

УДК 630*116.12

ПЛОТНОСТЬ СНЕГА ПОД ПОЛОГОМ ЕЛОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

О. В. Толкач, Г. Г. Терехов, Н. Н. Теринов

Ботанический сад УрО РАН
620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а

E-mail: tolkach_o_v@mail.ru, terekhov_g_g@mail.ru, n_n_terinov@mail.ru

Поступила в редакцию 24.05.2023 г.

В условиях Среднего Урала на макросклонах восточной и западной экспозиции впервые проведено сравнение плотности снега на небольших открытых пространствах, смежных с лесными насаждениями, и в одновозрастных еловых насаждениях искусственного происхождения. Установлено, что на открытых пространствах на западном макросклоне она как правило выше, чем на восточном. Полог леса несколько уменьшает разницу в плотности снега на лесных полянах, но сохраняет тенденцию повышенной плотности на западном склоне. На обоих склонах наблюдается более высокое варьирование этого показателя под пологом древостоев, чем на лесных полянах, и более существенное – под кронами ели (*Picea A. Dietr.*), чем в междурядьях. За годы наблюдений плотность снега на лесной поляне восточного склона не имеет неоспоримой связи с суммой температур и осадков зимних периодов. При сравнении сезонов наблюдений на лесной поляне западного склона, она различается на достоверно значимом уровне ($p < 0.05$). Полог леса может корректировать особенности погодных условий, и наиболее часто наблюдается отсутствие статистически значимой межсезонной динамики плотности снега на постоянных пробных площадях (ппп) обоих склонов. Сравнение плотности снега под кронами и в междурядьях показало, что как на восточном, так и на западном склонах в междурядьях она плотнее. Так же в пределах сезона особенность строения полога древостоя не создает условий для формирования здесь плотности снега, достоверно различающейся между ппп, за исключением отдельных лет, когда на восточном склоне наблюдаются различия между плотностью снега на ппп с преобладанием доли березы в формуле состава и ппп с чистыми ельниками.

Ключевые слова: лесные культуры ели, макросклоны, экспозиция, плотность снега

DOI: 10.15372/SJFS20240109

ВВЕДЕНИЕ

Формирование снежного покрова и его водный эквивалент определяют гидрологический режим малых и больших водотоков в весенний период. Накопленный к весне снегозапас детерминирован двумя основными параметрами – плотностью снега и высотой его слоя, зависящих от погодных условий текущего года. Высота слоя снега определяется менее трудоемким способом. В настоящее время ведутся работы по ее оценке на больших площадях с привлечением дистанционных методов, вместе с тем получаемые данные имеют довольно высокую ошибку (Кренке и др., 1997), возрастающую при попытках определения мощности слоя снега под пологом леса.

Одной из главных и динамичных характеристик снежного покрова является плотность снега, для определения которой разработан ряд формул, основанных на обобщении эмпирических метеорологических данных. При применении в моделях оценки водного эквивалента снегового покрова полей плотности снега используют расчеты по простым зависимостям, а также могут быть использованы «функция старения» снегового покрова или константные значения. В результате исходные значения плотности снега, а следовательно, и его водного эквивалента содержат ошибки (Казакова, 2015) при определении снегозапасов территорий.

Другая серия формул, предназначенная для расчетов коммунальных, технических, проектных задач при оценке снеговых нагрузок, или

массы 1 м³ снега (Полякова, 2021). Они опираются на предположении о связи высоты снега с его плотностью. Это может быть вполне справедливо при технических расчетах (ГОСТ..., 2017) для открытых мест и ровной поверхности, на которой формируется снежный покров.

При определении оперативной гидрологической ситуации с многообразной ландшафтной структурой территории использование описанных приемов расчетов мало успешно. Задача усложняется при высокой лесистости водосборной площади в сочетании с пестротой видового состава древостоев и разнообразием прочих таксационных характеристик насаждений. Для оценки взаимосвязи высоты и плотности снежного покрова нами на основе литературных источников (Крестовский, 1986; Воронков, 1988; Гапаров, 2006) были рассчитаны коэффициенты корреляции, которые различаются в зависимости от районов исследования и составляют 0.049, 0.32 и –0.44. Все корреляции не являются статистически достоверными при $p < 0.05$. Анализ собственных данных, полученных при снегомерных съемках на Среднем Урале в насаждениях естественного и искусственного происхождения, также не выявил статистически достоверной корреляции между высотой и плотностью снега (Толкач и др., 2019; Толкач, Залесов, 2020). Причины отсутствия искомой связи наиболее детально изложены С. А. Николаевой и А. Н. Пановым (2012), которые указывают, что на формирование плотности снега в насаждениях наряду с метеофакторами влияют микрорельеф, состав древесного яруса, подрост, подлесок, живой напочвенный покров. Все эти компоненты определяют неоднородность структуры слоя снега, и, как следствие, – его плотность. Кроме того, отмечено формирование под кронами деревьев в снеге вертикальных структур из смерзшегося фирна и льда. В то же время вокруг стволиков растений под пологом наблюдается образование воздушных зазоров, которые у поверхности перекрываются свежеснег выпавшим снегом. Таким образом, при относительно одинаковой высоте снега его плотность имеет диапазон дисперсии, который будет препятствовать оценке снегозапасов на основании данных о мощности снежного покрова под пологом леса. Данное утверждение не противоречит модели изменчивости плотности снежного покрова на территории Северной Евразии (Онучин, Буренина, 1996), так как последняя имеет крупномасштабный характер и дает, как отмечают сами авторы, приближенную оценку

плотности снега. В данной работе, как и во многих других, детализация влияния биотических факторов на формирование слоя снега усредняется (Мишон, 2007), что приводит к игнорированию значимости параметров древостоев.

На наш взгляд, на региональном уровне важно подойти к установлению зависимости наиболее динамичного параметра снежного покрова с абиотическими и биотическими факторами для дальнейшего применения в оценке снегозапасов лесопокрытой территории. Иными словами, необходим набор эмпирического материала и его анализ для изучения динамики плотности снега под пологом леса.

Выбор объектов (искусственных дендроценозов), на первом этапе предполагает изучения проблемы в более выровненных условиях. Кроме того, новизна полученных данных определяется тем, что вклад лесных культур в гидрологический режим малых водосборов практически не изучен. Актуальность проблемы также обусловлена увеличивающимся объемом лесокультурного фонда в связи с участвовавшими глобальными лесными пожарами и современными технологиями рубки леса, не обеспечивающими естественного возобновления вырубок.

Цель исследования – оценить плотность снега в еловых молодняках искусственного происхождения при разных погодных условиях зимних сезонов на восточном и западном макросклонах Среднего Урала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследования представляет собой одновозрастные опытные культуры ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), его выбор обусловлен тем, что при рядовом размещении одновозрастных деревьев измерения параметров снега совершаются в наиболее выровненных условиях. Последнее позволяет с большей точностью интерпретировать влияние погодных условий на динамику плотности снега.

Работа проведена в ельниках второго класса возраста искусственного происхождения, на постоянных пробных площадях (ппп), заложенных на восточном и западном макросклонах Среднего Урала. Участки находятся в подзоне южной тайги. По административному делению заложенные ппп располагались на территории Починковского участкового лесничества Невьянского лесничества Свердловской области, по лесорастительному районированию Свердловской

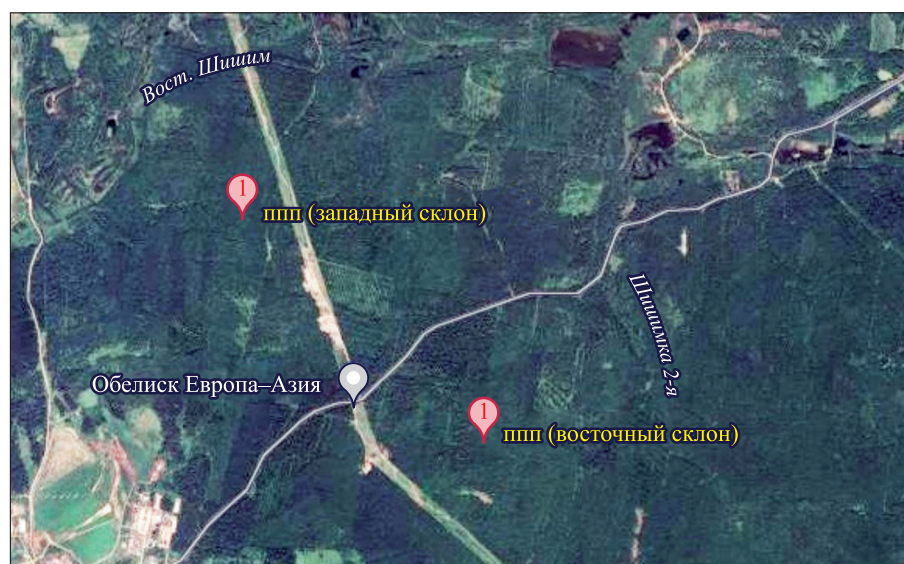


Рис. 1. Схема расположения ппп.

области – в Среднеуральской низкогорной провинции (Колесников и др., 1973). Серии опытных ппп находились в средней части увалов макросклонов Среднего Урала восточной и западной экспозиции. Высота водораздела над уровнем моря составляла 442 м. Между ппп проходила граница «Европа-Азия» с расстоянием между участками 2 км. Их географические координаты – $57^{\circ}05'48''$ с. ш., $59^{\circ}57'32.7''$ в. д. (западный склон) и $57^{\circ}04'52''$ с. ш., $59^{\circ}59'09''$ в. д. (восточный склон) (рис. 1).

Крутизна склонов на ппп восточной и западной экспозиций порядка 2.5° . Направление рядов с севера на юг, поперек склона. Ширина междурядий 2.9–4.4 м. Шаг посадки – 0.75 м. Первый лесоводственный уход – осветление на ппп восточного и западного склонов – проведен на всем участке узокоридорным способом (ширина коридоров вдоль рядов культур – 1.0–2.0 м) через 9 лет после посадки культур. В 18-летнем возрасте культур ели участки разделили по длинной стороне на ппп с различными вариантами лесоводственного ухода. На восточном склоне было заложено 6 ппп, на западном – 3. При изреживании деревьев ели в рядах культур оставлялся промежуток между кронами деревьев 1–2 м.

На ппп после проведения опытных рубок (прочистки) сформированы древостои с разными таксационными характеристиками (табл. 1).

Контрольным вариантом снегомерных наблюдений были смежные с лесокультурными площадями лесные поляны (открытое место) размером 40×60 м, где нивелирован фактор влияния древесного полога. В лесных культурах

как контроль рассматриваются ппп без прочистки в междурядьях.

Наблюдения за формированием плотности снега на ппп на восточном склоне проведены с 2017 по 2022 г., за исключением 2019 г.; на западном – с 2020 по 2022 г. (здесь и далее указан год проведения снегомерных съемок). Метеоданные учитывали за периоды с ноября по март по данным метеостанции, расположенной в пос. Бисерть (западный макросклон) и в г. Ревда (восточный макросклон) (табл. 2).

Из таблицы следует, что наиболее теплым и многоснежным был период 2019–2020 гг., холодным и многоснежным – 2016–2017 гг. и самым малоснежным – 2017–2018 гг.

Исследование плотности снега выполнено в период максимального снегонакопления (конец марта). Снегомерные съемки проводили по методике С. И. Мурашева и В. И. Рутковского (1940). На каждой ппп в 100 точках измеряли толщину снежного покрова и в 15 – массу пробы снега путем взвешивания его проб, взятых снегомерным цилиндром ВС-43.

Все измерения проводили дифференцировано в рядах и междурядьях насаждения. Плотность снега в каждой точке ее определения вычисляли делением массы пробы снега на его объем. Проведен сравнительный анализ плотности снега в еловых молодняках искусственного происхождения с различными вариантами лесоводственного ухода, и на лесных полянах на восточном и западном макросклонах Среднего Урала при различных погодных условиях зимних периодов. Статистическая обработка проведена в программах Statistica 10 и Excel.

Таблица 1. Характеристика ппп

Ппп	Формула состава	Относи- тельная полнота	Высота ели (куль- туры), м	Средний объем кроны, м ³	Способ рубки ухода
Восточный склон					
1в	1Е(л.к.)5Б3Ос1Е (ест.)	1.0	7.1	2.98	Рубка не проводилась (контроль)
1ва	1Е(л.к.)5Б3Ос1Е (ест.)	0.9	8.5	11.1	Контроль без прочистки в междурядьях и с изреживанием ели в рядах
2в	3Е4Б3Ос	0.8	8.7	7.95	Прочистка, коридорный способ (ширина коридоров – 2–4 м) с вырубкой в рядах и междурядьях только тех древесно-кустарниковых пород, крона которых достигала высоты осевой точки роста ели в рядах, в центральной части междурядий деревья лиственных пород, не мешающие росту ели в рядах, были оставлены
2ва	3Е4Б3Ос	0.7	11.7	16.15	Прочистка аналогично секции 2в и с изреживанием ели в рядах
3в	10Е	0.7	10.3	20.52	Прочистка с вырубкой всех хвойно-лиственных деревьев естественного происхождения высотой более 1 м
3ва	10Е	0.5	12.5	25.08	Прочистка аналогично ппп 3в и с изреживанием ели в рядах
Западный склон					
1з	5Е(л.к.)1С2Б1Ос1Е (ест.)	1.0	10.6	2.38	Рубка не проводилась (контроль)
2з	8Е1Б1Ос	0.8	12.8	19.35	Прочистка с вырубкой всех хвойно-лиственных деревьев естественного происхождения высотой более 1 м (аналог ппп 3в)
3з	9Е1Б	0.7	11.8	26.89	Прочистка аналогично ппп 2з и с изреживанием ели в рядах

Примечание. Е – ель, С – сосна (*Pinus* L.), Б – береза (*Betula* L.), Ос – осина (*Populus tremula* L.), л.к. – лесные культуры, ест. – естественного происхождения.

Таблица 2. Характеристика погодных условий зимних периодов

Годы наблюдения	Сумма за зимний сезон		Сумма осадков / сумма температур
	осадков, мм	среднемесячных температур, °С	
Восточный склон			
2016–2017	147	–58.1	2.53
2017–2018	91	–48.9	1.86
2019–2020	145	–26.5	5.47
2020–2021	121	–58.1	2.08
2021–2022	145	–40.4	3.51
Западный склон			
2019–2020	186	–27.6	6.74
2020–2021	116	–56.7	2.05
2021–2022	148	–40.2	3.68

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнение плотности снега между восточным и западным склонами Среднего Урала проведено на ппп за 3-летний период. В первые 2 года наблюдений (2020–2021 гг.) на лесных полянах установлено, что на западном склоне снег на 28–30 % плотнее, чем на восточном. Между склонами по этому показателю имеются статистически достоверные различия, обусловленные метаморфизмом снежного покрова (рис. 2). Разница в плотности снега между склонами за 3 года на лесных полянах составила в среднем 16 %. Эта дельта, относительно невысокая, оказывает серьезное влияние при учете снегозапасов на склонах. Плотность снега зависит от ряда факторов, среди которых немаловажную роль играют процессы метаморфизма, в свою очередь, определяющиеся элементами радиационного баланса, турбулентным теплообменом, испарением или конденсацией (Войтковский, 1989).

Следует отметить, что в зимнее время преобладают ветры западного, северо-западного направлений, т. е. рассмотрены наветренный и подветренный склоны.

Известно, что приход прямой солнечной радиации на склонах восточной и западной экспозиции имеет практически равные значения (Исаков, Шкляев, 2012). Тем не менее западные склоны несколько теплее, чем восточные. На восточные склоны солнечные лучи попадают в утренние часы, и основной расход энергии идет на прогревание дневной поверхности, а западные склоны освещаются во второй половине дня, когда поверхность уже прогрета. (Полякова, 2021), поэтому из-за незначительного инсоляционного воздействия на восточном склоне снег уплотняется в меньшей степени, чем на западном, хотя обе лесные поляны окружены лесом и условия инсоляции у них близкие.

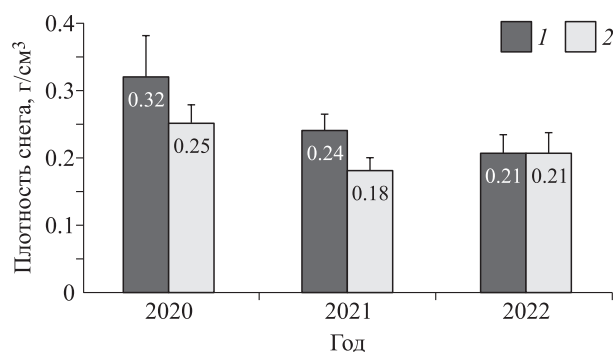


Рис. 2. Плотность снега на лесных полянах западного (1) и восточного (2) склонов Среднего Урала.

Плотность снега на лесных полянах склонов в 2022 г. не различалась. Снежный слой был однородным и состоял из крупнозернистых кристаллов. Вероятной причиной является наиболее низкая средняя температура воздуха в марте (-8.4°C) 2022 г. В предыдущие годы она составляла в марте -6.3°C (2020 г.) и -0.3°C (2021 г.). В данной ситуации эквивалент талой воды на склонах зависит только от мощности снежного покрова.

Полог леса может менять характеристики снежного покрова под ним за счет потери радиационного тепла на кронах и малой интенсивности теплообмена благодаря ослаблению ветра в лесу (Данилик, 1975). Сравнение плотности снега под пологом проведено на участках с аналогичными лесохозяйственными мероприятиями: ппп 1в, 3в и 3ва (восточный склон) и 1з, 2з и 3з (западный склон). Следует отметить, что на перечисленных ппп нет абсолютной идентичности параметров древостоев (табл. 1), поэтому данные о плотности снега в насаждениях следует рассматривать как тенденцию. На всех вариантах на ппп отмечены различия между западным и восточным склонами при погодных условиях одних и тех же зимних сезонов. За период 3-летних наблюдений установлено, что в среднем на западном склоне под пологом снег плотнее на 8–12 %, на лесной поляне – на 16 %. При погодичном сравнении каждой ппп за 2 года (2020, 2021) разница в плотности снега между склонами колебалась от 6 до 26 % в сторону увеличения плотности на западном склоне, т. е. полог насаждений несколько снижает разницу между плотностью снега на склонах по сравнению с открытыми местами, где дельта составляет 28–30 %. Наиболее объективное представление о влиянии леса на соотношение плотности снега на склонах разной экспозиции дает соотношение этого показателя в междурядьях. На контрольных участках в междурядьях снег на западном склоне плотнее на 27 %, на ппп 2з он плотнее, чем на ппп 3в на 15 %, на ппп 3ва и 3з разница составила 10 %, т. е. при снижении плотности рядов в лесных культурах выравнивается микроклимат в насаждениях на склонах.

Для выявления ведущих факторов, определяющих дисперсию плотности снега под пологом леса, проведен факторный анализ (табл. 3).

Матрица признаков включала характеристики древостоев, погодных условий и экспозиции склонов.

В первоначальной матрице использовали все метеофакторы (сумма осадков, сумма темпера-

Таблица 3. Доля признака, определяющего дисперсию плотности снега в ельниках искусственного происхождения в выражении главных компонент

Признак	Фактор		
	1 (55 %)*	2 (24 %)	3 (14 %)
Экспозиция склона	0.03	0.50	0.20
Доля ели в составе древостоя	0.23	0.01	0.02
Полнота древостоя	0.22	0.15	0.06
Высота ели	0.25	0.02	0.01
Средний объем кроны ели	0.26	0.03	0.01
Сумма осадков / сумма температур	0.00	0.30	0.70

* Вклад фактора в дисперсию признака.

тур, отношение суммы осадков к сумме температур), но затем в результате анализа методом главных компонент они были редуцированы.

По результатам анализа выбрано три значимых фактора по критерию «каменистой осыпи». Каждый фактор состоит из суммы переменных, определяющих дисперсию группирующей (плотности снега). При интерпретации факторов, учитывая вклад переменных, нами установлено, что 55 % дисперсии плотности снега определяется биотическими компонентами матрицы. В первую очередь – это объем кроны и высота деревьев ели, затем – состав и полнота древостоя. Вклад экспозиции склона в фактор 2 (24 %) указывает на ее значимость для характеристики динамики плотности снега наряду с метеофакторами, вклад которых составляет около трети в факторе 2 и 0.7 в факторе 3. Таким образом выявлена ведущая роль древостоя, определяющая микроклимат под пологом в формировании

показателей плотности снега. Из абиотических факторов наибольшее влияние оказывает экспозиция склона и лишь затем метеофакторы зимних периодов. Аналогичное распределение факторов влияния на характеристики снежного слоя были нами получены при факторном анализе в естественных насаждениях (Толкач, Залесов, 2020).

На первый взгляд, полученные результаты противоречат модели А. А. Онучина и Т. А. Бурениной (1996), в которой значительная роль в формировании плотности снежного покрова отводится температуре воздуха, а по нашим данным, метеофакторы играют далеко не главную роль. Различия в понимании искомых зависимостей кроется в разном масштабе представленных анализов и в обобщении метаданных лесоводственных параметров древостоев, в том числе включение в анализ данных о плотности снега на лесных полянах, которые нивелируют влияние полога леса при формировании плотности снега. И наконец, авторы отмечают, что предложенная ими карта достаточно схематична и отражает общие закономерности изменения среднесезонных значений плотности снежного покрова.

Формирование плотности снега в насаждениях на западном и восточном склонах имеет свои особенности.

Западный макросклон. Плотность снега варьирует в широких пределах. На открытых участках коэффициент вариации в разные годы изменяется от 10.3 до 18.7 % (рис. 3, табл. 4).

Наиболее высоким он был в 2020 г., отличающемся многоснежной и мягкой зимой (см. табл. 2), вариабельность плотности снега на поляне была выше, чем на ппп по средним показателям

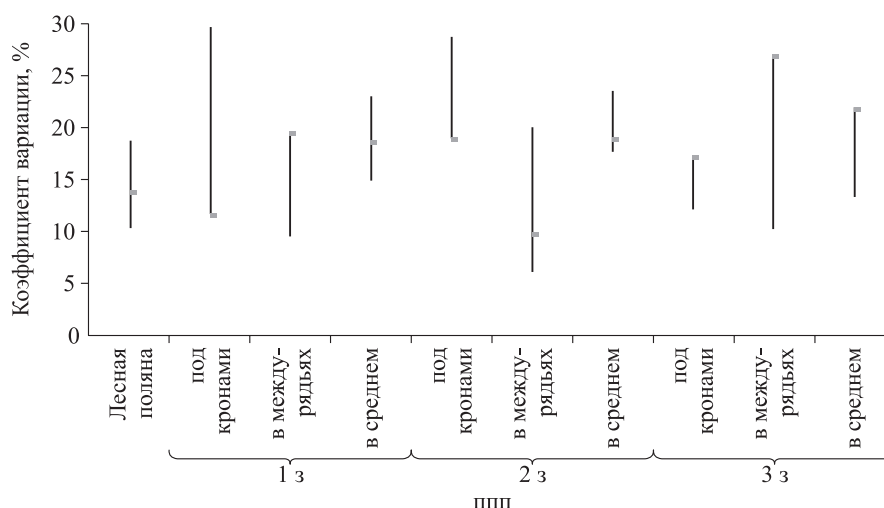
**Рис. 3.** Коэффициент вариации плотности снега на западном склоне.

Таблица 4. Плотность снега на западном склоне, г/см³

Ппп	2020 г.		2021 г.		2022 г.	
	$M \pm m$	V^*	$M \pm m$	V	$M \pm m$	V
Лесная поляна	0.32 ± 0.016 аА**	18.7	0.24 ± 0.006 бА	10.3	0.21 ± 0.007 сА	13.7
1з:						
под кронами	0.29 ± 0.018	17.5	0.25 ± 0.026	29.7	0.18 ± 0.007	11.5
в междурядьях	0.27 ± 0.010	9.6	0.28 ± 0.015	14.9	0.22 ± 0.016	19.5
в среднем	0.28 ± 0.011 бВС	14.9	0.26 ± 0.016 бАВ	23.1	0.20 ± 0.010 аА	18.5
2з:						
под кронами	0.24 ± 0.018	21.7	0.27 ± 0.030	28.8	0.15 ± 0.009	18.7
в междурядьях	0.29 ± 0.007	6.2	0.29 ± 0.020	20.0	0.19 ± 0.007	9.5
в среднем	0.26 ± 0.012 бВ	17.7	0.28 ± 0.017 бВ	23.5	0.17 ± 0.008 аВ	18.8
3з:						
под кронами	0.33 ± 0.015	12.1	0.24 ± 0.015	16.6	0.18 ± 0.011	17.1
в междурядьях	0.28 ± 0.011	11.1	0.22 ± 0.008	10.3	0.19 ± 0.019	26.7
в среднем	0.30 ± 0.011 бСА	13.4	0.23 ± 0.008 сА	14.0	0.18 ± 0.010 аВА	21.8

Примечание. Здесь и в табл. 5: V – коэффициент вариации. Буквы показывают статистически значимые различия между вариантами ($p < 0.05$): строчные – в строках, прописные – в столбцах.

телям. В остальные годы наблюдений диапазон изменений плотности снега на лесной поляне ниже, чем под пологом.

Коэффициенты вариации в 2021 и 2022 гг. составляли 10–13 % на поляне и 14–23 % в среднем на ппп. При дифференциации показаний плотности снега на ппп по местоположению – под кронами и в междурядьях, диапазон коэффициента вариации был соответственно 29.7 и 6.2 % в 2020 и 2021 гг. Как правило, коэффициент вариации плотности снега выше под кронами ели, чем в междурядьях. Это связано с сочетанием участков с фрагментарным задержанием снега и последующем уплотнении его при осыпании с крон деревьев, затенением кронами или, наоборот, проникновением солнечных лучей к поверхности снега. Разница между коэффициентами вариации плотности снега под кронами и в междурядьях зависит от сочетания погодных условий зимних периодов и от особенностей строения древостоя. Она может колебаться от 1 до 15.5 %. Наименьшие различия вариации плотности снега под кронами и в междурядьях отмечены на ппп 3з с разреженными рядами и полнотой 0.7 в первые 2 года наблюдений. Особенности погодных условий 2022 г. привели к увеличению вариабельности плотности снега в междурядьях на ппп за счет присутствия древесной растительности в междурядьях в одном случае (1з) и в связи с более изреженным пологом древостоя в другом (3з).

При сравнении сезонов наблюдений, но на одних и тех же ппп, плотность снега на лесной поляне различается на достоверно значимом

уровне ($p < 0.05$). Таким же образом данные по плотности снега погодично различаются на ппп 3з, т. е. в обоих случаях наблюдается отчетливая реакция на погодные условия зимних сезонов. На остальных ппп западного склона отсутствуют достоверно значимые различия ($p < 0.05$) между плотностью снега на одних и тех же участках в 2020 и 2021 гг., несмотря на различные характеристики метеоусловий зимних сезонов, т. е. существующий комплекс метеофакторов и влияние полога нивелируют различия между погодными условиями сезонов.

При сравнении плотности снега в одном и том же зимнем сезоне на разных ппп западного макросклона установлено, что достоверно значимые различия наблюдались в 2020 и 2021 гг. между показателями на ппп 2з и 3з за счет строения рядов лесных культур. В 2022 г. отмечены различия между плотностью снега на ппп 2з и 1з. При сравнении плотности снега под кронами и в междурядьях установлено (табл. 4), что, как правило, под кронами плотность снега была незначительно ниже, чем в междурядьях. Разница составляла 9–11 %, но в нескольких случаях – 22 %. Исключение составлял в 2020 и 2021 гг. участок с разреженными рядами ели (ппп 3з), а также в 2020 г. – участок с междурядьями, заросшими сопутствующими деревьями и кустарниками (ппп 1з). В первом и втором случаях плотность снега под кронами и в междурядьях была практически одинаковой. Лишь в 2020 г. на ппп 3з под кронами она была на 14 % выше, чем в междурядьях. По-видимому, таким образом проявилось влияние погодных условий исклю-

чительно теплой зимы и высокая разреженность полога.

При погодичном сравнении плотности снега на лесной поляне на ппп под кронами и в междурядьях установлено, что, как правило, на поляне она выше на 3–19 % и только в 2021 г. практически сравнялась с плотность снега на ппп, где была на 0.5–1 % выше, чем на поляне.

Корреляционный анализ между выборками плотности снега (нестабильный, динамичный показатель) и биотическими, абиотическими факторами не обнаружил связи. Вполне понятно, что корреляционная матрица связи параметров древостоя и плотности снега за 3-летний период недостаточна, поскольку параметры древостоя статичны, в отличие от динамики плотности снега, которая обусловлена метеофакторами. При рассмотрении зависимости между плотностью снега, исходя из среднеарифметических показателей, и ряда метеоусловий зимних сезонов статистически достоверной корреляции не выявлено. Однако получены довольно высокие показатели корреляции с метеофакторами на лесной поляне и ппп 3. Коэффициенты корреляции составляли с суммой осадков 0.71 и 0.66, с суммой температур –0.62 и –0.56, с отношением сумм осадков и температур – 0.79 и 0.75 соответственно, на остальных ппп они не превышали 0.28.

Восточный склон. На восточном склоне коэффициент вариации плотности снега в разные годы и на различных ппп мог составлять от 3.2 до 31.0 % (табл. 4). На лесной поляне он колеблется от 11.2 до 14.5 %, с максимумом в 2018 г. Анализ погодичной динамики коэффициента

вариации средней плотности снега на ппп относительно вариации плотности снега на поляне показал, что отсутствует закономерность соотношения варьирования плотности снега на поляне и под пологом леса. В 13 случаях из 25 на ппп он выше, чем на открытом месте.

Как правило, он выше на ппп 3в и 3ва (чистые ельники), но в отдельные годы подобная ситуация наблюдается на остальных ппп.

При рассмотрении амплитуды колебаний плотности снега в зависимости от строения полога и соответственно его состава очевидны ее высокие значения под кронами и в целом на ппп чистых ельников искусственного происхождения (рис. 4).

Наименьшая амплитуда колебаний коэффициента вариации плотности снега наблюдалась на ппп 1ва с преобладанием лиственных пород. Междурядья здесь практически не выражены за счет зарастания лиственными породами, ряды ели разрежены, т. е. особенности полога ппп 1ва выравнивают условия формирования и температурноградиентного метаморфизма снежного покрова. При рассмотрении соотношения коэффициента вариации плотности снега под кронами ппп и в междурядьях отмечена тенденция увеличения варибельности анализируемого показателя под кронами относительно междурядий. Особенно явно она прослеживается в сезоны 2020 и 2021 гг. В течение всех лет наблюдений на ппп 2ва коэффициент вариации под кронами был выше, чем в междурядьях, в 1.5–2 раза. Таким образом, как уже отмечалось ранее, под кронами деревьев ели создаются более неоднородные условия, чем в междурядьях, в которых

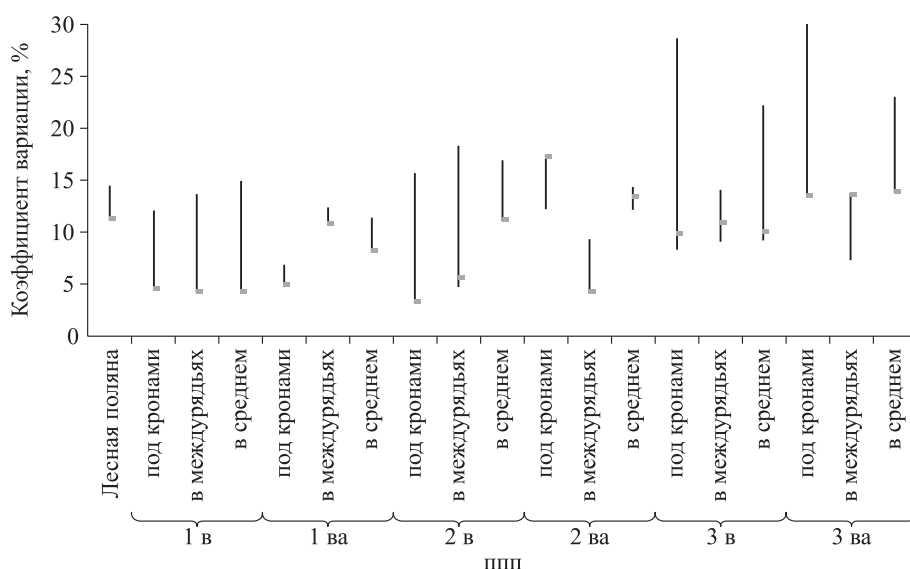


Рис. 4. Коэффициент вариации плотности снега на восточном склоне.

Таблица 5. Плотность снега на восточном склоне, г/см³

Ппп	2017г.		2018 г.		2020 г.		2021 г.		2022 г.	
	$M \pm m$	V	$M \pm m$	V	$M \pm m$	V	$M \pm m$	V	$M \pm m$	V
Лесная поляна	$0.22 \pm 0.007 \text{ dA}^{**}$	12.4	$0.17 \pm 0.007 \text{ aB}$	14.6	$0.25 \pm 0.007 \text{ bA}$	11.3	$0.18 \pm 0.005 \text{ aA}$	11.2	$0.21 \pm 0.007 \text{ dA}$	13.5
1в: под кронами в междурядьях в среднем	– – $0.22 \pm 0.011 \text{ aA}$	– – 18.7	– – –	– – –	0.24 ± 0.005 0.27 ± 0.013 $0.25 \pm 0.007 \text{ bA}$	5.9 12.5 11.4	0.21 ± 0.006 0.22 ± 0.009 $0.21 \pm 0.005 \text{ aB}$	6.9 11.2 9.2	– – –	– – –
1в: под кронами в междурядьях в среднем	– – $0.23 \pm 0.007 \text{ aBA}$	– – 12.0	– – –	– – –	0.23 ± 0.006 0.28 ± 0.014 $0.25 \pm 0.010 \text{ bA}$	7.0 13.7 15.0	0.20 ± 0.008 0.23 ± 0.009 $0.21 \pm 0.008 \text{ aB}$	12.1 10.2 13.9	0.23 ± 0.004 0.22 ± 0.004 $0.22 \pm 0.003 \text{ aAB}$	4.4 4.3 4.4
2в: под кронами в междурядьях в среднем	– – $0.23 \pm 0.005 \text{ aJA}$	– – 9.4	– – $0.19 \pm 0.006 \text{ dA}$	– – 6.8	0.22 ± 0.010 0.25 ± 0.008 $0.24 \pm 0.007 \text{ cJA}$	12.2 8.0 12.2	0.19 ± 0.012 0.23 ± 0.007 $0.21 \pm 0.008 \text{ aB}$	15.9 9.4 14.4	0.25 ± 0.015 0.23 ± 0.004 $0.24 \pm 0.008 \text{ bJB}$	17.3 4.2 13.4
2в: под кронами в междурядьях в среднем	– – $0.22 \pm 0.006 \text{ aA}$	– – 10.0	– – –	– – –	0.24 ± 0.013 0.25 ± 0.005 $0.24 \pm 0.007 \text{ bDA}$	15.6 4.8 11.6	0.21 ± 0.012 0.23 ± 0.014 $0.22 \pm 0.010 \text{ adB}$	14.5 18.4 17.0	0.22 ± 0.002 0.23 ± 0.005 $0.22 \pm 0.003 \text{ aAB}$	3.3 5.6 5.1
3в: под кронами в междурядьях в среднем	– – $0.25 \pm 0.007 \text{ bV}$	– – 11.2	0.19 ± 0.016 0.19 ± 0.034 $0.19 \pm 0.025 \text{ aAB}$	8.6 18.1 16.4	0.19 ± 0.023 0.25 ± 0.007 $0.23 \pm 0.013 \text{ bVA}$	31.0 7.3 23.1	0.18 ± 0.014 0.20 ± 0.009 $0.19 \pm 0.008 \text{ dA}$	21.7 13.1 17.5	0.21 ± 0.010 0.23 ± 0.012 $0.22 \pm 0.008 \text{ vAB}$	13.3 13.7 13.9
3в: под кронами в междурядьях в среднем	– – $0.25 \pm 0.007 \text{ adV}$	– – 10.7	0.19 ± 0.025 0.20 ± 0.021 $0.21 \pm 0.007 \text{ bA}$	10.1 16.4 13.8	0.24 ± 0.007 0.25 ± 0.008 $0.24 \pm 0.006 \text{ cDA}$	8.3 9.1 9.3	0.23 ± 0.023 0.24 ± 0.013 $0.23 \pm 0.013 \text{ bdB}$	28.8 14.1 22.2	– – –	– – –

солнечные лучи касаются снега совсем непродолжительное время. Однако соотношение коэффициента вариации плотности снега под кронами ппп и в междурядьях можно рассматривать лишь как тенденцию, так как временами может наблюдаться и обратная картина. Например, на ппп 1ва коэффициент вариации был ниже под кронами на 38 и 53 % в 2020 и 2021 гг.

Плотность снега на лесной поляне в разные годы составляла от 0.174 до 0.251 г/см³. На поляне достоверно значимые различия между ее значениями в 2017 и 2022 гг., 2018 и 2021 гг. не наблюдались. В паре 2018 и 2021 гг. погодные условия были близки, а идентичное формирование плотности снега в 2017 и 2022 гг., несмотря на значительные отличия рассмотренных погодных условий, указывает на возможное влияние дополнительных метеофакторов. Наличие лесного полога корректировало влияние метеофакторов зимних сезонов на плотность снега, однако на ппп 1в, 2в и 2ва с высокой долей лиственных в составе не было различий по плотности снега между сезонами 2017 и 2022 гг., а на ппп 3в – между сезонами 2018 и 2021 гг. В зависимости от особенностей строения полога древостоев при погодичном сравнении плотности снега на ппп идентичная плотность наблюдалась в 2017 и 2020 гг., 2017 и 2021 гг. на 4 из 6 ппп (табл. 5). Следовательно, полог леса нивелирует метеофакторы, определяющие плотность снега.

Для определения влияния особенностей строения полога древостоев на плотность снега провели ежегодное его сравнение между ппп. Установлено, что при погодных условиях 2018, 2020, 2022 гг. не отмечено статистически достоверной разницы ($p < 0.05$) плотности снега между вариантами в среднем на ппп.

В 2020 г. плотность снега на всех ппп и на лесной поляне также статистически достоверно не различалась (табл. 5). В 2017 г. достоверно значимые различия отмечены на лесной поляне, на ппп с присутствием лиственных пород в пологе и с чистыми ельниками (ппп 3в и 3ва). В 2021 г., напротив, идентичная плотность снега была на поляне и в ельнике с изживанием в рядах. Между остальными ппп в 2021 г. различий по плотности снега не было.

Как правило, на поляне на восточном склоне, в отличие от западного, плотность снега ниже (3–29 %), чем под пологом древостоев на ппп, за исключением 2020 г., когда она была на 3–10 % выше под кронами и в междурядьях на восточном склоне, как и на западном, в междурядьях снег плотнее. В процентном отношении диа-

пазон разницы в плотности составляет от 3 до 24 %. Среднее арифметическое и медиана разницы в плотности снега под кронами и в междурядьях совпадают и составляют 9 %.

Корреляционный анализ между метеорологическими факторами и данными средней плотности снега на ппп восточного склона показал высокую достоверную связь между плотностью снега на поляне и ппп 1ва (0.90–0.99) и отношением сумм осадков к зимним температурам. Остальные коэффициенты корреляции, хотя и высокие (порядка 0.6–0.9), не являются статистически достоверными. Полученные корреляции, на первый взгляд, не соответствуют данным, представленным в табл. 5, и сравнительному анализу плотности снега под пологом насаждений, изложенному выше. Основная причина в том, что рассмотрены зависимости между плотностью снега и метеорологическими факторами на каждой ппп, т. е. параметры древостоя статичны. Несмотря на отсутствие достоверных значений коэффициентов, отметим лишь как тенденции прямо пропорциональную высокую корреляцию плотности снега с суммой осадков зимнего периода на всех ппп, кроме 2в (доля ели в формуле состава соответствует 3); высокую обратно пропорциональную с суммой температур на всех ппп, кроме ничтожно низкой в чистых ельниках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при всей сложности выявления закономерности динамики плотности снега под пологом лесных насаждений можно прийти к некоторым выводам. Наибольшее влияние на дисперсию плотности снега оказывают параметры деревьев ели, полнота и состав древостоев. Плотность снега на западном макросклоне Среднего Урала на лесопокрытой территории выше, чем на восточном. Наибольшая разница между склонами в плотности снега наблюдается на лесных полянах, наименьшая – под кронами ели. На западном склоне отмечено более дифференцированное влияние строения полога на плотность снега, чем на восточном, при разных погодных условиях сезонов. При статичных и специфических особенностях строения полога прослеживается влияние метеофакторов на плотность снега. Эта зависимость более значительная на восточном склоне.

Дальнейшие исследования следует направить на расширение базы эмпирических данных динамики плотности снега под пологом леса

с целью выявления возможной закономерности влияния таксационных характеристик древостоев и метеорологических характеристик зимних сезонов на этот показатель. В случае выявления устойчивых закономерностей, возможно повышение точности прогнозов снегозапасов под пологом насаждений.

Работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического сада УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Войтковский К. Ф. Лавиноведение. М.: Изд-во МГУ, 1989. 158 с.
- Воронков Н. А. Роль лесов в охране вод. Л.: Гидрометеониздат, 1988. 286 с.
- Гапаров К. К. Динамика снегонакопления в еловых насаждениях // Лесоводственные и лесокультурные исследования в Кыргызстане. Бишкек: НАН Кыргызской Респ. Ин-т леса и ореховодства им. П. А. Гана, 2006. Вып. 19. С. 24–31.
- ГОСТ Р ИСО 4355-2016. Национальный стандарт Российской Федерации. Основы проектирования строительных конструкций. Определение снеговых нагрузок на покрытия. Дата введения 01.07.2017. М.: Стандартинформ, 2017. 58 с.
- Данилик В. Н. Снегонакопление, снеготаяние и сток в горных темнохвойных лесах Среднего Урала // Леса Урала и хоз-во в них. 1975. Вып. 8. С. 77–92.
- Исаков С. В., Шкляев В. А. Оценка поступления солнечной радиации на естественные поверхности с применением геоинформационных систем // Геогр. вестн. 2012. № 1 (20). С. 72–80.
- Казакова Е. В. Ежедневная оценка локальных значений и объективный анализ характеристик снежного покрова в рамках системы численного прогноза погоды COSMO-RU: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 25.00.30. М.: Гидрометеоцентр России, 2015. 24 с.
- Колесников Б. П., Зубарева Р. С., Смолоногов Е. П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Свердловск: Урал. науч. центр АН СССР, 1973. 175 с.
- Кренке А. Н., Китаев Д. М., Турков Д. В. Изменения снежного покрова и их климатическая роль // Криосфера Земли. 1997. Т. 1. С. 39–46.
- Крестовский О. И. Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. Л.: Гидрометеониздат. 1986. 119 с.
- Мишон В. М. Теоретические и методические основы оценки ресурсов поверхностных вод в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения Европейской части России: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук: 25.00.27. Воронеж: Воронеж. гос. пед. ун-т, 2007. 40 с.
- Мурашев С. И., Рутковский В. И. Методика изучения снегового режима в лесах // Тр. ВНИИЛХ. 1940. Вып. 14. 32 с.
- Николаева С. А., Панов А. Н. Структура снежного покрова под пологом лиственно-сосновых сообществ на Обь-Томском междуречье // Климатология и гляциология Сибири: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., Томск, 16–20 октября 2012 г. Томск: ЦНТИ, 2012. С. 177–179.
- Онучин А. А., Буренина Т. А. Пространственно-временная динамика плотности снежного покрова на территории Северной Евразии // Метеорол. и гидрол. 1996. № 12. С. 101–111.
- Полякова Е. В. Геоэкологический анализ территории Севера Русской плиты средствами цифрового моделирования рельефа: возможности и практическое применение: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук: 1.6.21. Архангельск: Фед. иссл. центр компл. изуч. Арктики, 2021. 38 с.
- Толкач О. В., Залесов С. В. Снегонакопление под пологом леса на Среднем Урале // Геогр. и природ. ресурсы. 2020. № 1 (160). С. 106–112.
- Толкач О. В., Терехов Г. Г., Залесов С. В., Фрейберг И. А., Соловьев В. М. Формирование снегозапасов в еловых насаждениях искусственного происхождения на Среднем Урале // Естеств. и тех. науки. 2019. № 11 (137). С. 188–191.

DENSITY OF SNOW UNDER THE CANOPY OF ARTIFICIAL SPRUCE STANDS IN THE MIDDLE URALS

O. V. Tolkach, G. G. Terekhov, N. N. Terinov

*Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Ural Branch
8 Marta str., 202a, Yekaterinburg, 620144 Russian Federation*

E-mail: tolkach_o_v@mail.ru, terekhov_g_g@mail.ru, n_n_terinov@mail.ru

The comparison of snow density in small open spaces adjacent to forest stands and under the canopy of spruce stands located on the macroslopes of the Middle Urals of the eastern and western expositions was carried out. It was found that the density of snow in open spaces on the western macroslope is usually higher than on the eastern one. The forest canopy somewhat reduces the difference in the amount of snow density observed between forest clearings, but maintains a tendency of increased density on the western slope. On the western and eastern slopes, there is a higher variation in snow density under the canopy of stands than in forest clearings and a more significant variation under the crowns of spruce (*Picea A. Dietr.*) than in the aisles. On the eastern slope, the dynamics of snow density in forest clearings over the years of observations has no indisputable connection with the sum of temperatures and precipitation of winter periods. On the western slope, when comparing between the observation seasons, the snow density in the forest clearing differs at a reliable significant level ($p < 0.05$). The canopy of the forest can regulate the peculiarities of weather conditions, and most often, there is no statistically significant inter-seasonal dynamics of snow density on the permanent trial square of both slopes. A comparison of the snow density under the crowns and in the aisles showed that both on the eastern and western slopes the snow in the aisles is denser. Also, within the season, both on the eastern slope and on the western slope, the peculiarity of the canopy structure of the stand does not create conditions for the formation of snow density significantly different between the permanent trial square. Except for some years when differences are observed on the eastern slope between the density of snow on the permanent trial square with a predominance of the birch proportion in the composition formula and permanent trial square with pure spruce forests.

Keywords: *spruce forest crops, macroslopes, exposure, snow density.*

How to cite: Tolkach O. V., Terekhov G. G., Terinov N. N. Density of snow under the canopy of artificial spruce stands in the Middle Urals // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2024. N. 1. P. 78–89 (in Russian with English abstract and references).