

ДИНАМИКА ФЛОРИСТИЧЕСКОГО СОСТАВА И ГРАНИЦ ВЫСОТНЫХ ПОЯСОВ ГОРНЫХ МАССИВОВ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Е.И. Голубева¹, Г.У. Рис², М.В. Зимин³, М.Л. Ковальчук⁴, Ю.И. Тимохина⁵

^{1,3,5} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет*

² *Институт полярных исследований имени Скота, Кембриджский университет, Великобритания, проф.*

⁴ *ООО «Стройтрансгаз Трубопроводстрой», вед. специалист*

¹ *Кафедра рационального природопользования, проф., д-р биол. наук; e-mail: egolubeva@gmail.com*

³ *Лаборатория аэрокосмических методов, вед. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: zimintv@mail.ru*

⁵ *Кафедра рационального природопользования, асп.; e-mail: timokhina2701@gmail.com*

Многoletние антропогенные нагрузки и современные климатические тренды привели к значительным изменениям в структуре и видовом составе растительного покрова экосистем во многих регионах России. Растительность как один из индикаторов воздействия четко отражает пространственно-временную динамику экосистем, в особенности на территориях, испытывающих многолетнюю интенсивную техногенную нагрузку. Одним из таких примеров является Мончегорский район (центральная часть Кольского полуострова). По классификации В.В. Крючкова, данный регион относится к зонам полного и частичного нарушения экосистем. Проведенное исследование направлено на оценку изменений во флористическом составе, структуре растительного покрова и динамике границ высотных поясов горного массива Мончетундра, находящегося под техногенным воздействием комбината «Североникель» (г. Мончегорск) в условиях современных климатических изменений. По литературным данным и материалам аэросъемки была восстановлена структура высотной поясности горного массива Мончетундра до индустриального освоения региона. Для изучения современного состояния и динамики экосистем были выбраны модельные территории, наиболее контрастные по экспозиции склонов и обуславливающие распределение загрязняющих веществ. Сравнение структуры высотной поясности до индустриального освоения региона с современным состоянием позволило оценить общую тенденцию в динамике границ высотных поясов и определить основные изменения в растительности исследуемого региона за период индустриального освоения. Общее улучшение экологической ситуации в регионе и современные климатические изменения привели к позитивным процессам и частичному восстановлению растительного покрова на деградированных территориях. Однако, учитывая экстремальные природные условия, этот процесс идет медленно, хотя тенденции позволяют прогнозировать улучшение ситуации в совокупности с принимаемыми комбинатом «Североникель» мерами по внедрению новых технологий по снижению выбросов загрязняющих веществ. Комплексная оценка состояния растительного покрова экосистем, основанная на использовании наземных и дистанционных данных, позволила наиболее точно описать современное состояние, а также изменения в структуре растительных сообществ.

Ключевые слова: состояние экосистем, техногенное воздействие, растительность, высотная поясность, Кольский полуостров, данные дистанционного зондирования

ВВЕДЕНИЕ

За последние несколько десятков лет структура растительного покрова экосистем практически всех регионов России претерпела значительные изменения, связанные как с климатическими трендами, так и с интенсивным развитием промышленности, автотранспорта, городской инфраструктуры и других видов антропогенной нагрузки.

Увеличение нагрузки оказало наибольшее влияние на состав, структуру растительных сообществ и их пространственно-временную динамику в экстремальных природных условиях, в том числе в одном из крупных и экономически развитых регионов европейского Севера России – Мурманской области. Здесь располагается один из ярких при-

меров импактной территории – Мончегорский район (центральная часть Кольского полуострова), где экосистемы испытывают на себе многолетнюю интенсивную техногенную нагрузку [Красовская, Евсеев, 2009; Крючков, Сыроид, 1984, 1990; Крючков, Макарова, 1989; Куваев, 2006; Раменская, 1983].

Известно, что растительность является одним из наиболее информативных компонентов экосистем, хорошо различается на многозональных космических снимках и отражает различные категории их состояния. Поэтому при проведении исследования по изучению состояния, структуры и динамики экосистем под влиянием природных (преимущественно климатических) и антропогенных факторов нами применялся комплексный подход, включающий на-

земные и дистанционные методы [Миркин и др., 2002; Пузаченко, 2004; Hofgaard et al., 2010].

Структура высотной поясности определяется рядом как природных факторов, так и степенью антропогенных воздействий. В арктическом регионе в экстремальных условиях роста и развития растений воздействие этих факторов четко отражается на структуре растительного покрова и изменении границ высотных поясов, где они наиболее отчетливо видны.

Цель исследования – оценка современной структуры растительного покрова и динамики границ высотной поясности горного массива Мончетундра в условиях техногенного воздействия (в зоне воздействия комбината «Североникель», г. Мончегорск).

Были поставлены и решались следующие задачи:

1) восстановить структуру высотной поясности горного массива Мончетундра до индустриального освоения региона по литературным данным и материалам аэрофотосъемки;

2) проанализировать современную структуру высотной поясности в практически ненарушенных экосистемах (условно фоновых);

3) оценить динамику границ высотных поясов и особенности растительности горного массива Мончетундра за период индустриального освоения района.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве модельных территорий нами были выбраны несколько возвышенностей хребта Мончетундра, находящиеся в непосредственной близости от комбината «Североникель» (г. Мончегорск, Мурманская область): южная вершина основного

хребта, крайний восточный его отрог – Ниттис, предгорья – Сопча и Нюд (рис. 1).

На выбранных участках вдоль противоположных склонов были размечены линии опорных профилей, на которых закладывались пробные площади (точки полевых описаний) в пределах каждого из высотных поясов. На каждой пробной площади проводилась GPS-привязка, составлялось геоботаническое описание по высотным поясам [Корчагин, 1976], анализировались материалы дистанционного зондирования [Книжников и др., 2011; Лабутина, Балдина, 2013; Mikheeva et al., 2017] (космические снимки за 2008–2018 гг.; табл.).

Таблица

Материалы космической съемки

Спутник	Дата съемки	Пространственное разрешение, м
IKONOS	14.06.2002/ 22.08.2002	0,9
GeoEye-1	30.08.2010	0,5
WorldView-4	12.07.2018	0,5

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ аэрофотоснимков и результатов детального описания растительности Мончетундры и выделения высотных поясов, проведенного Л.Н. Бобровой и М.Х. Качуриным [1936], показал, что распределение границ и характеристика растительности по склонам хребта Мончетундра до



Рис. 1. Основные районы исследований хребта Мончетундра

Fig. 1. Main research areas of Monchetundra Range

индустриального освоения имели следующие особенности:

I. **Лесной таежный пояс** представлен ельниками и сосняками. Их распределение по высоте и видовой состав представлены следующими сообществами: еловое редколесье с воронично-черничным покровом (до 300 м над уровнем моря); смешанное редколесье (ель, сосна, береза) с воронично-черничным покровом (230 м); ельник чернично-разнотравный; заболоченные ельники; сосняк с примесью ели и березы в комплексе с чернично-лишайниковым покровом, сосняк лишайниковый, сосняк с комплексным молиниевым-вересковым покровом и сосняк сфагновый.

II. **Полоса березовых криволесий.** На склонах на высоте 250–400 м, выше лесного пояса, протягивается узкая полоса низкого березового криволесья, граничащая с безлесными тундровыми ценозами, занимающая склоны различной крутизны и экспозиции. Здесь встречается березовое криволесье с воронично-черничным покровом или сосново-березовое криволесье с лишайниковым покровом. В некоторых частях склонов среди криволесья встречается ерниковая тундра. Между густыми зарослями ерника (*Betula nana*) растут черника (*Vaccinium myrtillus*), голубика (*Vaccinium uliginosum*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea*) и др.

III. **Пояс тундр.** Разреженная гемикриофитная растительность вершинного каменистого плато и верхних частей склонов основного хребта представлена горной лишайниковой тундрой с толокнянкой (*Arctous alpine*) на вершинах и склонах предгорий. В нижней части обычна тундра с березой и лишайниками на каменистых террасовидных склонах и вершинах, граничащая с полосой криволесья. Альпийская тундровая разреженная растительность поднимается выше и покрывает большую часть основного хребта. Она приурочена к крупнокаменистому вершинному плато. Горной лишайниковой тундрой покрыты главным образом вершины и склоны небольших вытянутых с севера-запада на юго-восток возвышенностей – 350–400 м над уровнем моря.

Некоторые различия высотного распределения растительности различных отрогов хребта Мончетундра, связанные с высотой, экспозицией и крутизной склонов, подробнее будут рассмотрены при их сравнении с особенностями современного размещения.

Прежде чем приступить к сравнительному анализу структуры экосистем и особенностей распределения растительности в их пределах на основе данных 1930-х гг. и современных материалов, следует отметить следующее. Поскольку рассматриваемая территория находится в непосредственной близости от комбината, она практически повсемест-

но подвержена воздействию промышленных выбросов. По классификации В.В. Крюкова [1990], исследуемая территория относится к зонам полного и частичного нарушения экосистем. Для изучения динамики экосистем как наиболее показательные были выбраны наветренные и подветренные склоны, обуславливающие распределение загрязняющих веществ. Ветровой режим характеризуется преобладанием ветров южных (до 45–50%) и северных румбов (повторяемость от 33% зимой до 45% летом). Ветры в широтном направлении редки (2–4%) [Экология Севера, 2003]. Как уже отмечалось, преимущественный перенос загрязнителей осуществляется в меридиональном направлении. Наличие штилей, слабых ветров и температурных инверсий в течение года приводят к застою воздуха и скоплению загрязняющих веществ в приземном слое на высоте 350–400 м. В связи с этим деградация растительности и почвенного покрова экосистем по высотным поясам на одинаковом расстоянии от источника загрязнения могут существенно различаться. В целом деградация растительности в разной степени наблюдается практически повсеместно. На обращенных к комбинату склонах горы Мончетундра (восточный) и на тыловом склоне горы Ниттис (юго-западный) на месте техногенной пустоши отмечаются признаки восстановления. Обращенный к комбинату западный склон горы Нюд, находящейся, как и все рассматриваемые сопки, в непосредственной близости от комбината, пострадал в меньшей степени благодаря особенностям ветрового режима. Полностью отсутствует растительность и почвенный покров на северном склоне горы Сопча, который находится на пути часто повторяющихся северных ветров, принимая на себя основную массу загрязняющих веществ. В меньшей степени загрязнению оказались подвержены западные склоны гор Мончетундра и Ниттис, а также восточный склон горы Нюд.

Говоря о высотной поясности, следует отметить, что на склонах гор Мончетундра, Ниттис и Нюд наблюдается типичная смена высотных поясов, однако их границы в некоторых случаях смещены и образуют пояс лишь фрагментарно. На склонах гор Сопча и Ниттис (преимущественно восточной экспозиции) сложно выделить какие-либо пояса, т. к. растительный покров практически полностью уничтожен. Лишь в последние десятилетия на юго-западном склоне г. Сопча отмечаются признаки восстановления растительности. Подробнее рассмотрим современное состояние растительности и ее распределение по высотным поясам.

1. **Гора Мончетундра.** В наибольшей степени техногенное воздействие выражено на склонах восточной экспозиции. Характерные для лесного пояса

чистые еловые леса с воронично-черничным покровом, с кустами можжевельника, рябины и ивы в подлеске, простирающиеся от подножия склона до высоты 250 м, сменились техногенной пустошью с признаками восстановления. Появились отдельные экземпляры ивы (*Salix*) и березы пушистой (*Betula pubescens*), деформированной ели стланиковой формы, листовые пластины и хвоя поражены некрозом, в кустарничковом ярусе вороника (*Empetrum nigrum*). Полностью выпали травяной и мохово-лишайниковый ярусы. Исчезли следующие виды кустарников: багульник (*Ledum palustre*); кустарничков: черника, брусника, голубика, филлодоце голубая (*Phyllodocea caerulea*); из травяного яруса: луговик извилистый (*Deschampsia flexuosa*), грушанка однобокая и круглолистная (*Pirola secunda*, *P. rotundifolia*), плаун колючий (*Lycopodium pungens*), герань лесная (*Geranium silvaticum*), линнея северная (*Linnaea borealis*), золотарник (*Solidago virgaurea*), марьянник луговой (*Melampyrum pratense*), мытник лапландский (*Pedicularis lapponica*), колосок обыкновенный (*Anthoxanthum odoratum*); из мохово-лишайникового яруса: *Entodon Schreberi*, *Hylocomium proliferum*, *Cladonia rangiferina*, *Nephroma arcticum*. Проективное покрытие растительного покрова составляет не более 20%, сомкнутость крон лишь 0,1 (рис. 2).



Рис. 2. Структура высотной поясности горы Мончетундра по данным 1932 и 2008–2018 гг.

Fig. 2. The structure of the altitudinal zonation of Monchetundra according to 1932 and 2008–2018 data

Для сравнения современного состава растений с периодом доиндустриального освоения расчи-

тывался коэффициент флористического сходства [Пузаченко, 2004; Семкин, Горшков, 2010; Sørensen, 1948]. В сравнении с современным составом флоры его значение в этом поясе составляет менее 10%. Встречаются мертвые остатки древесных растений, следы пожаров, поваленные стволы деревьев, сухие ели. Границу пояса определить достаточно сложно, ориентировочно она проходит на высоте 260 м.

Выше по склону по данным 1932 г. до 320 м поднималось березовое криволесье. Современные экосистемы здесь также значительно трансформированы, хотя и отмечаются восстановительные процессы. Каменистая поверхность с практически отсутствующим почвенным покровом составляет почти половину пояса. Полностью выпали древесный и кустарниковый ярусы, в подросте преобладает береза пушистая, встречается сосна (*Pinus sylvestris*), ель стланиковой формы (*Picea obovata*). В кустарничковом ярусе доминирует карликовая береза. Мохово-лишайниковый ярус сильно угнетен. Исчезли типичные представители флоры. Среди кустарничков – это вереск обыкновенный, арктоуз альпийский, багульник, вороника, черника, брусника; представителей травяного яруса – луговик извилистый, линнея северная, золотарник, грушанка однобокая, плаун, мохово-лишайникового яруса – кладонии (*Cladonia alpestris*, *Cl. rangiferina*). Надо отметить появление карликовой березы, можжевельника (*Juniperus communis*), толокнянки, филлодоце голубой. Общее проективное покрытие растительного покрова составляет 50%. Сомкнутость крон – 0,3. Коэффициент флористического сходства – 40%. Современная граница пояса проходит на высоте 400 м.

За поясом березового криволесья тянулась до высоты 420 м каменистая тундра с березой. В современной структуре высотной поясности исследуемого склона выделяется каменистая тундра, также как каменистая кустарничково-лишайниковая тундра с березой. Она поднимается до высоты 520 м. Каменистая поверхность с практически полным отсутствием почвенного покрова составляет около 40%, а 10% покрыто накипными лишайниками (рис. 3). Встречаются низкорослые экземпляры березы пушистой и единично сосна. Устойчивыми оказались вороника, карликовая береза, толокнянка, можжевельник, ситник трехраздельный (*Juncus trifidus*), осока (*Carex hyperborean*), овсяница (*Festuca supine*), лишайник цетрария (*Cetraria islandica*). Исчезли арктоуз альпийский, голубика, брусника, черника, лузалеурия (*Loiseleuria procumbens*), дианпенсия лапландская (*Diapensia lapponica*), плаун альпийский, луговик извилистый, дриада восьмилепестная (*Dryas octopetala*), филлодоце, багульник, виды лишайника (*Cladonia alpestris*, *C. rangiferina*,

C. mitis, *Cetraria nivalis*). Проективное покрытие составляет 60%. Сомкнутость крон – менее 0,1. Коэффициент флористического сходства 40%.

Выше 420 м господствовала альпийская разреженная растительность каменистых осыпей и россыпей. На сегодняшний день по полевым данным и анализу космической съемки здесь можно выделить кустарничково-злаковую тундру, верхняя граница которой фрагментарно отмечается на высоте 520 м. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют толокнянка и ситник трехраздельный. Устойчивым видом здесь является лишайник *Cetraria islandica*. Исчезли следующие виды: голубика, золотая розга, *Cetraria nivalis*, *Alectoria ochroleuca*, *A. nigricans*, *Cladonia alpestris*, *C. rangiferina*, *C. chrysantha*, *C. mitis*, *C. crispata*, *C. coccifera*, *C. bellidiflora*, *C. cornuta*, *Sphaerophorus globosus* Sph. *Fragilis*, *Stereocaulon denudatu*. Появились ива, единично сосна угнетенной формы, карликовая береза, можжевельник, вороника, дриада восьмилепестная. Проективное покрытие составляет 80%, коэффициент флористического сходства чуть более 30%.



Рис. 3. Привершинная часть западного склона горы Мончетундра. Фото М.Л. Ковальчук

Fig. 3. Near-top part of the western slope of Monchetundra. Photo by M. Kovalchuk

Склон западной экспозиции горы Мончетундра пострадал в наименьшей степени, т. к. он оказался защищенным от воздействия промышленных выбросов, будучи обращенным в сторону, противоположную комбинату. Здесь наблюдается естественная смена фитоценозов, однако границы высотных поясов заметно смещены вверх.

Лесная растительность здесь была представлена сосново-еловым лесом с примесью березы, с воронично-черничным покровом, местами встречались участки чистого елового леса. Пояс поднимался до 200 м над уровнем моря. В настоящее время лесной пояс здесь также представлен еловым лесом с

воронично-черничным покровом, местами появляется сосна. Лес густой, с валежником, встречается сухостой, гнилые пни. Древесный ярус представлен в основном елью (*Picea obovata*) с участием березы извилистой (*Betula tortuosa*). В травяно-кустарничковом ярусе доминирует черника. Общими являются следующие виды: брусника, вороника, линнея северная. Исчезли голубика, осока, ожика волосистая (*Luzula pilosa*), золотарник, луговик извилистый, грушанка однобокая и круглолистная, майник двулистный, марьянник луговой (*Melampyrum pratense*), щитовник Линнея (*Dryopteris linnaeana*), плаун колючий, лишайники и мхи. Появились в составе ива, можжевельник, рябина (*Sorbus glabrata*). Проективное покрытие растительного покрова составляет 90%, сомкнутость крон – 0,8. Коэффициент флористического сходства составляет 20%. Пояс простирается до абсолютной высоты 340 м.

Как и раньше, выше по склону поднимается березовое криволесье. Однако граница его смещена: по данным 1932 г. она проходила на высоте около 250 м, по современным данным – на уровне 410–420 м. Древесный ярус формируют береза извилистая и береза пушистая, сосна. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют вороника и карликовая береза. Общими видами являются черника, голубика, луговик извилистый, плаун. Исчезли следующие виды: багульник, брусника, линнея северная, арктоуз альпийский, золотарник, грушанка, вереск обыкновенный, *Cladonia alpestris*, *C. rangiferina*. Появились осока (*Carex hyperborean*), овсяница (*Festuca supine*), ива, можжевельник, рябина, филлодоце голубая, *Cetraria islandica*, *Cladonia borealis*. Проективное покрытие растительного покрова составляет 90%, сомкнутость крон – 0,5. Коэффициент флористического сходства – 50%.

Далее вверх по склону, по данным Л.И. Бобровой и М.Х. Качурина, до 300 м над уровнем моря, а по современным данным до 480 м над уровнем моря, тянется каменистая тундра с березой. Пояс сформирован отдельно стоящими деревьями: березой извилистой, сосной, единичными экземплярами ели. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют карликовая береза, голубика, луззелеурия; в мохово-лишайниковом ярусе – *Cetraria islandica*. Общими являются следующие виды: можжевельник, вороника, голубика, толокнянка, осока, дриада восьмилепестная, плаун альпийский. Исчезли багульник, арктоуз альпийский, брусника, черника, ситник, овсяница, диапенсия лапландская, луговик извилистый, филлодоце, различные виды рода *Cladonia*. Появились новые виды: горец живородящий (*Polygonum viviparum*), золотарник лапландский, ястребинка альпийская (*Hieracium alpinum*), астрагал субарктический (*Astragal us-*

subpolaris), бартсия альпийская (*Bartsia alpine*), грушанка круглолистная. Проективное покрытие составляет 90%, коэффициент флористического сходства – 50%.

По современным данным выше 480 м фрагментарно встречается лишайниково-злаковая тундра. Из растущих здесь ранее сохранились следующие виды: *Cetraria islandica* и *C. nivalis*. Исчезли голубика, золотая розга, *Alectoria ochroleuca*, *Cladonia alpestris*, *C. rangiferina*, *C. chrysantha*, *C. Hiascens*, *C. mitis*, *C. crispata*, *C. uncialis*, *C. coccifera*, *C. bellidiflora*, *C. cornuta*, *Alectoria nigricans*, *Sphaerophorus globosus*, *Sph. Fragilis*, *Stereocaulon denudatum*. Появились следующие виды: ива, карликовая береза, можжевельник, толокнянка, единично лузелеурия, плауна льпийский. Проективное покрытие растительного покрова составляет 75%, коэффициент флористического сходства – 20%.

2. **Гора Ниттис.** По современным данным склон восточной экспозиции почти полностью лишен растительного покрова, поэтому определение границы высотных поясов не представляется возможным. Фрагментарно наблюдаются восстановительные процессы с участием ивы, карликовой березы, злаков, мхов и лишайников (рис. 4, 5).



Рис. 4. Седловина основного хребта, западный склон горы Ниттис. Фото М.Л. Ковальчук

Fig. 4. Saddle of the main ridge, western slope of the Nittis mountain. Photo by M. Kovalchuk

Склон юго-западной экспозиции также пострадал от воздействия промышленных выбросов, однако, в меньшей степени. Подножие склона является седловиной главного хребта, высота над уровнем моря составляет 220–260 м, поэтому на этой части склона отсутствует пояс лесной растительности. По данным 1930-х гг. здесь до 270 м простиралась полоса березового криволеся, которая переходила до высоты 330 м в каменистую тундру со злаками и участием березы. По материалам современных полевых исследований и анализу космических

снимков с высоты от 260 до 415 м простирается травяно-кустарничковая тундра с участием березы. В небольшом понижении, хорошо защищенном от выбросов комбината, выделяется елово-березовый разреженный лес с преобладанием в древостое березы пушистой и участием ели и сосны. В кустарниковом ярусе встречаются ива и можжевельник, в травяном – злаки, мохово-лишайниковый ярус практически не выражен.

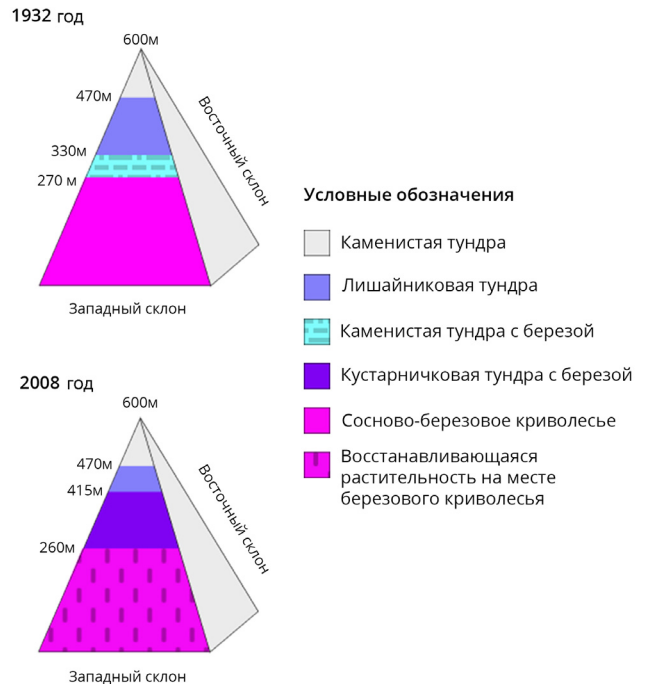


Рис. 5. Структура высотной поясности горы Ниттис по данным 1932 и 2008–2018 гг.

Fig. 5. The structure of the altitudinal zonation of the Nittis Mountain according to 1932 and 2008–2018 data

Травяно-кустарничковая тундра с участием березы покрывает большую часть склона. В древостое – береза пушистая и единичные экземпляры сосны. В кустарниковом ярусе доминируют ива и можжевельник, разнообразный состав кустарничков, травяном – злаки. Из растущих здесь ранее сохранились вороника, голубика, толокнянка, карликовая береза, арктоуз альпийский, филлодоце, луговик извилистый, ситник трехраздельный, овсяница, лишайник *Cetraria nivalis*. Исчезли брусника, черника, диапенсия лапландская, лузелеурия, дриада восьмилепестная, осока, плауны (*Lycopodium alpinum*, *L. appressum*), лишайники *Cladonia alpestris*, *C. rangiferina*, *C. mitis*, *Cetraria islandica*. Появились такие виды, как вереск обыкновенный, *Cladonia borealis*, *Polytrichum commune*. Проективное покрытие составляет 90%, сомкнутость крон – 0,2, коэффициент флористического сходства – почти 50%.

По данным 1932 г., выше 330 м формировалась каменистая тундра, представленная растительно-

стью каменистых осыпей и россыпей. По современным данным нижняя граница каменистой злаково-лишайниковой тундры проходит на высоте 460–470 м. Около 60% площади покрывает злаковая растительность. Из растущих здесь ранее сохранились *Cetraria nivalis*, *Cladonia mitis*. Исчезли голубика, золотая розга, *Alectoria ochroleuca*, *Cladonia alpestris*, *C. rangiferina*, *C. crispata*, *C. uncialis*, *C. coccifera*, *C. bellidiflora*, *C. cornuta*. Появились ива, можжевельник, карликовая береза, лузалеурия, арктоуз альпийский, ситник трехраздельный. Проективное покрытие составляет 90%, коэффициент флористического сходства – менее 20%. Верхний предел распространения сосны на этом склоне отмечается на высоте 475 м.

3. Гора Нюд. Нижнюю часть склона восточной экспозиции, по данным 1932 г., до 250 м занимал еловый воронично-черничный лес. На сегодняшний день нижнюю часть склона до 280 м занимает елово-березовое редколесье с черничным покровом. В формировании древостоя участвуют береза пушистая, ива, ель. Сомкнутость крон составляет 0,7, встречаются мертвые ели. В травяно-кустарничковом ярусе доминирует черника. Из растущих ранее здесь сохранились вороника, луговик извилистый, багульник, голубика, линнея северная. Исчезли брусника, филлодоце, грушанки однобокая и круглолистная, герань лесная, плаун, золотарник *Entodon Schreberi*, *Hylocomium proliferum*, *Cladonia rangiferina*. Появились можжевельник, карликовая береза, дерен шведский, *Cetraria islandica*, *Cladoniaborealis*. Проективное покрытие составляет 80%, коэффициент флористического сходства – 40% (рис. 6, 7).

Выше по склону протягивается неширокая полоса березового криволесья. По данным 1932 г., нижняя граница пояса проходит на высоте 250 м, верхняя – на высоте 325 м, по современным данным пояс тянется от 280 до 300–320 м. Древесный ярус представлен березой пушистой и извилистой, встречаются сосна и ель. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют злаки и карликовая береза. Проективное покрытие составляет 90%. Из растущих ранее здесь сохранились багульник, вороника, голубика, луговик извилистый, осока. Выпали: черника, плаун, брусника, линнея северная, арктоуз альпийский, золотарник, грушанка однобокая, вереск обыкновенный. Появились лузалеурия и *Cetraria nivalis*. Сомкнутость крон составляет 0,4, коэффициент флористического сходства – 40%.

Выше по склону с 325 м по данным 1932 г. и с 300–320 м по современным данным вплоть до самой вершины простирается горная кустарничково-лишайниковая тундра. Встречаются отдельные низкорослые экземпляры ели и сосны. В травяно-кустарничковом ярусе доминирует толокнянка.

Проективное покрытие составляет 90%. Из ранее растущих сохранились вороника, луговик извилистый, филлодоце голубая, плаун альпийский, *Cetraria nivalis*. Выпали из состава голубика, брусника, черника, карликовая береза, лузалеурия, диапенсия лапландская, дриада восьмилепестная, багульник, осока, ситник трехраздельный, овсяница, *Cladonia alpestris*, *C. rangiferina*, *C. mitis*, *Cetraria islandica*. Появились бартсия альпийская (*Bartsia alpina*), *Cetraria nivalis*. Коэффициент флористического сходства составляет 40%.

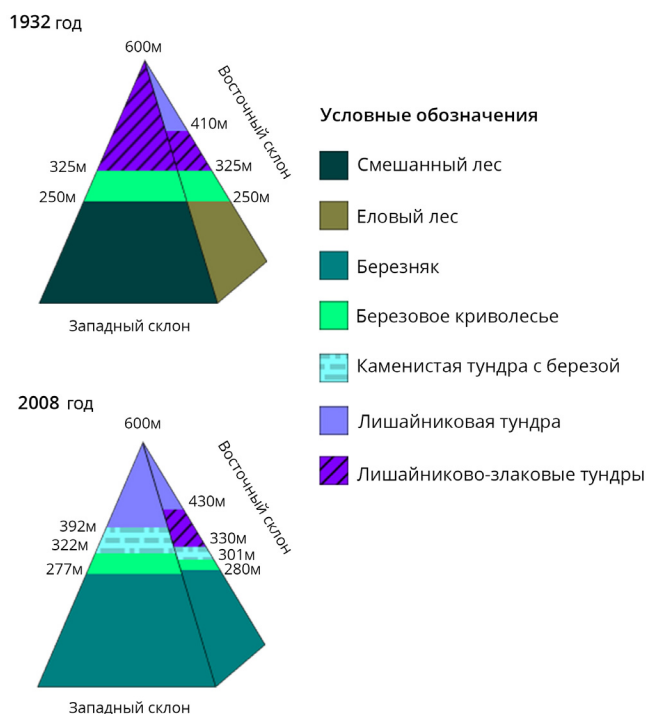


Рис. 6. Структура высотной поясности горы Нюд по данным 1932 и 2008–2018 гг.

Fig. 6. The structure of the altitudinal zonation of the Nyud Mountain according to 1932 and 2008–2018 data

Склон западной экспозиции горы Нюд обращен к комбинату. Подножие склона по данным 1932 г. занимали сосново-еловые леса, поднимаясь до 250 м. По современным данным здесь сформировался лес с участием березы пушистой, осины (*Populus tremula*), ольхи (*Alnus incana*), ивы, рябины, верхняя граница которого продвинулась до 280 м. В травяно-кустарничковом ярусе доминирует черника. Общее проективное покрытие составляет 90%. Встречаются мертвые ели. Из растущих ранее здесь сохранились голубика, брусника, осока, луговик извилистый, линнея северная, *Entodon Schreberi*, *Hylocomium proliferum*. Сомкнутость крон составляет 0,9, коэффициент флористического сходства – 35%.

Границы пояса березового криволесья практически не изменились (до 325 м – по данным 1932 г. и до 320–330 м – по современным). В формировании

древесного яруса участвуют береза пушистая и рябина. В травяно-кустарничковом ярусе доминирует хвощ. Общее проективное покрытие составляет 75%. Из растущих ранее здесь сохранились золотарник, луговик извилистый. Выпали: багульник, вороника, брусника, черника, голубика, арктоуз альпийский, осока, плаун, линнея северная, грушанка однобокая, вереск обыкновенный (*Calluna vulgaris*). Появились: толокнянка (*Arctostaphylos uva-ursi*), иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium*), хвощи (*Equisetum*). Общая сомкнутость крон составляет 0,5%, а коэффициент флористического сходства – 20%.



Рис. 7. Склон северо-восточной экспозиции горы Нюд.
Фото М.Л. Ковальчук

Fig. 7. North-eastern slope of the Nyud Mountain.
Photo by M. Kovalchuk

Выше по склону по материалам полевых исследований идет узкая переходная зона между березовым криволесьем и горной тундрой – тундра с березой до высоты 390–400 м. Встречаются береза извилистая, сосна. В травяно-кустарничковом ярусе преобладает толокнянка, часто встречается багульник. Сомкнутость крон составляет 0,2, проективное покрытие – 80%.

Выше по склону вплоть до самой вершины простирается горная кустарничково-лишайниковая тундра. Единичные экземпляры сосны поднимаются до самой вершины сопки. Большую часть площади покрывает злаковая растительность. Проективное покрытие составляет 75%. Из растущих ранее здесь сохранились диапенсия лапландская, карликовая береза, луговик извилистый, овсяница, ситник трехраздельный, филлодоце голубая, *Cetraria islandica*. Выпали из состава фитоценоза следующие виды: багульник, вороника, голубика, брусника, черника, арктоуз альпийский, толокнянка, луазелеурия, дриада восьмилепестная, плаун альпийский, *Cetraria*

nivalis, *Cladonia alpestris*, *C. rangiferina*, *C. mitis*. Появилась ива. Коэффициент флористического сходства – 50%.

Нами проведен сравнительный анализ материалов полевых геоботанических исследований и данных космической съемки за 2018 и 2008 гг. Можно отметить, что границы высотных поясов на рассматриваемых горных массивах изменились незначительно – на первые метры или максимум 10–20 м лишь на отдельных склонах. Однако за прошедшее десятилетие можно отметить некоторые тенденции:

1. На **хребте Мончетундра** на склоне западной экспозиции отмечается незначительное увеличение густоты лесного пояса. Пояс криволесья также отличается увеличением сомкнутости крон и густотой нижних ярусов и продвижением вверх по склону на 1–3 м. На склоне восточной экспозиции по пустоши наблюдается усиление эрозионных процессов, что может быть связано с увеличением количества осадков. В нижних частях этого склона увеличивается густота растительности в лесном поясе.

2. На **горе Нюд** на привершинных частях склона по понижениям отмечается увеличение густоты лесного пояса, а на выровненных – усиление эрозионных процессов. На склоне восточной экспозиции границы поясов стабильны, лишь отдельные экземпляры молодых деревьев, преимущественно березы, появились выше границы криволесья на 2–3 м.

3. На **горе Ниттис** также повсеместно наблюдается некоторое увеличение густоты растительного покрова нижних поясов, также за счет подроста, кустарничкового и кустарничкового ярусов. В привершинных частях склона изменений не отмечается.

4. На **горе Сонче**, отличающейся деградацией в наибольшей степени, наблюдается схожая для остальных горных массивов тенденция: более активно идет восстановление растительности нижних поясов, медленнее – в привершинных частях склона, хотя здесь отчетливо наблюдается увеличение покрытия кустарничками и мхами.

ВЫВОДЫ

Анализ современных данных о состоянии растительности горного массива Мончетундра по наземным наблюдениям и данным дистанционного зондирования в сравнении с характеристиками, полученными в 1930-х гг. до индустриального освоения региона, отражает общие тенденции, характерные для экосистем в сфере техногенного воздействия, и свидетельствует о значительных изменениях в структуре растительного покрова, часто необратимых.

В меньшей степени подверженными техногенному воздействию оказались западные склоны главного хребта Мончетундра, его отрога Ниттис,

а также восточный склон горы Нюд. Это объясняется ориентированностью по отношению к комбинату и особенностями ветрового режима района. В наибольшей степени претерпели изменения наветренные склоны: восточные склоны Мончетундры и Ниттиса; северный, западный и восточный склоны Сопчи; северный, западный склоны Ньюда. Существенно сократилось видовое разнообразие растительного покрова практически на всей территории исследования, местами наблюдается выпадение целых ярусов, снизился процент общего проективного покрытия.

Современная структура высотной поясности горного массива Мончетундра представляет собой определенную закономерную смену высотных поясов, с тенденцией смещения их границ. Исключения составляют восточные склоны главного хребта

(Мончетундра) и его отрога (Ниттис), обращенные к комбинату, где первые два пояса представлены техногенной пустошью с признаками процессов восстановления.

В последнее десятилетие наблюдается почти повсеместное «позеленение» склонов за счет увеличения густоты (проективного покрытия) нижних ярусов, развития подроста древесных пород, увеличения сомкнутости крон, особенно в нижних частях склонов и по ложбинам стока.

Восстановление растительности, учитывая экстремальные природные условия, идет медленно, однако отмеченные тенденции в совокупности с внедрением новых технологий по снижению выбросов загрязняющих веществ комбинатом «Североникель» позволяют прогнозировать улучшение ситуации.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта «Методология оценки состояния и динамики наземных экосистем Арктики в условиях антропогенного воздействия» по данным ДЗЗ (грант РФФИ, № 18-05-60221), научных тем гос. задания кафедры рационального природопользования «Устойчивое развитие территориальных систем природопользования» и кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова «Развитие методов и технологий картографии, геоинформатики и аэрокосмического зондирования в исследованиях природы и общества». Материалы космической съемки получены через ЦКП «Геопортал». Исследование частично выполнено в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Боброва Л.И., Качурин М.Х. Очерк растительности Мончетундры // Труды СОПС. Серия Кольская. Вып. 2. М.: Л., 1936. С. 95–121.
- Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований. М.: Академия, 2011. 416 с.
- Корчагин А.А. Строение растительных сообществ // Полевая геоботаника. 1976. Т. 5. С. 7–313.
- Красовская Т.М., Евсеев А.В. Комплексный подход к изучению и картографированию современного природопользования в северных районах России // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 6. С. 144–150.
- Крючков В.В., Сыроид Н.А. Почвенно-ботанический мониторинг в центральной части Кольского полуострова // Мониторинг природной среды Кольского Севера. Апатиты: КНЦ АН СССР, 1984. С. 15–26.
- Крючков В.В., Сыроид Н.А. Лишайники как биоиндикаторы качества окружающей среды в северной тайге // Экология. 1990. № 6. С. 63–66.
- Крючков В.В., Макарова Т.Д. Аэротехногенное воздействие на экосистемы Кольского Севера. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1989. 96 с.
- Куваев В.Б. Флора субарктических гор Евразии и высотное распределение ее видов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 566 с.
- Лабутина И.А., Балдина Е.А. Практикум по курсу «Дешифрирование аэрокосмических снимков»: учеб. пособие. М.: Географический факультет МГУ, 2013. 168 с.
- Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности. М.: Логос, 2002. 264 с.
- Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях. М.: Академия, 2004. 416 с.
- Раменская М.А. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. Л.: Наука, 1983. 215 с.
- Семкин Б.И., Горшков М.В. Об оценке сходства и различия в серии флористических и фитоценологических описаний // Комаровские чтения. 2010. Вып. LVII. С. 203–220.
- Экология Севера: дистанционные методы изучения нарушенных экосистем / под ред. А.П. Капицы. М.: Научный мир, 2003. 248 с.
- Mikheeva A.I., Tutubalina O.V., Zimin M.V., Golubeva E.I. A sub-pixel classification of multispectral satellite imagery for interperetation of tundra-taiga ecotone vegetation (case study on Tuliok river valley, Khibiny, Russia), *Izvestiya – Atmospheric and Oceanic Physics*, 2017, vol. 53, no. 9, p. 1164–1173.
- Hofgaard A., Rees G., Tommervik H., Tutubalina O., Golubeva E., Lukina N., Høgda K.A., Karlsen S.R., Isaeva L., Kharuk V. Role of disturbed vegetation in mapping the

boreal zone in northern Eurasia, *Applied Vegetation Science*, 2010, vol. 13, no. 4, p. 460–472.
 Sørensen T. A Method of Establishing Groups of Equal Amplitudes in Plant Sociology Based on Similarity of

Species Content and Its Application to Analyses of the Vegetation on Danish Commons, *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, Biologiske Skrifter*, 1948, vol. V, no. 4, p. 1–34.

Поступила в редакцию 04.03.2021

После доработки 03.06.2021

Принята к публикации 20.07.2021

DYNAMICS OF FLORISTIC COMPOSITION AND BOUNDARIES OF THE ALTITUDE ZONES WITHIN MOUNTAIN MASSIFS OF THE KOLA PENINSULA UNDER THE ANTHROPOGENIC IMPACT

E.I. Golubeva¹, W.G. Rees², M.V. Zimin³, M.L. Kovalchuk⁴, Yu.I. Timokhina⁵

^{1,3,5} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography

² Scott Polar Research Institute, University of Cambridge, Cambridge, UK

³ Laboratory of Aerospace Methods,

⁴ ООО “Sroytransgaz Truboprovodstroy”, Moscow

¹ Department of Environmental Management, Professor, D.Sc. in Biology; e-mail: egolubeva@gmail.com

² Professor

³ Leading Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: ziminmv@mail.ru

⁴ Leading Specialist

⁵ Department of Environmental Management, post-graduate student; e-mail: timokhina2701@gmail.com

Long-term anthropogenic pressure and current climatic trends have led to significant changes in the structure and species composition of the vegetation cover of ecosystems in many regions of Russia. As an impact indicator vegetation clearly reflects the spatiotemporal dynamics of ecosystems, especially in the areas experiencing long-term intensive technogenic stress. An example is the Monchegorsk district in the central part of the Kola Peninsula. According to V.V. Kryuchkov's classification, this region belongs to the zones of complete and partial disturbance of ecosystems. The aim of the study is to assess changes in the structure of vegetation cover and the dynamics of the boundaries of altitude zones in the Monchetundra mountain range, which experiences the technogenic impact of the Severonikel plant (Monchegorsk), under the modern climate change. The literature data and space imagery were used to reconstruct the structure of altitudinal zonation in the Monchetundra mountain range before the industrial development of the region. To study the current state and dynamics of ecosystems, the model territories were selected that are most contrasting in the exposure of slopes, determining the distribution of pollutants. A comparison of the structure of altitudinal zonation before the industrial development of the region with the current state made it possible to assess the general trend in the dynamics of the boundaries of altitudinal zones and determine main changes in the vegetation cover of the studied region during the period of industrial development. General improvement of the ecological situation in the region and the current climate changes have led to positive processes and partial restoration of vegetation cover within the degraded territories. However, under the extreme natural conditions this process is slow, although the identified trends in combination with measures taken by the Severonikel plant to introduce new technologies to reduce emissions of pollutants allow us to predict an improvement of the situation. Complex assessment of the state of vegetation cover of ecosystems based on the use of ground-based and remote sensing data made it possible to most accurately describe the current state, as well as the changes in the structure of plant communities.

Keywords: state of ecosystems, technogenic impact, vegetation, altitudinal zonation, Kola Peninsula, Earth remote sensing data

Acknowledgments. The work was financially supported by the Russian Foundation of Basic Research (project no. 18-05-60221 Methodology for assessing the state and dynamics of Arctic terrestrial ecosystems under anthropogenic impact based on remote sensing data) and carried out under the scientific topics of the state task of the departments of Environmental Management “Sustainable development of territorial systems of nature management” and Cartography and Geoinformatics “Development of methods and technologies of cartography, geoinformatics and aerospace sensing for studying of nature and society”. The access to remote sensing data was supported by the Geoportal Centre of collective usage, Lomonosov Moscow State University. The study was partially carried out within the framework of the Development Program of the Interdisciplinary Scientific and Educational School of the Lomonosov Moscow State University “Future Planet and Global Environmental Change”.

REFERENCES

- Bobrova L.I., Kachurin M.Kh. [Overview of the vegetation of Monchetundra], *Trudy SOPS* [Proc. of the Council for the Study of Productive Forces], Ser. *Kol'skaya*, pt. 2, Moscow, Leningrad, 1936, p. 95–121. (In Russian)
- Ekologiya Severa: distantsionnye metody izucheniya narushennykh ekosistem* [Ecology of the North: remote sensing methods for studying disturbed ecosystems], A.P. Kapitsa (ed.), Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2003, 248 p. (In Russian)
- Hofgaard A., Rees G., Tommervik H., Tutubalina O., Golubeva E., Lukina N., Høgda K.A., Karlsen S.R., Isaeva L., Kharuk V. Role of disturbed vegetation in mapping the boreal zone in northern Eurasia, *Applied Vegetation Science*, 2010, vol. 13, no. 4, p. 460–472.
- Knizhnikov Yu.F., Kravtsova V.I., Tutubalina O.V. *Aerokosmicheskie metody geograficheskikh issledovaniy* [Aerospace methods of geographical research], Moscow, Akademiya Publ., 2011, 416 p. (In Russian)
- Korchagin A.A. Stroenie rastitel'nykh soobshchestv [The structure of plant communities], *Polevaya geobotanika*, 1976, vol. 5, p. 7–313. (In Russian)
- Krasovskaya T.M., Evseev A.V. Kompleksnyi podkhod k izucheniyu i kartografirovaniyu sovremennogo prirodopol'zovaniya v severnykh rayonakh Rossii [An integrated approach to the study and mapping of modern nature management in the northern regions of Russia], *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2009, no. 6, p. 144–150. (In Russian)
- Kryuchkov V.V., Makarova T.D. *Aerotekhnoгенное воздействие на экосистемы Кол'sкого Севера* [Aerotechnogenic impact on ecosystems of the Kola North], Apatity, 1989, 96 p. (In Russian)
- Kryuchkov V.V., Syroid N.A. [Soil botanical monitoring in the central part of the Kola Peninsula], *Monitoring prirodnoi sredy Kol'skogo Severa* [Monitoring of natural environment of the Kola North], Apatity, 1984, p. 15–26. (In Russian)
- Kryuchkov V.V., Syroid N.A. Lishainiki kak bioindikatory kachestva okruzhayushchei sredy v severnoi taige [Lichens as bio-indicators of environmental quality in the northern taiga], *Ekologiya Publ.*, 1990, no. 6, p. 63–65. (In Russian)
- Kuvaev V.B. *Flora subarkticheskikh gor Evrazii i vysotnoe raspredelenie ee vidov* [Flora of the subarctic mountains of Eurasia and the altitudinal distribution of its species], Moscow, KMK Publ., 2006, 566 p. (In Russian)
- Labutina I.A., Baldina E.A. *Praktikum po kursu "Deshifirovanie aerokosmicheskikh snimkov"* [Practical course "Interpretation of space images"], Moscow St. Un-t Publ., 2013, 168 p. (In Russian)
- Mikheeva A.I., Tutubalina O.V., Zimin M.V., Golubeva E.I. A subpixel classification of multispectral satellite imagery for interpretation of tundra-taiga ecotone vegetation (case study on Tuliok river valley, Khibiny, Russia), *Izvestiya – Atmospheric and Oceanic Physics*, 2017, vol. 53, no. 9, p. 1164–1173.
- Mirkin B.M., Naumova L.G., Solomeshch A.I. *Sovremennaya nauka o rastitel'nosti* [The Modern Science of vegetation], Moscow, Logos Publ., 2002, 264 p. (In Russian)
- Puzachenko Yu.G. *Matematicheskie metody v ekologicheskikh i geograficheskikh issledovaniyakh* [Mathematical Methods in Environmental and Geographical Investigations], Moscow, Akademiya Publ., 2004, 416 p. (In Russian)
- Ramenskaya M.A. *Analiz flory Murmanskoi oblasti i Karelii* [Analysis of flora of the Murmansk Oblast and Karelia], Leningrad, Nauka Publ., 1983, 215 p. (In Russian)
- Semkin B.I., Gorshkov M.V. Ob otsenke skhodstva i razlichiya v serii floristicheskikh i fitotsenoticheskikh opisaniy [Assessment of similarities and differences between floristic and phytocenotic descriptions], *Komarovskie chteniya*, 2010, no. LVII, p. 203–220. (In Russian)
- Sörensen T. A Method of Establishing Groups of Equal Amplitudes in Plant Sociology Based on Similarity of Species Content and Its Application to Analyses of the Vegetation on Danish Commons, *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, Biologiske Skrifter*, 1948, vol. V, no. 4, p. 1–34.

Received 04.03.2021

Revised 03.06.2021

Accepted 20.07.2021