

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЕЛОВО-ПИХТОВЫХ И ДУБОВЫХ ЛЕСОВ ЗАКАЗНИКА «УДЫЛЬ» (НИЖНЕЕ ПРИАМУРЬЕ)

П.С. Ван¹, Л.С. Шарая², Г.В. Ван³

¹ Заповедное Приамурье, сектор мониторинга состояния природных комплексов и объектов заповедника;

¹ Институт комплексного анализа региональных проблем (ИКАРП) Дальневосточного отделения РАН, Лаборатория геологических и геоэкологических исследований

² Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, Лаборатория географической сети опытов

³ Амурский гуманитарно-педагогический государственный университет, естественно-географический факультет, кафедра безопасности жизнедеятельности и естественных наук

¹ Вед. науч. сотр., науч. сотр. (ИКАРП), канд. геогр. наук; e-mail: vanpolina8710@mail.ru

² Гл. науч. сотр., д-р биол. наук; e-mail: l_sharaya@mail.ru

³ Преподаватель, канд. биол. наук; e-mail: vangrigroriy@mail.ru

Определение связей между распределением лесов и рельефом – одна из ключевых задач в изучении структурно-функциональной организации лесных экосистем. Выявленные закономерности распределения лесов позволяют спрогнозировать их реакцию на внешние изменения среды. В Нижнем Приамурье такие исследования проведены недостаточно. Данная работа посвящена поиску связей между распределением елово-пихтовых и дубовых лесов и характеристиками почв и рельефа в регионе. С этой целью в заказнике «Удыль», расположенном в Нижнем Приамурье, в период с 2014 по 2017 г. проведены полевые работы с закладкой и описанием девяти пробных площадей в елово-пихтовых и дубовых лесах. Матрица рельефа получена из цифровой модели проекта NASA SRTM3, для каждой пробной площади рассчитаны характеристики рельефа – морфометрические величины. Выявлено, что в изучаемом регионе присутствует температурная инверсия почв, связанная с наличием вечной мерзлоты в понижениях и отсутствием ее на склонах гор. По этой причине нарушается распределение лесов по высотам – дубовые леса произрастают выше по склонам, чем елово-пихтовые, т. е. происходит инверсия типов леса. Еловые леса чаще встречаются на пологих северных и восточных склонах, дубовые леса – на крутых южных и западных склонах. Освещенность елово-пихтовых лесов колеблется в пределах 20–22%, дубняков – 34–37%. Освещенность дубняков возрастает с увеличением азимута – она максимальна при положении Солнца на юго-западе. Елово-пихтовые леса занимают отрицательные формы рельефа, произрастая в зонах слабо выраженной аккумуляции. Дубняки чаще встречаются на положительных формах рельефа – средневыпуклых и гребневых, располагаясь в зонах сноса водных и литодинамических потоков. Склоны с елово-пихтовыми лесами характеризуются более высокими значениями площади сбора жидких и твердых веществ, силы потоков и топографического индекса влажности в сравнении с дубняками.

Ключевые слова: закономерности пространственного распределения, рельеф, температура и влажность почвы, морфометрические величины

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.1.11

ВВЕДЕНИЕ

Рельеф наряду с климатом – основной средообразователь растительного покрова. Он влияет на потоковые и радиационные процессы на поверхности, температурный и водный режим почв, что, в свою очередь, отражается на распределении и свойствах растительности. Показано, что рельеф влияет на потенциальную структуру типов лесных местопроизрастаний, особенности распространения и роста лесообразующих пород, процессы лесовозобновления [Сысуев, Шарый, 2000]. В настоящее время матрицы высот рельефа находятся в свободном доступе [Rodrigues et al., 2005]. Матрицы рельефа

дают возможность интерполировать отдельные значения измеренных в поле или рассчитанных характеристик растительности на исследовательских площадках на всю поверхность изучаемого региона при условии их тесной связи [Шарая, Шарый, 2011].

Изучению пространственных закономерностей распределения лесных экосистем посвящен большой ряд отечественных научных работ прошлого столетия [Колесников, 1956; Карпенко, 1969; Сочава, 1975; Крауклис, 1979; Погребняк, 1980; Манько, 1983; Коломыц, 1995]. Ранее их поиск осложнялся отсутствием, в том числе подробной информации о количественных характеристиках рельефа для той

или иной территории. На основе связей рельефа и эдафических характеристик сформированы матрицы экологических факторов для количественного изучения пространственных закономерностей структурных и функциональных свойств лесных экосистем в Нижнем Приамурье [Шарая, Ван, 2021; Sharaya, Van, 2022]. Из последних работ по исследованию роли рельефа в пространственном распределении лесов можно отметить следующие – особенности распространения еловых лесов в Подмоскowie [Черненко и др., 2015] и сосново-еловых лесов в Ленинградской области [Черниковский, 2017], оценка густоты редколесий в лесостепной зоне Белгородской области [Ukrainiyskiy et al., 2020], оценка количественных характеристик лесов в Иране [Rezaei Sangdehi et al., 2022] и др.

Нередко для выявления связей между рельефом и распределением растительности используют 1–3 морфометрические величины (МВ), среди которых чаще всего высота, крутизна и экспозиция склонов [Алексеев, Никифоров, 2014; Коломыц, 2008; Соколова, 2016; Bader, Ruijten, 2008], что ограничивает оценку всего многообразия процессов, связанных с ним. Исключение составляют некоторые работы – установление состояния лесных экосистем Германии [Zirlewagen et al., 2007] – 6 МВ, моделирование распространения пихты и дуба в горном районе на юго-западе Китая – 16 МВ [Zhang et al., 2016], выявление условий местообитания лиственнично-сосновых и дубовых лесов в Альпах – 24 МВ [Hörsch, 2003].

В Нижнем Приамурье роль рельефа в распределении лесов остается слабо исследованной [Петренко, Коломыц, 2018; Ван, 2024]. Изучение пространственного распределения лесных сообществ важно в связи с пониманием их пространственных изменений и прогнозом «смещения» границ разных типов лесов в условиях меняющегося климата. Цель данной работы – на основе расширенной системы базовых морфометрических величин и полевых данных выявить закономерности распределения елово-пихтовых и дубовых лесов в Нижнем Приамурье на субрегиональном уровне – для территории заказника «Удыль».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Физико-географическая характеристика района исследования. Полигон исследования – заказник «Удыль», который находится в Нижнеамурской области Амурско-Приморской физико-географической страны [Кривоуцкий, 1968]. Нижнее Приамурье ограничено с севера Охотским морем, с юга – долиной реки Амур, с востока – Сахалинским заливом и Амурским лиманом, с запада – Буреинским нагорьем (рис. 1). Рельеф региона низко- и среднегорно-долинный. Он включает в себя все широтные полосы тайги, а также горную и подтаежную зоны и находится в субпацифическом долготном секторе [Мартыненко, Бочарников, 2008].

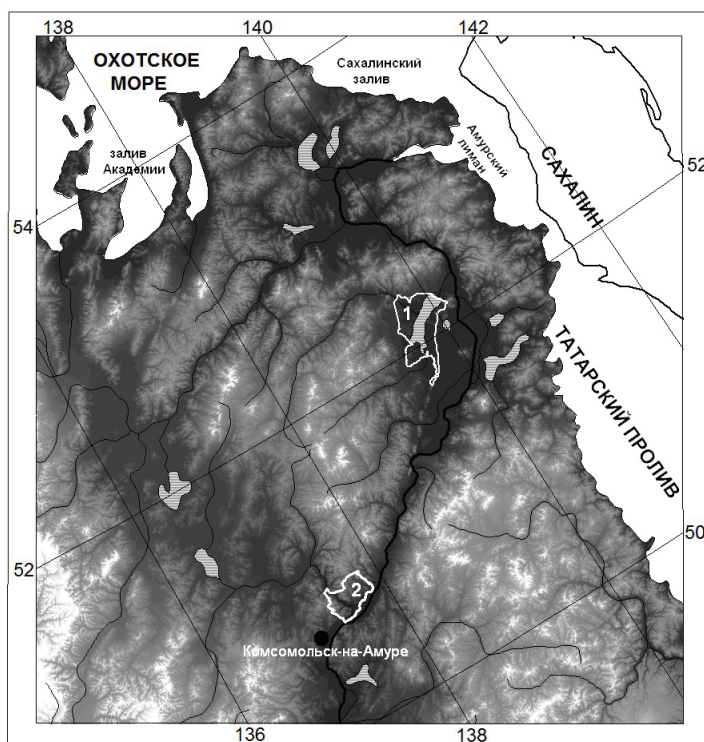


Рис. 1. Расположение заказника «Удыль» (1) и заповедника «Комсомольский» (2) в Нижнем Приамурье на карте рельефа

Fig. 1. Location of the Udyl' Nature reserve (1) and the Komsomolsky Nature Reserve (2) in the Lower Amur region

Заказник «Удиль» расположен на северо-востоке Нижнеамурской области, на северо-западе Удиль-Кизинской низменности, вблизи поймы реки Амур, в зоне островковой вечной мерзлоты. В центре заказника находится озеро Удиль, которое занимает 25% его площади. Рельеф территории озерно-аллювиальный низменный с короткими низкогорными хребтами (высота от 5 до 476 м). В основной части заказника произрастает интразональная лугово-болотная растительность, развивающаяся на торфяно-глееземах и аллювиальных почвах. Леса составляют 25% территории заказника. К зональной растительности относятся среднетаежные елово-пихтовые и лиственничные леса, которые вместе с производными от них березовыми и осиновыми занимают низкогорную часть заказника [Ван и др., 2021]. Они произрастают на почвах буроземного типа. Территория заказника сильно пострадала от лесных пожаров в разные годы.

В статье также приводится сравнение с результатами исследований, полученных на территории заповедника «Комсомольский», расположенном в южной приграничной части Нижнего Приамурья (см. рис. 1) в зоне произрастания южнотаежных и подтаежных лесов. Рельеф заповедника низко- и среднегорно-долинный (амплитуда высот от 20 до 680 м).

Полевые методы исследования. В заказнике «Удиль» летом 2014, 2016 и 2017 гг. в различных типах местоположений (геотопах) [Глазовская, 1964], образующих систему местных ландшафтных сопряжений от элювиальных до супераквальных, были заложены девять пробных ландшафтно-экологических площадей размером 20×20 м, из них шесть в елово-пихтовых лесах и три в дубняках. Их распределяли таким образом, чтобы максимально охватить ландшафтное разнообразие территории. При закладке пробных площадей проводили комплексное описание растительности, почвенного профиля и рельефа. Кроме того, измеряли температуру почвы на фиксированных глубинах от 30 до 70 см через каждые 10 см ртутным термометром. Дополнительно определяли влажность почв для различных почвенных горизонтов полевым визуальным методом с выделением пяти категорий влажности [Добровольский, 1982] в баллах: сухая, свежая, влажная, сырая, мокрая.

Расчет морфометрических величин. Для анализа использовали характеристики рельефа – морфометрические величины (МВ), описывающие рельеф пробных площадей. Для этого применяли систему базовых МВ [Shary et al., 2002] и ряда составных [Шарый, Пинский, 2013] МВ, полученных из цифровой модели рельефа проекта NASA SRTM3 в программе Аналитическая ГИС Эко [Wood, 2009].

Условия рельефа площадей произрастания лесов охарактеризованы с помощью девяти МВ, описанных ниже.

Основной МВ является абсолютная высота Z . Тянущую вниз со склонов силу характеризует крутизна, которая определяется углом наклона поверхности GA . Для оценки термо- и светорегима лесов использовали освещенность и экспозицию склонов. Относительная освещенность склонов $F_0(a, b)$ определяется как перпендикулярность падения солнечных лучей на земную поверхность, которая зависит от двух углов: склонения a Солнца над горизонтом и азимута Солнца b [Шарая, Шарый, 2011]. Ее можно выражать в процентах (100% для перпендикулярного падения лучей, и 0% – для теневых склонов) или в единицах энергии по формуле

$$F_0(a, b) = \tau \cdot F_0(a, b)/100, \quad (1)$$

где $\tau = 760 \text{ Вт/м}^2$ есть солнечная постоянная на уровне моря, а $F_0(a, b)$ – освещенность в процентах.

Экспозиция склонов имеет циклическую легенду (0 и 360° – одно и то же, северный склон), поэтому использование ее вместе с другими МВ в статистических сравнениях некорректно. Вместо нее используют две нециклические величины $\sin A_0$ и $\cos A_0$ [Шарый, Смирнов, 2013]. Положительные значения $\sin A_0$ отвечают восточным, $\cos A_0$ – северным, а отрицательные значения – западным и южным склонам, соответственно.

Горизонтальная kh и вертикальная kv кривизны дают представление о двух основных механизмах аккумуляции жидких и твердых веществ. kh описывает первый механизм, отражающий поведение потоков на земной поверхности, проецируя его на горизонтальную плоскость. При этом $kh < 0$ характеризует конвергентные склоны, собирающие с поверхности водные и литодинамические потоки за счет их сближения, а $kh > 0$ – дивергентные склоны, рассеивающие потоки. Проецирование на перпендикулярную к горизонтальной плоскости позволяет охарактеризовать динамическую компоненту потоков – вертикальную кривизну kv : потоки могут испытывать относительное ускорение при $kv > 0$ на выпуклых в профиле склонах или замедление при $kv < 0$ на вогнутых.

Геометрические формы рельефа, которые не изменяются при наклоне и повороте поверхности (т. е. не зависят от положения в гравитационном поле), описывают средняя H , максимальная $k_{\max}$ и минимальная $k_{\min}$ кривизны. Значениям $H < 0$ отвечают средневогнутые формы рельефа, $H > 0$ – средневыпуклые. Гребневые формы рельефа определяются $k_{\max} > 0$, а килевые формы – $k_{\min} < 0$.

Региональные характеристики потоков жидких и твердых веществ под действием силы тяжести описываются площадью сбора МСА, характеризующей собирающую площадь в данный элемент матрицы, топографическим индексом влажности TI , который рассчитывается отношением МСА к крутизне GA (могут выделяться здесь зоны подтопления при снижении GA), и силой потоков SPI , которая есть произведение МСА и GA (увеличение GA приводит к возрастанию силы потоков при одной и той же площади сбора).

Оценка статистической значимости полученных результатов проводилась с помощью t -статистики Стьюдента. В ее основе лежит оценка достоверности различия средних значений для двух сравниваемых выборок:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}, \quad (2)$$

где $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ – средние по выборкам, m_i – ошибки, определенные как стандартное отклонение, деленное на корень из числа точек наблюдения. Если $|t|$ меньше t_0 , то средние статистически одинаковы, иначе – разные. Величина t_0 зависит от выбранного уровня вероятности (0,05 или «достоверные отличия на уровне 95%») и числа степеней свободы (общее число точек). Расчет с помощью t -статистики Стьюдента проводился в программе Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Елово-пихтовые леса являются зональными для заказника. Поскольку территория сильно пострадала от пожаров, их площадь составляет около 2% от площади ООПТ. Сохранившиеся елово-пихтовые леса произрастают небольшими группами на покатых поверхностях подгорных шлейфов и нижних частях пологих затененных склонов, в долинах ключей и рек. Помимо *Picea ajanensis* Fisch. ex Carr. и *Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim. к составу древостоя часто примешиваются *Larix cajanderi* Mayr и *Betula platyphylla* Sukaczew; в поймах рек – *Sorbus amurensis* Koehne, *Fraxinus mandshurica* Rupr, *Acer mono* Maxim. ex Rupr. В поврежденных ельниках с пожарами 50–60-летней давности ель и пихта успешно возобновляются, вытесняя лиственницу и березу. Класс бонитета в среднем составляет III–IV. Сомкнутость крон 0,6–0,8 баллов. Кустарниковый ярус практически отсутствует. Здесь представлено два типа ельников – травяно-зеленомошные и зеленомошно-папоротниковые. В первом типе незначительный травяной покров характеризуется низким проективным покрытием до 30%. Его составляют в основном *Chamaepericlymenum canadense* (L.) Asch.

& Graebn., *Equisetum sylvaticum* L., *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt, *Trientalis europaea* L., *Smilacina dahurica* Turcz. ex Fisch. & C.A. Mey., *Linnaea borealis* L. В елово-пихтовых зеленомошно-папоротниковых лесах травяно-кустарниковый ярус отличается большим разнообразием. Здесь доминируют *Smilacina dahurica* и *Gymnocarpium Dryopteris* (L.) Newman. Помимо видов, характерных для предыдущего типа леса, появляются *Paris verticillata* M. Bieb., *Aconitum umbrosum* (Korsh.) Kom., *Aruncus dioicus* (Walter) Fernald и др. Проективное покрытие травостоя 50–70%.

Дубовые и дубово-лиственничные леса в заказнике «Удиль» встречаются фрагментарно и занимают, как правило, прогретые вершины сопок. Чистых дубняков в заказнике мало. Дубово-лиственничные леса часто являются вторичными. Об этом говорит наличие пирогенных остатков в маломощных скелетных почвах, на которых они развиваются. Здесь молодые дубы (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.) от 30–70 лет, в зависимости от абсолютной высоты их расположения, достигающие от 10 до 16 м, с классом бонитета II–V, соседствуют с уцелевшей от пожара *Larix cajanderi* возрастом 120–140 лет с классом бонитета III–IV. Сомкнутость крон возрастает с высотой местности от 0,3 балла на высоте 30 м до 0,6 балла на высоте 300 м. Кустарниковый ярус плохо выражен (проективное покрытие 5%) и состоит из *Rosa acicularis* Lindl., *Spiraea media* Schmidt и *Rhododendron dauricum* L. В густом травяно-кустарниковом ярусе с проективным покрытием 70–95% доминируют осоки и вейники. Значительна роль *Artemisia maximovicziana* Krasch. ex Poljakov, *A. medioxima* Krasch. ex Poljakov, *Lathyrus humilis* (Ser.) Spreng., *Maianthemum bifolium*, *Convallaria keiskei* Miq., *Hemerocallis middendorffii* Trautv. & C.A. Mey и *Rhodococcum vitis-idaea* (L.) Avrogin.

Использование нами в описании и сравнении двух типов леса морфометрических характеристик и собранного полевого материала на исследуемых площадях позволило выявить следующие особенности и различия в распределении изученных лесов в регионе.

Абсолютная высота и температура почвы. Елово-пихтовые леса встречаются чаще в нижних частях склонов и их подножиях (10–55 м), а также в межгорных ложбинах (до 300 м), занимая увлажненные и охлажденные аккумулятивные, трансаккумулятивные и супераккумулятивные местоположения (14–60 м) (рис. 2, табл. 1). Эти участки характеризуются максимальным сбором почвенной влаги с верхних склонов и близким расположением к поверхности вечной мерзлоты, охлаждающей почвы. В супераккумулятивных местоположениях в заказнике

влажность почвы примерно в 3 раза выше, а ее температура в 3 раза ниже, чем на вершинах и верхних участках склонов [Шарая, Ван, 2021; Sharaya, Van, 2022]. При этом ельники приурочены к местам с проточным, а не застойным увлажнением, часто располагаясь у ручьев. Тяготение ельников Дальнего Востока к влажным и холодным местообитаниям отмечена многими учеными [Чумин, 1969; Урусов и др., 2007; Манько и др., 2011; Волков, 2015; Шлотгауэр, 2016; Максимова и др., 2019]. Подобные условия местопроизрастания характерны и для еловых лесов европейской части России [Черненко и др., 2015; Пузаченко, Черненко, 2016; Беляева и др., 2020]. В середине июля в елово-пихтовых лесах температура почвы на глубинах от 30 до 70 см колеблется в диапазоне от 4 до 7°C (рис. 3).

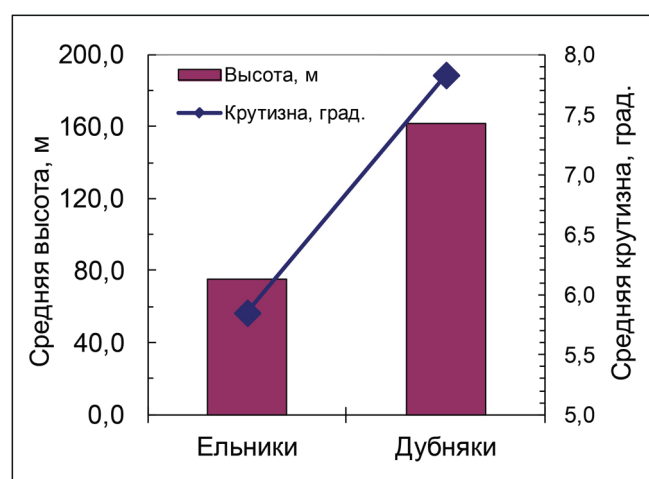


Рис. 2. Сравнение средних значений высот и крутизны склонов пробных площадей с елово-пихтовыми и дубовыми лесами

Fig. 2. Comparison of average altitude and steepness of slope of the sample plots with spruce-fir and oak forests

Дубовые леса заказника занимают верхние части склонов, произрастая в прогретых и сухих элювиальных и трансэлювиальных местоположениях (50–300 м), что также подтверждается другими научными работами [Добрынин, 2000; Шлотгауэр, 2016; Середюк, Выводцев, 2016]. Такие места их расположения в этом регионе рассматриваются как рефугиумы, поскольку дуб монгольский – южный элемент флоры (маньчжурская флора) – находится в пессимальных условиях произрастания в суровом климате. В отличие от елово-пихтовых лесов почвы в дубовых лесах более прогреты: на глубинах 30–70 см температура колеблется от 8 до 12°C (см. рис. 3). Добавим, что вероятность различия в распределении дубовых и елово-пихтовых лесов в заказнике «Удиль» по указанным высотам характеризуется результатами статистической оценки в 65% (табл. 2).

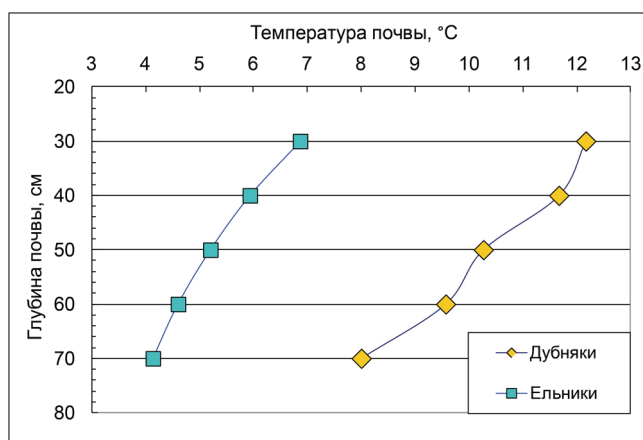


Рис. 3. Распределение температуры почвы в июле на глубинах 30–70 см в елово-пихтовых и дубовых лесах заказника «Удиль»

Fig. 3. Distribution of the July soil temperature at depths of 30 to 70 cm in spruce-fir and oak forests in the Udyl' Nature Reserve

Дубняки Комсомольского заповедника, расположенного южнее заказника, также преимущественно занимают сухие прогретые вершины и верхние части склонов (элювиальные и трансэлювиальные местоположения), но при этом они произрастают на увалах (низкогорье) с высотами от 100 до 300 м. Вершины и привершинные теневые и нейтральные склоны горных образований с высотами от 370 до 680 м в заповеднике занимают елово-пихтовые леса. Помимо этого, они также как и темнохвойные леса заказника могут локализоваться в трансэлювиальных (предгорных) местоположениях с повышенным увлажнением и ограниченной освещенностью. Температура почвы в елово-пихтовых лесах заповедника на той же глубине колеблется в пределах 9–11°C, а в дубовых лесах от 10 до 14°C [Петренко, 2014].

Обычный порядок расположения лесов в горах, когда дубовые леса произрастают по склонам ниже темнохвойных, в заказнике «Удиль» нарушается из-за инверсии почвенной температуры: внизу температура снижена из-за близости вечной мерзлоты, вверху – выше из-за отсутствия мерзлоты на солнцепечных вершинах и верхних частях склонов.

Крутизна и экспозиция склонов. Елово-пихтовые леса занимают пологие склоны и низины, в отличие от дубовых лесов, произрастающих на крутых склонах (см. рис. 2). Ельники располагаются на хорошо выраженных северных склонах, на которых дубняки почти отсутствуют, и на склонах восточной экспозиции. Дубняки в основном занимают южные и западные склоны (рис. 4). Заметим, что, согласно результатам статистической оценки (см. табл. 2), вероятность различия произрастания ельников на восточных склонах, а дубняков на западных составляет только 50%, что является низким показателем

Таблица 1

Приуроченность елово-пихтовых и дубовых лесов заказника «Удиль» к различным показателям рельефа и другим условиям местопроизрастания

Показатели рельефа и другие условия местопроизрастания	Типы леса			
	Елово-пихтовые		Дубовые	
	Пределы значений	Среднее значение	Пределы значений	Среднее значение
Типы местоположений*	A, Ta, Saq	–	Э, Тэ	–
Z, м	15–300	75	30–300	160
GA, градусы	0–15	5	5–10	10
$\cos A_0$	0,3–1	0,7 северные склоны	(–0,6)–0	–0,2 преобладают на южных склонах
$\sin A_0$	(–0,6)–1	0,3 преобладают на восточных склонах	(–1)–0,8	–0,4 преобладают на западных склонах
Освещенность склонов $F_0(a, b)$, %	20–22	21	34–37	36
Температура почвы на глубине 50 см, °C	0–9	6	10–11	10
Влажность почвы	Свежие–Влажные	Влажные	Сухие–свежие	Сухие
Присутствие вечной мерзлоты в почве	Часто присутствует	–	Отсутствует	–
kh	(–0,6)–0,5	–0,2 преобладают конвергентные склоны	0,5–3,5	1,6 сильно выраженные дивергентные склоны
kv	(–0,5)–0,5	0	0,1–2,1	1 выражены ускоряющие потоки
Итоговое воздействие kh и kv	–	Преобладают в зоне слабо выраженной аккумуляции	–	Преобладают в зоне сноса
H	(–0,9)–0,4	–0,2	0,6–2,6	1,6 выраженные средневывуклые формы
$k_{\min}$	(–1,4)–0,4	–0,7 преобладают килевые формы	0,2–1,4	0,8 выраженные внекилевые формы
$k_{\max}$	(–0,6)–0,7	0,1	0,7–2,1	1,5 выраженные гребневые формы
$\ln MCA$, м ²	9–14	10	5–10	8
$\ln TI$	11–16	13	7–12	10
$\ln SPI$	6–11	8	3–8	6

Примечание. * Э – элювиальный, Тэ – трансэлювиальный, Та – трансаккумулятивный, А – аккумулятивный, Saq – супераккумулятивный [Глазовская, 1964]. Расшифровка кривизны и региональных величин приведены в разделе «Материалы и методы исследований».

достоверности. Тем не менее во многих работах также отмечается тяготение дубняков к южным и юго-западным крутым склонам [Цымек, 1969; Добрынин, 2000; Шлотгауэр, 2016; Середюк, Выводцев, 2016]. Некоторые исследователи отмечают

приуроченность ели к пологим и покатым склонам [Урусов и др., 2007], другие утверждают, что елово-пихтовые леса могут занимать любые местоположения и склоны с разной крутизной [Манько, 1983; Чумин, 1969]. Однако авторы всех указанных работ

Таблица 2

Оценка различия средних значений для двух сравниваемых выборок (ельники и дубняки), выполненная с помощью *t*-статистики Стьюдента

Показатели рельефа и другие условия местопроизрастания	Уровень достоверности отличия, %	Показатели рельефа и другие условия местопроизрастания	Уровень достоверности отличия, %
Z	65	kv	75
GA	78	H	91
$\cos A_0$	85	$k_{\min}$	90
$\sin A_0$	50	$k_{\max}$	90
$F(35;120)$	95	$\ln MCA$	92
$F(35;140)$	96	$\ln TI$	95
$F(35;160)$	95	$\ln SPI$	85
$F(35;180)$	89	T 30 см	99
$F(35;200)$	89	T 40 см	99
$F(35;220)$	89	T 50 см	99
$F(35;240)$	89	T 60 см	99
kh	90	T 70 см	98

сходятся во мнении, что в основной части своего ареала, к которому относится и Нижнее Приамурье, елово-пихтовые леса тяготеют к северным склонам. В наших исследованиях показано, что в заказнике «Удыль» на северных склонах температура почвы в 1,7 раза меньше, а влажность в 1,5–1,7 раза больше, чем на южных [Шарая, Ван, 2021; Sharaya, Van, 2022].

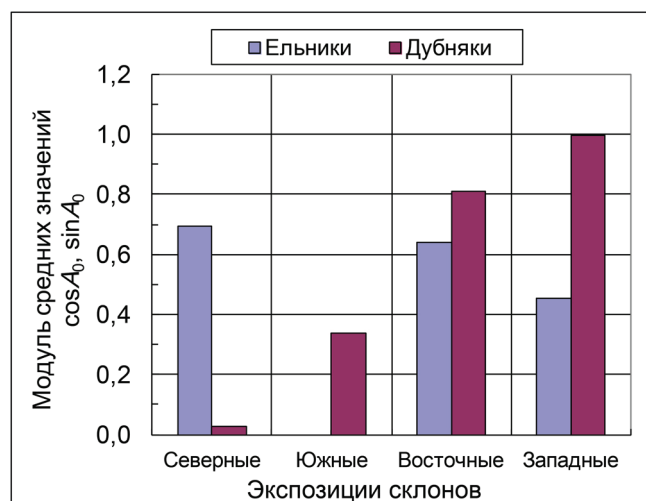


Рис. 4. Сравнение средних значений модулей $\cos A_0$ и $\sin A_0$, отражающих выраженность разных экспозиций склонов для дубовых и елово-пихтовых лесов заказника «Удыль»

Fig. 4. Comparison of $\cos A_0$ and $\sin A_0$ modules average values reflecting the intensity of different slope exposures for oak and spruce-fir forests of the Udyly' Nature Reserve

В Комсомольском заповеднике темнохвойные леса занимают склоны с различной экспозицией и крутизной, при этом приуроченность их местообитаний к экспозиции изменяется с высотой. Так, на наименьших высотах (40–200 м) ельники занимают восточные и северо-восточные склоны, на средних (350–450 м) – южные и юго-восточные склоны, на наибольших (550–780 м) – склоны западной экспозиции. В этом отношении они схожи с елово-пихтовыми лесами заказника «Удыль». Дубняки в заповеднике произрастают в основном на крутых склонах южной экспозиции, которая незначительно изменяется с высотой.

Освещенность. Для всех пробных площадей елово-пихтовых лесов за весь световой день освещенность варьирует в среднем в пределах 20–22% (152–167 Вт/м²). Дубняки освещены сильнее – 34–37% (от 258 до 281 Вт/м²) (рис. 5). Освещенность дубняков возрастает с увеличением азимута – соответственно в вечерние часы при положении Солнца на юго-западе (220–240°) они освещены максимально.

Потоковые характеристики пробных площадей. Елово-пихтовые леса преимущественно занимают склоны, собирающие водные и литодинамические потоки (конвергентные) (рис. 6). На средних высотах леса произрастают на склонах, ускоряющих потоки (выпуклых в профиле), а в низине и на максимальной высоте – на склонах, замедляющих их (вогнутые в профиле). В целом с постепенным возрастанием высоты местности в ельниках выпуклые склоны сменяются вогнутыми. В отличие от елово-пихтовых лесов изученные площадки с дубняками занимают только склоны, рассеивающие

(дивергентные) и ускоряющие потоки (выпуклые в профиле). Отметим, что выраженность потенциалов собирать и замедлять потоки, определяемая значением соответствующей кривизны, для площадей елово-пихтовых лесов заметно ниже потенциалов рассеивать и ускорять потоки для площадей дубовых лесов. Таким образом, елово-пихтовые леса произрастают в основном в зонах аккумуляции, а дубняки исключительно в зоне сноса твердых и жидких веществ.

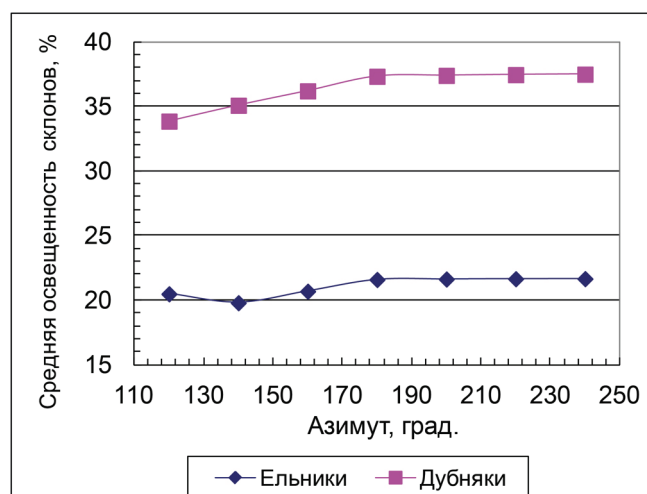


Рис. 5. Средняя освещенность склонов при разных азимутах для пробных площадей с ельниками и дубняками

Fig. 5. Mean illumination of slopes at different azimuths for sample plots with spruce-fir and oak forests

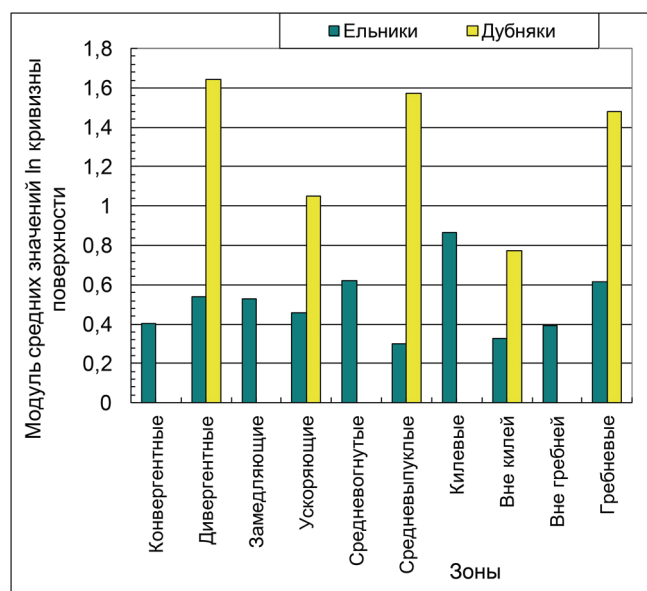


Рис. 6. Модули средних значений логарифма кривизны, описывающих выраженность разных зон рельефа, связанных с характеристиками потоков и форм

Fig. 6. Modules of average values of curvature logarithms describing the intensity of different relief areas linked with the flow and shape characteristics

Геометрические формы рельефа, не связанные напрямую с потоками. Практически для всех пробных площадей елово-пихтовых лесов характерны килевые (отрицательные) формы рельефа (см. рис. 6). При этом на средних высотах наблюдаются также слабовыраженные гребневые (положительные) формы. Дубняки в отличие от елово-пихтовых лесов занимают только положительные формы рельефа, произрастая на выпуклых склонах и на гребневых формах.

А.С. Карпенко в своей работе [1969] также говорит о приуроченности темнохвойных лесов в нижнем течении реки Амгунь (левый приток Амура) к отрицательным формам рельефа. Ю.И. Манько [1983] отмечает, что эти леса в Нижнем Приамурье не тяготеют к определенным элементам микрорельефа, избегая только заболоченных мест и высоких вершин. Интересно, что в центральной части Восточно-Европейской равнины ельники также занимают вогнутые участки водоразделов, а дубняки – наиболее выпуклые формы рельефа с хорошим дренажом [Черненко и др., 2015; Беляева и др., 2020].

Региональные потоковые характеристики. Пробные площади с елово-пихтовыми лесами характеризуются наибольшими значениями площади сбора, топографического индекса влажности и индекса мощности потоков в отличие от дубняков (рис. 7). Превышение данных показателей у ельников в сравнении с дубняками составляет 25–30%.

Практически все рассмотренные показатели рельефа и другие условия местопроизрастания имеют высокую достоверность различия для елово-пихтовых и дубовых лесов – 75–99% (см. табл. 2).

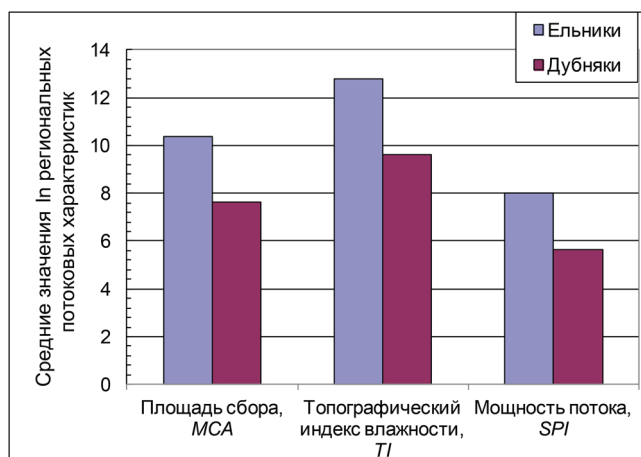


Рис. 7. Средние значения логарифмов характеристик, описывающих выраженность разных свойств рельефа, связанных с региональными (не локальными) потоками

Fig. 7. Average values of logarithms of characteristics describing the intensity of various relief properties linked with regional (not local) flows

ВЫВОДЫ

На топологическом уровне исследования в заказнике «Удыль» с помощью сравнения морфометрических величин и собранных полевых данных в Нижнем Приамурье показана приуроченность елово-пихтовых и дубовых лесов к определенным показателям рельефа и другим условиям местопроизрастания.

Выявленные закономерности распределения елово-пихтовых и дубовых лесов в регионе в основном подтверждают выводы других авторов, проводивших исследование данных типов леса на Дальнем Востоке и в европейской части России. Их кратко можно изложить следующим образом. Елово-пихтовые леса занимают северные и северо-восточные пологие склоны, «выбирая» затененные и увлажненные местоположения. Они произрастают преимущественно в зонах аккумуляции на отрицательных формах рельефа. Дубняки в отличие от ельников локализуются на прогретых южных скло-

нах исключительно в зоне сноса твердых и жидких веществ на положительных формах рельефа.

Распределение лесов в заказнике «Удыль» определено важным микроклиматическим фактором, «ломающим» общие географические закономерности произрастания лесов по склонам. Здесь на водоразделах отсутствуют ельники – они локализуются в нижних частях склонов, тогда как верхние участки заняты дубняками. Причиной этой *инверсии типов леса* на склонах является *инверсия температуры почвы*. Благодаря близости расположения вечной мерзлоты в низинах и у подножия склонов гор и отсутствия ее на хорошо прогретых склонах и вершинах почвенная температура не снижается с высотой, как обычно в горах, а возрастает.

Используемый в работе подход количественного сравнения морфометрических величин и свойств почв для мест произрастания разных типов леса является полезным и перспективным для понимания закономерностей распределения различных типов леса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А.С., Никифоров А.А. Влияние рельефа на структуру и продуктивность лесных ландшафтов с применением 3D-моделирования на примере Лисинского учебно-опытного лесхоза // Лесоведение. 2014. № 5. С. 42–53.
- Беляева Н.Г., Сандлерский Р.Б., Черненко Т.В. Ландшафтообразующая роль рельефа в формировании состава лесов юго-западной части Московской области // Вестник Санкт-Петербургского ун-та. Науки о Земле. 2020. № 65(2). С. 362–376. DOI: 10.21638/spbu07.2020.208.
- Ван П.С. Организация лесных геосистем Нижнего Приамурья на примере заповедника «Комсомольский» // Поволжский экологический журнал. 2024. № 1. С. 3–19. DOI: 10.35885/1684-7318-2024-1-3-19.
- Ван П.С., Силаев А.В., Ван Г.В. Растительность федерального заказника «Удыль» (Нижнее Приамурье) // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геогр. Геоэкол. 2021. № 3. С. 69–78. DOI: 10.17308/geo.2021.3/3603.
- Волков Е.В. Пихтово-еловые леса в нижней части бассейна р. Буря // Вестн. КрасГАУ. 2015. № 5. С. 190–196.
- Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М.: МГУ, 1964. 230 с.
- Добрынин А.П. Дубовые леса российского Дальнего Востока (биология, география, происхождение). Владивосток: Дальнаука, 2000. 260 с.
- Добровольский В.В. Практикум по географии почв с основами почвоведения. М.: Просвещение, 1982. 127 с.
- Карпенко А.С. Основные закономерности растительного покрова нижней части бассейна Амгуни // Амурская тайга (комплексные ботанические исследования). Л.: Наука, 1969. С. 36–52.
- Колесников Б.П. Кедровые леса Дальнего Востока // Труды ДВО АН СССР. Сер. ботанич. 1956. Т. 2(4). 262 с.
- Коломыц Э.Г. Локальные механизмы глобальных изменений природных экосистем. М.: Наука, 2008. 427 с.
- Коломыц Э.Г. Организация и устойчивость хвойно-лесных экосистем на бореальном экотоне Русской равнины // Известия РАН. Сер. географическая. 1995. № 3. С. 37–51.
- Крауклис А.А. Проблемы экспериментального ландшафтоведения. Новосибирск: Наука, 1979. 232 с.
- Кривошукский А.Е. Амурско-Приморская страна // Физико-географическое районирование СССР: характеристика региональных единиц / под ред. проф. Н.А. Гвоздецкого. М.: Типография изд-ва МГУ, 1968. С. 503–542.
- Максимова В.Ф., Майорова Л.А., Петропавловский Б.С. Основные факторы среды, влияющие на усыхание пихтово-еловых лесов Дальнего Востока // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2019. № 1. С. 61–66.
- Манько Ю.И. Ель аянская и особенности ее географического распространения // Комаровские чтения. Вып. XXX. 1983. С. 3–28.
- Манько Ю.И., Гладкова Г.А., Бутовец Г.Н. К изучению естественной динамики пихтово-еловых лесов центрального Сихотэ-Алиня // Вестн. КрасГАУ. 2011. № 12. С. 120–125.
- Мартыненко А.Б., Бочарников В.Н. Экологическое районирование Дальнего Востока // Известия РАН. Сер. геогр. 2008. № 2. С. 76–84.
- Петренко П.С. Моносистемная организация лесных биогеоценозов на бореальном экотоне Нижнего Приамурья // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16. № 1. С. 84–92.
- Петренко П.С., Коломыц Э.Г. Влияние геоморфологических факторов на организацию лесных топогеосистем заповедника «Комсомольский» // Вестн. Воронеж. гос-го ун-та. Сер.: Геогр., Геоэкол. 2018. № 2. С. 16–27.
- Погребняк П.С. Общее лесоводство. 2-е изд., перераб. М., 1968. 440 с.

- Пузаченко М.Ю., Черненко Т.В. Определение факторов пространственного варьирования растительного покрова с использованием ДДЗ, ЦМР и полевых данных на примере центральной части Мурманской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 167–191. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-5-167-191.
- Середюк А.В., Выводцев Н.В. Дубы Дальнего Востока // Ученые заметки ТОГУ. 2016. Т. 7. № 4. С. 427–435.
- Соколова Г.Г. Влияние высоты местности, экспозиции и крутизны склона на особенности пространственного распределения растений // Acta biologica Sibirica. 2016. Т. 2. № 3. С. 34–45. DOI: 10.14258/abs.v2i3.1453.
- Сочава В.Б. Учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1975. 39 с.
- Сысыев В.В., Шарый П.А. Выделение типов условий местопроизрастания для лесоустройства по участковому методу // Лесоведение. 2000. № 5. С. 10–19.
- Урусов В.М., Лобанова И.И., Варченко Л.И. Хвойные российского Дальнего Востока – ценные объекты изучения, охраны, разведения и использования. Владивосток: Дальнаука, 2007. 440 с.
- Цыпек А.А. Дубовые леса // Леса Дальнего Востока / под ред. А.С. Агеенко. М.: Лесная промышленность, 1969. С. 171–176.
- Черненко Т.В., Морозова О.В., Пузаченко М.Ю. и др. Состав и структура лесов юго-западного Подмосковья // Лесоведение. 2015. № 5. С. 323–338.
- Черниковский Д.М. Автоматическая классификация поверхности рельефа для изучения количественных и качественных характеристик лесов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 219. С. 74–95. DOI: 10.21266/2079-4304.2017.219.74-95.
- Чумин В.Т. Еловые леса. Лесоводственная характеристика // Леса Дальнего Востока / под ред. А.С. Агеенко. М.: Лесная промышленность, 1969. С. 94–100.
- Шарая Л.С., Ван П.С. Закономерные изменения температур почвы на территории заказника «Удыль» (Нижнее Приамурье) // География и природные ресурсы. 2021. Т. 42. № 2(166). С. 51–58. DOI: 10.15372/GIPR20210206.
- Шарая Л.С., Шарый П.А. Изучение пространственной организации лесных экосистем с помощью методов геоморфометрии // Экология. 2011. № 1. С. 3–10.
- Шарый П.А., Пинский Д.Л. Статистическая оценка связи пространственной изменчивости содержания органического углерода в серой лесной почве с плотностью, концентрациями металлов и рельефом // Почвоведение. 2013. № 11. С. 1344–1356.
- Шарый П.А., Смирнов Н.С. Механизмы влияния солнечной радиации и анизотропии местности на растительность темнохвойных лесов Печоро-Ильчского заповедника // Экология. 2013. № 1. С. 11–19.
- Шлотгауэр С.Д. Реликтовые черты лесной растительности национального парка «Ануйский» (Хабаровский край) // Региональные проблемы. 2016. Т. 19. № 3. С. 38–48.
- Bader M.Y., Ruijten J.J. A topography-based model of forest cover at the alpine treeline in the tropical Andes, *Journal of Biogeography*, 2008, vol. 35, no. 4, p. 711–723, DOI: 10.1111/j.1365-2699.2007.01818.x.
- Hörsch B. Modeling the spatial distribution of mountain and subalpine forests in the Central Alps using digital elevation models, *Ecological modeling*, 2003. vol. 168, no. 3, p. 267–282, DOI: 10.1016/S0304-3800(03)00141-8.
- Rezaei Sangdehi S.M., Fallah A., Oladi J.A. et al. The modeling of some quantitative characteristics forest using topographic features stands (case study: district-3 of Sangdeh forests), *Ecology of Iranian forests*, 2022, vol. 10, no. 19, p. 88–98, DOI: 10.52547/ifej.10.19.88. (In Persian)
- Rodrigues E., Morris C.S., Belz J.E. et al. An assessment of the SRTM topographic products, Technical Report JPL D-31639, Pasadena, California, Jet Propulsion Laboratory, 2005, 143 p.
- Sharaya L.S., Van P.S. Regular changes in soil moisture content in coniferous forests of the Udyly State Nature Reserve, Lower Amur River Region, *Contemp. Probl. Ecol.*, 2022, vol. 15, no. 7, p. 863–871, DOI: 10.1134/s1995425522070198.
- Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis, *Geoderma*, 2002, vol. 107, p. 1–32.
- Ukrainskiy P., Terekhin E., Lisetskii F. et al. The influence of relief on the density of light-forest trees within the Small-Dry-Valley network of uplands in the forest-steppe zone of Eastern Europe, *Geosciences*, 2020, vol. 10, no. 11, p. 1–18, DOI: 10.3390/geosciences10110420.
- Wood J. Overview of software packages used in geomorphometry, *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science*, Amsterdam, etc., Elsevier, 2009, vol. 33, ch. 10, p. 257–267, DOI: 10.1016/S0166-2481(08)00010-X.
- Zhang L., Liu S., Sun P. et al. Using DEM to predict *Abies faxoniana* and *Quercus aquifolioides* distributions in the upstream catchment basin of the Min River in southwest China, *Ecological indicators*, 2016, vol. 69, p. 91–99, DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.04.008.
- Zirlewagen D., Raben G., Weise M. Zoning of forest health conditions based on a set of soil, topographic and vegetation parameters, *Forest Ecology and Management*, 2007, vol. 248, p. 43–55.

Поступила в редакцию 12.02.2024

После доработки 21.09.2024

Принята к публикации 26.11.2024

REGULARITIES OF SPRUCE-FIR AND OAK FORESTS DISTRIBUTION OVER THE UDYL' STATE NATURE RESERVE (THE LOWER AMUR RIVER REGION)

P.S. Van¹, L.S. Sharaya², G.V. Van³

¹ *Zapovednoe Priamur'e, Sector for Natural Complexes and the Reserve Objects' Monitoring;*

¹ *The Institute for Complex Analysis of Regional Problems (ICARP), Far Eastern Branch RAS, Laboratory of Geology and Geoecology Studies*

² *Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Geographic Network Laboratory*

³ *Amur State University of Humanities and Pedagogy, Faculty of Nature and Geography, Department of Life Safety and Natural Sciences*

¹ *Leading Scientific Researcher, Scientific Researcher (ICARP), Ph.D. in Geography; e-mail: vanpolina8710@mail.ru*

² *Chief Scientific Researcher, D.Sc. in Biology; e-mail: l_sharaya@mail.ru*

³ *Lecturer, Ph.D. in Biology; e-mail: vangrigoriy@mail.ru*

The identification of relationships between forest spatial distribution and relief features is among the main objectives in studying the structural and functional organization of forest ecosystems. The revealed patterns of forest distribution make it possible to predict their response to external environmental changes. In the Lower Amur River region, such studies are quite insufficient. The study objective is to identify relationships between spruce-fir and oak forests' distribution and relief parameters in the region. For this purpose nine sampling plots were placed and described in 2014–2017 in spruce-fir and oak forests of the Udyl' State Nature Reserve located in the Lower Amur River region. The relief matrix was obtained from the digital model of the NASA SRTM3 project, and morphometric values of relief parameters were calculated for each sample plot. It was found that there is a thermal inversion in soils of the region under study coming from the occurrence of permafrost in depressions and its absence on mountain slopes. As a result the altitudinal distribution of forests is disrupted – the oak forests grow higher on the slopes than the spruce-fir ones, thus producing the inversion of forest types. Spruce forests more often occupy the northern and eastern gentle slopes, while the oak forests grow on the southern and western steep slopes. Light intensity in the spruce-fir forests ranges from 20 to 22%, being from 34 to 37% in the oak forests. Light intensity in the oak forests increases with increasing azimuth and reaches the maximum when the Sun is in the southwest. Spruce-fir forests occupy negative topographic forms, growing in the zones of weak accumulation. Oak forests often occupy positive topographic forms, such as medium-convex and crest ones, located in the denudation zones of water and lithodynamic flows. Slopes with spruce-fir forests have larger catchment areas of liquid and solid substances, higher flow intensity index and topographic humidity in comparison with the oak forests.

Keywords: regularities of forest distribution, relief, temperature and moisture content of soil, morphometric parameters

REFERENCES

- Alekseev A.S., Nikiforov A.A. Vliyaniye rel'yefa na strukturu i produktivnost' lesnykh landshaftov s primeneni-
em 3D-modelirovaniya na primere Lisinskogo uchebno-
opytного leskhoza [Surficial topography controls of the
structure and productivity of forest landscapes: analysis
with 3D-modeling based on GIS-technology application
(case study of the Lisino experimental forest station)],
Lesovedenie, 2014, no. 5, p. 42–53. (In Russian)
- Bader M.Y., Ruijten J.J. A topography-based model of forest
cover at the alpine treeline in the tropical Andes, *Journal
of Biogeography*, 2008, vol. 35, no. 4, p. 711–723, DOI:
10.1111/j.1365-2699.2007.01818.x.
- Belyaeva N.G., Sandlersky R.B., Chernenkova T.V. Land-
shaftoobrazuyushchaya rol' rel'yefa v formirovanii
sostava lesov yugo-zapadnoy chasti Moskovskoy oblasti
[The landscape-forming role of relief in the formation of
the forest composition in the southwestern part of Mos-
cow Oblast], *Vestnik St-Peter. Universiteta. Earth Sci-
ences*, 2020, no. 65(2), p. 362–376, URL: [https://doi.
org/10.21638/spbu07.2020.208](https://doi.org/10.21638/spbu07.2020.208). (In Russian)
- Chernen'kova T.V., Morozova O.V., Puzachenko M.Yu. et al.
Sostav i struktura lesov yugo-zapadnogo Podmoskov'ya
[Composition and structure of the spruce forests of
South-west of Moscow Oblast], *Lesovedeniye*, 2015,
no. 5, p. 323–338. (In Russian)
- Chernikhovskiy D.M. Avtomaticheskaya klassifikatsiya pov-
erkhnosti rel'yefa dlya izucheniya kolichestvennykh i
kachestvennykh kharakteristik lesov [Automatic clas-
sification of surface topography to the quantitative and
qualitative characteristics of forests], *Izvestia Sankt-
Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2017, is. 219,
p. 74–95, DOI: 10.21266/2079-4304.2017.219.74-95. (In
Russian)
- Chumin V.T. [Spruce forests. Silvicultural characteristics],
Les Dal'nego Vostoka [Forests of the Far East], Mos-
cow, Lesnaya Promyshlennost' Publ., 1969, p. 94–100. (In
Russian)
- Cymek A.A. [Oak forests], *Les Dal'nego Vostoka* [For-
ests of the Far East], Moscow, Lesnaya Promyshlennost'
Publ., 1969, p. 171–176. (In Russian)
- Dobrovolsky V.V. *Praktikum po geografii pochv s osnova-
mi pochvovedeniya* [Soil Geography Tutorial with Soil
Science Basics], Moscow, Prosveshchenie Publ., 1982,
127 p. (In Russian)

- Dobrynin A.P. *Dubovye lesa rossijskogo Dal'nego Vostoka (biologija, geografija, proishozhdenie)* [Oak forests of the Russian Far East (biology, geography, origin)], Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2000, 260 p. (In Russian)
- Glazovskaya M. A. *Geokhimicheskiye osnovy tipologii i metodiki issledovaniy prirodnikh landshaftov* [Geochemical Foundations of Natural Landscapes Typology and Research Methods], Moscow Univ. Publ., 1964, 230 p. (In Russian)
- Hörsch B. Modeling the spatial distribution of montane and subalpine forests in the Central Alps using digital elevation models, *Ecological modeling*, 2003, vol. 168, no. 3, p. 267–282, DOI: 10.1016/S0304-3800(03)00141-8.
- Karpenko A.S. [Basic patterns of vegetation cover in the lower part of the Amgun' River basin], *Amurskaja tajga (kompleksnye botanicheskie issledovaniya)* [The Amur region taiga (complex botanical investigations)], Nauka Publ., 1969, p. 36–52. (In Russian)
- Kolesnikov B.P. Kedrovye lesa Dal'nego Vostoka [Cedar forests of the Far East], *Trudy dal'nev-go filiala AN SSSR. Ser. botanich.*, 1956, vol. 2(4), 262 p. (In Russian)
- Kolomyts E.G. *Local Mechanisms of Global Changes in Natural Ecosystems*, Moscow, Nauka Publ., 2008, 427 p. (In Russian)
- Kolomyts E.G. Organizatsiya i ustoychivost' khvoyno-lesnykh ekosistem na boreal'nom ekotone Russkoy ravniny [Organization and stability of coniferous-forest ecosystems in the boreal ecotone of the Russian Plain], *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya geograficheskaya*, 1995, no. 3, p. 37–51. (In Russian)
- Krauklis, A.A. *Problemy eksperimental'nogo landshaftovedeniya* [Experimental landscape science challenges], Novosibirsk, Nauka Publ., 1979, 232 p. (In Russian)
- Krivolutsky A.E. [Amur-Primorie territory], *Fiziko-geograficheskoye rayonirovaniye SSSR: kharakteristika regional'nykh yedinit* [Physical-geographical regionalization of the USSR: description of regional units], Moscow Univ. Publ., 1968, p. 503–542. (In Russian)
- Maksimova V.F., Mayorova L.A., Petropavlovskiy B.S. Osnovnye faktory sredy, vliyayushhie na usyhanie pihovoevlyov y lesov Dal'nego Vostoka [Main environmental factors influencing the drying of the Far East fir-spruce forests], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2019, no. 1, p. 61–66. (In Russian)
- Man'ko Ju.I. El' ajanskaja i osobennosti ee geograficheskogo rasprostraneniya [Ayanskaya spruce and specific features of its geographical distribution], *Komarovskie chteniya*, 1983, no. 30, p. 3–28. (In Russian)
- Man'ko Ju.I., Gladkova G.A., Butovets G.N. K izucheniju estestvennoj dinamiki pihovoevlyov y lesov central'nogo Sihotje-Alinja [Studying the fir-spruce forest natural dynamics in the Central Sikhote-Alin], *Vestn. KrasGAU*, 2011, no. 12, p. 120–125. (In Russian)
- Martynenko A.B., Bocharnikov V.N. Ekologicheskoe rajonirovaniye Dal'nego Vostoka [Ecological regionalization of the Far East], *Izvestiya RAN, Ser. geogr.*, 2008, no. 2, p. 76–84. (In Russian)
- Petrenko P.S. Monosistemnaja organizatsiya lesnykh biogeocenov na boreal'nom ekotone Nizhnego Priamur'ya [Monosystem organization of forest geosystems on the boreal ecotone in Lower Amur region], *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN*, 2014, vol. 16, no. 1, p. 84–92. (In Russian)
- Petrenko P.S., Kolomyts E.G. Vliyanie geomorfologicheskikh faktorov na organizatsiju lesnykh topogeosistem zapovednika “Komsomol'skij” [The effect of geomorphological factors on the organization of the forest topological geosystems of the Komsomolsky Nature reserve], *Vestn. Voronezh. Gos. un-ta. Ser.: Geogr., Geojekol.*, 2018, no. 2, p. 16–27. (In Russian)
- Pogrebnyak P.S. *Obshcheye lesovodstvo* [General Forestry], Moscow, Kolos Publ., 1968, 440 p. (In Russian)
- Puzachenko M.Yu., Chernenkova T.V. Opredeleniye faktorov prostranstvennogo var'irovaniya rastitel'nogo pokrova s ispol'zovaniyem DDZ, TSMR i polevykh dannykh na primere tsentral'noy chasti Murmanskoy oblasti [Definition of factors of spatial variation in vegetation using RSD, DEM and field data by example of the central part of Murmansk Region], *Sovremennyye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, 2016, vol. 13, no. 5, p. 167–191, DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-5-167-191. (In Russian)
- Rezaei Sangdehi S.M., Fallah A., Oladi J.A., Latifi H. The modeling of some quantitative characteristics forest using topographic features stands (case study: district–3 of Sangdeh forests), *Ecology of Iranian forests*, 2022, vol. 10, no. 19, p. 88–98, DOI: 10.52547/ifej.10.19.88. (In Persian)
- Rodriguez E., Morris C.S., Belz J.E. et al. An assessment of the SRTM topographic products, *Technical Report JPL D-31639*, Pasadena, California, Jet Propulsion Laboratory, 2005, 143 p.
- Seredjuk A.V., Vyvodcev N.V. Duby Dal'nego Vostoka [Oak woods of the Far East], *Uchenye zametki TOGU*, 2016, vol. 7, no. 4, p. 427–435. (In Russian)
- Sharaya L.S., Sharyi P.A. Izuchenie prostranstvennoj organizatsii lesnykh jekosistem s pomoshh'yu metodov geomorfometrii [Geomorphometric study of the spatial organization of forest ecosystems], *Ekologiya*, 2011, no. 1, p. 3–10. (In Russian)
- Sharaya L.S., Van P.S. Regular changes in soil moisture content in coniferous forests of the Udyl' State Nature Reserve, Lower Amur River Region, *Contemp. Probl. Ecol.*, 2022, vol. 15, no. 7, p. 863–871, DOI: 10.1134/s1995425522070198.
- Sharaya L.S., Van P.S. Zakonomernyye izmeneniya temperatur pochvy na territorii zakaznika “Udyl'” (Nizhnee Priamur'e) [Regular changes in soil temperatures on the territory of the Udyl' Wildlife Reserve (Lower Amur Region)], *Geografija i prirodnye resursy*, 2021, vol. 42, no. 2(166), p. 51–58, DOI: 10.15372/GIPR20210206. (In Russian)
- Shary P.A., Pinskii D.L. Statistical evaluation of the relationships between spatial variability in the organic carbon content in gray forest soils, soil density, concentrations of heavy metals, and topography, *Eurasian Soil Science*, 2013, vol. 46, no 11, p. 1076–1087
- Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis, *Geoderma*, 2002, vol. 107, p. 1–32.
- Shary P.A., Smirnov N.S. Mehanizmy vliyanija solnechnoj radiatsii i anizotropii mestnosti na rastitel'nost' temnohvojnykh lesov Pechoro-Ilychskogo zapovednika [Mechanisms of the effects of solar radiation and terrain anisotropy on the vegetation of dark conifer forests in the Pechora-Ilych state biosphere reserve], *Ekologiya*, 2013, vol. 44, no. 1, p. 9–17. (In Russian)
- Shlotgaujer S.D. Reliktovyye cherty lesnoj rastitel'nosti nacional'nogo parka “Anjujskij” (Habarovskij kraj) [Relic

- features of forest vegetation in the Anyuisky National Park (Khabarovsk territory)], *Regional'nye problemy*, 2016, vol. 19, no. 3, p. 38–48. (In Russian)
- Sochava V.B. *Uchenie o geosistemah* [The doctrine of geosystems], Novosibirsk, Nauka Publ., 1975, 39 p. (In Russian)
- Sokolova G.G. Vliyaniye vysoty mestnosti, ekspozitsii i krutizny sklona na osobennosti prostranstvennogo raspredeleniya rasteniy [The influence of terrain altitude, slope exposure and slope degree on plant spatial distribution], *Acta Biologica Sibirica*, 2016, vol. 2, no. 3, p. 34–45, URL: <https://doi.org/10.14258/abs.v2i3.1453>. (In Russian)
- Sysuyev V.V., Sharyy P.A. Vydeleniye tipov usloviy mesto-proizrastaniya dlya lesoustroystva po uchastkovomu metodu [Identification of the types of habitat conditions for forest management using the site method], *Lesovedeniye*, 2000, no. 5, p. 10–19. (In Russian)
- Ukrainskiy P., Terekhin E., Lisetskii F. et al. The influence of relief on the density of light-forest trees within the Small-Dry-Valley network of uplands in the forest-steppe zone of Eastern Europe, *Geosciences*, 2020, vol. 10, no. 11, p. 1–18, DOI: 10.3390/geosciences10110420.
- Urusov V.M., Lobanova I.I., Varchenko L.I. *Hvojnye rossijskogo Dal'nego Vostoka – cennye obekty izuchenija, oh-rany, razvedeniya i ispol'zovaniya* [Conifers of the Russian Far East – important objects of study, conservation, growing and use], Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2007, 440 p. (In Russian)
- Van P.S. Organizatsiya lesnykh geosistem Nizhnego Priamur'ya na primere zapovednika “Komsomol'skiy” [Organization of forest geosystems in the Lower Amur region by example of the Komsomol'sky Nature Reserve], *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2024, no. 1, p. 3–19, URL: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2024-1-3-19>. (In Russian)
- Van P.S., Silaev A.V., Van G.V. Rastitel'nost' federal'nogo zakaznika “Udyl” (Nizhnee Priamur'e) [Vegetation of the Udyl' Federal Nature Reserve (Lower Priamurie)], *Vestn. Voronezh. gos-go un-ta, Ser.: Geogr. Geojekol.*, 2021, no. 3, p. 69–78, DOI: 10.17308/geo.2021.3/3603. (In Russian)
- Volkov E.V. Pihtovo-elovye lesa v nizhnej chasti bassejna r. Bureja [Fir-spruce forests in the lower part of the Bureya river basin], *Vestn. KrasGAU*, 2015, no. 5, p. 190–196. (In Russian)
- Wood J. Overview of software packages used in geomorphometry, *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science*, Amsterdam, etc., Elsevier, 2009, vol. 33, ch. 10, p. 257–267, URL: [doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00010-X](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00010-X).
- Zhang L., Liu S., Sun P. et al. Using DEM to predict *Abies faxoniana* and *Quercus aquifolioides* distributions in the upstream catchment basin of the Min River in southwest China, *Ecological indicators*, 2016, vol. 69, p. 91–99, DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.04.008.
- Zirlewagen D., Raben G., Weise M. Zoning of forest health conditions based on a set of soil, topographic and vegetation parameters, *Forest Ecology and Management*, 2007, vol. 248, p. 43–55.

Received 12.02.2024

Revised 21.09.2024

Accepted 26.11.2024