эффект антропогенного прессинга становится более значимым в экстремальных климатических условиях арктических регионов, в том числе на северном рубеже распространения лесов. Предприятия Кольской горно-металлургической компании (КГМК) – один из главных источников загрязнения в Мурманской области и в Северной Европе в целом, при этом крупнейшая из производственных площадок

КГМК «Североникель» расположена в окрестностях г. Мончегорска, в нескольких километрах на восток от горного массива Мончетундра.

Степень изученности лесных экосистем этого района в условиях различного антропогенного воздействия относительно высока [Дончева, 1978; Крючков, 1984; Gorshkov, 1993; Лукина, Никонов, 1998; Цветков, Цветков, 2003; Баккал, Горшков, 2005; Черненькова и др., 2009, 2011; Ярмишко и др., 2011; Пузаченко и др., 2012 и многие другие]. Однако нет данных об изменениях видового и типологического разнообразия лесной растительности на техногенном градиенте с учетом высотной поясности.

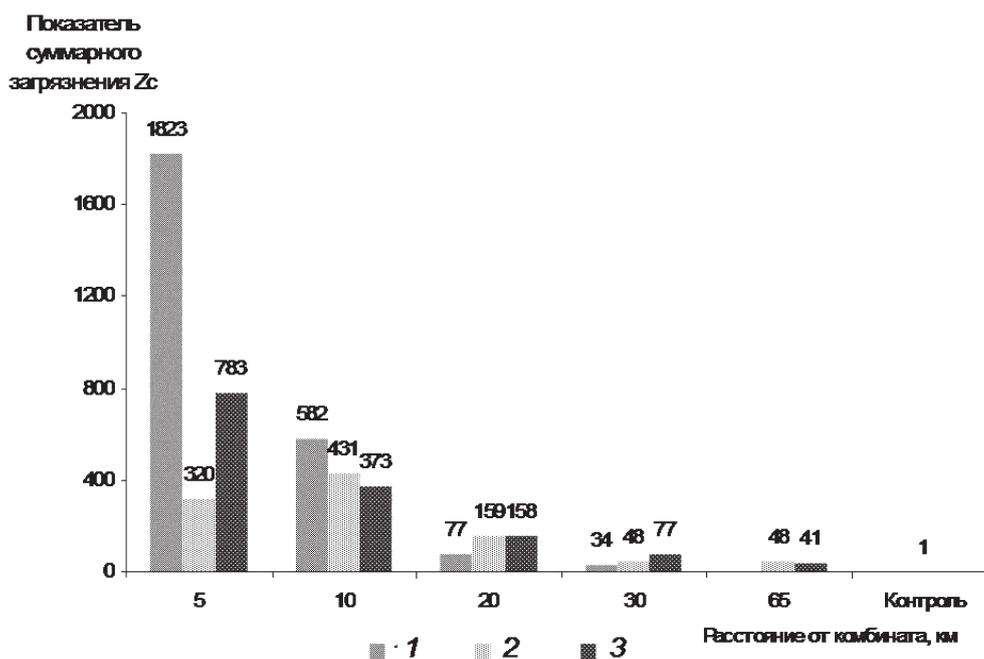


Рис. 1. Изменение суммарной концентрации меди и никеля в подстилке ельников по градиенту загрязнения: 1 – 1983 г., 2 – 2005 г., 3 – 2008 г. (по данным: Черненькова и др., 2011)

Лесная растительность на сопряженных градиентах (природном и антропогенном) может проявлять разную устойчивость к факторам внешней среды, что определяет актуальность данного исследования.

Цель работы – выявление особенностей формирования состава и структуры сообществ горно-лесного пояса и пояса березовых криволесий в окрестностях комбината «Североникель» на обращенных к озеру Имандра макросклонах горных массивов Мончетундра, Чунаундра и Хибины.

Материалы и методы

Исследуемая территория находится в центральной части Мурманской области в пределах 68°23'–67°39' с. ш. и 31°00'–33°68' в. д. Объект исследования – северотаежные леса и березовые криволесья, распространенные на автоморфных и транзитных позициях на моренных сильно завалуненных склонах различной крутизны от 180 до 450 м над ур. моря. Почвы – Al-Fe-гумусовые подзолы легкого гранулометрического состава на делювии смешанных пород. Исключали из рассмотрения сообщества, сформированные в аккумулятивных условиях (депрессиях, озерных котловинах и речных долинах) и на выходах скальных пород.

Основными ингредиентами токсического воздействия в исследуемом районе выступают тяжелые металлы и сернистые соединения.

Объем промышленных выбросов в атмосферу в 80-е годы прошлого века составлял (тыс. т в год): двуокиси серы – 220–240, соединений никеля – 3400, меди – 2640, кобальта – 100, окислов азота – 1200, серной кислоты (пары) – 3350, хлора – 1000, а также фторидов – 800 т в год. В последние десятилетия в связи с уменьшением интенсивности производства выбросы заметно сократились, в частности, выбросы SO₂ уменьшились в семь раз и в 2009 г. составили около 33,5 тыс. т в год [Черненькова и др., 2011]. Несмотря на существенное сокращение выбросов комбината в 90-е годы, суммарный показатель загрязнения (Zc) медью и никелем органогенного горизонта почвы более чем на два порядка продолжает превышать данный показатель в незагрязненных местообитаниях [Черненькова и др., 2009] (рис. 1).

Пробные площади заложены в разных зонах техногенного воздействия на ландшафтных профилях (рис. 2) вдоль восточного и юго-восточного склонов горных массивов Мончетундра (профили 1–3), Чунатундра (профили 4–7) и западного склона Хибин (профили 8, 9). Контрольные участки (фоновая зона) располагались в ненарушенных местообитаниях в 70 км к северо-западу от источника выбросов на склонах горы Кодратнятеке (профиль 10) и в 45 км к северо-востоку в районе горы Куруайвенч (профиль 11), а также в горном массиве Хибины в долинах рек Кунийок (профиль 12), Малой Белой (профиль 13) и Вудьяврийок (профиль 14).

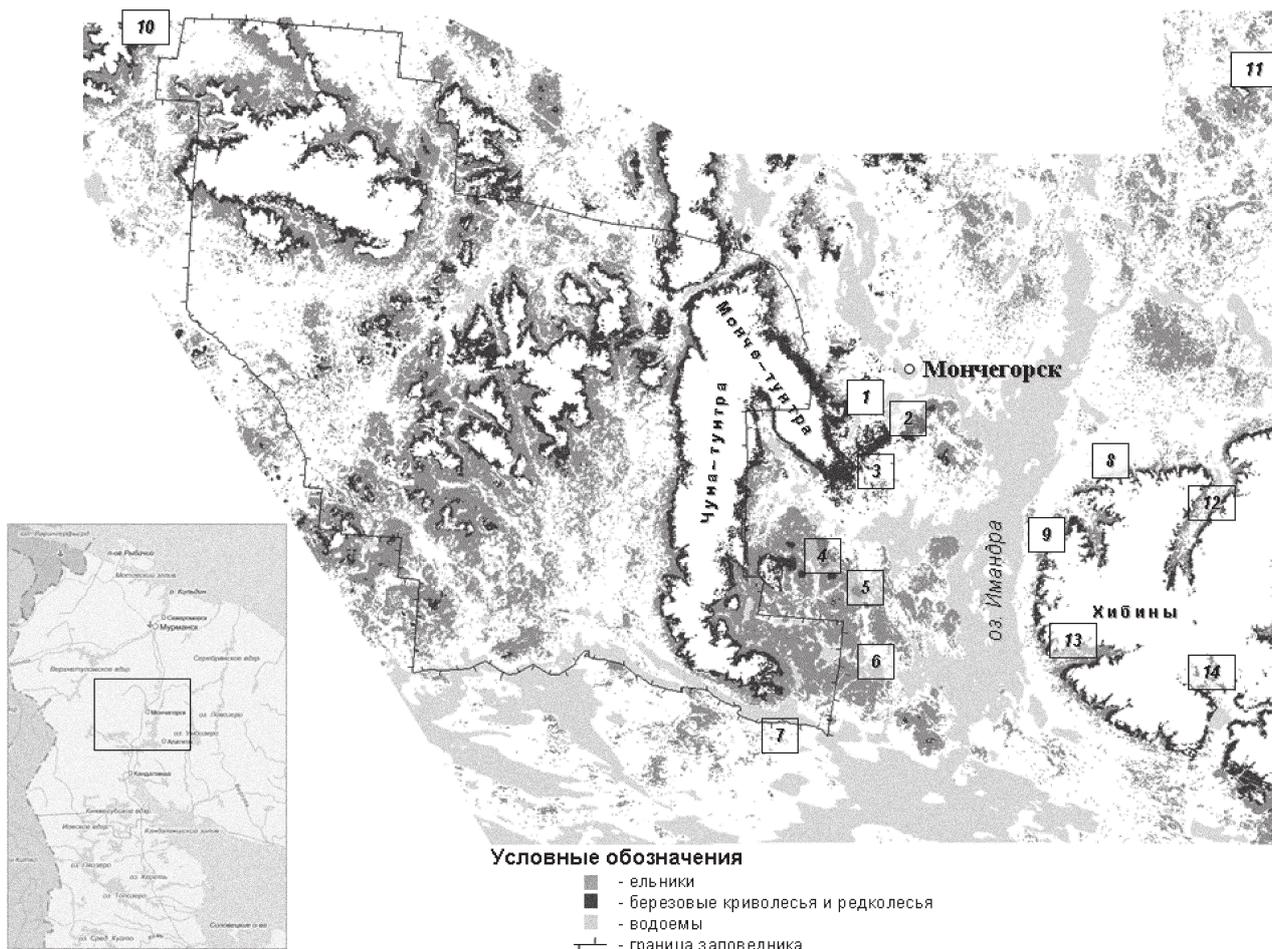


Рис. 2. Расположение профилей в районе исследований

Геоботанические описания на пологих частях склонов в горно-лесном поясе и поясе березовых криволесий выполнены по общепринятым методикам на площадках 20×20 м вдоль ландшафтных профилей с полурегулярным шагом через 250 и 500 м. Средняя протяженность профилей – 3 км. Общее число описаний – 166. Оценивали состав и структуру древесного яруса (сомкнутость крон, среднюю высоту взрослых деревьев и подроста, диаметр стволов на высоте 1,3 м). Отнесение сообщества к определенной формации осуществлялось по показателю сомкнутости крон разных видов деревьев, с использованием данных дистанционного зондирования при дешифрировании состава сообществ. Классификация сообществ с разным долевым участием двух видов в формировании древесного яруса была проведена на основании примерного соотношения пород, например, *ельник* (ель – 100 %); *ельник с березой* (ель – 75 %, береза – около 25 %); *березово-еловый* (ель – 60 %, береза – 40 %); *елово-березовый* (ель – 40 %, береза – 60 %); *березняк с елью* (ель – около 25 %, береза – 75 %); *березняк* (береза – 100 %). Для каждого

вида кустарникового, травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов фиксировали проективное покрытие (ПП) в процентах. Оценивалось также наличие эпифитных лишайников, их состав и обилие в процентах.

Для количественной оценки изменения *разнообразия* использовались следующие показатели: *видовая насыщенность* (a), как среднее число видов на единицу площади (400 м^2); *индекс Сьеренсена*, как мера среднего сходства сообществ в пределах зон нарушенности; *индекс Уиттекера*, как мера флористической неоднородности сообществ, а также *индекс Шеннона* (H)¹.

Типологическое разнообразие оценивали по числу групп ассоциаций, установленных в пределах исследуемой территории.

¹ Индекс Сьеренсена (KS) рассчитывали по формуле $KS = 2a / (a + b) + (a + c)$, где a – число общих видов, $(a + b)$ – общее число видов во втором списке, $(a + c)$ – общее число видов в первом списке. Индекс Уиттекера (bw) рассчитывали по формуле $bw = S / a - 1$, где S – видовое богатство сообщества, a – видовая насыщенность. Индекс Шеннона (H) рассчитывали по формуле $H = -\sum_{i=1}^k P_i \cdot \log P_i$, где P_i – относительное обилие i -го вида, т. е. n_i / N , где N – сумма обилий видов в сообществе.

Классификацию сообществ проводили на основе эколого-фитоценотического подхода. Группы ассоциаций выделяли по основным группам коллективных доминантов¹ в древесном и подчиненных ярусах (например, ельники кустарничково-зеленомошные, ельники зеленомошно-лишайниковые и т. д.). Для корректировки разделения выборки описаний выполнялась их кластеризация на группы по показателю активности видов (А) [Малышев, 1973]² в пределах выделенных синтаксономических единиц с использованием критерия Евклидова расстояния [Джонгман и др., 1999]. Проведение дискриминантного анализа при анализе соответствующих синтаксономических единиц в ранге групп ассоциаций для последующего картографирования дало основание для проверки точности их выделения (общая точность анализа – 75 %) [Черненко и др., 2015].

Зонирование территории в окрестностях комбината «Североникель» основано на признаках структурной целостности фитоценозов, находящихся в разных условиях техногенной нагрузки [Черненко, 2002]. Импактная зона имела протяженность ориентировочно до 15 км, буферная зона – до 40 км на юг от комбината. Следует заметить, что по данным картографирования наблюдалась размытость границ зон, связанная с общей неоднородностью биотопов, неравномерным распределением атмосферных выпадений поллютантов из атмосферы, а также разной устойчивостью биоценозов к повреждающим факторам. Оценка характера и площади распространения разных типов сообществ сделана по результатам картографического моделирования растительного покрова центральной части Мурманской области на площади 8400 км² с использованием пошагового дискриминантного анализа [Черненко и др., 2015].

Названия видов сосудистых растений приводятся по списку С. К. Черепанова [1995], мхов – по М. С. Игнатову и др. [2004], печеночников – в соответствии с последним списком печеночников России [Konstantinova et al., 2009], лишайников – по [Santesson et al., 2004].

Результаты и обсуждение

Разнообразие состава и структуры лесного покрова за последние полвека на макросклонах

¹ Коллективные доминанты – группа видов, сходных по жизненной форме, в совокупности преобладающих в фитоценозе.

² Активность $A = \sqrt{F} \cdot D$, где F – встречаемость вида на всех площадках в совокупности описаний, D – среднее значение обилия вида (%) для площадок, где этот вид отмечен.

гор Мончетундра, Чунатундра и Хибин, обращенных к озеру Имандра, определялось совместным действием природных и антропогенных факторов. Основные характеристики сообществ лесов и березовых криволесий в разных зонах представлены в таблицах 1 и 2.

Сообщества фоновой зоны

Собственно **горно-лесной пояс** в средних и нижних частях склонов представлен темнохвойными лесами (площадь 1070 км², что составляет 12,7 %), в которых увеличение увлажненности и относительного богатства почвенных условий происходит в направлении к подошве склонов. Наиболее частыми являются ельники с сосной кустарничково-зеленомошные (группа ассоциаций ***Piceeta obovatae fruticuloso-hylocomiosa***, табл. 1, группа 1), представленные сообществами ассоциаций: *ельник чернично-зеленомошный*, *ельник чернично-воронично-зеленомошный* и *ельник бруснично-мелкотравно-зеленомошный*. Они занимают 470 км², что составляет 5,6 % от общей площади изученной территории и 23 % от площади лесов на ней.

В ельниках кустарничково-зеленомошных средняя высота древесного яруса составляет около 15 м, сомкнутость – 0,3, имеется подрост *Picea obovata*, *Betula pubescens* и *Pinus sylvestris* с покрытием 20 % и подлесок *Sorbus gorodkovii*, *Juniperus sibirica* с покрытием до 10 %. Общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса ненарушенных сообществ составляет в среднем 65 %. Доминанты – *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea* и *Empetrum hermaphroditum*. С высоким постоянством (константные) отмечены следующие виды: *Linnaea borealis*, *Avenella flexuosa*, *Lycopodium annotinum*, *Solidago virgaurea*, *Trientalis europaea*, *Vaccinium uliginosum*, *Chamaepericlymenum suecicum*. Моховой покров сплошной (среднее ПП 80 %), доминируют *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi* с постоянным участием видов родов *Dicranum*, *Polytrichum* и *Barbilophozia*. Лишайники встречаются постоянными вкраплениями в моховой покров (*Cladonia rangiferina*, *C. stellaris*, *C. arbuscula*, *C. sulphurina* и др.), местами формируют пятна. Среди эпифитных лишайников наиболее часто встречаются виды родов *Bryoria*, *Alectoria*, *Hypogymnia*, *Parmeliopsis*. Видовое разнообразие растений наземных ярусов ельников кустарничково-зеленомошных является максимальным для лесных сообществ исследуемой территории. Средняя видовая насыщенность составляет 31,7, при этом наибольшее разнообразие здесь достигается за

Продолжение табл. 1

<i>Picea obovata</i>	V/5	IV/7	V/5	V/7,4	V/7	V/7	V/5,5	V/10	IV/1,6	
<i>Pinus sylvestris</i>	I/+	I/+		II/1	II/4		II/3,7	III/1,5		
<i>Juniperus sibirica</i>	III/1,2	III/2	III/1,5	III/2,5	III/1	III/1	III/3	III/2	III/1,4	II/0,2
<i>Sorbus gorodkovii</i>	IV/7		III/1	III/1	II/+	IV/2,4		III/0,6	IV/0,7	II/0,2
<i>Salix caprea</i>			II/0,7	III/2,2	II/+			III/0,5	II/6	II/0,2
Травы и кустарнички										
<i>Angelica sylvestris</i>	I/+		I/+					I/+	III/+	
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>			I/0,6				I/+	II/2,2		
<i>Arctous alpina</i>		I/1	I/+			I/+	I/+	II/+	I/+	I/+
<i>Avenella flexuosa</i>	V/10	V/4,5	V/11	V/14	V/18	V/14	IV/12	V/7	V/8	V/2
<i>Betula nana</i>	I/1		II/1		I/1	I/+	I/2	I/1	I/+	I/+
<i>Calamagrostis canescens</i>	+/3		I/1	I/+		I/+		II/+	I/+	II/+
<i>C. lapponica</i>				I/1						
<i>Calluna vulgaris</i>	+/2		I/1,6	I/+	II/5	I/+	I/+	III/2	I/+	
<i>Carex bigelowii</i>			I/+		I/+		I/+	II/1		
<i>Chamaenerion angustifolium</i>	I/+		II/1	III/3	I/+	II/+	II/1	I/+	III/4	III/+
<i>Chamaepericlymenum suecicum</i>	IV/6	I/+	IV/5	VI/9	IV/10	V/13	III/5	III/1	II/+	II/+
<i>Cirsium heterophyllum</i>	I/+		I/+	I/+				I/+	III/+	
<i>Deschampsia cespitosa</i>	I/+		I/+	I/+	I/1		I/1			II/7
<i>Diphasiastrum alpinum</i>	I/+		I/1					II/+		
<i>D. complanatum</i>	I/+	I/+	II/3	II/3	III/3	VI/2	II/1	V/1	I/+	II/+
<i>Empetrum hermaphroditum</i>	V/11	V/16,6	V/11	V/12	V/16	V/14	V/16	V/17	V/12	VI/6
<i>Equisetum sylvaticum</i>	III/+		I/+	III/+		I/+	I/+		II/+	I/+
<i>Geranium sylvaticum</i>	III/+		II/1	I/+	II/+	I/+	I/+	I/+	VI/2	
<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	III/2		I/+	II/2	II/2	II/2	I/1		II/1	
<i>Ledum palustre</i>	II/5	V/3,2	III/6	II/4	III/4	II/3	III/3	VI/5	V/6	III/+
<i>Linnaea borealis</i>	V/+	II/+	III/1	IV/+	II/2	III/1	III/2	VI/1	VI/+	I/+
<i>Loiseleuria procumbens</i>	I/+		I/+					II/+		
<i>Luzula pilosa</i>	I/+		I/+	I/+	I/+	I/+	I/+		I/+	
<i>Lycopodium annotinum</i>	IV/1		III/1	II/+	II/+	3/+	II/+			
<i>Melampyrum sylvaticum</i>	IV/1	I/0,3	II/+	I/+		II/+	I/+			I/+
<i>Orthilia secunda</i>	III/+		II/+	II/+	II/+	II/+	II/+	II/+	III/+	
<i>Phyllocoe caerulea</i>	I/1		I/2	I/+	I/+	I/+	I/+	II/+	I/+	
<i>Pyrola media</i>	I/+		I/+	I/+	I/+	I/+	I/+	II/+	III/+	I/+
<i>Solidago virgaurea</i>	III/3	I/0,3	II/1	II/+	II/+	II/+	II/+	III/+	III/+	
<i>Trientalis europaea</i>	IV/+	I/+	II/+	II/+	II/1	IV/+		I/+	II/+	

Продолжение табл. 1

<i>Trollius euraeaeus</i>	II/+	V/17	V/28	I/+	V/28	I/+	V/34	V/27	V/29	V/21	I/+	V/2
<i>Vaccinium myrtillus</i>	V/27	V/17	V/28	I/+	V/28	I/+	V/34	V/27	V/29	V/21	I/+	V/2
<i>V. uliginosum</i>	IV/3	IV/1	IV/37	IV/8	IV/8	IV/8	IV/8	III/5	III/1	V/2	V/2	III/2
<i>V. vitis-idaea</i>	V/13	V/8.2	V/7	V/9	V/7	V/9	V/9	V/7	V/6	V/6	V/9	II/2
Мохообразные												
<i>Barbilophozia hatcheri</i>	I/2		II/5	II/2	II/5	II/11	II/11	II/1	I/+			
<i>B. lycopodioides</i>	IV/9	III/11	II/9	III/8	II/9	III/8	III/8	VI/9	II/11	II/1	I/+	I/+
<i>Calypogeia integristipula</i>	I/+			I/+		II/+	II/+		I/+			
<i>Cephalozia bicuspidata</i>	I/+		I/12	I/+		II/5	II/5		I/+			
<i>Dicranum flexicaule</i>	II/1,5	I/+							I/+			
<i>D. fuscescens</i>	I/+	I/1						I/+				
<i>D. majus</i>	III/4		I/+					I/2				
<i>D. polysetum</i>	I/+											
<i>D. scoparium</i>	VI/5	II/3	II/3	II/+	II/3	II/3	II/3	II/3	II/1			
<i>Hypocomium splendens</i>	IV/15	III/8	I/+	I/1	I/+	I/+	I/+	I/+			I/+	
<i>Lophozia sp.</i>	I/+	II/+	I/3	I/1	I/3	II/7	II/7	I/+	II/8	I/+	I/+	
<i>Orthocaulis attenuatus</i>			I/+			II/+	II/+		I/+			
<i>O. floerkei</i>	I/+		I/1	II/1	I/1	II/+	II/+		II/+			
<i>O. kunzeanus</i>			I/+	I/+	I/+	II/+	II/+			I/+		
<i>Pleurozium schreberi</i>	V/41	V/36	II/8	I/2	II/8	II/4	II/4	II/4	I/+	I/+		
<i>Pohlia nutans</i>	III/+	I/+	IV/6	VI/6	IV/6	VI/5	VI/5	V/1	V/10	III/4	V/6	VI/21
<i>Polytrichum commune</i>	II/+		II/1	I/+	II/1	I/+	I/+	II/+	II/1			
<i>P. juniperinum</i>	III/+	III/+	II/+	II/1	II/+	II/1	II/1	II/+	II/1		I/+	I/+
<i>P. hyperboreum</i>			I/1	I/+	I/1	I/+	I/+	I/1	I/1		I/+	I/+
<i>P. strictum</i>	III/1	I/+	I/+	I/+	I/+						I/+	
<i>Ptilidium ciliare</i>	III/2	III/1	I/1	II/+	I/1	II/+	II/+	II/+	II/+			
Лишайники												
<i>Bryoria simplicior</i>	I/+	II/+	I/+									
<i>Cetraria ericetorum</i>				I/+				I/+	II/1			
<i>C. islandica</i>	I/+	I/5	III/1	III/3	III/1	V/4	V/4	III/4	III/10	III/+	I/+	I/+
<i>Cetrariella delisei</i>			I/1	III/+	I/1	I/+	I/+	I/+	I/1			
<i>Cladonia amaurograea</i>	II/+		I/+	I/+	I/+	I/+	I/+				I/+	
<i>C. arbuscula</i>	III/1	V/6	II/+	II/1	II/+	VI/2	VI/2	II/1	III/1	I/+	I/+	
<i>C. cariosa</i>			I/+		I/+			I/+	II/1	I/+		
<i>C. carneola</i>	I/+		I/+	I/+	I/+				II/1	II/+		
<i>C. cenotea</i>	I/+	I/+	II/2	I/1	II/2	I/1	I/1		I/+	I/+	I/+	

Окончание табл. 1

<i>C. chlorphaea</i>	I/+		I/+	II/10	II/1	II/3	II/+	II/+	
<i>C. coccifera</i>	I/+	II/1	I/+				II/+		I/+
<i>C. cornuta</i>	II/+	III/+	II/+	II/+	II/+	II/+	II/+	I/+	I/+
<i>C. crispata</i>	III/+	V/2	III/1	III/+	III/+	III/3	III/3	II/+	I/+
<i>C. deformis</i>	I/+	II/+	II/2	III/6	II/+	III/11	II/1		I/+
<i>C. еstосуна</i>	II/1	I/1		I/+					
<i>C. fimbriata</i>	I/+		I/+	I/+	I/+	II/+	I/+		
<i>C. gracilis</i>	II/1	II/3	II/+	II/+	II/1	II/+	I/1		
<i>C. macroceras</i>	I/+	III/2	I/+	I/+	I/+	II/+			I/+
<i>C. pleurota</i>	I/+	I/+	I/+	II/+	II/+	II/+	III/+	I/+	I/+
<i>C. pyxidata</i>	I/+		I/+	II/+	I/+	I/+			
<i>C. rangiferina</i>	III/4	IV/5	I/+	I/+	II/+	I/+	I/+		
<i>C. stellaris</i>	III/2	V/36	II/+	II/+	I/+	II/+	I/1		
<i>C. subulata</i>	I/+								
<i>C. sulphurina</i>	III/+	II/+	III/2	II/1	III/+	II/1	II/+		
<i>C. uncialis</i>	I/+	IV/1	I/+	II/1	I/+	II/1	II/+		I/+
<i>Flavocetraria nivalis</i>		II/+	I/+	I/+	II/+	I/1	II/1	III/+	
<i>Hypogymnia physodes</i>	III/+	III/1			I/+				
<i>Nephroma arcticum</i>	II/1	IV/4							
<i>Trapeilopsis granulosa</i>			I/5	II/7	II/4	III/31	II/5		I/1

Примечание. Здесь и в табл. 2 римские цифры в числителе – постоянство, арабские в знаменателе – среднее проективное покрытие (в процентах), * средняя сомкнутость древо-стоя. Приведены виды с величиной покрытия более 1 % и значением постоянства не менее II хотя бы в одной из описанных групп ассоциации.

Таблица 2. Характеристика сообществ пояса березовых криволесий на макросклонах к озеру Имандра в разных зонах загрязнения

Группа ассоциаций	Березовые криволесья и редколесья кустарничково-лишайниковые	Березовые криволесья и редколесья кустарничково-зеленомошные	Березовые криволесья и редколесья кустарничково-корковолишайниковые	Березовые криволесья и редколесья кустарничковые	Березовые криволесья с ивой полумертвопородные корковолишайниково-полиевые
	11	12	13	14	15
Номер порядковый	11	12	13	14	15
Зоны	фоновая		буферная		импактная
Число описаний	7	5	5	5	8
Средняя высота над ур. моря, м	366 ± 39	415 ± 36	361 ± 63	388 ± 77	321 ± 41
Средняя высота древесного яруса, м	0	4	1,8	2	0
Средняя высота подроста и подлеска, м	2,3 ± 0,75	2,5 ± 0,7	3,4 ± 1,1	2,2 ± 1,1	1,9 ± 0,68
Средняя сомкнутость древостоя (ярус А)	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	0
Средняя сомкнутость подроста и подлеска (ярус В)	<0,1	0,1 ± 0,1	0,2 ± 0,09	0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,01
Среднее покрытие, %					
травы и кустарнички	51 ± 10,3	60 ± 7,2	38 ± 13,4	68 ± 18,2	17 ± 25,2
мхи	23 ± 19	81 ± 3,6	25 ± 14,8	10 ± 8,0	10 ± 6,8
лишайники	53 ± 11,8	13 ± 3,7	60 ± 8,8	16 ± 9,2	50 ± 4,0
Среднее значение KS	38,0 ± 7,2	34,2 ± 6,3	30,2 ± 7,3	34,1 ± 5,6	40,6 ± 8,7
Средняя насыщенность видов наземного покрова, общая	27,2	34,2	17,6	24,2	14,6
травяно-кустарничковый ярус	11 ± 2	14,6 ± 3	7,6 ± 2	13,2 ± 3,4	9,5 ± 1,1
моховой ярус	5,4 ± 3	9,4 ± 3	2,8 ± 1,4	5,2 ± 3	1,1 ± 0,7
лишайниковый ярус	10,8 ± 5	10,2 ± 7	7,2 ± 4,2	5,8 ± 3,4	4 ± 2,5
Деревья*					
<i>Betula pubescens</i> ssp. <i>czerepanovii</i>	II/<0,01	V/0,02		II/<0,01	0
<i>Picea obovata</i>	0	II/0,01	I/<0,01	I/<0,01	0
<i>Pinus sylvestris</i>	II/<0,01	II/0,01	0	0	0
Подрост деревьев и кустарники					
<i>Betula pubescens</i> ssp. <i>czerepanovii</i>	II/4,5	IV/9,3	IV/18	III/6	IV/7,9
<i>Juniperus sibirica</i>		IV/3,2		V/2,2	IV/1,8
<i>Salix caprea</i>					III/1,4
<i>S. glauca</i>				II/1,4	
<i>S. phylicifolia</i>					II/0,7
<i>Sorbus gorodkovii</i>		II/0,1		II/1,5	
Травы и кустарнички					
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	I/0,6	I/0,2	I/1	I/6	V/5
<i>Arctous alpina</i>	II/4	II/1	III/9	II/3	II/1
<i>Avenella flexuosa</i>	IV/1,5	III/10	V/11	IV/2,4	IV/2,2
<i>Betula nana</i>	V/20	IV/24	II/2	IV/23	IV/0,5
<i>Calluna vulgaris</i>	III/7	II/2,2		I/1	II/0,8
<i>Carex bigelowii</i>	I/0,6	I/+	II/4	I/3	II/0,6
<i>Diphasiastrum alpinum</i>	I/+	I/+	II/1,6	II/2	I/0,1
<i>D. complanatum</i>	I/0,1		II/3,2	I/+	II/0,6
<i>Empetrum hermaphroditum</i>	V/8	V/16	I/2	II/4,2	IV/8
<i>Juncus trifidus</i>	III/4	II/0,6	II/3	I/5	III/0,6
<i>Ledum palustre</i>	III/3,1	I/1		I/8	IV/0,6
<i>Loiseleuria procumbens</i>	II/0,5	I/+	I/0,6	I/1	I/0,3

Окончание табл. 2

Номер порядковый	11	12	13	14	15
<i>Lycopodium annotinum</i>	I/0,4	V/0,8		I/+	I/0,1
<i>Phyllodoce caerulea</i>	III/3,1	IV/5,4	I/2	III/3,2	II/0,8
<i>Solidago virgaurea</i>	II/0,3	III/2,2		I/1	
<i>Vaccinium myrtillus</i>	III/6,3	V/17	III/8,4	IV/5,4	IV/1,8
<i>V. uliginosum</i>	V/8,3	IV/8	II/1,2	V/4	IV/0,5
<i>V. vitis-idaea</i>	IV/1,9	III/4,8	IV/2,2	IV/12	II/2,4
Мохообразные					
<i>Andreaea rupestris</i>	III/0,3	II/0,4		I/1	
<i>Barbilophozia lycopodioides</i>	I/+	II/+		I/1	
<i>Cephalozia bicuspidata</i>		II/+		I/1	
<i>Dicranum flexicaule</i>	I/+	II/3,2			
<i>D. scoparium</i>	II/2,5	II/3		II/+	
<i>Hylocomium splendens</i>	III/4,5	IV/9,5			
<i>Pleurozium schreberi</i>	III/8,4	IV/42,5		I/0,2	
<i>Pohlia nutans</i>	I/0,4	I/+	V/21	V/5	IV/7,5
<i>Polytrichum commune</i>	II/2,3			I/+	
<i>P. piliferum</i>	I/0,1	I/+	I/2		
<i>Racomitrium microcarpon</i>	III/5,1	I/2			I/0,5
Лишайники					
<i>Alectoria ochroleuca</i>	II/0,6	I/+	II/3,1		
<i>Cetraria ericetorum</i>		I/2			I/0,9
<i>C. islandica</i>	V/21,0	I/0,4	I/0,2	II/0,23	IV/8,8
<i>Cetrariella delisei</i>			II/1,6	II/3,2	I/0,1
<i>Cladonia arbuscula</i>	V/4,6	II/1,3	I/2	II/2,5	
<i>C. coccifera</i>	III/+	I/+	I/0,2	II/3,2	
<i>C. deformis</i>		I/1	II/0,2	II/0,2	I/0,9
<i>C. rangiferina</i>	II/0,4			I/1	
<i>C. stellaris</i>	IV/6,8	I/1,5	I/5	I/0,4	
<i>Flavocetraria nivalis</i>	V/8,4	I/0,2	III/9,0	II/2,5	II/4,1
<i>Stereocaulon alpinum</i>			I/0,2	I/1,4	I/0,5
<i>Trapeliopsis granulosa</i>	I/0,3		III/42	II/1,2	V/31

счет травяно-кустарничкового яруса. Среднее значение индекса Сьеренсена для ельников кустарничково-зеленомошных составляет 51,6 (табл. 1).

Ельники с березой кустарничковые зеленомошно-лишайниковые (группа ассоциаций ***Piceeta obovatae hylocomioso-cladinosa***, табл. 1, группа 2), занимают 600 км², или 7 % от площади исследуемой территории, наибольшая площадь у сообществ ассоциации ельник чернично-вороничный зеленомошно-лишайниковый. Древесный ярус из ели, местами с березой, средняя сомкнутость – 0,2. В подросте – береза, ель, изредка встречается сосна и осина. В подлеске отмечен в незначительном количестве можжевельник. Сообщества характеризуются меньшим по сравнению с кустарничково-зеленомошными ельниками покрытием травяно-кустарничкового яруса (43 %) с преобладанием

Vaccinium myrtillus и *Empetrum hermaphroditum* и высоким средним покрытием мохообразных и лишайников, представленных примерно в равных долях (45 и 55 %). В моховом ярусе доминирует *Pleurozium schreberi*, постоянно встречаются *Ptilidium ciliare*, *Dicranum scoparium*, *Hylocomium splendens*. Из лишайников преобладает *Cladonia stellaris*, местами довольно обильны *C. arbuscula*, *C. gracilis*, *Nephroma arcticum*, константны *Cladonia crispata*, *C. rangiferina*, *C. uncialis*, *C. sulphurina*, *C. macroceras*, *C. cornuta*, *Flavocetraria nivalis*, из эпифитных лишайников – *Bryoria simplicior*. Видовое разнообразие наземного покрова сообществ данной группы ассоциаций меньше, чем предыдущей. Видовая насыщенность – 27,4. Среднее значение индекса Сьеренсена для ельников зеленомошно-лишайниковых существенно меньше по сравнению с предыдущей группой и составляет 37,9, что

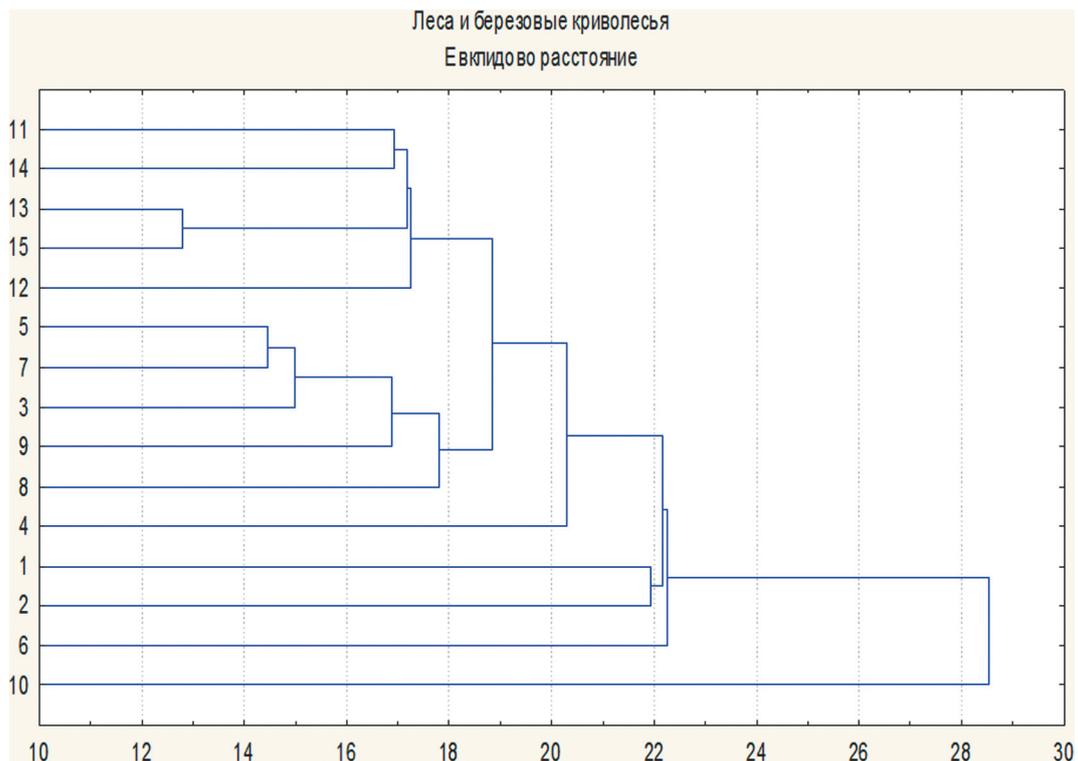


Рис. 3. Результаты кластерного анализа лесных сообществ и березовых криволесий.

1. Ельники с сосной кустарничково (*Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium uliginosum*, *V. myrtillus*, *V. vitis-idaea*)-зеленомошные (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*).
2. Ельники с березой кустарничковые (*Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium myrtillus*, *Ledum palustre*) зеленомошно-лишайниковые (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Cetraria islandica*, *Cladonia* spp.).
3. Ельники кустарничково (*Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium myrtillus*)-печеночниковые (*Barbilophozia* spp., *Lophozia* spp., *Orthocaulis* spp.).
4. Березово-еловые кустарничковые (*Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium uliginosum*, *V. myrtillus*) и травяно (*Avenella flexuosa*)-кустарничковые леса.
5. Ельники кустарничковые (*Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium myrtillus*) травяно (*Avenella flexuosa*)-корковолишайниковые (*Trapeliopsis granulosa*, *Cladonia deformis*).
6. Ельники с березой кустарничково (*Vaccinium myrtillus*, *Empetrum hermaphroditum*)-травяные (*Chamaepericlymenum suecicum*, *Avenella flexuosa*).
7. Ельники с сосной и березой кустарничково (*Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium myrtillus*)-корковолишайниковые (*Trapeliopsis granulosa*).
8. Ельники с березой кустарничково (*Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium myrtillus*)-корковолишайниковые (*Trapeliopsis granulosa*).
9. Березовые редколесья с ивой кустарничковые (*Vaccinium myrtillus*, *Empetrum hermaphroditum*, *V. vitis-idaea*).
10. Березовые редколесья полумертвопокровные полиевые (*Pohlia nutans*).
11. Березовые криволесья и редколесья кустарничково (*Empetrum hermaphroditum*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Betula nana*, *Calluna vulgaris*)-лишайниковые (*Flavocetraria nivalis*, *Cladonia stellaris*, *C. arbuscula*, *Cetraria islandica*).
12. Березовые криволесья и редколесья кустарничково (*Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *Betula nana*)-зеленомошные (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*).
13. Березовые криволесья и редколесья кустарничково (*Empetrum hermaphroditum*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Vaccinium myrtillus*, *Carex bigelowii*, *Juncus trifidus*, *Avenella flexuosa*)-корковолишайниковые (*Trapeliopsis granulosa*, *Cladonia deformis*).
14. Березовые криволесья и редколесья кустарничковые (*Empetrum hermaphroditum*, *Arctostaphylos uva-ursi*).
15. Березовые криволесья с ивой полумертвопокровные корковолишайниковые (*Trapeliopsis granulosa*)-полиевые (*Pohlia nutans*).

говорит о большей неоднородности ее состава (табл. 1).

О пирогенных нарушениях сообществ данной группы ельников свидетельствует наличие углей в слое подстилки, а также особенности

видового состава наземного яруса, в частности, бедность флоры сосудистых растений в целом, отсутствие в качестве содоминантов видов мезофильного разнотравья (*Gymnocarpium dryopteris*, *Cirsium heterophyllum*, *Geranium*

sylvaticum, *Chamaepericlymenum suecicum* и др.), а также меньшая доля зеленых мхов в сложении мохово-лишайникового покрова по сравнению с лесами кустарничково-зеленомошного типа [Никонов и др., 2004]. Результаты кластерного анализа подтвердили близость двух этих групп ассоциаций (группы 1 и 2) и их обособленность от сообществ буферной и импактной зоны (рис. 3).

В ненарушенных местообитаниях верхних частей склонов горных массивов и на их вершинах выше 350–400 м над ур. моря обычно расположены **березовые криволесья и редколесья**, переходящие в горные тундры. Площадь березовых криволесий здесь сравнительно невелика – всего 1,8 % от общей площади исследованной территории, что составляет около 150 км².

Березовые криволесья и редколесья кустарничково-лишайниковые (группа ассоциаций **Parvo-Betuleta fruticuloso-eucladinosa**, табл. 2, группа 11) характерны для ненарушенных территорий. Включают следующие ассоциации: *ерниково-цетрариевые*, *вересково-ерниково-цетрариевые*, *чернично-воронично-зеленомошно-кладониевые* и *чернично-ерниково-зеленомошно-кладониевые березовые криволесья*. Древесный ярус сильно разрежен (сомкнутость менее 0,1), состоит из отдельных берез с искривленной формой ствола высотой до 2 м с примесью сосны. Выходы коренных пород определяют горизонтальную структуру наземных ярусов. В травяно-кустарничковом покрове (ПП 50 %) обычны *Betula nana*, *Empetrum hermaphroditum*, *Calluna vulgaris*, *Juncus trifidus* и *Vaccinium myrtillus*. Мохообразные (*Racomitrium microcarpon*, *Tetralophozia setiformis*, *Hylocomium splendens*) часто растут на скальных обнажениях, сомкнутость мохового покрова чаще не превышает 20 %. Обильны кустистые лишайники (*Cetraria islandica*, *Flavocetraria nivalis*, *Cladonia stellaris*), формирующие покрытие до 55 %. Видовая насыщенность 27,2. Среднее значение $KS = 38$, что свидетельствует о разнородности состава ассоциаций данной группы (табл. 2).

Березовые криволесья и редколесья кустарничково-зеленомошные (группа ассоциаций **Parvo-Betuleta fruticuloso-hylocomiosa**, табл. 2, группа 12) преобладают по площади и включают сообщества ассоциаций: *чернично-воронично-зеленомошные* и *ерниково-зеленомошные березовые криволесья*. В древесном ярусе высотой около 4 метров – береза с примесью сосны и ели, в кустарничковом часто отмечен можжевельник,

а также рябина, реже отдельные виды ив. Травяно-кустарничковый ярус имеет высокое проективное покрытие – около 60 %, преобладают *Betula nana* и характерные лесные кустарнички, *Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *V. uliginosum*. Мохово-лишайниковый покров также хорошо выражен и представлен преимущественно зелеными мхами – около 60 % покрытия, а лишайниками – более чем на 30 %. Видовая насыщенность (34,2) по сравнению с предыдущей группой несколько выше за счет разнообразия видов травяно-кустарничкового и мохового ярусов.

Рядом с сообществами этих ассоциаций встречаются фрагменты *ерниково-долгомощных криволесий*. В них имеется подрост березы с примесью ели, в травяно-кустарничковом ярусе, наряду с *Betula nana*, обилён луговик извилистый (*Avenella flexuosa*), в моховом – виды рода *Polytrichum*, что свидетельствует о постпирогенном характере формирования данных участков.

Среднее значение индекса Сьеренсена для кустарничково-зеленомошных криволесий невысоко и составляет 38. Описанные нами группы ассоциаций березовых криволесий схожи с выделенными ранее в Хибинах типами сообществ на бесснежных горных склонах и коренных обнажениях: толокнянково-лишайниковыми, воронично-цетрариевыми, воронично-кладониевыми и кустарничково-зеленомошными криволесьями [Аврорин и др., 1936; Королева, 2011].

Сообщества буферной зоны

Сообщества этой зоны подвергаются аэротехногенному загрязнению, несмотря на значительное удаление от источника выбросов – 20–40 км. Уровень загрязняющих веществ в горизонте подстилки превышает контрольные измерения на два порядка (рис. 1). Следствием являются многочисленные нарушения состава и структуры растительности. Расположенные в нижних и средних частях склонов **лесные сообщества** (ельники кустарничково-зеленомошные) буферной зоны замещаются производными вариантами из сочетаний сосновых, еловых и березовых лесов. Кроны елей разрежены, степень дефолиации варьирует от 50 до 20 %. Замедление темпов апикального прироста проявилось в уменьшении высоты деревьев на 20 % по сравнению с фоновыми условиями. Высота древесного яруса снижается с 15 до 11 м, сомкнутость крон – с 0,25 до 0,18 (табл. 1). Средняя величина радиального прироста стволов ели для буферной зоны в целом составила

0,45 ± 0,2 мм, что вдвое меньше, чем прирост в фоновой зоне (0,80 ± 0,37 мм) [Черненкова, Бочкарев, 2013]. Состав подроста и подлеска не отличался от ненарушенных сообществ, представлен мелколиственными породами деревьев и кустарников (береза, осина, рябина, ива) с сомкнутостью крон 0,25. Ценолитическое разнообразие сообществ буферной зоны увеличивалось за счет повышения мозаичности напочвенного покрова.

Наиболее распространенными в буферной зоне являются ельники кустарничково-печеночниковые, приуроченные к пологим горным склонам и неглубоким речным долинам (группа ассоциаций *Piceeta obovatae fruticuloso-barbilophoziosa* (табл. 1, группа 3), площадь 152 км², которые можно рассматривать как результат антропогенной трансформации сообществ группы ассоциации *Piceetum obovatae fruticuloso-hylocomiosum*). Древостой сомкнутостью 0,2 составлен елью со значительной примесью березы в подросте, в подлеске помимо рябины и можжевельника могут встречаться ивы *Salix caprea*, *S. phylicifolia*. В травяно-кустарничковом ярусе (покрытие 75 %) доминируют голубика и черника. В моховом покрове доминантами выступают широко распространенные виды печеночников (*Barbilophozia lycopodioides*, *B. hatcheri*, *Lophozia sp.*, *Cephalozia bicuspidata*), постоянно присутствуют *Pohlia nutans* и *Pleurozium schreberi*. Покрытие лишайников небольшое, в среднем около 14 %, встречаются виды рода *Cladonia*, среди константных *C. sulphurina* и *C. crispata*. В кустарничково-печеночниковых ельниках видовая насыщенность наземных ярусов в среднем 22,7. Среднее значение *KS* равно 47,6 (табл. 1).

Березово-еловые кустарничковые и травяно-кустарничковые леса (группа ассоциаций *Betuleto-Piceeta obovatae fruticulosa* и *fruticuloso-deschampsiosa* (табл. 1, группа 4), площадь около 80 км²) отличаются от предыдущей группы снижением покрытия мохообразных до 21 %. Мохообразные (*Barbilophozia hatcheri*, *B. lycopodioides*) или вкраплены в почти сплошной покров кустарничков, или произрастают в специфических условиях – на скоплениях мелкозема растут *Pohlia nutans*, *Calypogeia integristipula*, *Polytrichum piliferum*, в сырых понижениях обнаружены виды рода *Sphagnum* (*S. fallax*, *S. lindbergii*, *S. russowii*). Средняя видовая насыщенность 21,5, среднее значение *KS* 50,7.

Реже встречаются сообщества групп ассоциаций ельники кустарничковые

травяно-корковолишайниковые (*Piceeta obovatae fruticuloso-deschampsioso-cladinoso-trapeliosa*, табл. 1, группа 5), ельники с березой кустарничково-травяные (*Piceeta obovatae fruticuloso-deschampsiosa*, табл. 1, группа 6) и ельники с сосной и березой кустарничково-корковолишайниковые (*Piceeta obovatae fruticuloso-cladinoso-trapeliosa*, табл. 1, группа 7), различающиеся по составу древесного яруса, а также по покрытию травяно-кустарничкового яруса (от 30 до 80 %), мохового (от 11 до 60 %) и лишайникового (от 8 до 42 %) покрова. Общим является доминирование *Vaccinium myrtillus*, *Empetrum hermaphroditum*, *Avenella flexuosa* и высокое постоянство *V. vitis-idaea*, *Chamaepericlymenum suecicum*, *Linnaea borealis*, *V. uliginosum*. Величина среднего значения *KS* различается в небольших пределах – от 44,2 до 47,6 (табл. 1).

Кластерный анализ объединил группы ассоциаций лесов буферной зоны (рис. 3, гр. 3, 5 и 7) в отдельный кластер по составу и обилию видов наземного покрова. Разреженные порослевые березовые леса кустарничково-травяные (гр. 6) имели более близкое расстояние с фоновыми ельниками (гр. 1 и 2) из-за сходства состава травяно-кустарничкового яруса.

В составе **березовых криволесий и редколесий** в буферной зоне средней степени нарушенности наибольшую площадь занимают кустарничково-корковолишайниковые (*Parvo-Betuleta fruticuloso-cladinoso-trapeliosa*, табл. 2, группа 13) и кустарничковые (*Parvo-Betuleta fruticulosa*, табл. 2, группа 14) сообщества, покрывающие в сумме 160 км², то есть около 2 % от площади исследуемой территории. В составе первой группы ассоциаций – *толокнянково-воронично-кладониевые* и *корково-лишайниковые*, *луговиково-ситниковые корково-лишайниковые березовые криволесья*, в составе второй – *ерниковые* и *толокнянковые елово-березовые редколесья*, распространенные на россыпях щебнистого и (или) каменистого элювия и выходах кристаллического фундамента.

Средняя высота деревьев (береза и ель) – не более 2 м. В подросте – береза, ель, режа сосна, в подлеске – можжевельник (табл. 2), при этом жизненное состояние подроста сравнительно лучше, чем взрослых деревьев. В травяно-кустарничковом ярусе доминантами выступают *Vaccinium myrtillus*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Betula nana*, *Ledum palustre*, *Carex bigelowii*, *Juncus trifidus*; покрытие варьирует от 30 до 70 % за счет кустарничков. Проективное

покрытие мохообразных резко снижается по сравнению с ненарушенными местообитаниями и в среднем составляет от 10 до 25 %, повсеместно встречается *Pohlia nutans*. Среди лишайников (среднее ПП 15–60 %) доминируют напочвенный корковый вид *Trapeliopsis granulosa* и кустистые *Flavocetraria nivalis*, *Cetrariella delisei*, *Cladonia arbuscula*, *C. stellaris*, а также виды рода *Stereocaulon*. Индекс Сьеренсена для березовых криволесий этой зоны меньше, чем для фоновой зоны, и составляет 30,2 и 34,1 для 13 и 14 групп.

Кластерный анализ отделил сообщества березовых криволесий (гр. 11–15) от сообществ лесного пояса в отдельную группу, однако не выявил четких различий сообществ березовых криволесий нарушенных местообитаний от сообществ фоновой и буферной зоны (рис. 3).

Сообщества импактной зоны

Окрестности в радиусе 5 км от металлургического комбината (рис. 2, профили 1, 2) сохраняют, в соответствии с классификацией Б. В. Виноградова [1998], облик территории экологического бедствия и катастрофы, особенно при экстремальной техногенной нагрузке при концентрации тяжелых металлов в почве, превышающей контрольные измерения на два-три порядка (рис. 1). Для почв этой зоны характерно, помимо многократного превышения содержания соединений тяжелых металлов, существенное обеднение элементами питания, полное разрушение структуры органо-генного горизонта, сопровождающееся интенсивными процессами смыва и выветривания его с поверхности почвы, местами полное исчезновение (разрушение) всего почвенного покрова.

На плоских и пологих поверхностях террас в этой зоне на высоте 190–250 м над ур. моря распространены сильно трансформированные **лесные экосистемы**, представленные сочетанием трех типов сообществ: ельников с березой кустарничковых корково-лишайниковых (***Piceeta obovatae fruticuloso-cladinoso-trapeliosa***, табл. 1, группа 8), березовых с ивой редколесий кустарничковых (***Saliceto-Betuleta fruticulosa***, табл. 1, группа 9) и березовых редколесий полумертвопокровных корковолишайниково-полиевых (***Betuleta pohliosio-cladinoso-trapeliosa***) (табл. 1, группа 10). Их площадь в целом весьма значительна – около 190 км².

Хвойные деревья 1-го яруса практически выпали из состава древостоя, часть их

продолжает стоять в усохшем или усыхающем состоянии, другая часть формирует валеж. Это, в совокупности с большим количеством грубого органического материала на поверхности почвы, представляет высокую пожарную опасность и периодически воспламеняется. Сокращение продолжительности жизни хвои, массовый некроз ассимилирующей поверхности, уменьшение размеров побегов и самой хвои привели к резкому снижению показателя жизненного состояния деревьев. Величина радиального прироста сократилась втрое – с $0,80 \pm 0,37$ мм на контрольных участках (70 км) до $0,28 \pm 0,2$ мм в импактной зоне (10 км) [Черненко, Бочкарев, 2013]. Средняя высота деревьев на расстоянии 10 км от источника выбросов снизилась на 20 % по сравнению с сообществами в фоновой зоне (табл. 1). В составе подроста и подлеска сохранились в сильно угнетенном состоянии все основные виды деревьев и кустарников (ель, береза, осина, сосна, рябина, можжевельник, ива козья).

Травяно-кустарничковый ярус сообществ импактной зоны фрагментарен, его покрытие в крайнем варианте (березняки полумертвопокровные полиевые) немногим больше 15 %. Преобладают *Vaccinium myrtillus* и *Empetrum hermaphroditum*, чаще других встречаются *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, *Chamaepericlymenum suecicum*, *Avenella flexuosa*. Лишайники и мохообразные распространены спорадически и представлены характерными для инициальных стадий сукцессий видами, поселяющимися на минерализованной поверхности почвы. Покрытие мохообразных в среднем 15 %, с наибольшим постоянством встречается *Pohlia nutans*. Покрытие лишайников, распространенных главным образом на камнях и почве, в среднем 4 %. Показатели видового разнообразия снижены (12 и 6,8 вида). Исключение составляют кустарничковые разреженные порослевые березовые леса с ивой (гр. 9), в которых за счет разнообразия видов сосудистых растений насыщенность травяно-кустарничкового яруса максимальна и составляет 16 видов (табл. 1), что дало объяснение близости их при кластеризации к лесам буферной зоны (рис. 3, гр. 3, 5, 7).

Березовые редколесья полумертвопокровные корковолишайниково-полиевые (***Betuleta pohliosio-cladinoso-trapeliosa***) сформировались при уровнях загрязняющих веществ в верхнем слое почвы, превышающих в 1000 раз контрольные измерения (рис. 1). Из-за пролонгированного действия соединений тяжелых металлов в окружающей среде восстановление растительности

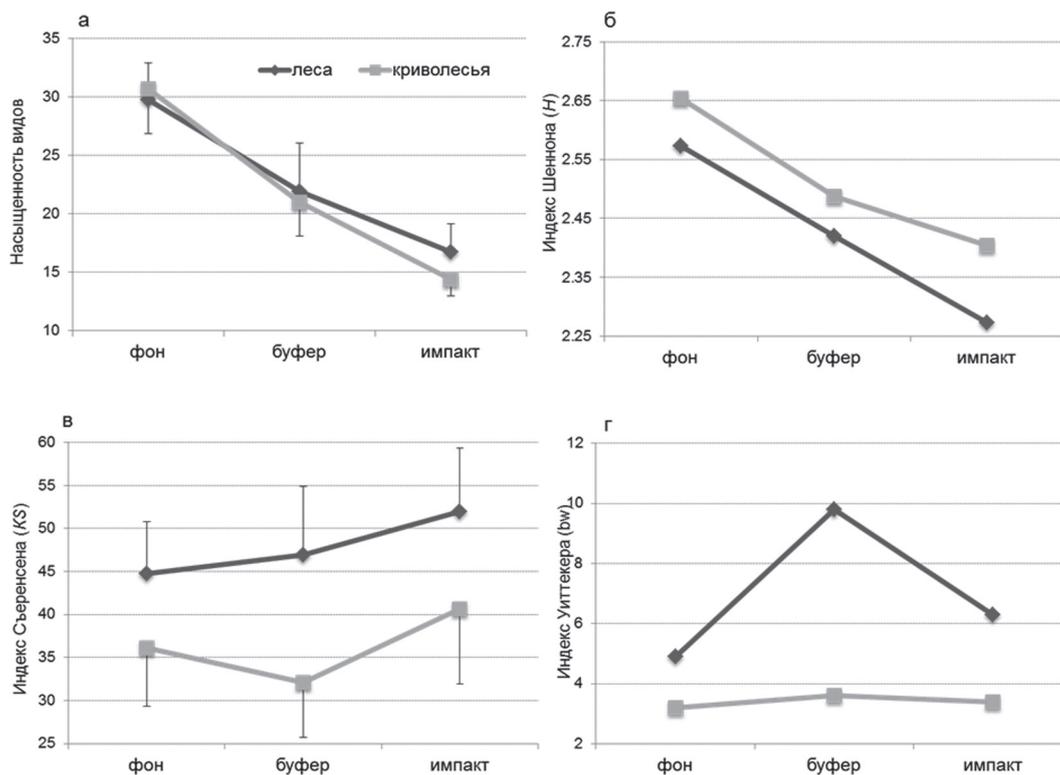


Рис. 4. Изменение показателей видового и ценотического разнообразия в сообществах березовых криволесий и лесов в фоновой, буферной и импактной зонах:

а – насыщенность видов на площадках 20 × 20 м; б – индекс Шеннона; в – коэффициент сходства (индекс Сьеренсена); г – индекс Уиттекера

данных местообитаний идет исключительно за счет порослевой березы и ивы [Черненкова и др., 2011]. Видовая насыщенность (9,5) минимальна по сравнению с другими группами лесов и березовых криволесий, количество мохообразных и лишайников снижено (в среднем 1,3 и 1,4 вида). В напочвенном покрове увеличение покрытия происходит за счет *Pohlia nutans*, что также отмечено для сосняков импактной зоны, наблюдавшихся с точки зрения восстановительной сукцессии [Ярмишко и др., 2011]. Индекс Сьеренсена составил максимальную величину по сравнению со всеми ранее рассматриваемыми группами – 57, что говорит об относительной однородности весьма скудного видового состава полумертвопокровных полиевых редколесий (табл. 1). Кластерный анализ подтвердил совершенно обособленное положение этих сообществ (рис. 3, гр. 10).

В сходной ситуации после сокращения промышленных выбросов в окрестностях Среднеуральского медеплавильного комбината М. Р. Трубина с соавт. [2014] рассматривают отсутствие положительных изменений в состоянии растительности как свидетельство справедливости инерционной гипотезы, при которой основным механизмом

стабильности выступает медленное очищение почвы от металлов.

В поясе **березовых криволесий** наиболее распространен тип березовых криволесий с ивой полумертвопокровных полиевых (*Saliceto-Betuleta pohliosa*, табл. 2, группа 15), переходящих местами в пустоши, стланиковое редколесье и гольцы и отмеченных на россыпях щебнистого и (или) каменистого элювия и выходах кристаллического фундамента. Площадь их составляет около 30 км² (0,37 %). Проективное покрытие трав и кустарничков – не более 20 %. Встречаются *Arctostaphylos uva-ursi*, *Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium myrtillus*, *V. uliginosum*, *Betula nana*, *Avenella flexuosa*, *Carex bigelowii*, *Ledum palustre*, *Phyllodoce caerulea*. Покрытие мохового покрова около 10 %, в основном это мхи – *Pohlia nutans* и виды рода *Racomitrium*. Покрытие лишайников составляет 6 %, отмечены в основном *Cetraria islandica*, *Trapeliopsis granulosa*, а также виды родов *Stereocaulon* и *Cladonia*. Форма роста видов рода *Cladonia* представлена первичными слоевищами без подцелиев или только с их зачатками. Показатели видового разнообразия здесь также невелики: видовая насыщенность в среднем 14,6 при

значительных изменениях видового состава травяно-кустарничкового яруса по сравнению с фоновыми сообществами. Индекс Сьеренсена здесь так же, как и в лесных сообществах импактной зоны, составил максимальную величину ($KS = 40,6$) по сравнению со всеми ранее рассматриваемыми группами березовых криволесий (табл. 2).

При обобщении изменения показателей фиторазнообразия в окрестностях комбината «Североникель» выявлен ряд особенностей дигрессионной динамики сообществ березовых криволесий и еловых лесов. В частности, в сообществах разных высотных поясов отмечена общая тенденция снижения *альфа-разнообразия* по градиенту загрязнения. В ненарушенных еловых лесах и березовых криволесьях фоновых условий видовая насыщенность составляла 29,5 и 30,7 соответственно; в буферной зоне в ельниках – 22,6, в поясе березовых криволесий – 20,9; в импактной зоне в лесах – 16,6, в березовых криволесьях – 14,6 (рис. 4, а).

Аналогичная картина наблюдалась по изменению величины индекса Шеннона, основанного на относительном обилии видов и учитывающего одновременно и выровненность, и видовое богатство. Индекс последовательно уменьшался с приближением к источнику загрязнения, как в лесах, так и в криволесьях, что согласуется с наблюдаемым уменьшением видового разнообразия на площадках и увеличением выровненности за счет содоминирования небольшого числа видов при загрязнении (рис. 4, б).

Анализируя значения коэффициента Сьеренсена (KS), необходимо отметить, что средняя величина индекса сходства видового состава для сообществ обоих поясов изменялась по-разному. В лесном поясе среднее значение KS в группах ассоциаций фоновой зоны различалось значительно (51,6 и 37,9), последовательно увеличиваясь в направлении от буферной к импактной зоне от 44,5 до 57,0. Для березовых криволесий наблюдался разброс значений KS в фоновой и буферной зоне от 30,2 до 38,0 и увеличение в импактной до 40,6. Увеличение этого показателя в импактной зоне связано с элиминированием большого числа видов и увеличением однородности видового состава сообществ за счет устойчивых к загрязнению сосудистых растений и отдельных видов мхов (рис. 4, в).

Другой показатель *бета-разнообразия*, мера Уиттекера, для еловых лесов имел общую тенденцию увеличения, что говорит о возрастании различий между исследованными сообществами в направлении к источнику загрязнения. Пик подъема в буферной зоне этого

показателя в лесных сообществах свидетельствует об увеличении общего видового богатства, как следствии увеличения типологического, при сохранении среднего числа видов на площадках. Увеличение типологического разнообразия в буферной зоне в данном случае, вполне возможно, является следствием восстановительной сукцессии надценотического уровня в ответ на снижение выбросов ГМК, начавшееся в 1990-е годы. В березовых криволесьях значения меры Уиттекера менялись по градиенту загрязнения незначительно (рис. 4, д). Таким образом, наши данные не подтверждают полностью имеющиеся данные об увеличении бета-разнообразия при аллогенных сменах сообществ в условиях промышленного загрязнения [Ruotsalainen, Kozlov, 2006; Zvereva et al., 2008; Трубина, Воробейчик, 2012]. Отсутствие единой закономерности связано с особенностями условий техногенного загрязнения и разными методическими подходами исследований «импактных регионов» [Воробейчик, Козлов, 2012].

Ценотическое разнообразие сообществ в автоморфных условиях изменялось по-разному для поясов криволесий и лесов (табл. 1, 2). В березовых криволесьях наблюдалось сокращение количества групп ассоциаций по градиенту загрязнения от 2 до 1. Для лесного пояса характерно увеличение числа групп ассоциаций в буферной зоне (почти втрое по сравнению с фоном) и сокращение в импактной зоне.

Характерно также, что граница лесов и пояса березовых криволесий в импактной зоне располагается на 30–70 м ниже по сравнению с ее положением в ненарушенных местообитаниях. Так, в ненарушенных местообитаниях березовые редколесья фиксировались на средней высоте над ур. моря равной 398 м, в буферной зоне – 374 м, а в импактной зоне – 321 м. Лесные сообщества – на высоте соответственно 265, 243 и 227 м над ур. моря. Это также заметно при оценке границ пояса березовых криволесий и типов еловых лесов с использованием векторизованных изолиний рельефа и наложением соответствующих тематических слоев (профиль 1 в импактной и профиль 13 в фоновой зонах) (рис. 5). Оценка достоверности различий между высотами, на которых выполнены описания сообществ в различных зонах загрязнения, показала, что различия в средних высотах между фоном и буфером как для лесов, так и для криволесий статистически незначимы, но между буфером и импактом для лесов различия значимы на 10%, а для криволесий на 5% уровне значимости соответственно. Различия между фоном и импактной зоной для лесов значимы на 5%,

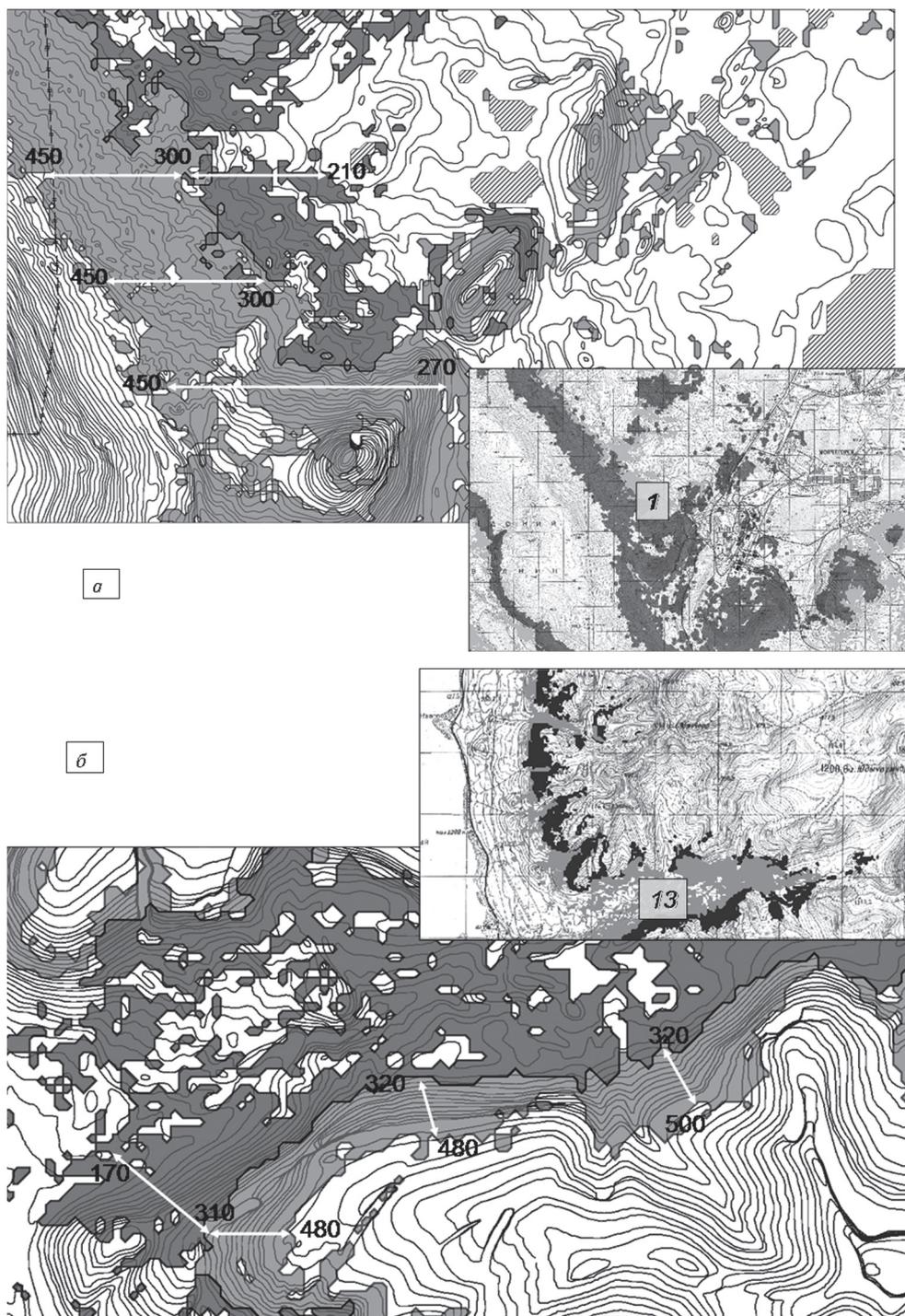


Рис. 5. Фрагменты карты растительности центральной части Мурманской области с расположением пояса еловых лесов и березовых редколесий в пределах импактной (а) и фоновой (б) зон

для криволесий на 1% уровне значимости. При этом состав древесного яруса длительно производных сообществ лесного пояса в импактной зоне, представленных березовыми редколесьями с ивой кустарничковыми (табл. 1, группа 9) и березовыми редколесьями полумертвопокровными полиевыми (табл. 1, группа 10), близок к сообществам пояса березовых криволесий.

Соответственно, полоса лесной растительности сузилась, и ее верхний предел сместился в направлении нижней границы.

Заключение

Видовое и типологическое разнообразие лесного покрова на макросклонах гор

Мончетундра, Чунатундра и Хибины, обращенных к озеру Имандра, определяется совместным действием природных и антропогенных факторов. Трансформация растительного покрова, изменение его состава и структуры в результате аэротехногенного загрязнения на высотном градиенте проявляется по-разному. С одной стороны, преобразование древесного яруса, сопровождающееся гибелью хвойных деревьев и заменой их на мелколиственные породы, приводит к более значительному преобразованию структуры лесных сообществ нижних и средних частей склонов по сравнению с березовыми криволесьями на верхних отметках рельефа. С другой стороны, изменение состава напочвенного покрова в направлении источника загрязнения в березовых криволесьях происходит более динамично, чем в хвойных лесах. При этом в первую очередь наибольшие преобразования показателей разнообразия и обилия видов касаются мохово-лишайникового покрова.

Травяно-кустарничковый ярус демонстрирует наибольшую устойчивость к техногенному воздействию. Увеличение в лесах буферной зоны видового разнообразия, главным образом сосудистых растений, возможно, является следствием восстановительной сукцессии в ответ на снижение выбросов ГМК, начавшееся в 1990-е годы. Смена зеленомошной синузии на печеночниковую и полиевую в моховом покрове, а кустисто-лишайниковой на корковолишайниковую является проявлением адаптации к техногенной нагрузке на внутриценотическом уровне. Отмеченное увеличение типологического разнообразия в поясе лесов, а также смещение вниз по склону границ распространения лесов и криволесий по мере приближения к источнику загрязнения – это проявление особенностей аллогенной сукцессии в условиях нарушенности природной среды надценотического уровня.

Авторы благодарят Е. А. Игнатову за определение видов мхов, М. Н. Кожина и В. А. Костину за помощь в определении видов сосудистых растений, Л. Г. Исаеву и М. С. Малинину за помощь в определении химического состава проб образцов растений и почв, М. Ю. Пузаченко за выполнение работ по картографическому моделированию, Е. В. Басову и многих других участников полевых работ.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ЦЭПЛ РАН «Пространственно-временная организация лесов и методы ее картографического отображения»

(№ 0110-2014-0007), а также грантов РФФИ (№ 15-14-10023) и РФФИ (№№ 14-04-98810 и 16-05-00142 по части методических подходов).

Литература

Аврорин Н. А., Качурин М. Х., Коровкин А. А. Материалы по растительности Хибинских гор // Тр. СОПС АН СССР. Сер. Кольская. Вып. 11. М.; Л., 1936. С. 3–95.

Баккал И. Ю., Горшков В. В. Состояние травяно-кустарничкового яруса сухих сосновых лесов Кольского полуострова в условиях атмосферного загрязнения // Проблемы экологии растительных сообществ. СПб., 2005. С. 90–105.

Виноградов Б. В. Основы ландшафтной экологии. М.: ГЕОС, 1998. 418 с.

Воробейчик Е. Л., Козлов М. В. Воздействие точечных источников эмиссии поллютантов на наземные экосистемы: методология исследований, экспериментальные схемы, распространенные ошибки // Экология. № 2. 2012. С. 83–91.

Джонгман Р. Г. Г., Тер Браак С. Дж. Ф., Ван Тонгерен О. Ф. Р. Анализ данных в экологии сообществ и ландшафтов. М.: РАСХН, 1999. 306 с.

Дончева А. В. Ландшафт в зоне воздействия промышленности. М.: Лесная промышленность, 1978. 98 с.

Игнатов М. С., Игнатова Е. А., Пронькина Г. А. Мхи заповедников России // Современное состояние биологического разнообразия на заповедных территориях России. Вып. 3. Лишайники и мохообразные. М., 2004. С. 280–361.

Королева Н. Е. Основные биотопы горных и зональных тундр Мурманской области // Вестник МГТУ. 2008. Т. 11, № 3. С. 533–542.

Королева Н. Е. Основные биотопы северо-таежных лесов и березовых криволесий Мурманской области: ландшафтное и ботаническое разнообразие, основания для охраны // Вестник МГТУ. 2011. Т. 14, № 4. С. 819–832.

Крючков В. В. Экологический мониторинг на Севере // Мониторинг природной среды Кольского Севера. Апатиты: Кольский фил. АН СССР, 1984. С. 4–15.

Лукина Н. В., Никонов В. В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: КНЦ РАН, 1998. 316 с.

Мальшев Л. И. Флористическое районирование на основе количественных признаков // Ботан. журнал. 1973. Т. 58, № 11. С. 1581–1588.

Никонов В. В., Зайцева И. В., Кобяков К. Н. и др. Коренные (старовозрастные) леса Мурманской области // Природопользование в Евро-Арктическом регионе: опыт XX в. и перспективы. Апатиты: КНЦ РАН, 2004. С. 64–82.

Пузаченко М. Ю., Черненко Т. В., Басова Е. В. Анализ природно-антропогенной неоднородности растительного покрова центральной части Мурманской области // Разнообразие и динамика лесных

экосистем России / Ред. А. С. Исаев. М.: Тов. научн. изд. КМК, 2012. Книга 1. С. 371–382.

Трубина М. Р., Воробейчик Е. Л. Сильное промышленное загрязнение увеличивает β -разнообразие растительных сообществ // Доклады Академии наук, 2012. Т. 442, № 1. С. 139–141.

Трубина М. Р., Воробейчик Е. Л., Хантемирова Е. В. и др. Динамика лесной растительности после снижения промышленных выбросов: быстрое восстановление или продолжение деградации? // Доклады Академии наук. 2014. Т. 458, № 6. С. 721–725.

Цветков В. Ф., Цветков И. В. Лес в условиях аэротехногенного загрязнения. Архангельск, 2003. 354 с.

Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья, 1995. 990 с.

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

Черненко Т. В., Басова Е. В., Бочкарев Ю. Н., Пузаченко М. Ю. Оценка биоразнообразия лесов в зоне влияния горно-металлургического комбината «Североникель» // Лесоведение. 2009. № 6. С. 38–45.

Черненко Т. В., Бочкарев Ю. Н. Динамика еловых насаждений Кольского Севера в условиях воздействия природно-антропогенных факторов среды // Журнал общей биологии, 2013. Т. 74, № 4. С. 283–303.

Черненко Т. В., Кабиров Р. Р., Басова Е. В. Восстановительные сукцессии северотаежных ель-

ников при снижении аэротехногенной нагрузки // Лесоведение. 2011. № 6. С. 49–66.

Черненко Т. В., Пузаченко М. Ю., Басова Е. В., Королева Н. Е. Ценотическое разнообразие и картографирование растительного покрова центральной части Мурманской области // Геоботаническое картографирование, 2015. СПб.: Бостон-спектр, 2015. С. 78–94.

Ярмишко В. Т., Горшков В. В., Лянгузова И. В., Баккал И. Ю. Экологический мониторинг лесных экосистем Кольского полуострова в условиях аэротехногенного загрязнения // Региональная экология. 2011. № 1–2 (31). С. 21–30.

Gorshkov V. V. The state of moss-lichen cover in polluted and unpolluted pine forests of the Kola peninsula // Aerial pollution in Kola Peninsula, St. Petersburg; Apacity, 1993. P. 290–298.

Konstantinova N. A., Bakalin V. A., Andreeva E. N. et al. Checklist of liverworts (Marchantiophyta) of Russia // Arctoa. 2009. Vol. 18. P. 1–63.

Ruotsalainen A. L., Kozlov M. V. Fungi and air pollution: is there a general pattern? // New topics in environmental research (ed. by D. Rhodes). Nova Science Publishers, Hauppauge, NY. 2006. P. 57–103.

Santesson R., Moberg R., Nordin A. et al. Lichen-forming and licheniculous fungi of Fennoscandia. Uppsala, 2004. 359 p.

Zvereva E., Toivonen E., Kozlov M. V. Changes in species richness of vascular plants under the impact of air pollution: a global perspective // Global Ecol. Biogeogr. 2008. № 17. P. 305–319.

Поступила в редакцию 23.09.2016

References

Avrorin N. A., Kachurin M. Kh., Korovkin A. A. Materialy po rastitel'nosti Khibinskih gor [Material on the vegetation of the Khibinsky mountains]. Tr. SOPS AN SSSR. Ser. Kol'skaya [Proceed. of the Council for Study of Productive Forces, Acad. of Sci. of the USSR. The Kola Series]. Iss. 11. Moscow; Leningrad, 1936. P. 3–95.

Bakkal I. Yu., Gorshkov V. V. Sostoyanie travyano-kustarnichkovogo yarusa sukhikh osnovnykh lesov Kol'skogo poluostrova v usloviyakh atmosfernogo zagryazneniya [State of the grass-shrub layer of dry pine-forests under air pollution in the Kola Peninsula]. Problemy ekologii rastitel'nykh soobshchestv [Problems of Plant Communities Ecology]. St. Petersburg, 2005. P. 90–105.

Cherepanov S. K. Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv [Vascular plants of Russia and neighboring countries]. St. Petersburg: Mir i sem'ya, 1995. 990 p.

Chernen'kova T. V. Reaktsiya lesnoi rastitel'nosti na promyshlennoe zagryaznenie [Forest vegetation response to industrial pollution]. Moscow: Nauka, 2002. 191 p.

Chernen'kova T. V., Puzachenko M. Yu., Basova E. V., Koroleva N. E. Tsenoticheskoe raznoobrazie i kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova tsentral'noi chasti Murmanskoj oblasti [Cenotic diversity and mapping of the plant cover in the central part of the Murmansk

region]. Geobotanicheskoe kartografirovaniye, 2015 [Geobotanical Mapping]. St. Petersburg: Boston-spektr, 2015. P. 78–94.

Chernen'kova T. V., Basova E. V., Bochkarev Yu. N., Puzachenko M. Yu. Otsenka bioraznoobraziya lesov v zone vliyaniya gorno-metallurgicheskogo kombinata "Severonikel'" [Assessment of forest biodiversity in the impact zone of the Severonickel Smelter Complex]. Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]. 2009. No. 6. P. 38–45.

Chernen'kova T. V., Kabirov R. R., Basova E. V. Vosstanovitel'nye suksessii severotaezhnykh el'nikov pri snizhenii aerotekhnogennoi nagruzki [Restoration successions of northern taiga spruce forests upon reduction of air technogenic load]. Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science]. 2011. No. 6. P. 49–66.

Chernen'kova T. V., Bochkarev Yu. N. Dinamika elovykh nasazhdenii Kol'skogo Severa v usloviyakh vozdeistviya prirodno-antropogennykh faktorov sredy [Dynamics of spruce stands of the Kola North under the effects of natural and anthropogenic environmental factors]. Zhurnal obshechei biologii [Biology Bull. Reviews]. 2013. Vol. 74, no. 4. P. 283–303.

Doncheva A. V. Landshaft v zone vozdeistviya promyshlennosti [Landscape of an industry-impacted area]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1978. 98 p.

Dzhongman R. G. G., Ter Braak S. Dzh. F., Van Tongeren O. F. R. Analiz dannykh v ekologii soobshchestv i landshaftov [Data analysis in the ecology of communities and landscapes]. Moscow: RASKhN, 1999. 306 p.

Ignatov M. S., Ignatova E. A., Pron'kina G. A. Mkh zapovednikov Rossii [Mosses of nature reserves in Russia]. Sovremennoe sostoyanie biologicheskogo raznoobraziya na zapovednykh territoriyakh Rossii [Current State of Biological Diversity in the Specially Protected Areas of Russia]. Iss. 3. Lishainiki i mokhoobraznye [Lichens and Bryophytes]. Moscow, 2004. C. 280–361.

Koroleva N. E. Osnovnye biotopy gornyykh i zonal'nykh tundr Murmanskoi oblasti [Main biotopes of mountain and zonal tundras of the Murmansk region]. *Vestnik MGTU [Vestnik of MSTU]*. 2008. Vol. 11, no. 3. P. 533–542.

Koroleva N. E. Osnovnye biotopy severo-taevnykh lesov i berezovykh krivolesii Murmanskoi oblasti: landshaftnoe i botanicheskoe raznoobrazie, osnovaniya dlya okhrany [Main biotopes of northern taiga forests and subarctic birch forests in the Murmansk region: landscape and botanical diversity, and a base for protection]. *Vestnik MGTU [Vestnik of MSTU]*. 2011. Vol. 14, no. 4. P. 819–832.

Kryuchkov V. V. Ekologicheskii monitoring na Severe [Ecological monitoring in the North]. Monitoring prirodnoi sredy Kol'skogo Severa [Ecological Monitoring of the environment of Kola North]. Apatity: Kol'skii fil. AN SSSR, 1984. P. 4–15.

Lukina N. V., Nikonov V. V. Pitatel'nyi rezhim lesov severnoi taigi: prirodnye i tekhnogennye aspekty [Nutrients regime of northern taiga forests: natural and technogenic aspects]. Apatity: KSC RAS, 1998. 316 p.

Malyshev L. I. Floristicheskoe raionirovanie na osnove kolichestvennykh priznakov [Floristic zoning based on quantitative characteristics]. *Botan. Zhurnal [Botanical Journal]*. 1973. Vol. 58, no. 11. P. 1581–1588.

Nikonov V. V., Zaitseva I. V., Kobayakov K. N., Smirnov D. Yu., Lukina N. V., Petrov V. N. Korennye (starovozrastnye) lesa Murmanskoi oblasti [Primary (old-growth) forests of the Murmansk region]. Prirodopol'zovanie v Evro-Arkticheskom regione: opyt XX v. i perspektivy [Nature Management in the Euro-Arctic Region: Experience of the 20th Century and Prospects]. Apatity: KSC RAS, 2004. P. 64–82.

Puzachenko M. Yu., Chernen'kova T. V., Basova E. V. Analiz prirodno-antropogennoi neodnorodnosti rastitel'nogo pokrova tsentral'noi chasti Murmanskoi oblasti [Analysis of natural and man-induced heterogeneity of the plant cover in the central part of the Murmansk region]. Raznoobrazie i dinamika lesnykh ekosistem Rossii [Diversity and Dynamics of Forest Ecosystems in Russia]. Ed. A. S. Isaev. Moscow: Tov. nauchn. izd. KMK, 2012. B. 1. P. 371–382.

Trubina M. R., Vorobeichik E. L., Khantemirova E. V., Bergman I. E., Kaigorodova S. Yu. Dinamika

lesnoi rastitel'nosti posle snizheniya promyshlennykh vybrosov: bystroe vosstanovlenie ili prodolzhenie degradatsii? [Dynamics of forest vegetation after the reduction of industrial emissions: fast recovery or continued degradation?]. *Doklady Akademii nauk [Doklady Biological Sciences]*. 2014. Vol. 458, no. 6. P. 721–725.

Trubina M. R., Vorobeichik E. L. Sil'noe promyshlennoe zagryaznenie uvelichivaet β -raznoobrazie rastitel'nykh soobshchestv [Severe industrial pollution increases the β -diversity of plant communities]. *Doklady Akademii nauk [Dokl. Biological Sciences]*. 2012. Vol. 442, no. 1. P. 139–141.

Tsvetkov V. F., Tsvetkov I. V. Les v usloviyakh aerotekhnogenogo zagryazneniya [Forest under air technogenic pollution]. Arkhangel'sk, 2003. 354 p.

Vinogradov B. V. Osnovy landshaftnoi ekologii [Fundamentals of landscape ecology]. Moscow: GEOS, 1998. 418 p.

Vorobeichik E. L., Kozlov M. V. Vozdeistvie tochechnykh istochnikov emissii pollyutantov na nazemnye ekosistemy: metodologiya issledovaniy, eksperimental'nye skhemy, rasprostranennyye oshibki [Impact of local polluters on terrestrial ecosystems: methodology of research, experimental design, and typical errors]. *Ekologiya [Russian Journal of Ecology]*. No. 2. 2012. P. 83–91.

Yarmishko V. T., Gorshkov V. V., Lyanguzova I. V., Bakal I. Yu. Ekologicheskii monitoring lesnykh ekosistem Kol'skogo poluostrova v usloviyakh aerotekhnogenogo zagryazneniya [Ecological monitoring of forest ecosystems under air technogenic pollution in the Kola Peninsula]. *Regional'naya ekologiya [Regional Ecology]*. 2011. No. 1–2 (31). P. 21–30.

Gorshkov V. V. The state of moss-lichen cover in polluted and unpolluted pine forests of the Kola peninsula. *Aerial pollution in Kola Peninsula*. St. Petersburg; Apatity, 1993. P. 290–298.

Konstantinova N. A., Bakalin V. A., Andreeva E. N., Bezgodov A. G., Borovichev E. A., Dulin M. V., Mamontov Yu. S. Checklist of liverworts (Marchantiophyta) of Russia. *Arctoa*. 2009. Vol. 18. P. 1–63.

Ruotsalainen A. L., Kozlov M. V. Fungi and air pollution: is there a general pattern? New topics in environmental research (ed. by D. Rhodes). Nova Science Publishers, Hauppauge, NY. 2006. P. 57–103.

Santesson R., Moberg R., Nordin A., Tønsberg T., Vitikainen O. Lichen-forming and lichenicolous fungi of Fennoscandia. Uppsala, 2004. 359 p.

Zvereva E., Toivonen E., Kozlov M. V. Changes in species richness of vascular plants under the impact of air pollution: a global perspective. *Global Ecol. Biogeogr.* 2008. No. 17. P. 305–319.

Received September 23, 2016

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Черненкова Татьяна Владимировна

ведущий научный сотрудник, д. б. н.
Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН
ул. Профсоюзная, 84/32, стр. 14, Москва, Россия, 117997
эл. почта: chernenkova50@mail.ru

Королева Наталья Евгеньевна

старший научный сотрудник, к. б. н.
Полярно-альпийский ботанический сад-институт
им. Н. А. Аврорина Кольского научного центра РАН
Ботанический сад, Кировск 6, Мурманская область,
Россия, 184256
эл. почта: flora012011@yandex.ru

Боровичев Евгений Александрович

и. о. старшего научного сотрудника, к. б. н.
Институт проблем промышленной экологии Севера
Кольского научного центра РАН
Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская обл.,
Россия, 184209
старший научный сотрудник
Институт леса Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910

эл. почта: borovichyok@mail.ru
тел.: (81555) 79771

Мелехин Алексей Валерьевич

научный сотрудник, к. б. н.
Полярно-альпийский ботанический сад-институт
им. Н. А. Аврорина Кольского научного центра РАН
Ботанический сад, Кировск 6, Мурманская область,
Россия, 184256
эл. почта: melihen@yandex.ru

CONTRIBUTORS:

Chernen'kova, Tatiana

Centre for Ecological Problems and Productivity of Forests,
Russian Academy of Sciences
84/32, bldg 14, Profsoyuznaya St., 117997 Moscow, Russia
e-mail: chernenkova50@mail.ru

Koroleva, Natalia

Polar-Alpine Botanical Garden-Institute,
Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences
Botanical Garden, 184256 Kirovsk 6,
Murmansk Region, Russia
e-mail: flora012011@yandex.ru

Borovichev, Evgeny

Institute of North Industrial Ecology Problems,
Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences
14a, Academgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region
Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: borovichyok@mail.ru
tel.: (81555) 79771

Melekhin, Aleksey

Polar-Alpine Botanical Garden-Institute,
Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences
Botanical Garden, 184256 Kirovsk 6,
Murmansk Region, Russia
e-mail: melihen@yandex.ru