



Оригинальная статья

Трансформация растительности экотонных участков лесов юго-запада Якутии под влиянием строительства линейных сооружений

И. И. Чикидов[✉], Л. Г. Михалева

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация
[✉]chikidov@rambler.ru

Аннотация

Интенсивное освоение углеводородных месторождений на юго-западе Республики Саха (Якутия) приводит к фрагментации ранее единых лесных массивов. До середины 70-х г. XX в. антропогенная нарушенность региона была минимальной. С середины 1980-х годов начали появляться большие площади с нарушенной естественной растительностью, представляющие единую сеть, связанную между собой на большие расстояния. Площади лесов, находящихся под воздействием «опушечного эффекта», возросли более чем в 3 раза. Лесолуговые экотонные комплексы развиваются как на границе естественных растительных комплексов, так и на возникающих в результате антропогенного воздействия экотопах. В работе использовался маршрутный метод исследований, лесоводственно-геоботанические описания проводились по классической методике. Картографический материал подготовлен на основе общедоступных спутниковых снимков и топографической карты масштаба 1:200000. Анализ видового состава растительности показывает незначительную разницу состава видов в глубине лесов и на опушках, но изменяется обилие видов. Наименьшую реакцию на воздействие «опушечного эффекта» проявляют виды деревьев. У типично лесных видов травяно-кустарничкового яруса наблюдается снижение обилия на всю глубину воздействия «опушечного эффекта», происходит проникновение луговых видов из прилегающих нелесных растительных сообществ. Изменение флористического состава воздействует на все компоненты биоценоза, связанные с ним трофическими связями.

Ключевые слова: антропогенное воздействие, линейные сооружения, опушечный эффект, экотонный эффект, растительность, изменение обилия видов

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проекту «Растительный покров криолитозоны таежной Якутии: биоразнообразие, средообразующие функции, охрана и рациональное использование» (код научной темы: FWRS-2021-0023, ЕГИСУ НИОКТР № АААА-А21-121012190038-0), с применением оборудования ЦКП ФИЦ «ЯНЦ СО РАН».

Для цитирования: Чикидов И.И., Михалева Л.Г. Трансформация растительности экотонных участков лесов юго-запада Якутии под влиянием строительства линейных сооружений. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2025;30(3):427–439. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2025-30-3-427-439>

Original article

Vegetation transformation in ecotone forest areas of Southwestern Yakutia in response to linear infrastructure development

Ivan I. Chikidov[✉], Liudmila G. Mikhaleva

Institute for Biological Problems of Cryolithozone,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation
[✉]chikidov@rambler.ru

Abstract

The intensive development of oil and gas fields in the southwestern region of the Republic of Sakha (Yakutia) has resulted in the fragmentation of previously contiguous forested areas. Prior to the mid-1970s, anthropogenic disturbances in this region were minimal. However, since the mid-1980s, extensive areas of disturbed natural vegetation have emerged, forming a continuous interconnected network over large distances. The extent of forests affected by the

“fringe effect” has more than tripled. Forest-meadow ecotone complexes develop both at the boundaries of natural plant communities and on ecotopes changed by anthropogenic activities. This study used the route method of research, with forestry and geobotanical descriptions conducted in accordance with established classical methodologies. Cartographic materials were derived from publicly available satellite imagery and a 1:200,000 scale topographic map. Analysis of the species composition of vegetation indicates only minor differences between species located deep within forests and those at forest edges, although species abundance varies. Tree species demonstrate the least sensitivity to the “fringe effect.” In contrast, the abundance of typical forest species within the grass and shrub layers declines throughout the extent of the “fringe effect,” while meadow species from adjacent non-forest plant communities infiltrate these areas. Changes in floral composition affect all components of the biocenosis through trophic interactions.

Keywords: anthropogenic impact, linear infrastructures, fringe effect, ecotone effect, vegetation, changes in the abundance of species

Funding. This study was conducted within the state assignment from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the project titled “Vegetation of the permafrost zone of the taiga in Yakutia: Biodiversity, environmental functions, protection, and sustainable use” (theme No. FWRS-2021-0023, reg. No. AAAA-A21-121012190038-0), using equipment from the Core Shared Research Facilities of the Federal Research Centre “The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”.

For citation: Chikidov I.I., Mikhaleva L.G. Vegetation transformation in ecotone forest areas of Southwestern Yakutia in response to linear infrastructure development. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2025;30(3):427–439. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2025-30-3-427-439>

Введение

В последнее время на территории Республики Саха (Якутия) идет интенсивное освоение углеводородных месторождений. Особенно этот процесс затрагивает юго-западную Якутию, где расположены крупные нефтегазовые месторождения, такие как Чаяндинское, Талаканское, введены в эксплуатацию нефтепровод Восточная Сибирь–Тихий океан, газопровод «Сила Сибири» и ряд трубопроводов локального значения. В связи с промышленным освоением территории увеличивается плотность населения. Строительство линейных объектов – трубопроводов и технологических дорог в их пределах; ЛЭП; расширение сети автомобильных дорог общего пользования, – все это приводит к фрагментации ранее единых лесных массивов с возникновением новых границ растительных сообществ. Кроме того, вместе с увеличением доступности лесных массивов увеличивается количество лесных пожаров разной степени интенсивности, что, в комплексе с вырубками, приводит к появлению кустарниковых сообществ и сукцессионных молодняковых насаждений, а также увеличивает долю менее распространенных ранее растительных сообществ.

Целью работы в рамках данной статьи является изучение увеличения доли лесов с выраженным «опушечным эффектом» и степени изменения флористического состава в связи с фрагментацией лесных массивов.

Опушечный (экотонный) эффект – явление, возникающее на границе растительных сооб-

ществ, приводящее к возникновению пограничного, отличающегося от обоих, биоценоза, с измененным видовым составом и с иными характеристиками обилия растительных компонентов [1, 2]. Более половины мировых лесов в той или иной степени находятся под воздействием «экотонного эффекта», которое наблюдается не только в отношении растительности, но и всех других компонентов биоценоза, связанных с ним трофическими связями [3–5]. Лесолуговые экотонные комплексы, характерные для юго-западной Якутии, развиваются как на границе естественных растительных комплексов, так и на возникающих в результате антропогенного воздействия экотопах.

Материалы и методы

Использовался маршрутный метод исследований, лесоводственно-геоботанические описания проводились с закладкой пробных площадей на лесных участках, по методике В.Н. Сукачева, С.В. Зонна [6], на пробных площадях размером от 100 до 400 м². При описании подлеска, травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов были использованы методы глазомерного определения проективного покрытия в %, оценки обилия по Друде. Для описаний выбраны участки леса, которые отражают современное состояние растительного покрова района исследований. Изучение лесовосстановительного процесса на гарях проведено по методике Побединского.

В определении растений использованы «Определитель высших растений Якутии» [7], номенклатура высших сосудистых растений дана по С.К. Черепанову [8].

Картографический материал подготовлен на основе общедоступных спутниковых снимков и топографической карты масштаба 1:200000. Визуализация данных проведена с использованием программ ГИС-картографирования, растровое изображение (топографическая карта) было привязано к сетке географических координат (проекция Гаусса–Крюгера, «Пулково 1942», зона 19), в десятичных градусах. Выделение площадных объектов карты-схемы проведено с учетом фондовых материалов проведенных ранее в данном районе полевых исследований и пространственного распределения объектов по рельефу.

Результаты и обсуждение

Ленский район РС(Я) относится к южно-якутской подпровинции Олекмо-Якутской провинции области бореальных лесов [9], Восточно-Сибирской подобласти светлососновых лесов Евразийской хвойно-лесной области [10], входит в Юго-Западный Приленский лесорастительный округ [11].

Лесорастительные условия региона сформированы в условиях большого количества годовых осадков при более высоких среднегодовых температурах и при сравнительно низкой, по сравнению с Центральной Якутской подпровинцией, континентальности климата [12, 13]. Лесной покров характеризуется преобладанием лиственничников из лиственниц Гмелина и сибирской, относящихся к подгруппе типов сыроватых (переходных к сырým) группы типов средневлажных местопроизрастаний. Кроме лиственниц, в формировании древостоев лиственничных лесов активное участие принимают ель сибирская, сосна обыкновенная, сосна сибирская, пихта. Менее распространены сосновые леса, занимающие более сухие вершины увалов, относящиеся преимущественно к подгруппе типов сыроватых местопроизрастаний группы типов средневлажных местопроизрастаний. Здесь, кроме сосны обыкновенной, характерно участие в древостое осины, березы плосколистной, ели сибирской [14].

Сосна сибирская, встречаясь, как правило, в составе лиственничных и сосновых лесов, на хорошо дренируемых почвах может образовывать насаждения со своим преобладанием – могут

встречаться незначительные по площади леса из сосны сибирской с лиственницей чернично-зеленомошные [11, 15].

Районом исследований выбран участок в 100 км² в Ленском районе Республики Саха (Якутия), на территории интенсивно развивающегося нефтегазового месторождения, в южной его части. Выбор данного района исследований обусловлен как разнообразием типов растительного покрова, так и распространенностью участков с нарушенной растительностью. Рельеф района исследований слабовсхолмленный, больше равнинный, без резких перепадов. На участке встречаются небольшие ручьи, представляющие собой ответвления (притоки) одного ручья, текущего с севера на юг. В центральной части участка расположен комплекс из сфагновых болот, марей, небольших озер и разреженных лесов. Большую часть выбранного участка занимают хвойные леса – лиственничные леса преобладают по всему району исследования, сосновые леса встречаются на возвышенных участках. По долинам небольших ручьев встречаются небольшие по площади безлесные участки – луга и кустарниковые заросли. В целом, естественные границы растительных выделов соответствуют рельефу местности и достаточно постоянны – по понижениям рельефа встречаются нелесные, заболоченные участки сфагновых марей, по мелким долинам произрастают небольшие по площади луга и кустарниковые сообщества, основную часть участка занимают хвойные лиственничные и сосновые леса (рис. 1, а). Границы естественных выделов растительности в целом соответствуют границам, изображенным на топографической карте, датированной периодом допромышленного освоения района, что позволяет нам принять состояние растительного покрова, которое они отображают, за состояние такового до начала промышленного освоения границы выделов, без учета антропогенно-нарушенных площадей.

Выделены следующие растительные сообщества:

- сосново-лиственничные леса;
- мари, ерники и сфагновые болота;
- луга и кустарниковые заросли долины ручьев.

Схема современного распределения растительности, подготовленная на основе актуального спутникового снимка высокого разрешения (дата съемки 2022 г.), показывает появление локальных и линейных антропогенных объектов (рис. 1, б).

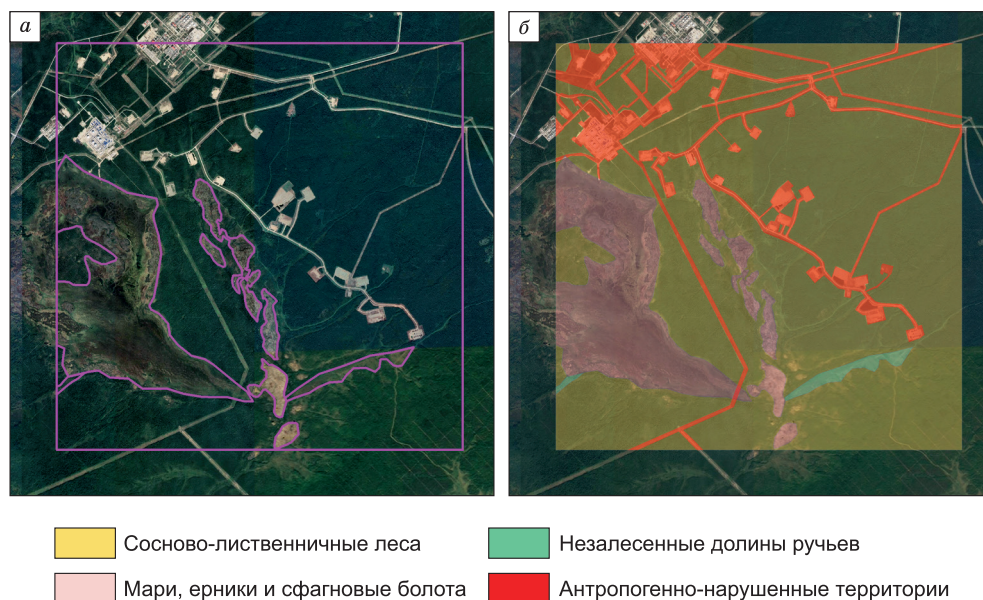


Рис. 1. Изменение границ лесов в районе исследований. *а* – растительные выделения на спутниковом снимке; *б* – антропогенно-нарушенные территории и распределение по растительным сообществам

Fig. 1. Changes in forest boundaries within the research area. *a* – Plant secretions visible on the satellite image; *b* – Anthropogenically disturbed territories and their distribution by plant communities.

Преобладающим типом растительности в районе исследований являются хвойные леса, на участке встречаются достаточно большие массивы заболоченных территорий, площади лугов и иных незалесенных территорий невелики (табл. 1).

До середины 70-х гг. XX в. антропогенная нарушенность региона была минимальной, слабо развитая дорожная сеть не позволяла проводить промышленные рубки леса, плотность населения была невелика. Изменения в ситуации начали происходить с началом геологоразведочных работ. К середине 1980-х г. на данной территории начали появляться большие площади с нарушенной естественной растительностью.

В настоящее время леса района исследований фрагментированы развитой сетью линейных объектов – нефтепроводов, дорог, линий электропередач. В целом нарушения больше коснулись залесенных участков, мари и долины ручьев остались практически нетронутыми. Участки с нарушенной лесной растительностью фактически представляют собой единую сеть, связанную между собой на больших расстояниях.

Анализ площадей и периметров нарушенных участков показал, что наибольшее изменение по сравнению с 1960-ми гг. произошло в показателях периметра (см. табл. 1). Это объясняется тем, что основная часть объектов – это линейные объ-

екты, имеющие относительно небольшие площади при большой протяженности. В целом прямому нарушению подверглось более 10 % площади района исследований.

Площади лесов снизились на 14 %, степень нарушенности, судя по спутниковым снимкам, высокая и долговременная, часть площадей занимают крупные капитальные объекты, которые будут существовать весь период эксплуатации месторождения, на большей части линейных объектов зарастание лесом искусственно замедляется санитарными рубками.

В большей степени изменения коснулись периметров, границ лесных насаждений – опушек лесов. В естественном положении, когда распределение типов растительности по местности в основном соответствует рельефу, их протяженность постоянна, соответствует границам между биоценозами – в районе исследований в основном это границы хвойный лес–мари, ерники и сфагновые болота либо хвойный лес–долины ручьев. С появлением антропогенно-нарушенных территорий, особенно протяженных линейных объектов, ситуация резко меняется. Протяженность опушек (периметр) хвойных лесов возросла более чем на 380 %.

Здесь уже можно говорить о росте влияния фактора «опушечного эффекта». Опушечный эф-

Таблица 1

Изменение площадей и периметров растительных сообществ
за годы промышленного освоения района исследований (1960–2022 гг.)

Table 1

Changes in the area and perimeter of plant communities
during the industrial development period of the research area (1960–2022)

Тип растительности	Площадь, км ²			Периметр, км*		
	1960-е	2020-е	Разница, %	1960-е	2020-е	Разница, %
Сосново-лиственничные леса	83,8	72,6	–14	54,5	210,7	+387
Мари, ерники и сфагновые болота	15,3	15,2	–0,7	41,6	42,6	–
Незалесянные долины ручьев	0,9	0,9	–	9,3	9,3	–
Антропогенно-нарушенныe территории	–	11,2	100	–	161,7	100

* Периметр без учета внешних границ выдела / Perimeter excluding external borders.

фект (эффект опушки, краевой эффект) – это возрастание органической жизни и увеличение числа видов в пограничных или смежных зонах экосистем. Лучшие условия освещенности, возможность проникновения новых видов могут сильно менять облик лесов, как в отношении растительного, так и животного мира [16–18]. Отмечается повышенная концентрация населения птиц, связанная с оптимальностью мест гнездования в гетерогенных местообитаниях, связанная с опушечным эффектом [19, 20].

Считается, что опушечный эффект может проявляться на глубину леса до 40 м [21, 22], здесь мы можем говорить о резком росте доли лесов,

подверженных этому фактору, – если до активного освоения территорий площадь лесов с воздействием опушечного эффекта составляла около 2 км², то с активным промышленным освоением их доля возросла более чем в 3 раза (рис. 2).

Можно проследить постепенное изменение ситуации с антропогенно-нарушенными площадями за годы освоения района исследований. Если до освоения площади нарушенных территорий были невелики, имели в целом естественный характер (гари), процессы восстановления лесов шли своим ходом, то с началом освоения изменился как характер нарушений, так и их размеры.

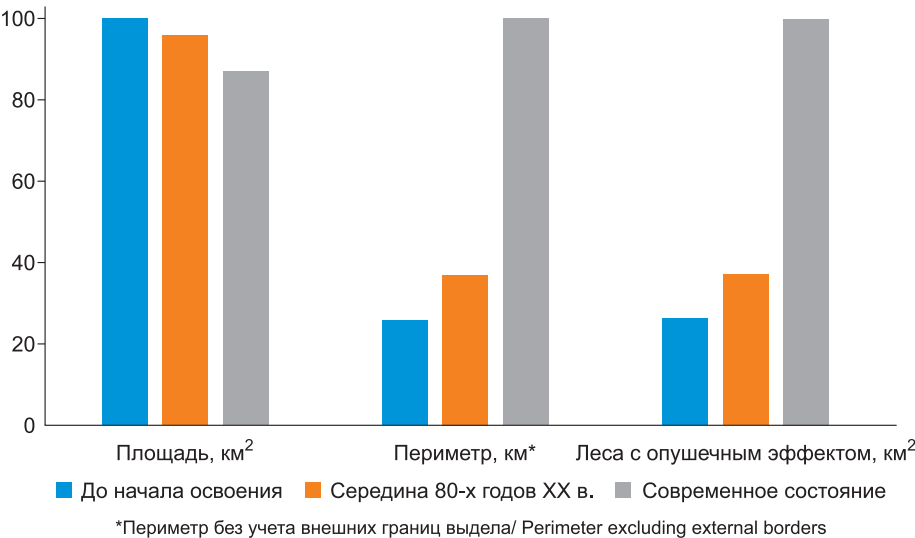


Рис. 2. Изменение площадей и периметров сосново-лиственничных лесов за годы промышленного освоения, изменение площадей лесов с опушечным эффектом

Fig. 2. Changes in the area and perimeter of pine and larch forests over the years of industrial development, including changes in forest areas influenced by the fringe effect (in %)

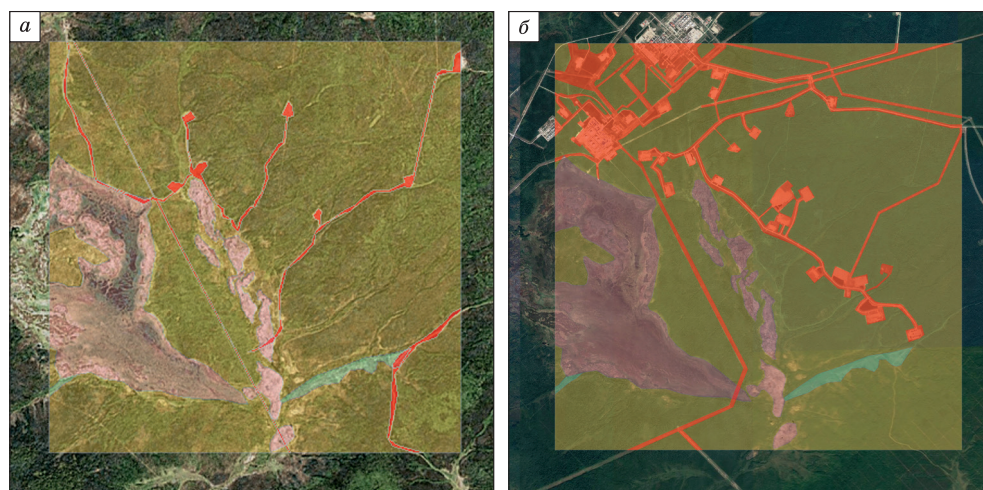


Рис. 3. Рост площади антропогенно-нарушенных территорий за годы освоения района исследований: *а* – лето 1984 г.; *б* – лето 2022 г.

Fig. 3. Growth of the area of anthropogenically disturbed territories over the years of development in the research area: *a* – for the summer 1984; *b* – for the summer 2022

Во время геологоразведочных работ площади нарушенных земель были незначительны, нарушения могли иметь временный характер – сравнивая спутниковые снимки 1984 и 2022 гг., мы видим, что часть нарушенных территорий месторождения к 2022 г. не обнаруживается, после проведения работ участки были, видимо, оставлены и заросли лесной растительностью (см. рис. 2). Если в годы разведки месторождения дороги имели, как правило, временный сезонный характер, следовали по руслам ручьев, то в последующие годы были проложены постоянно действующие дороги и другие линейные объекты. В 2022 г. участки нарушенных территорий имеют постоянный характер и будут отчуждены на весь период эксплуатации месторождения.

В лесном покрове района исследований господствуют лиственничные леса из *Larix gmelinii*, реже *Larix sibirica*, наиболее распространены бруснично-зеленомошные лиственничники и их различные варианты, образующие в районе исследований обширные массивы. Типичные лиственничные бруснично-зеленомошные леса имеют следующие характеристики:

- древостой из *Larix gmelinii*, чистый или смешанный с примесью *Picea obovata* и *Pinus sylvestris*, реже *Pinus sibirica*, высотой 20–25 м при сомкнутости крон 0,5–0,7;

- подрост лиственницы чаще единичен либо встречается биогруппами не более 10 % от общей площади, молодые деревья всех высотных групп, густота стояния не более 1 тыс. экз./га;

- подлесок выражен хорошо, часто более 50 % проективного покрытия, наиболее часто представлены *Duschekia fruticosa*, *Juniperus sibirica*, *Rosa acicularis*, *Spiraea media*;

- травяно-кустарничковый покров развит, проективное покрытие в ненарушенных лесах более 90 %, в покрове господствуют лесные кустарнички – *Vaccinium vitis-idaea*, *Vaccinium uliginosum*, *Ledum palustre*, обилие других видов невысоко;

- моховой покров, как правило, развит, составлен из *Pleurozium schreberi*, *Aulacomnium palustre*, *Hylocomium splendens*, проективное покрытие близко к 100 %.

Второй по значимости в лесном покрове района исследований формацией, занимая относительно небольшие по площади участки на возвышениях рельефа, являются сосновые леса. Типичные для данного района сосновые леса брусничные, имеют следующие характеристики:

- древостой из *Pinus sylvestris*, чистый или смешанный с примесью *Picea obovata*, *Larix gmelinii*, *Betula pubescens*, реже *Pinus sibirica*, высотой 18–22 м при сомкнутости крон 0,5–0,6;

- подрост сосны единичен либо встречается биогруппами не более 10 % от общей площади, молодые деревья представлены всеми высотными группами, густота стояния не более 1 тыс. экз./га;

- подлесок выражен слабо, имеет проективное покрытие не более 30 %, обычны *Duschekia fruticosa*, *Juniperus sibirica*, *Rosa acicularis*, *Spiraea media*;

– травяно-кустарничковый покров развит, господствуют лесные кустарнички – *Vaccinium vitis-idaea*, *V. uliginosum*, *Ledum palustre*;

– моховой покров развит, преобладают *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Dicranum polysetum*, проективное покрытие достигает 50 %.

Нелесная растительность в районе исследования представлена ленточными пойменными разнотравно-злаковыми лугами вдоль ручьев с незначительной площадью и более значительными участками сфагновых марей.

Небольшие участки луговой растительности встречаются на поймах и вдоль водотоков, характеризуются высоким видовым разнообразием травянистой растительности. При проективном покрытии травяного покрова до 90 % встречаются *Calamagrostis langsdorffii*, *Hordeum brevisubulatum*, *Alopecurus arundinaceus*, *Carex acuta*, *Cacalia hastata*, *Cnidium* sp., *Galium verum*, *Filipendula ulmaria*, *Thalictrum minus*, *Bromopsis irkutensis*, *Elytrigia repens*, *Veronica longifolia*, *Aster sibiricus*, *Archangelica* sp., *Parnassia palustris*, *Sanguisorba officinalis*, *Poa pratensis*, *Trifolium lupinaster*, *Urtica dioica*, *Senecio nemorensis*, *Anemoidium dichotomum*, *Crepis* sp., *Chenopodium album*, *Phlomis tuberosa*, *Tanacetum vulgare*, *Galium davuricum*, *Lactuca sibirica*, *Geranium pseudosibiricum*, *Artemisia vulgaris*, *Trollius sibiricus*, *Thalictrum simplex* и др. Другие ярусы растительности здесь не выражены.

Болотная растительность на территории района исследований приурочена к понижениям рельефа по долинам и водоразделам рек, на понижениях водоразделов может занимать обширные площади, представлена в основном сфагновыми болотами с сосновыми или лиственничными рединами, реже травяными, кустарничковыми и моховыми болотами. Типичные для данного района участки болотной растительности, имеют следующие характеристики:

– древостой разрежен, расстояние между деревьями 20–30 м, представлен *Pinus sylvestris*, реже *Larix gmelinii*, средней высотой до 10 м при диаметре стволов до 10 см;

– подрост единичен, чаще торчкового типа;

– кустарничковый ярус выражен хорошо, от 50 % проективного покрытия и выше, господствует *Betula exilis*, с низким обилием представлены *Duschekia fruticosa*, *Salix* sp., *Dasiphora fruticosa*;

– травяно-кустарничковый покров выражен слабо, проективное покрытие не более 20 %, в покрове с высоким обилием встречаются *Oxycoc-*

cus microcarpus, *Rubus chamaemorus*, *Andromeda polifolia*, менее обильны *Menyanthes trifoliata*, *Eriophorum vaginatum*, *Ledum palustre* и др.;

– моховой покров развит хорошо, проективное покрытие близко к 100 %, господствуют виды рода *Sphagnum* sp., с меньшим обилием встречаются *Polytrichum* sp., *Aulacomnium palustre*;

Лишайниковый покров занимает до 10 % проективной площади, составлен из *Cladina rangiferina*, *Cladina stellaris*, *Cladina arbuscula*, *Cetraria laevigata*.

Антропогенно-нарушенные участки в районе исследования в основном относятся к лесной растительности, и широкий спектр растительных сообществ, возникающих на их месте, имеет смысл рассматривать в свете восстановительной динамики лесов, предшествовавших нарушению. В целом, при сохранении почвенного покрова и сохранности части травяно-кустарничкового покрова, направление и этапы восстановительного процесса соответствуют формированию лесной растительности на вырубках и гарях, с той разницей, что, как правило, процессы восстановления леса здесь прерываются на ранних стадиях.

Как уже упоминалось выше, опушечный эффект как постоянно действующий фактор формирует в глубину леса [23, 24] измененное лесное растительное сообщество, характеризующееся не столько различным видовым составом растений, сколько показателями обилия имеющихся видов. Сравнительный анализ видового состава растительности, в отличие от лесов, подвергшихся рубкам или воздействию лесных пожаров и развивающихся как открытое растительное сообщество, показывает незначительную разницу состава видов в опушечных и глубинных лесах (табл. 2, 3). Воздействие опушечного эффекта наиболее существенно для нижних подчиненных ярусов лесной растительности, в целом не вызывает резкой перестройки структуры и пространственного распределения охваченных биогеоценозов [25]. В силу этого имеет смысл рассматривать участки лесов, находящиеся под воздействием опушечного эффекта, как новые, недавно сформированные в результате фрагментации лесов, так и давно существующие как единый, схожий по характеристикам лесной комплекс, имеющий устойчивые группы растений по распределению в зоне воздействия опушечного эффекта, – распространенные по всему участку либо приуроченные к опушечной части [26].

Таблица 2

Встречаемость древесных и кустарниковых растений в лесах и на опушках

Table 2

The occurrence of woody and shrubby plants in forests and on the edges

Вид	Типы леса			
	Лиственничник бруснично- зеленомошный	Лиственничник бруснично-зеленомошный опушечный	Сосняк брусничный	Сосняк брусничный опушечный
Виды, слабо реагирующие на воздействие опушечного эффекта				
<i>Larix gmelinii</i> (Rupr.) Rupr.	++*	++	+	+
<i>Pinus sylvestris</i> L.	+	+	++	++
<i>Betula divaricata</i> Ledeb.	+	+		+
<i>Salix bebbiana</i> Sarg.	+	+	+	+
Виды с повышенным обилием на участках с воздействием опушечного эффекта				
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	+	+	+	+
<i>Larix gmelinii</i> (Rupr.) Rupr. (подрост)	+	++	+	+
<i>Pinus sylvestris</i> L. (подрост)	+	+	+	++
<i>Pinus sibirica</i> (подрост)	+	+	+	+
<i>Abies sibirica</i> (подрост)		+		
<i>Picea obovata</i> (подрост)	+	+		
<i>Dusheckia fruticosa</i> (Rupr.) Pouzar	+	++	+	+
<i>Juniperus sibirica</i> Burgsd.	+	++	+	++
<i>Ribes triste</i> Pall.	+	++	+	+
<i>Rosa acicularis</i> Lindl.	+	++	+	++
<i>Salix pyrolifolia</i> Ledeb.		+		+
<i>Rhododendron dauricum</i> L.		+		+
<i>Lonicera altaica</i> Pall.	+	+		+
<i>Spiraea media</i> Schmidt			+	+
<i>Rubus matsumuranus</i> H. Lev. & Vaniot		+		+

* + – sol; ++ – sp-cop₃.

При сравнении обилия видов растений опушечных и внутренних участков можно выделить три группы растений:

- виды, слабо реагирующие на воздействие опушечного эффекта;
- виды со сниженным обилием на участках с воздействием опушечного эффекта;
- виды со повышенным обилием на участках с воздействием опушечного эффекта.

В первую очередь к растениям, слабо реагирующим на воздействие опушечного эффекта, относятся виды, формирующие древостой, – *Larix gmelinii* или *Larix sibirica*, *Pinus sylvestris*, *Pinus sibirica* (см. табл. 2). Фактор освещенности для роста и развития взрослых деревьев уже не является решающим – сформированная крона на верхней трети стволов получает достаточно света. Исследования хода роста взрослых сосен за

последние 15 лет (по приростам годовичных колец) не показали существенной разницы годового прироста между деревьями опушки, сформированной у линии просеки ВСТО, и внутренними участками. Однако подрост древесных растений – лиственница, ель, сосна, сосна сибирская реагирует на осветление леса более заметно – в целом молодые деревья опушечных участков имеют лучшие показатели роста, чем подрост с внутренних участков, часто имеющих нулевые годовичные приросты, и потому стоит относить подрост к другой, чем материнские растения, группе (см. табл. 3). Однако среди древесных растений нет видов, снижающих свое обилие на участках с воздействием опушечного эффекта.

Кроме хвойных древесных видов, на воздействие опушечного эффекта слабо реагируют виды, не восприимчивые к изменению условий освеще-

Таблица 3

Встречаемость видов травяно-кустарничкового яруса под пологом леса и на опушках

Table 3

The occurrence of grass species beneath the forest canopy and along its edges

Вид	Типы леса			
	Лиственный бруснично-зеленомошный	Лиственный бруснично-зеленомошный опушечный	Сосняк брусничный	Сосняк брусничный опушечный
Виды, слабо реагирующие на воздействие опушечного эффекта				
<i>Limnas stelleri</i> Trin.	+	+	+	+
<i>Carex</i> sp.	+	+	+	+
<i>Atragene sibirica</i> L.	+	+	+	+
<i>Lycopodium clavatum</i> L.	+	+	+	+
Виды со сниженным обилием на участках с воздействием опушечного эффекта				
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	++	+	++	+
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	++	+	+	+
<i>Ledum palustre</i> L.	++	+	+	+
<i>Pyrola incarnata</i> (DC.) Freyn	++	+		
<i>Mitella nuda</i> L.	+			
<i>Linnaea borealis</i> L.	++	+	+	
<i>Orthilia secunda</i> (L.) House	+	+		
<i>Empetrum nigrum</i> L.	+	+	+	+
<i>Equisetum scirpoides</i> Michx.	+			
Виды со повышенным обилием на участках с воздействием опушечного эффекта				
<i>Equisetum pratense</i> Ehrh.	+	++	+	++
<i>Viola mauritii</i> Tepl.	+	++	+	++
<i>Viola uniflora</i> L.	+	+		+
<i>Lilium martagon</i> L.	+	++	+	++
<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.	+	++	+	++
<i>Calamagrostis langsdorffii</i> (Link) Trin.	+	++	+	++
<i>Rubus saxatilis</i> L.	+	++	+	++
<i>Festuca ovina</i> L.	+	++		+
<i>Thalictrum minus</i> L.		+		+
<i>Geranium pratense</i> L.		+		+
<i>Artemisia tanacetifolia</i> L.		+		+
<i>Rubus arcticus</i> L.		+		++

* + – sol; ++ – sp-cop₃

ния. С одинаковыми показателями обилия в опушечных и на глубинных участках встречаются такие виды как *Limnas stelleri*, *Carex* sp., *Atragene sibirica*, *Salix bebbiana* и др.

Увеличение уровня освещенности на опушечных участках на часть видов растительного по-

крова воздействует угнетающе. Надо учитывать, что здесь, возможно, стоит говорить не столько о прямом воздействии фактора освещенности, сколько об опосредованном воздействии других факторов, таких как иссушение почвы, возрастание корневой конкуренции со стороны видов,

более приспособленных к возникающим условиям и др. Кроме того, к искажению воздействия опушечного эффекта может приводить широкое распространение тропиной сети, часто приуроченной к лесным опушкам [26]. Сниженные показатели обилия наблюдаются на опушечных участках у лесных кустарничков – *Vaccinium vitis-idaea*, *Vaccinium uliginosum*, *Ledum palustre*, а также у таких типично лесных видов как *Linnaea borealis*, *Pyrola incarnata*, *Mitella nuda* (см. табл. 3). При резком изменении условий – возникновении опушечных участков при фрагментации лесов эти виды постепенно снижают обилие на всю глубину воздействия опушечного эффекта.

Сравнительно более высокий уровень освещенности на опушечных участках приводит к возникновению конкурентных преимуществ у растений, для которых освещенность является лимитирующим фактором. Часть таких растений можно отнести к устойчивому комплексу опушечных растений, сформированному в условиях лесов на стыке различных растительных сообществ. К ним можно отнести *Thalictrum minus*, *Rubus arcticus*, *Lilium martagon*, *Viola mauritii*, виды рода *Aconitum*, *Trollius sibiricus*, *Vicia cracca*, *Vicia amoena*, из кустарников – *Rosa acicularis*, *Ribes triste*, *Salix pyrolifolia*, *Rubus matsumuranus*, *Lonicera altaica*, *Spiraea salicifolia* и др. *Calamagrostis langsdorffii*, индикатор нарушения лесных сообществ, на опушках может резко увеличивать свое обилие, часто доминируя в травяно-кустарничковом ярусе (см. табл. 3). В некоторых случаях, при избыточном увлажнении, на опушечных участках с высоким обилием в покрове могут доминировать виды *Equisetum* (кроме *Equisetum scirpoides*, почти всегда выпадающего из состава на опушках). В целом, указанные виды могут встречаться и в глубинных участках лесов, но с более низким обилием.

Для опушечных участков характерно проникновение растений из прилегающих нелесных растительных сообществ, здесь они встречаются с относительно высоким обилием у приграничного края участка, постепенно снижая свое обилие в глубь леса и исчезая за пределами воздействия опушечного эффекта (см. табл. 3). Как правило, это виды злаков – *Festuca ovina*, виды рода *Poa*, и виды разнотравья – *Geranium pratense*, виды рода *Melilotus*, *Artemisia tanacetifolia*, виды семейства *Asteraceae* и др.

Основной облик опушечных участков формируют кустарники и подрост древесных видов растений. Хвойный подрост здесь имеет лучшие, чем в глубине леса, показатели роста. Среди кустарников, кроме видов, характерных для опушек, таких как *Salix pyrolifolia*, *Rubus matsumuranus*, *Salix pyrolifolia*, с более высоким, чем в глубине леса, обилием и большей высотой встречаются такие виды подлеска, как *Duschekia fruticosa*, *Juniperus sibirica*. Большую высоту и густоту имеют также *Rosa acicularis*, *Lonicera altaica*, обильны виды высокотравья. Таким образом формируется густой, но узкий опушечный пояс по периметру фрагментированных лесных массивов.

Для анализа общности растительных ассоциаций был использован коэффициент сходства (индекс Жаккара) [27, 28], показывающий степень общности видового состава лесных участков, «глубинных» и «опушечных», к растительным типам, находящимся по другую сторону экотона. Сравнение показало наличие трех близких по показателям индекса Жаккара групп:

1) 0,04–0,07 – типы естественной нелесной растительности, встречающиеся в районе исследования, – разнотравно-злаковый луг; сосновое редколесье на сфагновой мари;

2) 0,11–0,3 – растительные ассоциации, возникающие на месте лесных участков в результате полного сведения лесной растительности, – разнотравно-злаковый луг на нарушенной территории; сосново-березовый молодняк хвошево-травяной;

3) 0,6–0,8 – попарное сравнение исследованных лесных участков – лиственничника бруснично-зеленомошного; лиственничника бруснично-зеленомошного опушечного; сосняка брусничного; сосняка брусничного опушечного.

Таким образом, естественные, не нарушенные типы лесов (лиственничник бруснично-зеленомошный, сосняк брусничный) показывают большой коэффициент сходства с типами лесов с выраженным опушечным эффектом (лиственничник бруснично-зеленомошный опушечный, сосняк брусничный опушечный), что объясняется большой долей общих видов, сохраняющейся в составе растительности после нарастания воздействия опушечного эффекта. Это не противоречит выводам других исследователей о флористическом единстве экотонных участков [28]. В свою очередь, типы растительности, являющие-

ся сукцессионными стадиями восстановления лесов (разнотравно-злаковый луг на нарушенной территории, сосново-березовый молодняк хвоево-травяной), за счет сохранения типичных лесных растений и проникновения видов луговых трав, имеют среднее сходство с исходным типом растительности. Низкое сходство с типами естественной нелесной растительности (разнотравно-злаковый луг, сосновое редколесье на сфагновой мари) объясняется различием флористического состава у растительных ассоциаций, сложившихся в сильно различающихся экологических условиях.

Заключение

В районе исследований, начиная с 80-х гг. XX в., площади лесов, находящихся под воздействием опушечного эффекта, возросли более чем в 3 раза. В целом нарушения больше коснулись залесенных участков, мари и долины ручьев остались практически нетронутыми. Участки с нарушенной лесной растительностью фактически представляют собой единую сеть, связанную между собой на большие расстояния.

Анализ площадей и периметров нарушенных участков показал, что наибольшее изменение произошло в показателях периметра. Это объясняется тем, что основная часть промышленных объектов – это линейные сооружения, имеющие относительно небольшие площади при большой протяженности. В целом прямому нарушению подверглось более 10 % площади района исследований, площади лесов снизились на 14 %.

В большей степени изменения коснулись периметров, границ лесных насаждений – опушек лесов. В естественном положении, когда распределение типов растительности по местности в основном соответствует рельефу, их протяженность постоянна, соответствует границам между биоценозами – в районе исследований в основном это границы хвойный лес – мари, ерники и сфагновые болота, либо хвойный лес – долины ручьев. С появлением антропогенно-нарушенных территорий, особенно протяженных линейных объектов, ситуация резко меняется. Протяженность опушек (периметр) хвойных лесов возросла более чем на 380 %.

Возникшие опушечные лесные сообщества имеют долговременный характер, их период существования зависит от времени эксплуатации построенных объектов. Анализ видового состава растительности показывает незначительную

разницу состава видов в опушечных и глубинных лесах, измененное лесное растительное сообщество характеризуется другими показателями обилия. Основным фактором, влияющим на изменение обилия, является освещенность, выделяются три группы по реакции на воздействие опушечного эффекта. Наименьшую реакцию на воздействие опушечного эффекта проявляют виды, составляющие древостой, и, напротив, молодые деревья имеют лучшие, чем в глубине леса, показатели роста. Сниженные показатели обилия наблюдаются на опушечных участках у лесных кустарничков и у типично лесных видов травяно-кустарничкового яруса. При возникновении опушечных участков в результате фрагментации лесов эти виды постепенно снижают обилие на всю глубину воздействия опушечного эффекта. Для опушечных участков характерно проникновение растений из прилегающих нелесных растительных сообществ, здесь они встречаются с относительно высоким обилием у приграничного края участка, постепенно снижая свое обилие в глубь леса и исчезая за пределами воздействия опушечного эффекта. Как правило, это виды злаков и разнотравья. Основной облик опушечных участков формируют кустарники и подрост древесных видов, имеющие здесь лучшие, чем в глубинных лесах, показатели обилия и хода роста.

Опушечный эффект обуславливает значительную экологическую роль переходных зон между двумя разными экосистемами – лесом и открытым пространством. На опушках, кроме повышения освещенности, изменяется гидротермический режим, также более открытые пространства способствуют распространению семян растений.

Густой опушечный пояс по периметру фрагментированных лесных массивов образует новые условия обитания для животных и птиц, связанные с оптимальностью мест гнездования в гетерогенных местообитаниях.

Список литературы / References

1. Миркин Б.М., Розенберг Г.С. *Толковый словарь современной фитоценологии*. М.: Наука; 1983. 184 с.
Mirkin B.M., Rozenberg G.S. *Explanatory dictionary of modern phytocenology*. Moscow: Nauka; 1983. 184 p. (In Russ.)
2. Радкевич В.А. *Экология*. М.: Высшая школа; 1998. 159 с.
Radkevich V.A. *Ecology*. Moscow: Vysshaya Shkola Publ.; 1998. 159 p. (In Russ.)
3. Pfeifer M., Lefebvre V., Peres C.A., et al. Creation of forest edges has a global impact on forest vertebrates. *Nature*. 2017;551(7679):187–191. <https://doi.org/10.1038/nature24457>
4. Русаков А.В., Калиева Г.У., Христина К.А. Влияние Бузулукского бора на структуру населения герпетобионтных

жесткокрылых (Insecta, Coleoptera) прилегающих территорий. *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2008;(182):254–260.

Rusakov A.V., Kalieva G.U., Christina K.A. The influence of Buzulukskiy bor on biological variety and structure of herpetobiont beetles' population of adjacent territories. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhniceskoj akademii*. 2008;(182):254–260. (In Russ.)

5. Леонтьев Д.Ф. К использованию зон интерперсии для отслеживания состояния численности охотничье-промысловых животных. *Биосферное хозяйство: теория и практика*. 2023;64(11):73–76.

Leontyev D.F. To the use of interspersed zones to track the status of the number of hunting animals. *Biosphere Economy: Theory and Practice*. 2023;64(11):73–76. (In Russ.)

6. Сукачев В.Н., Зонн С.В. *Методические указания к изучению типов леса*. М.: Изд-во АН СССР; 1961. 144 с.

Sukachev V.N., Zonn S.V. *Methodological guidelines for the study of forest types*. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1961. 144 p. (In Russ.)

7. *Определитель высших растений Якутии*. Николлин Е.Г. (ред.) 2-е изд. М.: КМК; Новосибирск: Наука; 2020. 895 с.

Key to higher plants of Yakutia: identification key. Nikollin E.G. (ed.). 2nd edition. Moscow: KMK; Novosibirsk: Nauka; 2020. 895 p. (In Russ.)

8. Черепанов С.К. *Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР)*. СПб.; 1995. 992 с.

Cherepanov S.K. *Vascular plants of Russia and adjacent states within the former USSR*. St. Petersburg; 1995. 992 p. (In Russ.)

9. Андреев В.Н., Галактионова Т.Ф., Перфильева В.И., Щербаков И.П. *Основные особенности растительного покрова Якутской АССР*. Якутск: ЯФ СО АН СССР; 1987. 156 с.

Andreev V.N., Galaktionova T.F., Perfilova V.I., Sherbakov I.P. *The principal characteristics of the vegetation cover in the Yakut Autonomous Soviet Socialist Republic*. Yakutsk: YaF SB Academy of Sciences of the USSR; 1987. 156 p. (In Russ.)

10. Васильев Я.Я., Лавренко Е.М., Лесков А.И. и др. *Геоботаническое районирование СССР*. М.; Л.: Изд-во АН СССР; 1947. 152 с.

Vasilev Ya.Ya., Lavrenko E.M., Leskov A.I., et al. *Geobotanical zoning of the USSR*. Moscow, Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1947. 152 p. (In Russ.)

11. Щербаков И.П. *Лесной покров Северо-Востока СССР*. Новосибирск: Наука; 1975. 344 с.

Sherbakov I.P. *Forest cover of the North-East of the USSR*. Novosibirsk: Nauka; 1975. 344 p. (In Russ.)

12. Витвицкий Г.Н. Климат. В кн.: Коржуев С.С. (ред.) *Якутия*. М.: Наука; 1965. С. 115–143.

Vitvitskiy G.N. Climate. In: Korzhuev S.S. (ed.) *Yakutia*. Moscow: Nauka; 1965, pp. 115–143. (In Russ.)

13. Гаврилова М.К. Изменения климата в районах «вечной мерзлоты» на протяжении XX века в России. В кн.: Иванов Б.И., Максимов Т.Х. (ред.) *Влияние климатических и экологических изменений на мерзлотные экосистемы: труды Третьей международной конференции «Роль мерзлотных экосистем в глобальном изменении климата», г. Якутск, 27–31 августа 2006 г.* Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН; 2007. С. 9–15.

Gavrilova M.K. Climate change in permafrost regions of Russia in the 20th century. In: Ivanov B.I., Maximov T.H.

(eds.) *The impact of climate and environmental changes on permafrost ecosystems: Proceedings of the 3rd International Conference “The role of permafrost ecosystems in global climate change”*. Yakutsk: Publishing House of YaSC SB RAS 2007, pp. 9–15. (In Russ.)

14. Чикидов И.И. Характеристика лесного покрова западной части Ленского района Республики Саха (Якутия). *Наука и образование*. 2016;83(3):101–107.

Chikidov I.I. Characteristic of forest cover of Western part of the Lensky Rayon of the Republic of Sakha. *Nauka i Obrazovanie*. 2016;83(3):101–107. (In Russ.)

15. Тимофеев П.А. *Леса Якутии: состав, ресурсы, использование и охрана*. Новосибирск: Издательство СО РАН; 2003. 193 с.

Timofeev P.A. *Forests of Yakutia: Composition, resources, use and protection*. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2003. 193 p.

16. Коровин В.А. Опушечный эффект и его роль в формировании пространственной структуры населения птиц агроландшафта. *Сибирский экологический журнал*. 2007;(4):577–586.

Korovin V.A. Forest border effect and its role in the formation of the spatial structure of bird communities of an agricultural landscape. *Contemporary Problems of Ecology*. 2007;(4):577–586. (In Russ.)

17. Володькин А.А., Володькина О.А. Роль опушечных экотонных для сохранения биологического разнообразия. *Сурский вестник*. 2021;16(4):3–7. http://doi.org/10.36461/2619-1202_2021_04_001

Volodkin A.A., Volodkina O.A. The role of edge ecotones for conservation biological diversity. *Surskiy vestnik*. 2021;16(4):3–7. http://doi.org/10.36461/2619-1202_2021_04_001

18. Романов А.А. Ландшафтно-экологическая дифференциация населения птиц в горно-таежном поясе плато Путорана. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2021;(3):97–108.

Romanov A.A. Landscapeecological differentiation of bird population in the mountain-taiga belt of the Putorana plateau. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*. 2021;(3):97–108. (In Russ.)

19. Гермогенов Н.И., Брунов В.В., Поздняков В.И. О смешанных гнездовых группировках лесных птиц в придельтовой части долины Лены. *Сибирский экологический журнал*. 1997;(6):635–639.

Germogenov N.I., Brunov V.V., Pozdnyakov V.I. On mixed breeding groups of forest birds in the lower part of the Lena Valley. *Contemporary Problems of Ecology*. 1997;(6):635–639. (In Russ.)

20. Гермогенов Н.И. Особенности гнездования птиц и их населения в таежной зоне Якутии: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Новосибирск; 2005. 46 с.

Germogenov N.I. Peculiarities of nesting of birds and their population in the taiga zone of Yakutia. Abstr. ...Diss. Doct. Sci. Novosibirsk; 2005. 46 p. (In Russ.)

21. Феклистов П.А., Филиппов Б.Ю., Болотов И.Н. и др. Экотонные зоны в лесных экосистемах северной тайги. *Вестник Поморского университета. Серия: Естественные науки*. 2011;(4):102–105.

Feklistov P.A., Filippov B.Yu., Bolotov I.N., et al. Transitive zones in wood ecosystems of northern. *Vestnik Pomorsko-go universiteta. Series: Natural Sciences*. 2011;(4):102–105. (In Russ.)

22. Колесников В.В., Скуматов Д.В., Экономов А.В., Кетова Н.С. Опушечный эффект в распределении лесных

охотничьих животных. *Вестник охотоведения*. 2019;16(4): 240–247.

Kolesnikov V.V., Skumatov D.V., Ekonomov A.V., Ketova N.S. Edge effect in the distribution of forest game animals. *Vestnik ohotovedeniya*. 2019;16(4):240–247. (In Russ.)

23. Судник А.В., Вознячук И.П., Голушко Р.М., Ефимова О.Е. Состояние и трансформация лесной растительности в зоне воздействия ЛЭП и продуктопроводов. *Ботаника. Исследования*. 2020;(49):134–144.

Sudnik A.V., Voznyachuk I.P., Golushko R.M., Efimova O.E. State and transformation of forest vegetation in area of impact of power line and product pipelines. *Botany (research)*. 2020;(49): 134–144. (In Russ.)

24. Русаков А.В., Сафонов М.А., Чердинцева Т.М. Биотические показатели опушечного эффекта в предгорьях Южного Предуралья. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2013;155(6):115–121.

Rusakov A.V., Safonov M.A., Cherdinceva T.M. Biotic indicators of ecotone effect in the foothills of the Southern Preurals. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2013;155(6): 115–121. (In Russ.)

25. Валиева А.К., Казанцева М.Н. Влияние рекреации на опушечный экотон. *Актуальные проблемы лесного комплекса*. 2020;(56):171–174.

Valieva A.K., Kazanceva M.N. Influence of recreation on the ecoton of forest margin. *Actual Problems of the Forestry Complex*. 2020;(56):171–174. (In Russ.)

26. Алёхин В.В. Фитосоциология (учение о растительных сообществах) и ее последние успехи у нас и на Западе. *Методика геоботанических исследований*. Л.; М.: Пучина; 1925. С. 7–95.

Alyohin V.V. Phytosociology (the study of plant communities) and its recent successes in our country and in the West. *Methodology of geobotanical research*. Leningrad; Moscow: Puchina; 1925, pp. 7–95. (In Russ.)

27. Сёмкин Б.И., Горшков М.В. Об оценке сходства и различия в серии флористических и фитоценологических описаний. *Комаровские чтения*. Владивосток: Дальнаука; 2010;(LVII):203–220.

Semkin B.I., Gorshkov M.V. On the analysis of sets of different sizes in the comparative floristics. About estimation of similarity and dissimilarity in series of floristic and phytocenotic lists. *V.L. Komarov Memorial Lectures*. Vladivostok: Dalnauka; 2010;(LVII):203–220. (In Russ.)

28. Милыева Е.В., Миронычева-Токарева Н.П. Мониторинг биоразнообразия лесостепных экотонов. В кн.: *Интерэкспо Гео-Сибирь 2022: Материалы XVIII Международного научного конгресса, г. Новосибирск, 18–20 мая 2022 г.* Новосибирск: СГУГиТ; 2022. С. 291–297.

Milyaeva E. V., Mironycheva-Tokareva N.P. Monitoring the biodiversity of forest-steppe ecotones. In: *Interexpo Geo-Siberia 2022: Proceedings of the 18th International Scientific Congress, Novosibirsk, May 18–20, 2022*. Novosibirsk: SGU-GiT; 2022, pp. 291–297. (In Russ.)

Об авторах

ЧИКИДОВ Иван Иванович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-8945-4505>, ResearcherID: AGZ-1498-2022, Scopus Author ID: 57290962800, SPIN: 2121-2053, e-mail: chikidov@rambler.ru

МИХАЛЕВА Людмила Гаевна, инженер-исследователь, <https://orcid.org/0000-0002-9042-7483>, Scopus Author ID: 56246547800, SPIN: 6345-9936, e-mail: lgmikhailova@rambler.ru

Вклад авторов

Чикидов И.И. – разработка концепции, верификация данных, проведение статистического анализа, проведение исследования, администрирование данных, создание черновика рукописи, редактирование рукописи, картографическая визуализация; **Михалева Л.Г.** – верификация данных, методология, проведение исследования, создание черновика рукописи, редактирование рукописи, администрирование проекта

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

About the authors

CHIKIDOV, Ivan Ivanovich, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-8945-4505>, ResearcherID: AGZ-1498-2022, Scopus Author ID: 57290962800, SPIN: 2121-2053, e-mail: chikidov@rambler.ru

MIKHALEVA, Liudmila Gaevna, Research Engineer, <https://orcid.org/0000-0002-9042-7483>, Scopus Author ID: 56246547800, SPIN: 6345-9936, e-mail: lgmikhailova@rambler.ru

Authors' contribution

Chikidov I.I. – conceptualization, validation, formal analysis, investigation, resources, writing – original draft, writing – review & editing, visualization; **Mikhaleva L.M.** – validation, methodology, investigation, writing – original draft, writing – review & editing, project administration

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 05.02.2025

Поступила после рецензирования / Revised 14.08.2025

Принята к публикации / Accepted 19.08.2025