

К. М. Кулеш, П. Г. Приймак

## **Деградация лесов – фактор трансформаций снежного покрова и гидрологического режима в зоне загрязнения бассейна озера Имандра**

Деградация растительных наземных сообществ в зоне загрязнения комбината "Североникель" (Кольский полуостров, г. Мончегорск), в особенности древесного яруса лесных сообществ, привела к нарушению водного режима и эрозии почв. Раннее снеготаяние – следствие трансформации структуры снежного покрова в зоне полной деградации древесного яруса. Увеличение параметров глубины и плотности снега возрастает в районах с нарушенным древесным ярусом и обусловлено мозаичным распределением снежного покрова. Скорость и продолжительность ветров в сочетании с рельефом существенно влияют на плотность снежного покрова. Интенсивные ветровые воздействия в условиях пересеченного сложного рельефа приводят к перераспределению снега: с вершин рельефа снег перемещается в понижения и обуславливает сильную вариабельность параметров глубины и плотности снежного покрова, особенно в период снеготаяния. Снежный покров представляет собой удобную среду для депонирования поллютантов, которые в период таяния снега попадают в почву. С открытых и наиболее загрязненных территорий импактной зоны талые воды попадают в водотоки и водоемы раньше, чем с облесенных водосборных территорий. Вынос грунтовыми стоками почвенных частиц в гидрологическую сеть бассейна озера Имандра – существенный элемент эвтрофикации водных объектов и наряду с ранним снеготаянием обуславливает ранний сход ледового покрова с озер и ручьев в зоне интенсивного загрязнения. Таким образом, для гидрологической сети бассейна озера Имандра результаты деятельности комбината "Североникель" выражены в изменении гидрохимического режима, структуры и разнообразия фито- и зооценозов.

**Ключевые слова:** снежный покров, комбинат "Североникель", деградация, импактная зона, озеро Имандра.

### **Введение**

Оценка влияния аэротехногенного загрязнения на наземные и водные экосистемы характеризуется большой сложностью в связи с поливариантностью связей в экосистемах и между ними, а также с разнообразием и вариативностью форм токсикантов. Выпадение загрязняющих веществ с осадками в водные бассейны и накопление поллютантов в снежном покрове, почвах, водной среде приводят к изменениям биологического разнообразия, функционирования и способности экосистем к восстановлению. Снежный покров представляет собой удобную среду для депонирования различных поллютантов – тяжелых металлов и неметаллов, которые в период снеготаяния попадают в почву.

Данная проблема особенно актуальна для экосистем Кольского полуострова, относящихся к субарктическому поясу. Важнейшими источниками выбросов в атмосферу подкисляющих веществ и соединений тяжелых металлов в Мурманской области являются комбинаты "Североникель" и "Печенганикель" [1].

Одно из последствий функционирования комбината "Североникель" (г. Мончегорск) в 1960–1970 гг. – образование и выпадение кислотных дождей – оказало негативное влияние на прилегающие (в том числе лесные) экосистемы [2]. Воздействие выбросов комбината привело к деградации древесного яруса и аккумуляции различных загрязняющих веществ – тяжелых металлов и неметаллов – в почвах и водных экосистемах [3].

Цель настоящего исследования – охарактеризовать влияние деградации лесов на гидрологические особенности водных объектов в западной части бассейна озера Имандра через трансформации снежного покрова.

### **Материалы и методы**

Настоящее исследование проводилось на территории ландшафтов, относящихся к северотаежной природно-климатической зоне Кольского полуострова. Пробные площади располагались в водосборном бассейне озера Имандра (включающем системы малых озер и водотоков) по градиенту эффектов деградации экосистем, в меридиональном направлении – с юга на север. Необходимо отметить, что территории в зоне наиболее интенсивного воздействия комбината "Североникель" (на 11-м, 7, 5-м км), характеризуются фрагментацией или почти полным отсутствием живого напочвенного покрова, при этом становится более ярко выражен характер мезо- и микрорельефа.

Для определения характера трансформаций снежного покрова работа осуществлялась в течение двух зимних периодов.

Измерения сформированного устойчивого снежного покрова проводились в декабре 2014 г. Были заложены четыре пробные площади на расстояниях 29, 7, 5 и 1 км от комбината. На каждой площади измеряли глубину снежного покрова в 20-кратной повторности с использованием метода ленточных трансект (по три трансекты на площадь).

Градуированным цилиндрическим пробоотборником (внутренний диаметр 50 мм) измерялась глубина снежного покрова в 25-кратной повторности. На каждой площадке пробы снега отбирали в герметичные пластиковые емкости объемом 1 л в пятикратной повторности. Плотность снега рассчитывали как соотношение массы талой воды (определяли с точностью 0,001 г) к объему пробы.

В период снеготаяния (апрель 2014 г.) в зоне аэротехногенного загрязнения были заложены шесть пробных площадей (около 400 м<sup>2</sup>) на расстояниях 45 (условный фон), 29, 19, 11, 7, 5 км от комбината. Обработку полученных данных проводили в MS Excel 2010.

## Результаты и обсуждение

На площадях отмечены следующие особенности распределения фитоценозов: 45-й и 29-й км представлены различными фациями хвойных лесов с сопутствующими лиственными видами в древесном ярусе (в основном березы). На 19-м и 11-м км преобладают березы и сосны; на 7-м км преобладают березы. При этом меняется и пространственная структура сообществ.

Кроме того, на 45-м км отмечается высокая густота и в то же время низкая высота древостоя, так как на данном участке преобладают молодые и средневозрастные растения (сосны, ели и березы). С 45 по 19 км постепенно увеличивается высота древостоя; с 19 по 5 км снижается его густота (рис. 1) [4].

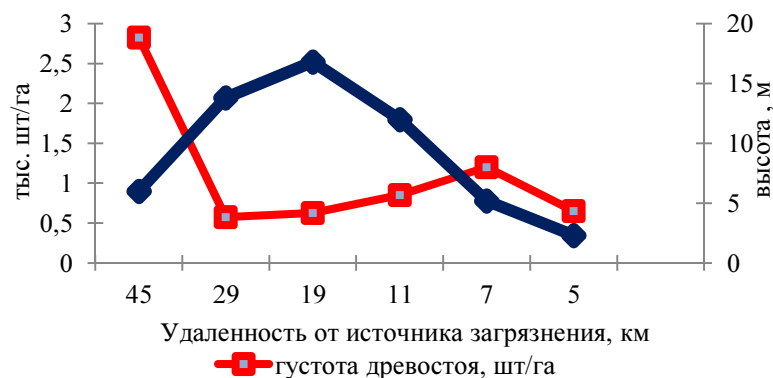


Рис. 1. Густота и высота древостоя в условиях техногенного загрязнения

Fig. 1. Tree stand thickness and height in technogenic pollution conditions

Леса Мончегорского района представлены редкостойными ельниками и сосняками, часто встречаются березы [5]. Вблизи комбината (5 и 7 км) древесный ярус деградирует [1], присутствуют лишь древовидные формы берез и ив.

Средняя глубина устойчивого снежного покрова в зимний период (декабрь 2014 г.) постепенно увеличивается вдоль градиента аэротехногенного воздействия от  $18,9 \pm 2,8$  до  $48,1 \pm 1,3$  см. На 29-м км снег глубже и вариация глубины меньше (рис. 2). Планки погрешностей (здесь и далее в работе) показывают границы доверительного интервала ( $p < 0,05$ ).

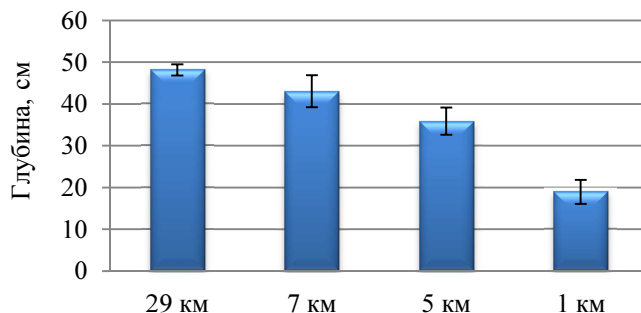


Рис. 2. Глубина устойчивого снежного покрова (декабрь 2014 г.)

Fig. 2. Depth of the stable snow cover (December, 2014)

Анализируя разницу глубин и плотности снега в начале периода снеготаяния (рис. 3), можно отметить, что снег в зоне загрязнения начинает стлавать быстрее, чем в лесной зоне.

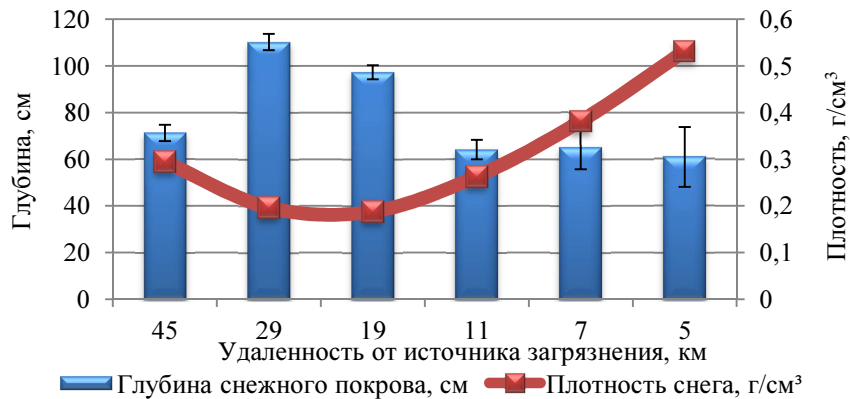


Рис. 3. Глубина и плотность снежного покрова в период снеготаяния (апрель 2014 г.)  
Fig. 3. Depth and density of snow cover during the snowmelt period (April, 2014)

На открытых участках плотность снега выше, чем на облесенных территориях, что согласуется с исследованиями других авторов [6–8]. На площадках в непосредственной близости от комбината (рис. 3) плотность снега изменяется от 0,2 до 0,53 г/см³. С увеличением глубины снежного покрова на лесных территориях можно заметить снижение его плотности.

Вариабельность значений плотности и глубины снежного покрова возрастает с приближением к источнику загрязнения. Известно, что плотность снега изменяется с глубиной снежного покрова благодаря микросублимационным процессам, происходящим под влиянием температуры в снежном покрове [9].

В период снеготаяния на открытых участках снег уплотняется в нижних слоях, поскольку температура в верхних слоях будет выше, чем температура воздуха, и образующийся пар будет устремляться сверху вниз, уплотняя снег в нижних слоях. На облесенных участках будет протекать обратный процесс: снег будет более плотный в верхних слоях, где будет кристаллизоваться пар, поступающий снизу [10]. Уплотняясь при стаивании, со временем снежный покров приобретает свойства конденсированной среды, которая начинает влиять на физические свойства, превращая его в фирн [11]. Данный факт объясняет высокие значения плотности снега с пробных площадей на 7-м и 5-м км (рис. 6), находящихся в непосредственной близости от комбината "Североникель", где верхние слои снежного покрова более рыхлые, а в нижних слоях образуются твердые частицы фирна, которые повышают плотность и труднодоступность сбора снега.

Скорость и продолжительность ветров в сочетании с рельефом существенно влияют на плотность снежного покрова. В местностях с сильными и продолжительными ветрами снег значительно плотнее [12]. Интенсивные ветровые воздействия в условиях пересеченного сложного рельефа приводят и к перераспределению снега: с вершин положительных форм рельефа снег перемещается в понижения. Этим объясняется сильная вариабельность не только глубин, но и плотности снега на открытых пространствах.

Особенностью фульвокислот северных почв является способность образовывать с металлами комплексные соединения, сохраняющие подвижность в растворах, что снижает барьерную функцию органического вещества почв. В конечном итоге загрязняющие вещества попадают в водоем. Влияние загрязнений тяжелыми металлами на биоту озера Имандра, в частности, описывается в работе "Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра" (2002 г.) [13]. В этой же работе упоминается сдвиг сроков освобождения ото льда западных притоков и малых озер водосбора озера Имандра.

Результаты нашего исследования показывают, что с открытых (наиболее загрязненных) площадей импактной зоны талые воды попадают в водотоки и водоемы раньше, чем с облесенных водосборных территорий. Кроме того, учитывая многократно описанную эрозию почв в исследуемом районе [3], необходимо принять во внимание вынос грунтовыми стоками почвенных частиц в гидрологическую сеть бассейна озера Имандра. Это является существенным элементом эвтрофикации водных объектов, что наряду с ранним снеготаянием обуславливает в том числе ранний сход ледового покрова с озер и ручьев в зоне интенсивного загрязнения.

## Закключение

Глубина снежного покрова в зоне комбината "Североникель" уменьшается, а плотность возрастает в связи с усилением эффектов деградации древесного яруса по градиенту техногенного воздействия. Вариабельность глубины и плотности снежного покрова (особенно в период снеготаяния) связана с ветровыми

воздействиями и перераспределением снега с вершин микрорельефа в его понижения. Результатом полной деградации древостоев является трансформация структуры снежного покрова и ее динамики, приводящая к раннему снеготаянию в зоне наибольшего загрязнения. Загрязняющие вещества с талыми водами попадают в почву и водоемы с открытых участков импактной зоны раньше, чем с облесенных территорий. Вынос почвенных частиц и токсикантов в гидрологическую сеть бассейна озера Имандра способствует эвтрофикации водных объектов, что приводит к дальнейшим негативным изменениям гидрохимического режима, структуры и разнообразия биоценозов гидрологической сети.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность магистру биологических наук Исаевой А. С. за помощь в отборе проб и обработке данных на отдельных этапах работы и кандидату биологических наук Козлову М. В. (Университет прикладных наук в г. Турку, Финляндия) за ценные советы и замечания, полученные в процессе исследования.

Исследование выполнено в соответствии с базовой частью государственного задания высшим учебным заведениям Минобрнауки России в части инициативных научных проектов по теме НИР "Комплексная рыбоводно-биологическая оценка культивируемой форели в водоемах Кольского полуострова", 37.10193.2017/БЧ.

### Библиографический список

1. Лукина Н. В., Никонов В. В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты / под ред. Л. О. Карпачевского. Апатиты : КНЦ РАН, 1998. 316 с.
2. Калабин Г. В. Введение в экологию и охрану окружающей природной среды // Экология и охрана природы Кольского Севера. Апатиты : Б. и., 1994. С. 7–14.
3. Черненко Т. В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М. : Наука, 2002. 189 с.
4. Приймак П. Г. Морфологическая изменчивость берез в условиях техногенного загрязнения на Кольском полуострове : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16, 03.00.05. Петрозаводск, 2005. 22 с.
5. Раткин Н. Е. Количественная оценка аэротехногенного потока вещества на подстилающую поверхность расчетным методом // Вестник МГТУ. 2000. Т. 3, № 1. С. 145–164.
6. Агейкин Я. С. Пропускная способность автомобилей. М. : Машиностроение, 1981. 231 с.
7. Беляков В. В. Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных машин : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.03. М., 1999. 32 с.
8. Kozlov M. V. Snowpack changes around a nickel-copper smelter at Monchegorsk, northwestern Russia // Canadian Journal of Forest Research. 2001. V. 31, № 10. P. 1684–1690. DOI: <https://doi.org/10.1139/x01-112>.
9. Петров С. Е. Аспекты идентификации параметров снежного покрова для математического описания движения транспортно-технологических машин по снегу // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров "Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров", посвященная 145-летию МГТУ "МАМИ", Москва, 17 ноября 2010 г. М. : МГТУ "МАМИ", 2010. Кн. 1. С. 258–261.
10. Дюнин А. К. В царстве снега. Новосибирск : Наука : Сиб. отд-ние, 1983. 161 с.
11. Кузьмин П. П. Физические свойства снежного покрова. Л. : Гидрометеиздат, 1957. 179 с.
12. Копанев И. Д. Климатические аспекты изучения снежного покрова. Л. : Гидрометеиздат, 1982. 239 с.
13. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра / [Т. И. Моисеенко, В. А. Даувальтер, А. А. Лукин, Л. П. Кудрявцева и др.]; отв. ред. Т. И. Моисеенко. М. : Наука, 2002. С. 19–22.

### References

1. Lukina N. V., Nikonov V. V. Pitatelnyi rezhim lesov severnoy taygi: prirodnye i tehnogennye aspekty [Nutritious regime of the northern taiga forests: natural and technogenic aspects] / pod red. L. O. Karpachevskogo. Apatity : KNTs RAN, 1998. 316 p.
2. Kalabin G. V. Vvedenie v ekologiyu i ohranu okruzhayushey prirodnoy sredy [Introduction to ecology and environmental protection] // Ekologiya i ohrana prirody Kolskogo Severa. Apatity : B. i., 1994. P. 7–14.
3. Chernenkova T. V. Reaktsiya lesnoy rastitelnosti na promyshlennoe zagryaznenie [Reaction of forest vegetation to industrial pollution]. M. : Nauka, 2002. 189 p.
4. Priymak P. G. Morfoloicheseskaya izmenchivost berez v usloviyah tehnogennoy zagryazneniya na Kolskom poluostrove [Morphological variability of birches in conditions of technogenic pollution on the Kola Peninsula] : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk : 03.00.16, 03.00.05. Petrozavodsk, 2005. 22 p.
5. Ratkin N. E. Kolichestvennaya otsenka aerotehnogennoy potoka veschestva na podstilayuschuyu poverhnost raschetnym metodom [Quantitative estimation of aero-technical flux of a substance on the underlying surface by the calculation method] // Vestnik MGTU. 2000. V. 3, N 1. P. 145–164.

6. Ageykin Ya. S. Prohodimost avtomobiley [Passability of cars]. М. : Mashinostroenie, 1981. 231 p.
7. Belyakov V. V. Vzaimodeystvie so snezhnym pokrovom elastichnyh dvizhiteley spetsialnykh transportnykh mashin [Interaction with the snow cover of elastic propellers of special transport vehicles] : avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk : 05.05.03. М., 1999. 32 p.
8. Kozlov M. V. Snowpack changes around a nickel-copper smelter at Monchegorsk, northwestern Russia // Canadian Journal of Forest Research. 2001. V. 31, № 10. P. 1684–1690. DOI: <https://doi.org/10.1139/x01-112>.
9. Petrov S. E. Aspekty identifikatsii parametrov snezhnogo pokrova dlya matematicheskogo opisaniya dvizheniya transportno-tekhnologicheskikh mashin po snegu [Aspects of identification parameters of the snow cover for a mathematical description in movement of transport-technological machines over snow] // Materialy Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. Assotsiatsii avtomobilnykh inzhenerov "Avtomobile- i traktorostroenie v Rossii: priority razvitiya i podgotovka kadrov", posvyaschennaya 145-letiyu MGTU "MAMI", Moskva, 17 noyabrya 2010 g. М. : MGTU "MAMI", 2010. Kn. 1. P. 258–261.
10. Dyunin A. K. V tsarstve snega [In the snow realm]. Novosibirsk : Nauka : Sib. otd-nie, 1983. 161 p.
11. Kuzmin P. P. Fizicheskie svoystva snezhnogo pokrova [Physical properties of the snow cover]. L. : Gidrometeoizdat, 1957. 179 p.
12. Kopanev I. D. Klimaticheskie aspekty izucheniya snezhnogo pokrova [Climatic aspects of the snow cover study]. L. : Gidrometeoizdat, 1982. 239 p.
13. Antropogennye modifikatsii ekosistemy ozera Imandra [Ecosystem anthropogenic modifications of Lake Imandra] / [Т. I. Moiseenko, V. A. Dauvalter, A. A. Lukin, L. P. Kudryavtseva i dr.]; otv. red. Т. I. Moiseenko. М. : Nauka, 2002. P. 19–22.

#### **Сведения об авторах**

**Кулеш Ксения Михайловна** – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский государственный технический университет, аспирант; e-mail: [kmkulesh@gmail.com](mailto:kmkulesh@gmail.com)

**Kulesh K. M.** – 13, Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk State Technical University, Ph. D. Student; e-mail: [kmkulesh@gmail.com](mailto:kmkulesh@gmail.com)

**Приймак Павел Георгиевич** – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский государственный технический университет, канд. биол. наук, доцент; e-mail: [priymakpg@yandex.ru](mailto:priymakpg@yandex.ru)

**Priymak P. G.** – 13, Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk State Technical University, Cand. of Biol. Sci., Associate Professor; e-mail: [priymakpg@yandex.ru](mailto:priymakpg@yandex.ru)

K. M. Kulesh, P. G. Priymak

**Forest degradation as a factor of the snow cover  
and hydrological regime transformation  
in the pollution zone of Lake Imandra**

Degradation of terrestrial plant communities at "Severonikel" plant area (the Kola Peninsula, the town of Monchegorsk), in particular the woody layer of forest communities, has led to disturbance of the water regime and soil erosion. Early snowmelt is a consequence of the structure transformation in snow cover of the complete tree layer degradation. The increase of snow depth and density parameters is high in areas with the disturbed tree layer and is caused by a mosaic distribution of snow cover. The speed and duration of winds as well as relief significantly affect the snow cover density. Intensive wind influences in conditions of the rough terrain intersection have led to redistribution of snow: snow moves from the tops of relief to depressions and causes a strong variability in the depth and density of snow cover, especially during the snowmelt period. The snow cover is a convenient environment for depositing various pollutants which fall into the soil in the period of melting snow. From open and the most polluted territories of the impact zone thawed waters enter watercourses and reservoirs earlier than from afforested catchment areas. Removal of soil particles by groundwater into the hydrological network of Lake Imandra is an essential element of water objects eutrophication and causes early ice cover from lakes and streams along with early snowmelt in the zone of intensive pollution. Thus, results of the "Severonikel" plant activities are expressed in change in the hydrochemical regime, the structure and diversity of phyto- and zoocenoses for the hydrological water pond network of Lake Imandra.

**Key words:** snow cover, "Severonikel" plant, degradation, impact zone, Lake Imandra.