



DOI: 10.21178/2079–6080.2025.3.5
УДК 630*231.1

Оценка естественного возобновления под пологом сосновых древостоев в зависимости от микрорельефа с использованием ГИС

© Е.В. Горяева^{1,2}, Н.С. Кузьмик¹, Д.С. Собачкин¹

Assessment of natural regeneration under the canopy of pine stands depending on the microrelief using GIS

E.V. Goryaeva, N.S. Kuzmik, D.S. Sobachkin (The V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS is a separate unit of the FITC KSC SB RAS; Siberian Federal University)

The study of the renewal of forests under the canopy, in deforestation, burning and other areas not covered by forests in order to increase the efficiency of reforestation and increase the forest-covered areas is interesting from a practical point of view and meets the general request of the forestry industry to bring forestry practices closer to sustainable forest management. The purpose of the research was to evaluate the natural regeneration under the canopy of pine stands depending on the microrelief using GIS technologies. The shape of the earth's surface, the steepness of the slope, the exposure and other characteristics of the microrelief create unique conditions, determine the diversity and distribution of plant communities in the forest, and also have an ambiguous effect on the emergence of seedlings, the growth of self-seeding and the development of undergrowth under the canopy of the forest. Studying the patterns and interrelationships between relief, climate and flora for specific growing conditions will allow, in the future, to develop effective ways to promote the natural renewal of forests. The article describes the experience of assessing the natural regeneration under the canopy of medium-aged pine stands on permanent test areas with planned altitude measurements of control points by a satellite GNSS receiver. The undergrowth was recorded using traditional methods on five permanent sample areas selected according to the principle of uniformity of the studied areas. In the process of camera processing, the results of satellite measurements were imported into GIS and microrelief models were built. When constructing the surfaces, the TIN triangulation method was used. The combination of geodetic measurement data, the results of accounting for undergrowth on

permanent test areas and the construction of relief models made it possible to determine the relationship between the amount of undergrowth and microrelief for pine stands of the taiga-forest-steppe forest area. As a result of the conducted research, it was revealed that the exposure and steepness of the slopes have a significant impact on the formation of the younger generation of forests under the canopy of pine stands, which is reflected in the difference in the number and viability of undergrowth.

Keywords: reforestation, microrelief, exposure and slope steepness, satellite GNSS measurements, GIS

Оценка естественного возобновления под пологом сосновых древостоев в зависимости от микро рельефа с использованием ГИС

Е.В. Горяева, Н.С. Кузьмик, Д.С. Собачкин

Изучение возобновления лесов под пологом, на вырубках, гарях и других не покрытых лесом площадях с целью повышения эффективности лесовосстановительных работ и увеличения лесопокрытых площадей отвечает общему запросу лесной отрасли на приближение практики ведения лесного хозяйства к устойчивому управлению лесами. Целью исследований являлась оценка естественного возобновления под пологом сосновых древостоев в зависимости от микро рельефа с применением ГИС-технологий. Форма земной поверхности, крутизна склона, экспозиция и другие характеристики микро рельефа создают уникальные условия, определяют разнообразие и распределение растительных сообществ в лесу, а также оказывают неоднозначное влияние на появление всходов, рост самосева и развитие подроста под пологом леса. Изучение закономерности и взаимосвязи между рельефом, климатом и растительным миром для конкретных условий местопрорастания позволит, в перспективе, разработать эффективные способы содействия естественному возобновлению леса. В статье описан опыт оценки естественного возобновления под пологом сосновых средневозрастных древостоев на постоянных пробных площадях с планово-высотными измерениями контрольных точек спутниковым GNSS-приемником. Учет подроста производили традиционными методами на пяти постоянных пробных площадях, отобранных по принципу однородности исследуемых участков. В процессе камеральной обработки результаты спутниковых измерений импортировали в ГИС и создали модели микро рельефа. При построении поверхностей использовали метод триангуляции TIN. Совмещение данных геодезических измерений, результатов учета подроста на постоянных пробных площадях и построения моделей рельефа позволило определить взаимосвязь между количеством подроста и микро рельефом для сосновых древостоев подтаежно-лесостепного лесного района. В результате проведенных исследований выявлено, что экспозиция и крутизна склонов оказывают значительное влияние на формирование молодого поколения леса под пологом сосновых древостоев, что выражается в различии количества и жизнеспособности подроста.

Ключевые слова: лесовозобновление, микро рельеф, экспозиция и крутизна склонов, спутниковые GNSS измерения, ГИС

Горяева Елена Владимировна – доцент, старший научный сотрудник, канд. с.-х. наук

E-mail: egoryaeva@sfu-kras.ru

Кузьмик Наталья Сергеевна – старший научный сотрудник, канд. с.-х. наук

E-mail: kuzmik@ksc.krasn.ru

Собачкин Денис Сергеевич – старший научный сотрудник, канд. б. наук
E-mail: dens@ksc.krasn.ru

¹Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, г. Красноярск, Академгородок, д. 50/28

²ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 82, корпус 23 (К)

Введение

Повышение эффективности лесовосстановительных работ и увеличение лесопокрытых площадей являются ключевыми задачами обеспечения устойчивого управления лесами и сохранения биоразнообразия. Приближение практики ведения лесного хозяйства к неистощительному природопользованию включает в себя учет экологических, социальных и экономических аспектов лесопользования. При планировании лесохозяйственных мероприятий необходимо учитывать потребности лесных экосистем, сохранение биоразнообразия, устойчивость лесов к изменениям климата и другие факторы. Научные исследования в области лесовосстановления позволяют принимать обоснованные решения при планировании лесных работ и способствуют сохранению лесных ресурсов на долгосрочной основе [11].

Взаимосвязь между особенностями формирования древостоев и характеристиками рельефа отмечали многие исследователи, начиная с появления и развития такой науки, как лесная биоценология. Основоположник учения о лесе Г.Ф. Морозов под лесом понимал природное территориальное единство, объединяющее насаждение с условиями местопроизрастания, при этом рельеф он относил к одному из пяти факторов лесообразования, влияющих на особенности формирования лесов [6].

Рельеф является неотъемлемой частью биогеоценоза и одним из факторов, влияющих на взаимодействие его компонентов, определяя направление и интенсивность процессов. Такие особенности рельефа, как высотное положение, крутизна земной поверхности и экспозиция склонов влияют на перераспределение света, тепла и осадков, формирование почвенных слоев, структуру и состав почвы, водный баланс поверхностных слоев почвы, характер движения грунтовых вод.

Крутизна склона оказывает значительное влияние на скорость и интенсивность эрозионных процессов. Более крутые склоны чаще

подвержены эрозии из-за быстрого стока воды и смыва почвы. Это создает сложные условия для появления всходов древесных растений и их роста. На склонах с более пологими склонами, где грунт более мягкий, растения с поверхностной и разветвленной корневой системой могут успешно закрепляться. Эти растения могут выполнять роль пионеров, участвуя в начальной стадии образования почвы и фитоценоза. Изучение влияния микрорельефа на местные климатические условия является необходимым для понимания разнообразия микроклиматов в природных ландшафтах [7], а понимание взаимодействия между рельефом и растительными сообществами является важным аспектом при изучении экосистем и при принятии мер по сохранению биоразнообразия и устойчивости природных ландшафтов [3].

Различия в экспозиции склонов влияют на микроклиматические условия (в том числе на уровень солнечной радиации, распределение снега зимой и скорость ветра), что, в свою очередь, сказывается на формировании снежного покрова и содержании органических веществ и минеральных элементов в почве [2, 12, 14].

Такие микроклиматические различия могут иметь значение при выборе культурных растений для посадки, на их рост и развитие, а также на общую продуктивность земель. Понимание этих особенностей микроклимата в рамках конкретного рельефа помогает производителям принимать более информированные решения относительно посадки и ухода за растениями [10, 13, 15].

Лесоводственными исследованиями выявлены некоторые закономерности пространственного распределения лесной растительности в зависимости от особенностей рельефа. Так, например, выделены и описаны характеристики лесов в зависимости от высотных поясов, на основе чего в лесном хозяйстве РФ действует районирование лесов по лесорастительным зонам и лесным районам [5].

По мнению И.С. Мелехова [4], мезо- и микрорельеф имеют значительное влияние на условия прорастания семян и укоренения всходов, равномерность их распределения, а также подроста, подлеска, травянистых растений, особенно на сырых и мокрых почвах.

Целью настоящих исследований являлась оценка естественного возобновления под пологом сосновых древостоев в зависимости от микрорельефа с использованием спутниковых измерений на местности и построением моделей рельефа в ГИС. (Под микрорельефом понимается мелкая форма рельефа, занимающая незначительные площади, с небольшими колебаниями относительных высот 1–2 м).

Задача применить ГИС появилась на подготовительном этапе в ходе выполнения инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) «Национальная система мониторинга динамики климатически активных веществ в наземных экосистемах РФ», реализуемая консорциумом «Ритм углерода» [9]. Основная цель проекта заключалась в создании сети модельных тестовых полигонов и разработке единых методик наземной оценки пулов углерода и потоков парниковых газов. Выполнение поставленной задачи связано с устройством постоянных пробных площадей (ППП), которые закладывались в пределах тестового полигона в сосновых средневозрастных древостоях с целью оценки пулов накопленного углерода в различных компонентах лесотундровых экосистем Средней Сибири. В процессе закладки ППП были использованы методы спутниковых измерений GNSS (Global Navigation Satellite System) оборудованием для пространственного позиционирования и перенесения данных в ГИС-среду. Экспорт координат из прибора в ГИС дает широкие возможности не только для построения картографического материала и изображения пробных площадей в геоинформационной среде, но и для моделирования формы рельефа, определения его характеристики, определения взаимосвязи расположения учетных площадок и результатов учета подроста на них с моделью рельефа.

Объекты и методы исследования

Пробные площади закладывались на ключевом участке стационара ИЛ СО РАН «ОЭХ Погорельский бор» (56°22' с. ш. 92°57' в. д.), расположенного в 38 км северо-западнее города Красноярск в Устюгском участковом лесничестве Емельяновского лесничества, относящегося к среднесибирскому подтаежно-лесостепному лесному району. Климат резкоконтинентальный, с господствующим юго-западным направлением ветров, с холодной зимой и жарким летом. Район находится в трех зонах: лесостепной, подтаежной и таежной, характеризуется средней продолжительностью безморозного периода 120 дней, с температурой +10 °С – 114 дней, средняя дата последнего заморозка – 22 июня, первого – 20 сентября. Средняя январская температура -15 °С, средняя июльская +18 °С. В январе почва промерзает на глубину 1,7–3,0 м. Согласно К.С. Бугаевой [1], среднегодовое количество осадков в районе метеостанции «Погорельский бор», составляет 470 мм, 330–350 мм – в теплый период года и 110–120 мм – в холодное время года.

Выборку лесных участков объекта выполняли по материалам лесоустройства 2020 года с помощью пространственных запросов в геоинформационной среде QGIS. Параметры выборки: средневозрастные сосновые насаждения со схожими таксационными характеристиками. Для выделения только одного исследуемого фактора – влияния микрорельефа на процессы возобновления под пологом – наиболее целесообразен в данном случае метод анализа «Ceteris paribus», и однородность исследуемых участков – необходимое условие.

Преобладающий тип леса – сосняк разнотравно-зеленомошный. Преобладающий тип почв – дерново-подзолистые типичные. Всего было заложено 5 постоянных пробных площадей (ППП) размером 50 × 50 м (0,25 га). Таксационные показатели I яруса насаждений на пробных площадях представлены в таблице 1. Во всех древостоях преобладающей породой является сосна, класс бонитета – 1.

Таблица 1

Лесоводственно-таксационные показатели древостоев

Но- мер ППП	Состав древостоя	Полнота, ед.	Порода	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Сумма площа- дей сечения, м ²	Запас леса, м ³		Густота древостоя, шт./га
								растущего	сухостойного	
1	10С ед.Б ед.Ос	1,2	С	56	22,9	20,5	12,9	136,8	4,4	1548
			Б	44	15,9	13,1	-	-	-	
2	10С ед.Б ед.Ос	1,2	С	55	23	23,9	12,2	133,6	1,3	1072
			Б	45	16,6	13,6	-	-	-	
3	10С+Б ед.Е ед.Ос	1,4	С	53	18,9	15,2	12,8	113,5	6,2	2736
			Б	37	16,1	12,9	-	-	-	
4	10С ед.Б	1,3	С	56	19,8	17,1	12,5	115,7	4,6	2140
			Б	35	15,9	12,6	-	-	-	
5	10С+Б	1,2	С	53	22,3	19,4	11,6	120,9	6,1	<u>1336</u> 24
			Б	55	18,3	16,3	-	-	-	

Работы проводили по методике, предложенной и утвержденной ФГБУ «Центр по проблемам экологии продуктивности лесов» Российской академии наук: «Методика полевых работ по таксации леса на постоянных пробных площадях в рамках реализации инновационного проекта государственного значения «Углерод в экосистемах: мониторинг»» [9].

На каждой пробной площадке проводили сплошной пересчет деревьев с замером диаметра стволов на высоте 1,3 м от поверхности почвы, высоты определяли у модельных деревьев, отобранных по принципу равномерно-пропорционального ступенчатого представительства, в количестве 20–25 шт. на каждой пробной площадке.

Изучение лесовозобновительного процесса проводили путем сплошного пересчета молодого поколения леса на пяти круговых учетных площадках постоянного радиуса 1,78 м, общей площадью для учета подроста 50 м² (рис. 1).

Учет подроста на учетных площадках производили по породам, происхождению,

категориям крупности, жизнеспособности, с разделением на живые и погибшие экземпляры.

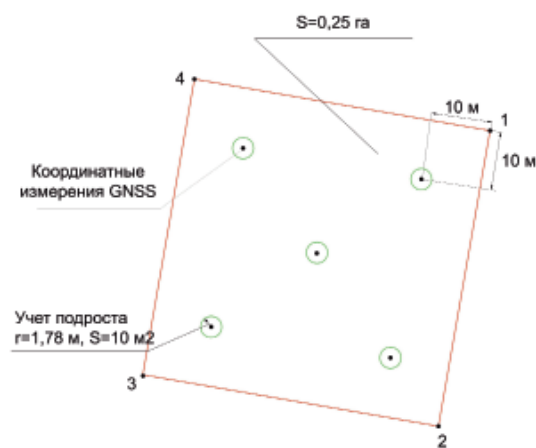


Рис. 1. Схема измерений на пробных площадях

Плановые и высотные координатные измерения выполняли спутниковым приемником Prince i50 [8]. Съемку производили в режиме RTK в местной системе координат

МСК-167, высотные измерения вели в Балтийской системе координат 1977 г. Среднеквадратичная погрешность определения координат прибора в плане составляет 8 мм + 1 мм/км, по высоте – 15 мм + 1 мм/км.

На всех ППП определяли координаты угловых точек и центров круговых учетных площадок для изучения и анализа рельефа. Процесс измерений заключался в установлении антенны приемника в необходимую точку и получении фиксированного решения о позиционировании, этот результат сохраняли в базу данных прибора. При установлении антенны в следующей угловой точке на экране прибора фиксируется расстояние от предыдущей точки с точностью до 1 мм, что позволяет оценить правильность предварительной закладки граничных линий. В результате измерений GNSS приемником формируется файл в формате txt, и точки могут быть экспортированы в геоинформационную среду.

Построение модели мезорельефа в районе расположения пробных площадей выполняли в геоинформационной среде Qgis интерполяцией методом TIN по данным SRTM с размером ячейки 3×3 угловых секунды (~90 м). Для лучшей визуализации 3D-изображения применяли вертикальное вытягивание модели. Построение моделей микрорельефа на пробных площадях выполняли в среде Qgis TIN-интерполяцией по данным полевых измерений GNSS приемником.

Результаты исследований и их обсуждение

Характеристика макрорельефа в месте расположения пробных площадей сложная: абсолютные высоты колеблются от 200 м на севере до 400 м на юге. По сочетанию форм рельефа на территории Погорельского бора выделены три микрорайона: центральная часть – с наиболее выровненным рельефом с крутизной склонов 2–3° в северном и южном направлениях; северо-западная часть – с сильно расчлененным рельефом, где небольшие увалы чередуются с логами, врезанными в относительно приподнятую на 20–40 м поверхность и вытянутыми в северо-западном направлении протяженностью 1–1,5 км крутизной до 20°; восточная часть бора характеризуется бугристо-западным рельефом (бугры диаметром 5–10 м и высотой 1,5–3 м перемежаются с глубокими, обычно замкнутыми котловинами), общий сток направлен на юг, к притокам Енисея – рекам Бузим и Миндерла [1].

Анализируя модель мезорельефа (рис. 2), можно отметить, что тип мезорельефа можно классифицировать как «равнина возвышенная», данные высотных измерений (табл. 2) показывают, что все пробные площади находятся на высоте более 200 м. Наивысшее положение в модели мезорельефа имеет ППП-5 со средней высотной отметкой 259,8 м.

В геоинформационной среде совмещено плановое и 3D-изображение пробных площадей (рис. 3).

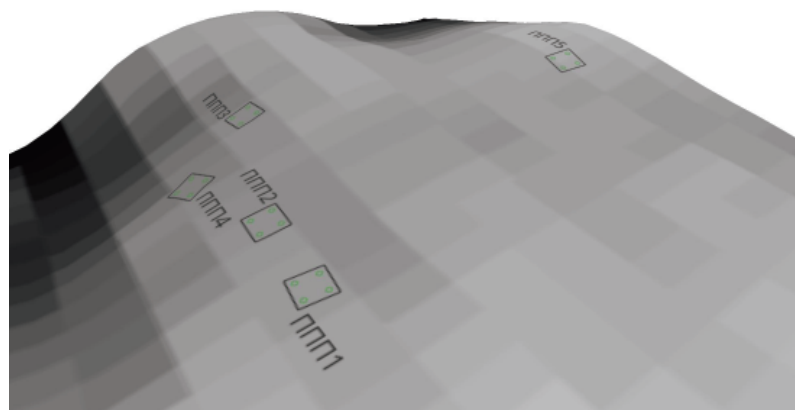


Рис. 2. Расположение ППП в TIN-модели мезорельефа, построенной в QGIS

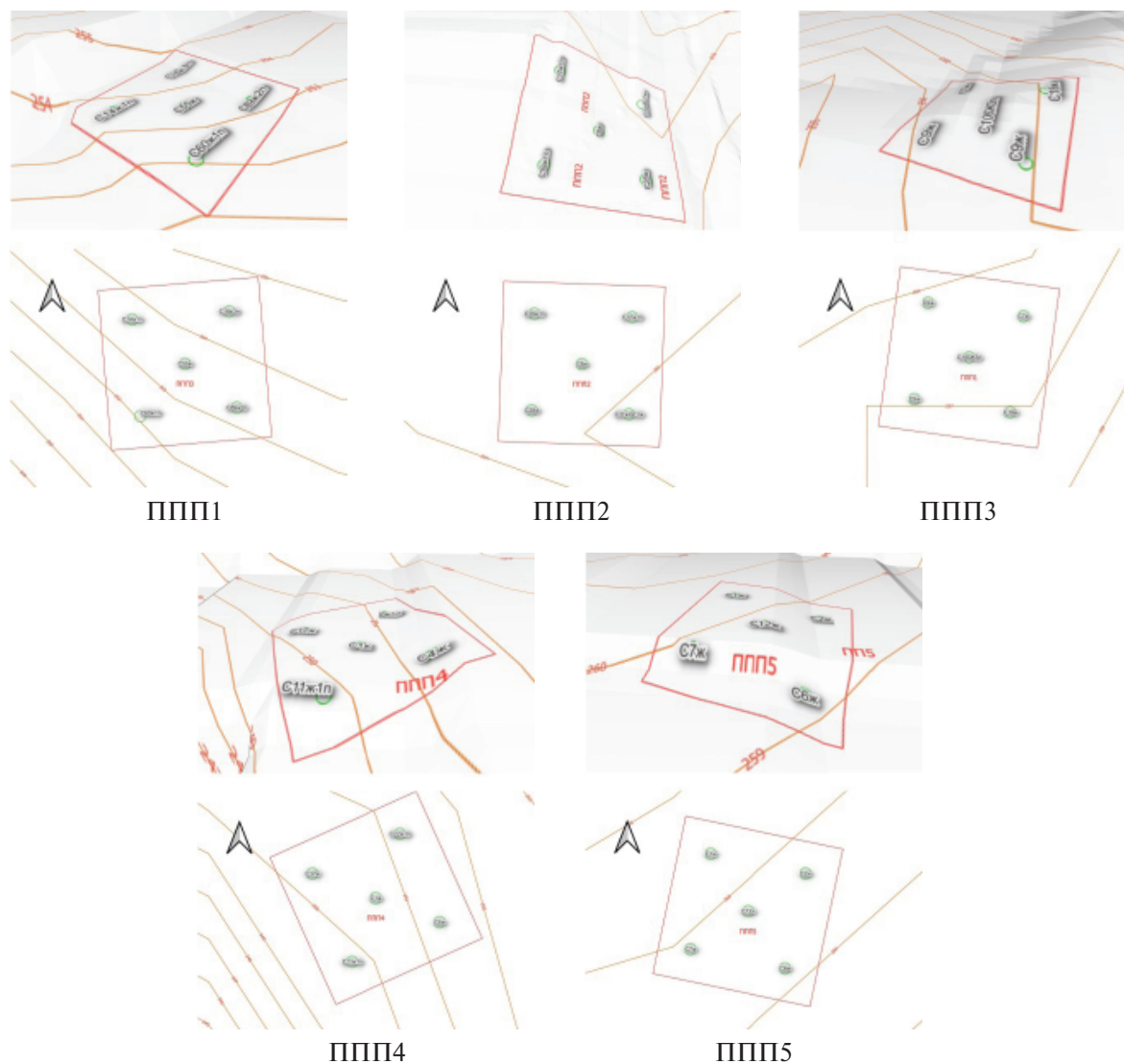


Рис. 3. 3D-модели микрорельефа пробных площадей, с указанием количества подроста на учетных площадках

В результате выполнения работ получены следующие результаты:

1. Создан геоинформационный проект в QGIS, выполнена выборка лесных участков для закладки ППП.
2. При выезде на натурное обследование были намечены расположения углов пробных площадей и выполнены координатные измерения спутниковым оборудованием.
3. Выполнена таксация насаждений и учет подроста на ППП.
4. Данные полевых измерений импортированы в ГИС.

5. Построены модели мезо- и микрорельефа, выполнен геоинформационный анализ.

На плановом изображении у каждой учетной площадки подписан ее номер, порода, количество жизнеспособных и погибших экземпляров. Используя аналитические операции в ГИС, выявлены особенности расположения учетных площадок в модели микрорельефа (высотные отметки центров площадок, экспозиция и крутизна склона). Данные об особенностях микрорельефа и учета подроста на ППП представлены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристики учетных площадок и количество подроста

Номера		Экспозиция	Крутизна, градусы	Высотная отметка центра площадки, м	Количество подроста, шт.	
ПП	УП				Ж	П
1	1	С	1,6	256,9	9	-
	2	С	1,6	256,1	9	-
	3	С	1,3	256,4	7	-
	4	С	1,9	257,1	18	-
	5	С	1,4	256,6	106	3
2	1	З	1,1	255,1	31	-
	2	ЮЗ	0,3	254,1	28	-
	3	ЮЗ	0,5	254,4	39	1
	4	ЮЗ	0,3	254,4	17	1
	5	ЮЗ	1,1	254,2	8	-
3	1	ЮЗ	4,5	252,1	60	1
	2	ЮЗ	2,6	253,6	14	1
	3	ЮЗ	2,4	254,4	18	3
	4	ЮЗ	2,6	253,3	89	2
	5	ЮЗ	2,7	253,5	55	-
4	1	ЮЗ	2,6	251,2	4	-
	2	ЮЗ	3,7	251,3	22	1
	3	ЮЗ	1,6	250,2	17	-
	4	ЮЗ	2,2	249,8	11	1
	5	ЮЗ	2,2	250,6	1	-
5	1	ЮВ	1,6	259,7	2	-
	2	ЮВ	1,8	259,2	6	-
	3	ЮВ	1,6	259,9	7	-
	4	ЮВ	1,4	260,4	1	-
	5	ЮВ	1,6	259,8	12	-

Примечания. 1) УП – учетные площадки

2) Ж – живые экземпляры; П – погибшие экземпляры.

3) На ППП-5 в числителе приведены данные для средневозрастного древостоя, в знаменателе – для единичных спелых деревьев.

Следует отметить, что на всех 25 учетных площадках присутствует только сосновый подрост, встречаемость 100 %, что характеризует его равномерное распределение по площади, высота подроста составляла до 0,5 м.

Особенностью микрорельефа ППП-1 является северная экспозиция склонов всех учетных площадок, диапазон крутизны склонов 1,3–1,9°, при этом количество подроста

на учетных площадках небольшое, кроме центральной, где наблюдается рекордное количество жизнеспособных экземпляров – 106 (69,7 %). Всего на ППП-1 учтено 152 экземпляра подроста.

ППП-2 имеет сложную структуру микрорельефа с переменной экспозицией З-ЮЗ и высотными отметками от 254,1 до 255,1 м, крутизна склонов небольшая. Всего на ППП-

2 учтено 125 экземпляров подроста, из них жизнеспособного – 98,4 %.

На ППП-3 сложились наилучшие условия для появления молодого поколения леса с общим количеством 243 экземпляра, из них жизнеспособного – 97,1 %, микрорельеф отличается ЮЗ экспозицией, диапазоном высотных отметок 252,1–254,4 м и большой крутизной склонов в пределах 2,4–4,5°. Однако здесь наблюдается наибольшее количество погибших экземпляров (7 шт.), что может объясняться высокой плотностью древостоя и, как следствие, высокой конкуренцией за ресурсы среды.

Учетные площадки ППП-4 имеют ЮЗ экспозицию с диапазоном крутизны склонов 1,6–3,7° и высотными отметками 249,8–251,3 м. Общее количество подроста составляет 57 экземпляров, из них жизнеспособного – 96,5 %.

Наивысшее положение в модели мезорельефа имеет ППП-5 со средней высотной отметкой 259,8 м, ЮЗ экспозицией, средней крутизной склонов земной поверхности 1,6°. Общее количество подроста на учетных площадках 28 шт. – это наименьший показатель на объекте исследования.

Изучая модели микрорельефа пробных площадей (см. рис. 3), можно заметить зависимость количества подроста от его формы, на которой расположена учетная площадка: на выпуклой форме рельефа наблюдается наименьшее количество подроста (ППП-1, учетные площадки № 1 и № 3; ППП-2, площадка № 5; ППП-4, площадки № 1 и № 5; ППП-5, площадки №№ 1, 3, 4), на вогнутой форме отмечается наибольшее количество подроста (ППП-1, учетная площадка № 5; ППП-3, учетная площадка № 5; ППП-4 учетные площадки № 2 и 4). Наиболее ярко выраженная вогнутая форма рельефа находится в месте расположения учетной площадки № 5 ППП-1, этим объясняется рекордное количество подроста на этом участке.

Использование методов спутниковых измерений (высотные измерения GNSS-приёмниками) позволяет с высокой точностью позиционировать расположение лесных участков,

пробных площадей, учетных площадок и строить модели рельефа в геоинформационном пространстве. Совмещение данных таксации и построенных моделей в ГИС определяет точное расположение и характеристику лесных участков в планово-высотной привязке. Такой способ отображения результатов полевых измерений повышает качество научных исследований в лесном хозяйстве, при этом есть возможность дополнять модель неучтенными ранее данными и изучать возобновительные процессы под пологом леса более детально.

Все пробные площади находятся в единой системе мезорельефа, который относится к типу «равнина возвышенная», таксационные характеристики произрастающих на ППП насаждений однородны, что позволяет оценить количество подроста в модели микрорельефа каждой ППП и выявить зависимости, объясняющие распределение и количество подроста.

Выводы

Обобщая результаты проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

1. Экспозиция склона и крутизна земной поверхности оказывают значительное влияние на формирование молодого поколения леса под пологом. На участках с определенной экспозицией и крутизной склонов могут наблюдаться различия в количестве и характеристиках жизнеспособности подроста.

2. Участки с более крутыми склонами могут иметь особенности в растительном покрове и способствовать различиям в количестве подроста. ППП-3 выделяется на фоне других участков благоприятными условиями для подроста, несмотря на высокие значения крутизны склонов, что может быть связано с другими факторами, такими как доступность света и влаги. Данный вопрос требует дополнительного изучения.

3. Анализ микрорельефа на всех учетных площадках показал, что неблагоприятные условия для возобновления под пологом в средневозрастных сосновых древостоях скла-

дываются на участках со средней крутизной 1,6° ЮВ экспозиции.

4. В данных лесорастительных условиях наибольшее количества подроста наблюдалось при ЮЗ экспозиции со значениями крутизны 2,4–4,5°.

Исследование выполнено по Государственному заданию FWES-2024–0007, «Роль природных и антропогенных факторов в системе устойчивого управления лесами Сибири». Регистрационный номер НИОКТР 124012900559–4.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бугаева, К.С. Типологическая структура лесов Погорельского бора (Красноярская лесостепь) / К.С. Бугаева // Лесоведение. – 2009. – № 6. – С. 46–53.
2. Захарова, А.Ф. Радиационный режим северных и южных склонов в зависимости от географической широты / А.Ф. Захарова // Ученые записки Ленинградского ун-та. Серия геогр. наук. – 2009. – Вып. 13 (269). – С. 24–49.
3. Ларионов, А.Г. Влияние крутизны склонов на впитывание воды в почву / А.Г. Ларионов // Эрозия почв и русловые процессы. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1973. – Т. 3. – С. 162–167.
4. Мелехов, И.С. Основные понятия о лесе / И.С. Мелехов. – Архангельск : Огиз РСФСР – Сев. краев. изд-во, 1931. – 32 с.
5. Об утверждении перечня лесорастительных зон Российской Федерации и перечня лесных районов Российской Федерации: приказ от 18.08.2014 № 367: измен. и доп. 02.08.23 (принят Минприроды России 18.08.2014). // Законы, кодексы и нормативно-правовые акты Российской Федерации: офиц. сайт / Юридическая информационная система «Легалакт. – URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minprirody-rossii-ot-18082014-n-367/> (дата обращения: 18.04.2025).
6. Морозов, Г.Ф. Учение о лесе / Г.Ф. Морозов – Л. : Изд-во и тип. Гослесбумиздата, 1949. – 456 с.
7. Одум, Ю. Основы экологии / Ю. Одум – М. : Изд-во «Мир», 1975. – 738 с.
8. Приёмник PrinSe i50 / [Электронный ресурс] // АО «Прин» : официальный сайт. – URL: <https://www.prin.ru/gnss/prinse/i50/> (дата обращения: 18.04.2025).
9. Ритм углерода / [Электронный ресурс] // РИТМ углерода – Российские инновационные технологии мониторинга углерода : [сайт]. – URL: <https://ritm-c.ru/> (дата обращения: 18.04.2025).
10. Соколова, Г.Г. Влияние высоты местности, экспозиции и крутизны склона на особенности пространственного распределения растений / Г.Г. Соколова // Acta Biologica Sibirica. – 2016. – Vol. 2, № 3. – P. 34–45.
11. Швиденко, А.З. Переход к устойчивому управлению лесами в России: теоретико-методические предпосылки / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепаченко, З.Ф. Кракснер, А.А. Онучин // Сибирский лесной журнал. – 2017. – № 6. – С. 3–25.
12. Chujo, H. Patterned ground and vegetation in the alpine area of mountain Ontake, central Japan / H. Chujo // Journal sciences Hiroshima university, Ser. 2B. – 1985. – Vol. 19. – P. 171–236.
13. Isard, S.A. Factor influencing soil moisture and plant community distribution on Niwot Ridge, Front Range, Colorado, USA / S.A. Isard // Arctic and Alpine Research. – 1986. – V. 18. – P. 83–96.
14. Körner, C. Alpine Plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems / C. Körner. – Berlin : Springer, 2003. – P. 47–62.
15. Zhang, Y.Z. Physical geography in Tibet / Y.Z. Zhang, D. Zheng, Q.Y. Yang. – Beijing : Science press, 2002. – 178 p.

REFERENCES

1. Bugaeva K.S. Typological structure of forests of Pogorelsky pine forest (Krasnoyarsk forest-steppe). *Forestry [Lesovedenie]*, 2009, no. 6, pp. 46–53.
2. Zakharova A.F. Radiation regime of northern and southern slopes depending on geographical latitude. Scientific notes of Leningrad University. *Series of geogr. Sciences [Uchenye zapiski Leningradskogo un-ta. Seriya geogr. nauk]*, 2009, iss. 13 (269), pp. 24–49.
3. Larionov A.G. The influence of slope steepness on water absorption into the soil. *Soil erosion and channel processes [Eroziya pochv i ruslovyye protsessy]*. Moscow, Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1973, vol. 3, pp. 162–167.
4. Melekhov I.S. Basic concepts about the forest. Arkhangelsk, Ogiz RSFSR – Northern Regional Publishing House, 1931, 32 p.
5. On approval of the list of forest vegetation zones of the Russian Federation and the list of forest regions of the Russian Federation: order of 18.08.2014 No. 367: amended and supplemented 02.08.23 (adopted by the Ministry of Natural Resources of Russia on 18.08.2014). // Laws, codes and regulatory legal acts of the Russian Federation: official website / Legal Information System “Legalact. URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minprirody-rossii-ot-18082014-n-367/> (date of access: 18.04.2025).
6. Morozov G.F. The doctrine of the forest. Leningrad, Goslesbumizdat, 1949, 456 p.
7. Odum Yu. Fundamentals of Ecology. Moscow, Mir Publishing House, 1975, 738 p.
8. PrinCe i50 receiver. [Electronic resource]. JSC “Prin”, official website. URL: <https://www.prin.ru/gnss/prince/i50/> (date of access: 18.04.2025).
9. Carbon Rhythm [Electronic resource]. Carbon Rhythm – Russian innovative carbon monitoring technologies [website]. URL: <https://ritm-c.ru/> (date of access: 18.04.2025).
10. Sokolova G.G. The influence of terrain altitude, aspect and slope steepness on the features of spatial distribution of plants. *Acta Biologica Sibirica*, 2016, vol. 2, no. 3, pp. 34–45.
11. Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Kraxner F., Onuchin A.A. Transition to sustainable forest management in Russia: theoretical and methodological prerequisites. *Siberian Forest Journal [Sibirskij lesnoj zhurnal]*, 2017, no. 6, pp. 3–25.
12. Chujo H. Patterned ground and vegetation in the alpine area of mountain Ontake, central Japan. *Journal sciences Hiroshima university*, Ser. 2B, 1985, vol. 19, pp. 171–236.
13. Isard S.A. Factor influencing soil moisture and plant community distribution on Niwot Ridge, Front Range, Colorado, USA. *Arctic and Alpine Research*, 1986, vol. 18, pp. 83–96.
14. Körner C. Alpine Plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems. Berlin, Springer, 2003, pp. 47–62.
15. Zhang Y.Z., Zheng D., Yang Q.Y. Physical geography in Tibet. Beijing, Science press, 2002, 178 p.

Статья поступила в редакцию 28.04.2025