



Особенности распределения снежного покрова в насаждениях Рудного Алтая

Калачев А., Оканов К., Роговский С.

ТОО «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана», 021704, Республика Казахстан, г. Щучинск, ул. Кирова, 58

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты изучения формирования и особенностей снежного покрова в пихтовых насаждениях в сравнении с открытым закустаренным участком в условиях Юго-Западного Алтая, полученные за снежный период 2020-2021 гг. На распределение и характеристики снега в пихтарниках влияет древостой через задержание снега кроной, собирание снега по ее периметру и, как следствие, образование приствольных сугробов, при этом большее количество снега скапливается между деревьями и на небольших опушках. Максимальная мощность снежного покрова в пихтовых древостоях колеблется от 80 см (под кронами) до 150 см (между деревьями и по опушкам). На открытом (контрольном) участке распределение снега более равномерное - от 126 до 135 см. В период максимального снегонакопления плотность снега в пихтовых насаждениях колеблется от 0,19 до 0,26 г/см³, а на контроле значения колеблются в пределах от 0,24 до 0,29 г/см³. Влажность снежного покрова также имеет существенные различия между пихтовым насаждением и контролем и составляет 258,3 ± 13,47 мм и 279,7 ± 12,80 мм соответственно. Полный сход снежного покрова на контрольном (заросшем) участке завершился во второй декаде апреля, а в пихтовых насаждениях он произошел во второй декаде мая. Полученные результаты свидетельствуют о том, что пихтовые насаждения на речных водосборных бассейнах увеличивают задержание зимних осадков и замедляют их таяние, что приводит к более равномерному переходу воды в подповерхностный сток и более длительному периоду восполнения речных вод.

Подана в редакцию:
4 февраля 2022

Принята к публикации:
31 декабря 2022

Доступ онлайн:
14 февраля 2023

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Рудный Алтай,
пихтарники, снежный
покров, формирование,
характеристика.

Для корреспонденции Калачев А. ✉ Kalachev_75_los@mail.ru ТОО «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана», 021704, Республика Казахстан, г. Щучинск, ул. Кирова, 58

1. Введение

Значение мониторинга и оценки изменчивости снеготаяния в речных бассейнах трудно переоценить, учитывая их практическую значимость и наблюдаемые в последние десятилетия климатические изменения. Резкий подъем речного стока в период снеготаяния, определяющего его годовые аномалии, ставит задачу прогноза весеннего стока в целях предотвращения негативных последствий аномального подъема воды и учета водообеспеченности, необходимого для развития и экологической безопасности крупных регионов (Попова и др., 2021).

В Российской Федерации для оценки и прогнозирования объемов весеннего стока используется сеть маршрутной снегомерной съемки Росгидромета, которая с 1966 г. проводит регулярные измерения толщины, плотности и водного эквивалента снега (ВЭС) в речных бассейнах. Однако наблюдаемые многолетние ряды характеристик снежного покрова нередко имеют разную длину, пропуски и прочие нарушения в наблюдениях, которые требуют восстановления непрерывности и однородности ряда. Поэтому важными моментами таких исследований являются одинаковые климатические условия, состав насаждений и определенный период их проведения. В связи с отсутствием подобных маршрутных снегомерных съемок на Рудном Алтае весьма актуальным является необходимость проведения натурных исследований в районе мониторинга.

Согласно принятой системе лесорастительного районирования, юго-западная часть Алтае-Саянской лесорастительной области выделена в Западно-Алтайскую лесорастительную провинцию, а ее юго-западная часть - в особый регион - Юго-Западный округ пихтовых лесов. Его именуют Рудным Алтаем, благодаря значительным запасам полиметаллических руд. В регионе преобладает формации темнохвойных лесов - черневая тайга. Основной представитель - пихта сибирская (*Abies sibirica* Ldb.).

Климат региона характеризуется как резко континентальный. Среднегодовое количество осадков составляет 650 мм. Количество осадков зависит от высоты местности. В отдельные дождливые годы годовая сумма осадков может достигать 1500 мм даже в нижней лесной зоне. Снежный покров образуется ежегодно и держится в среднем около 170 дней. Обычно снежный покров появляется в середине октября, а на вершинах гор - в конце августа. Устойчивый снежный покров достигает максимума в феврале - середине марта. Ввиду сложности рельефа в распределении снежного покрова по территории региона отмечаются большие колебания: от 80 см до 4-5 м. Запасы воды в снеге перед началом снеготаяния отмечаются в пределах 20-400 мм. Сход снега происходит в середине и конце апреля, причем повторное кратковременное образование снежного покрова возможно даже в мае.

Темнохвойные леса Рудного Алтая выполняют локальные, региональные и глобальные функции регулирования климата, защиты почвы, гидрологические и многие другие средозащитные функции: являются основным местом формирования стока р. Иртыш, осуществляют постепенный перевод поверхностного стока во внутрипочвенный, благотворно влияют на здоровье населения и др.

На протяжении последних двух столетий леса региона подвержены воздействию пожаров и рубок. В результате такого природного и антропогенного процесса произошло разрушение коренных хвойных насаждений с образованием лиственных и кустарниковых сообществ, а также безлесных пространств, которые не в полной мере выполняют заложенные в них средозащитные и гидрологические функции. Одним из основных отрицательных результатов подобного воздействия является изменение режима внутрипочвенного стока, выполняемого лесными насаждениями. В результате этого изменяется гидрологический режим территории, происходит сезонное перераспределение стока основных водных артерий региона, что приводит к резким подъемам уровня воды в реках в периоды весеннего половодья и дождевых паводков.

Изменение ресурсов воды взаимосвязано с динамикой лесистости водосборных бассейнов, которая, в свою очередь, зависит от степени антропогенного воздействия. Наиболее ясно это наблюдается в регионах, в которых имеется дефицит пресной воды. Это очень острая проблема Средней Азии, где основным потребителем воды является сельское хозяйство: растениеводство, животноводство и т. д. (Онучин и др., 2008; Калашникова, Гафуров, 2017).

В Республике Казахстан исследования по изучению водоохранно-защитной роли лесов в свое время не получили развития. В период 1966-1970 гг. сотрудниками КазНИИЛХА проведены работы в сосновых лесах Казахского мелкосопочника. В период 1987-1989 гг. Н. И. Высоцким проведены исследования в пихтовых лесах Алтая, направленные на изучение влияния сплошных концентрированных рубок на гидрологический режим, в которых он анализировал показатели внутригодового стока по периодам (до рубки и после рубки), увязав с солнечной активностью.

В период 2020-2021 гг. начаты работы по изучению влияния состава насаждений на гидрологический режим в условиях Рудного Алтая. Одной из поставленных задач исследований является изучение влияния березовых, пихтовых, осиновых насаждений и закустаренных участков на снегоотложение, снеготаяние и основные характеристики снегового покрова. Результаты натурных исследований позволят научно обосновать основные принципы лесопользования в границах водосборных площадей, основанные на бассейновом подходе. Они расширяют существующие представления по вопросам гидрологической роли темнохвойных лесов; могут быть включены в общую (глобальную) базу данных и использоваться для построения универсальной модели, которая отражает

зависимость коэффициента снегозапасов от ряда характеристик древостоев и климатических условий, оказывающих влияние на формирование снежного покрова в лесу.

Аналитический обзор

Большинство рек зоны бореальных лесов имеют преимущественно снеговое питание, поэтому гидрологи, работающие в Северной Евразии и Северной Америке, всегда уделяли большое внимание изучению водного потенциала снега и вопросам снеготаяния, что актуально для водного режима рек (Шмакин и др., 2009; Шмакин, 2010; Быков, Попов, 2011; Brun et al., 2013; Руководство по гидрологической практике, 2011; Булыгина и др., 2017; Попова и др., 2018). При этом значительное внимание в этих исследованиях уделялось влиянию леса на аккумуляцию снега на водосборе и на режим его таяния (Лебедев, 1982; Онучин, 2001, 2015; Буренина и др., 2002; Онучин и др., 2007; Onuchin, Burenina, 2008, 2010).

Лес двояко влияет на снегонакопление. С одной стороны, полог хвойных насаждений задерживает часть выпадающего снега, который испаряется интенсивнее, чем на открытых пространствах, и тем самым уменьшает снегозапасы. С другой стороны, лес предохраняет проникший под полог снег от воздействия солнечной радиации и, соответственно, испарения, выдувания и снеготаяния в период оттепелей, способствуя тем самым снегонакоплению. Проводя многолетние наблюдения снегонакопления в лесу и на открытых участках, некоторые исследователи на одних и тех же объектах получали разные результаты (Рутковский, 1956; Сабо, 1956). Причины этого феномена обсуждаются в литературе (Рахманов, 1984; Онучин, 2001; Buttle и др., 2005; Onuchin, Burenina, 2008, 2010). Несмотря на существующие противоречия в оценке влияния леса на снежный покров, существуют общие закономерности изменения снегозапасов в лесу с изменением сомкнутости, возраста, полноты, состава, запаса надземной фитомассы и других таксационных и биометрических показателей насаждений (Воронков, 1988; Грудинин, 1979, 1981; Онучин, Борисов, 1982).

В качестве критерия оценки снегонакопления в лесах используются относительные величины, так называемые коэффициенты снегозапасов или коэффициенты снегонакопления, представляющие собой отношение снегозапасов в лесу к снегозапасам на небольших открытых участках среди леса. Эти коэффициенты характеризуют снегоаккумулирующие способности насаждений и одновременно позволяют судить о величине твердых атмосферных осадков, перехваченных пологом леса. Коэффициенты снегозапасов могут выражаться как в долях единицы, так и в процентах (Онучин, 1987).

Miller (1967) в свое время предположил, что морфология растительного покрова и климат влияют на скорость задержания снега кронами деревьев и

на максимальную способность его удерживать и что перехваченный снег может быть удален с полога тремя способами: сублимацией, механическим удалением (скольжение, ведущее к массовому выбросу) и капанием талой воды.

По утверждению Storck, Lettenmaier & Bolton (2002), прогнозирование развития снежного покрова на лесных территориях является очень сложным. Последние достижения в понимании и моделировании влияния лесных покровов на динамику наземного снежного покрова связаны с двумя основными направлениями: (1) количественная оценка энергетического баланса снежного покрова под пологом (Hardy et. al., 1997) и (2) количественная оценка перехвата растительного покрова и его влияние на накопление снега под пологом (Hedstrom, Romero, 1998). Полевые исследования, проводимые в основном в холодном континентальном климате, продемонстрировали, что большой процент от суммы выпавших твердых осадков может быть перехвачен кронами деревьев и потери от сублимации перехваченного снега значительны и уменьшают накопление снега под пологом леса (Lundberg et. al., 1998).

Вопрос о различиях снегонакопления в лесу и на открытых пространствах является одним из самых обсуждаемых у лесных гидрологов (Инишева и др., 2010; Onuchin et. al., 2016; и др.). Согласно публикациям (Onuchin et. al., 2016; 2018), эти различия обусловлены геофизическим фоном (климатическими и географическими условиями региона). Что касается различий снегонакопления в различных лесных фитоценозах, то по этому вопросу существует очень много публикаций. Породный состав является одним из основных факторов, с которым связывают задержание осадков пологом леса. Лиственные породы задерживают снега меньше, чем хвойные, в первую очередь это относится к березнякам, где коэффициенты снегозапасов близки к 1,0 (Рахманов, 1984). Сведения о перехвате снега кронами различных хвойных противоречивы. На основе многолетних наблюдений в европейской части России установлено, что в еловых лесах на кронах деревьев в среднем задерживается снега больше, чем в сосняках (Рутковский и Кузнецова, 1940; Сабо, 1956). В то же время изучение снегозадерживающих свойств различных хвойных пород в Сибири показало, что при прочих равных условиях наибольшее количество снега задерживают кроны сосны, затем кедра, ели и пихты (Грудинин, 1979), что подтверждается результатами, полученными Онучиным (1984) в Прибайкалье.

По мнению Макарова и др. (2014), определенный состав насаждения играет различную роль при характеристике мощности снежного покрова: в еловых и кедровых насаждениях она меньше в 0,76 раз, чем в пихтовых и на гари. Уменьшение плотности в 0,9 раз наблюдается в еловых насаждениях по сравнению с другими. Этому способствует многообразие экологических, орографических, климатических, почвенных и многих других факторов. Автором отмечено

различие мощности снега на открытых пространствах и лесах более чем в два и даже в три раза. В своей работе Онучин (2001) приводит результаты применения созданной и успешно апробированной математической модели, отражающей зависимость коэффициента снегозапасов от ряда характеристик древостоев и геофизических условий, которые оказывают влияние на формирование снежного покрова в лесу.

Интенсивность и продолжительность снеготаяния определяют характер гидрографов рек в половодье. Как показывают исследования, проведенные в различных природно-климатических условиях, процесс снеготаяния в лесу существенно отличается от снеготаяния на открытых участках (Рутковский, 1956; Данилик, 1973; Рубцов и др., 1986; Berris and Harr, 1987). Под пологом леса снеготаяние идет менее интенсивно и при наличии мощного снежного покрова заканчивается позднее. Так, на северном макросклоне Хамар-Дабана в горно-таежном ВПК темнохвойных лесов интенсивность снеготаяния на открытом участке в зависимости от типа погоды примерно в 3-5 раз выше, чем в лесу (Горбатенко, 1979). В темнохвойных насаждениях Западного Саяна в зависимости от высотной поясности сход снежного покрова по сравнению с открытыми участками запаздывает в среднем на 10-20 дней (Протопопов, 1975). В то же время режим снеготаяния на безлесных участках зависит от их характера, размеров, формы и т. д.

В настоящее время основной источник информации о снежном покрове - данные метеорологических наблюдений и полученные на их основе сеточные архивы. По мнению ученых (Khan et al., 2008; Brown & Derksen, 2013; Turkov et al., 2017), реанализы и данные спутниковых измерений пока не дают удовлетворительных результатов, особенно при оценках многолетних тенденций (Попова и др., 2015; Ророва et al., 2018). Исключение представляют спутниковые данные, ассимилированные с реанализом и наземными измерениями (Калашникова, Гафуров, 2017). Перед авторами настоящей работы стояла задача - на основе натурных данных проанализировать динамику формирования снежного покрова и его таяния для оценки снегоаккумулирующей и водорегулирующей роли пихтовых насаждений в горах Рудного Алтая.

2. Объекты исследований

Объектами исследований являются пихтовые насаждения и закустаренные участки, расположенные на территории Журавлихинского лесничества коммунального государственного учреждения «Риддерское лесное хозяйство» (КГУ «Риддерское ЛХ»), в квартале 38, выделы 18 и 21. Насаждения граничат друг с другом и произрастают в пределах водосборного бассейна р. Журавлиха на склонах западной экспозиции крутизной 20-25° (рис. 1).



Рис. 1. Месторасположение постоянных пробных площадей в пихтовом насаждении ($50^{\circ}27'01''N$, $83^{\circ}30'21''E$) и закустаренном участке ($50^{\circ}26'56''N$, $83^{\circ}30'17''E$) на водосборном бассейне р. Журавлиха

По материалам последнего лесоустройства, проведенного в 2009 г., подобранные участки отмечены как вырубки и осинное насаждение (рис. 2) (Основные положения ..., 2009). Рекогносцировочное обследование позволило точно определить состав, категорию сформировавшихся насаждений и подобрать места для закладки постоянных пробных площадей (рис. 3 и рис. 4).



 - Места закладки постоянных пробных площадей

Рис. 2. Фрагмент плана лесонасаждений Журавлихинского лесничества КГУ «Риддерское ЛХ» (Основные положения ..., 2009)



Рис. 3. Общий вид закустаренного участка (контроль)



Рис. 4. Общий вид участка в пихтовом насаждении

Анализируя таксационную характеристику участков, можно отметить, что пихтовый древостой IV класса возраста имеет состав 8П2Б, средние показатели высоты и диаметра составляют 17,3 м и 20,7 см соответственно. Сумма площадей поперечных сечений составляет 16,57 м²/га (относительная полнота 0,72). Класс бонитета - III, тип леса - ПТП (пихтач травяно-папоротниковый) с общим запасом древесины 170 м³/га, в том числе пихты - 135 и березы - 35 м³/га. В подросте преобладает пихта сибирская высотой от 0,3 до 2,0 м, также встречается береза и осина. Подлесок густой и представлен рябиной, малиной, бузиной, черемухой, акацией желтой, смородиной, равномерно произрастающих на участке. В живом напочвенном покрове преобладает разнотравье. Особенностью участка является также наличие сухостоя и валежника.

Контрольным участком является площадь, заросшая кустарником, составом 8Аж2Тв возрастом 15 лет. Высота кустарников 1,0-2,0 м, диаметр 1,0-

2,0 см. Относительная полнота - 0,5, с запасом 4,0 м³/га. Единично на участке встречается спирея.

3. Материалы и методы исследований

При проведении работ применялись камеральный, полевой и экспериментальный методы исследований. Работа на исследуемых участках включала ряд последовательных мероприятий: камеральный подбор участков и их рекогносцировочный осмотр, закладка постоянных пробных площадей (ППП), устройство стационарных мониторинговых площадок, наблюдение за снежным покровом, определение основных характеристик снега.

При закладке ППП соблюдались требования ОСТа (ОСТ 56-69-83, 1984). ППП располагались на расстоянии не менее 30 м от природных барьеров (автодорог, полей, просек и др.). По углам отграниченных визирами сторон устанавливали столбы. По форме ППП имели различную конфигурацию и зависели от пространственного размещения выдела. Площадь ППП варьировала от 0,25 до 0,4 га. На ней в обязательном порядке насчитывалось не менее 200 деревьев, которые представляют основной полог и являются главными породами. При закладке ППП использовали электронные дальномер и вилку. При описании полога насаждения особое внимание уделялось наличию усохших и ветровальных деревьев. Проводились геоботанические исследования: описание живого напочвенного покрова, лесной подстилки.

Основные характеристики снежного покрова (толщина, плотность, снегозапас) изучались на специально оборудованных мониторинговых площадках (Лебедев, 1982; Осокин, Сосновский, 2014), характеризующих основные условия пробных площадей. Для проведения замеров высоты снежного покрова снегомерные рейки размещались в форме треугольника и имели нумерацию. Расстояние между рейками не превышает 15 м. Рейки установлены на постоянной основе на весь период наблюдений, и их взаиморасположение не меняется.

Определение плотности снега (g) и снегозапасов проводилось в каждой из трех точек мониторинговой площадки. При работе со снегомером цилиндр опускался отточенным краем в снег и продавливался на рабочую длину. Затем по шкале цилиндра отсчитывали высоту слоя снега, отгребали с одной стороны цилиндра снег до отточенного края и, поддерживая лопаткой, поднимали цилиндр, одновременно поворачивая его дном вниз. Цилиндр очищали от снега, прилипшего снаружи, и взвешивали. Результаты взвешивания записывали в полевой журнал.

4. Результаты

4.1. Динамика высоты снежного покрова

Запасы снега в лесу связаны не только с погодными условиями текущего календарного года (осадками, температурой воздуха, ветровым режимом), но и характером лесной растительности (составом, возрастом, полнотой и др.). Наблюдения за снежным покровом состояли из еженедельных (после 9 марта - через каждые пять дней) наблюдений за изменениями (динамикой) снежного покрова и снеговых съемок для определения снегонакопления и водообеспечения элементов природного ландшафта. Для исследования были подобраны пихтовые насаждения и закустаренный участок (контроль).

Снежный покров изучался в 2020-2021 гг. на стационарных мониторинговых площадках, расположенных в пределах постоянных пробных площадей (характеристика ППП приведена в разделе 2). Высота снега определялась по данным переносных снегомерных реек. Измерения высоты снежного покрова проводились еженедельно до периода образования максимальных снеготолщин, после чего измерения проводились через каждые 5 дней. На рис. 5 приведены результаты изучения динамики характеристик снежного покрова.



Рис. 5. Динамика толщины снежного покрова на мониторинговых площадках. Данные снежного периода 2020-2021 гг.

Анализируя изменения высоты снежного покрова, приведенные на графике рис. 1, можно отметить, что накопление снежного покрова в текущем году имело положительную динамику до момента перехода среднесуточных температур через 0 °С. Затем начинается его постепенное таяние, процесс которого завершился в пихтарниках во второй декаде мая, а на контрольном

(закустаренном) участке во второй декаде апреля. Очевидным является факт превышения средних показателей мощности снежного покрова на открытой местности над показателями под пологом пихтовых насаждений. В различные периоды наблюдений разница составляла от 8 до 35 %.

Максимальная высота снежного покрова на мониторинговых площадках в пихтовых насаждениях и на контроле наблюдается в период с 1 по 10 марта. В пихтачах толщина колеблется от 80 см (под кронами) до 150 см (между деревьями и на опушках). На закустаренном участке распределение снега более равномерное - от 126 до 135 см (рис. 6).

Для рекоснеговым питанием процесс снеготаяния и его продолжительность являются важными факторами при формировании весеннего половодья. Лесные экосистемы в этом случае играют важную водорегулирующую роль. Как показали наши исследования, пихтовые насаждения Рудного Алтая имеют важное значение в этом процессе, т. к. разница между полным сходом снега на открытом участке и в лесу составляет почти месяц (см. рис. 5).

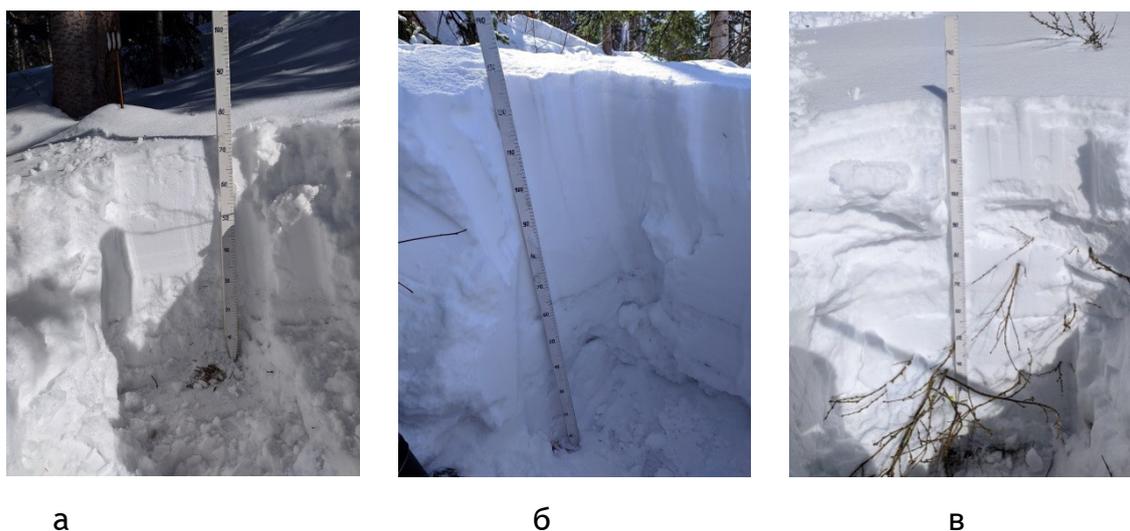


Рис. 6. Высота снежного покрова на мониторинговых площадках 10 марта 2021 года: а) под кроной пихты (74 см); б) в пристволовом сугробе (130 см); в) на контроле (129 см).

Уже к 20 апреля снежный покров на контрольном закустаренном участке отсутствует, тогда как в пихтачах его высота составляет $76,0 \pm 3,54$ см (см. рис. 5).

Следует отметить, что в самом насаждении таяние снега весьма различается в зависимости от особенностей пространственной структуры древостоя. В период таяния снега к 15 апреля непосредственно под кроной пихтовых деревьев высота снежного покрова равна 20 см, тогда как на опушках и в пристволовых сугробах

- 80 см и 100 см соответственно. Нагрев ствола дерева и нижних частей кроны способствует полному сходу снежного покрова непосредственно под пологом крон пихты к 15-20 апреля (рис. 7). Полный сход снежного покрова в пихтачах в текущем 2021 году произошел только к концу первой декады мая.



Рис. 7. Процесс снеготаяния в пихтарниках

Такая закономерность в динамике схода снежного покрова свидетельствует о том, что состав насаждений напрямую влияет на его распределение и сход. В насаждениях пихты из-за плотности деревьев и полога создается особенный микроклимат и температурный режим, при котором распределение твердых осадков зимой неравномерно (образуются сугробы вокруг крон), но весной расход влаги и процесс таяния почти на месяц дольше, чем на открытой закустаренной местности.

В период максимальных снегозапасов (16.03.2021 г.) была проведена снегосъемка по профилям в нижней, средней и верхней частях пробных площадей. Так, в пихтаче средняя высота по профилям составила $120,6 \pm 6,66$ см, $113,7 \pm 3,72$ см и $115,8 \pm 5,71$ см соответственно. На закустаренном участке высота снежного покрова в нижней, средней и верхней частях пробной площади составила $116,4 \pm 7,22$ см, $104,6 \pm 6,24$ см и $110,8 \pm 5,42$ см соответственно.

4.2. Характеристика снежного покрова

Изучение основных характеристик снежного покрова осуществлялось путем определения плотности снега и запаса воды в снеге. Эти работы проводились с помощью весового снегомера (рис. 8).



Рис. 8. Снегомерные работы

На графиках рис. 9 и рис. 10 приведена динамика основных характеристик снежного покрова - плотности и снегозапасов.

Анализируя данные графика, представленного на рис. 9, можно отметить, что показатели плотности снега с увеличением его толщины пропорционально растут. Это просматривается на каждом из исследуемых участков. Основная закономерность - превышение плотности снега на открытом участке над пихтовым насаждением.

Динамика плотности снежного покрова, представленная на графике рис. 10, свидетельствует о том, что период максимальных запасов воды в снежном покрове в пихтовом насаждении и открытом участке совпадают и приходится это на 30 марта, однако здесь можно отметить, что запас воды в снеге на открытой местности на 7 % больше, чем в пихтачах.



Рис. 9. Динамика плотности снежного покрова на мониторинговых площадках в периоде 2020-2021 гг.

Такая закономерность прослеживается на протяжении всего периода наблюдений. Несмотря на то что участки располагаются в непосредственной близости, в одинаковых лесорастительных условиях, потери воды в пихтовом насаждении больше. Считаем, что это происходит за счет испарения снежного покрова с кроны деревьев.



Рис. 10. Динамика снегозапасов на мониторинговых площадках в периоде 2020-2021 гг.

5. Обсуждение

Вследствие того, что пихтовые леса Рудного Алтая являются аналогом черневой тайги, которая выделена учеными (Назимова, 1975) как особый тип горной тайги в горных районах Южной Сибири, сравнение полученных результатов проводилось с данными тех ученых, кто непосредственно изучал гидрологическую роль темнохвойных лесов в Сибири, в частности в Саянах, Енисейском крае, юго-восточном Прибайкалье.

Продолжительность залегания снежного покрова в различных физико-географических районах и местностях - одна из важных его характеристик, информация о которой широко используется не только при решении научно-прикладных задач, но и в оперативной практике. Сравнение динамики формирования снежного покрова на объектах исследования с результатами Протопопова (1975), Лебедева (1982), Бурениной с соавторами (2002) показывает общие тенденции формирования, пространственного распределения и схода снежного покрова в темнохвойных насаждениях. При этом следует отметить различия в продолжительности залегания снега в насаждениях Рудного Алтая

и других регионов Южной Сибири, что вполне объяснимо с позиций погодноклиматических условий в каждом регионе и вариабельности метеорологических показателей по годам.

Заслуживают внимания исследования, проведенные Воропай и Власовым (2017), которые отметили особенности образования и разрушения устойчивого снежного покрова на южном побережье озера Байкал. Устойчивый снежный покров, согласно данным рассматриваемых гидрометеостанций, формируется в среднем 24 ноября. В отдельных случаях это происходит в декабре или даже в январе. Разрушается устойчивый снежный покров на территории исследования в более короткие сроки, чем устанавливается. Согласно средним многолетним оценкам, это происходит 27 марта, что связано с быстрым ростом температуры воздуха в весенние месяцы, хотя иногда разрушение устойчивого снежного покрова может произойти только в мае.

Такие значительные различия наших данных с результатами наблюдений за продолжительностью залегания снега в Прибайкалье, прежде всего, связаны с континентальностью климата данного региона - небольшим количеством твердых осадков, низкими зимними температурами и частыми метелями. Особенности пространственного распределения снега на контроле и сроки его залегания идентичны результатам, полученным на вырубках в темнохвойных лесах Западного Саяна (Лебедев, 1982) и Енисейского края (Буренина и др., 2002).

Особенности формирования снежного покрова в насаждении отражают трансформирующее влияние лесной растительности на твердые атмосферные осадки, что выражается в различии снегозапасов и плотности снега под пологом и на открытом (закустаренном) участке. Характеризуя распределение снежного покрова в пихтовых насаждениях, мы отметили закономерность, проявляющуюся в неравномерности распределения снежного покрова на мониторинговой площадке и в целом по пробной площади. Основной причиной такого положения считаем влияние дендрологических особенностей пихты сибирской: густая широкая крона, высота и диаметр стволов, плотность полога и др. За счет особенностей кроны происходит процесс удерживания снега, его обвал по периметру кроны и в результате этого образование пристволовых сугробов. В окнах между деревьями и небольших опушках из-за снижения силы ветра накапливается большее количество снега. Вследствие этого изменяется общая характеристика снежного покрова. Значительная вариабельность глубины снега отмечена в насаждении, различие между глубиной снега под кронами и межкрановом пространстве достигает 70 см, тогда как на контроле - не более 10 см. Относительно равномерное распределение на контроле мы объясняем наличием здесь кустарников, которые препятствуют выдуванию снега с участка.

Результаты наших исследований, выполненные в снежный период 2020-2021 гг., свидетельствуют о том, что высота снежного покрова возрастает от ствола к периферии кроны, а распределение снега в подкороновом пространстве зависит от древесной породы, что согласуется с данными Протопопова (1975). Лесные фитоценозы, как подчеркивает Протопопов (1975), оказывают влияние на характер распределения снежного покрова в пределах одного насаждения, что определяет горизонтальную изменчивость в величине поступления влаги под полог леса и имеет большое экологическое значение.

Анализ наших данных показывает, что, несмотря на положительную динамику высоты снежного покрова, его накопление и распределение на исследуемых участках происходит неравномерно (см. рис. 5). Данный факт можно объяснить воздействием метеорологических факторов, основными из которых в зимний период являются оттепели или выпадение осадков в виде дождя. Мы определили эту закономерность, сопоставив данные архива погоды ближайшей к району исследований метеостанции г. Риддер с результатами исследований толщины снежного покрова.

При сравнении метеорологических данных по осадкам 2021 года и среднегодовым за последние 10 лет (Электронный ресурс, 2021) отметим, что значительное превышение показателей осадков текущего года от среднегодовых наблюдается в феврале и ноябре, тогда как понижение - в апреле. По другим месяцам показатели были в пределах среднегодовых значений.

Продолжительные оттепели в периоды 16-18 января, 14-19 февраля в значительной степени повлияли на показатели мощности снежного покрова, в то время как резкое уменьшение температуры воздуха в период 15-19 марта и 19-21 апреля, напротив, замедлило скорость таяния снежного покрова. По этим причинам нарушена равномерность динамики толщины снежного покрова. Здесь также следует отметить, что в пихтовых насаждениях метеорологические воздействия проявляются более сглаженно, чем на открытых участках, что можно объяснить влиянием древесного полога.

Частые оттепели отражаются на плотности снега. Плотность снега в начале января как в лесу, так и на открытом участке была не очень высока и составляла $0,15 \text{ г/см}^3$. На снежный покров открытого участка большое влияние оказывают метеорологические факторы: осадки, температура, солнечная радиация, ветер, поэтому плотность снега имеет такие неравномерные скачкообразные показатели, достигая максимума перед началом снеготаяния (см. рис. 9). Данные, полученные нами для открытого участка, вполне согласуются с данными, приведенными в литературе (Onuchin, Burenina, 1996; Буренина и др., 2002).

В пихтовом насаждении показатели плотности снега более сглажены, поскольку, кроме метеорологических факторов, на снежный покров оказывает

влияние древесный полог и дендрологические особенности главной породы. Здесь до момента активного снеготаяния можно наблюдать снижение плотности снега в период замеров - 1 марта. Это можно объяснить наложением данных метеорологической станции. Резкое снижение температуры воздуха в период 25-28 февраля привело в последующем к снижению плотности снежного покрова.

Как следует из графика (см. рис. 10), 30 марта наблюдались максимальные запасы воды в снежном покрове в пихтовом насаждении (277,4 мм) и открытом участке (297,8 мм), но, как указывалось выше, максимальная высота снежного покрова была отмечена в период с 10 по 20 марта. Известно, что запасы воды в снеге определяются двумя характеристиками: его высотой и плотностью. Поэтому увеличение плотности снега при значительных показателях его высоты определило максимальные запасы воды в снеге на конец марта.

Затем на открытом участке происходит резкое уменьшение запасов воды в снеге в связи с его таянием. В период с 10 по 20 апреля на открытом участке снег полностью сходит, тогда как в пихтовых насаждениях процесс таяния завершается во второй декаде мая. Характер изменения влагозапасов в пихтовых насаждениях Рудного Алтая в процессе снеготаяния идентичен динамике этого показателя в темнохвойных лесах Западного Саяна (Лебедев, 1982), но для открытых участков имеются существенные различия. Это может быть связано с особенностями погодно-климатических условий этих регионов.

Таким образом, как показали наши исследования, запас воды в снежном покрове в пихтовом насаждении в процессе снеготаяния постепенно переходит во внутрпочвенный сток путем инфильтрации через верхние слои почвы, в то время как на обширных открытых территориях при глубоком промерзании грунтов весь объем накопившейся в снеге воды перейдет в поверхностный сток и явится причиной повышения уровня воды в реке. Водорегулирующая роль пихтовых насаждений исследуемого региона заключается в том, что этот процесс происходит по-иному, лесная растительность способствует более длительному (на 1 месяц) процессу таяния снега и, соответственно, медленной инфильтрации воды в почву.

Сравнение полученных данных с результатами подобных исследований в других регионах Северной Евразии (темнохвойные леса Западного Саяна) показало, что пихтовые леса Рудного Алтая в меньшей степени задерживают твердые осадки, что способствует более значительному накоплению снега в насаждениях, но растянутое во времени снеготаяние в лесу отражает важную водорегулирующую роль пихтовых насаждений Рудного Алтая.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что период проведения снегосъемки должен быть скорректирован в плане первоначального обследования участков. На протяженных маршрутных ходах в горных условиях снегосъемку

следует проводить в первую очередь на открытых участках, так как в течение 5-7 дней толщина снега и другие характеристики снежного покрова могут резко измениться под воздействием солнечной радиации.

6. Заключение

Таким образом, полученные данные по формированию снежного покрова за зимний период 2020-2021 гг. позволили оценить влияние древесного яруса на пространственное распределение снега внутри насаждения и показать различия снегонакопления в пихтовом лесу и на открытом участке. Высота снежного покрова в лесу колеблется от 80 см (под кронами) до 150 см (между деревьями и на опушках), в отличие от открытого участка, где распределение снега более равномерное - от 126 до 135 см.

Сравнение динамики снеготаяния в лесу и на контроле показало, что разница схода снега в пихтарнике и на контроле составляет почти месяц, что указывает на важную водорегулирующую роль хвойного насаждения. Данные по содержанию воды в снеге на объектах исследования отражают различия в снегоаккумуляции под пологом леса и на открытых участках и могут быть использованы при расчетах испарения влаги с поверхности снега и крон деревьев.

Проведенные исследования показывают особенности средообразующих функций горных лесов Рудного Алтая, и при дальнейшем мониторинге снежного покрова и температурного режима территории полученные данные могут быть реализованы при прогнозировании весеннего стока на водотоках исследуемого региона.

Данное исследование финансируется Министерством экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан (ИРН BR10263776).

Список литературы

- Булыгина, О.Н., Коршунова, Н.Н., Разуваев, В.Н. (2017). Мониторинг снежного покрова на территории Российской Федерации. *Труды Гидрометцентра России*, 366, 87-96.
- Буренина, Т.А., Онучин, А.А., Стаканов, В.Д. (2002). Распределение жидких и твердых осадков. В кн.: *Лесные экосистемы Енисейского меридиана*. Новосибирск: Издательство СО РАН, 48-50.
- Быков, Н.И., Попов, Е.С. (2011). Наблюдения за динамикой снежного покрова в ООПТ Алтае-Саянского экорегиона (методическое руководство). Красноярск, 65 с.
- Воронков, Н. А. (1988). Роль лесов в охране вод. Ленинград: Гидрометеиздат, 286 с.
- Воропай, Н.Н., Власов, В.К. (2017). Особенности распределения снежного покрова на побережье озера Байкал. *Лёд и Снег*, 57(3), 355-364. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-3-355-36>.
- Горбатенко, В.М. (1979). Трансформация элементов водного баланса темнохвойными лесами хр. Хамар-Дабан. В кн. *Средообразующая роль лесов бассейна озера Байкал*. Новосибирск: Наука, 136-161.

- Грудинин, Г.В. (1979). Снежный покров. В кн. *Геосистемы предгорий Западного Саяна*. Новосибирск: Наука, 117-133.
- Грудинин, Г.В. (1981). Снежный покров юга Минусинской котловины. Новосибирск: Наука, 160 с.
- Данилик, В.Н. (1973). Отложение и таяние снега в лесу и на вырубках Среднего Урала. В кн. *Изменение водоохранно-защитных функций под влиянием лесохозяйственных мероприятий*. Пушкино: ВНИИЛМ, 4-17.
- Инишева, Л.И., Петров, А.И., Инишев, Н.Г., Дубровская, Л.И., Виноградов, В.Ю. (2010). Закономерности снегонакопления на олиготрофных болотах (на примере Западной Сибири). *Мелиорация и водное хозяйство XXI*. Наука и образование: материалы международной научно-практической конференции. Горки: БГСХА, 88-96.
- Калашникова, О.Ю., Гафуров, А.А. (2017). Использование наземных и спутниковых данных о снежном покрове для прогноза стока реки Нарын. *Лёд и Снег*, 57(4), 507-517. doi:10.15356/2076-6734-2017-4-507-517.
- Лебедев, А.В. (1982). Гидрологическая роль горных лесов Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 182 с.
- Макаров, В.С., Зезюлин, Д.В., Беляков, В.В. (2014). Анализ влияния местности на параметры снежного покрова. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 8 (1), 21-25.
- Назимова, Д.И. (1975). Горные темнохвойные леса Западного Саяна: Опыт эколого-фитоценотической классификации. Л.: Наука, 118 с.
- Онучин, А.А., Борисов, А.Н. (1982) Влияние темнохвойных лесов Хамар-Дабана на формирование снежного покрова. *Средообразующая роль лесных экосистем Сибири*. Красноярск: Изд-во ИЛИД СО АН СССР, 95-105.
- Онучин, А.А. (1984). Снежный покров в темнохвойных насаждениях Хамар-Дабана и зависимость снегозапасов от таксационных и биометрических показателей насаждений. *Средоулучшающая роль леса. Тезисы докладов Всесоюзной научно-практ. конф. 14-16 августа 1984 г.*, 134-136.
- Онучин, А.А. (1987). Трансформация твердых атмосферных осадков горными лесами Хамар-Дабана. [Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук]. Красноярск, 19 с.
- Онучин, А.А. (2001) Общие закономерности снегонакопления в бореальных лесах Известия РАН. Серия геогр., 2, 80-86.
- Онучин, А.А., Буренина, Т.А., Фарбер, С.К., Шишкин, А.С. (2007). Экологические последствия рубок главного пользования в Нижнем Приангарье. *Проблемы использования и охраны природных ресурсов Красноярского края*. Красноярск: Изд-во КНИИГиМС, 34-43.
- Онучин, А.А. Гапаров, К.К., Михеева, Н.А. (2008). Влияние лесистости и климатических факторов на годовой сток рек Прииссыкулья. *Лесоведение*, 6, 45 -52.
- Онучин, А.А. (2015). Причины концептуальных противоречий в оценке гидрологической роли бореальных лесов. *Сибирский лесной журнал*, 2, 41-54.
- Основные положения организации и ведения лесного хозяйства Восточно-Казахстанской области (горный регион). *План лесонасаждений*. (2009). Алматы: Казахское лесоустроительное предприятие, 360 с.
- Осокин, Н.И., Сосновский, А.В. (2014). Пространственная и временная изменчивость толщины и плотности снежного покрова на территории России. *Лёд и Снег*, 4(128), 72-80.
- ОСТ 56-69-83 (1984). Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М.: ЦБНТИлесхоз, 60 с.
- Попова, В.В., Ширяева, А.В., Морозова, П.А. (2018). Изменения характеристик снежного покрова на территории России в 1950-2013 годах: региональные особенности и связь с глобальным потеплением. *Криосфера Земли*, 22(4), 65-75. doi: 10.21782/KZ1560-7496-2018-4(65-75).
- Попова, В.В., Морозова, П.А., Титкова, Т.Б., Семенов, В.А., Черенкова, Е.А., Ширяева, А.В., Китаев, Л.М. (2015). Региональные особенности современных изменений зимней аккумуляции

- снега на севере Евразии по данным наблюдений, реанализа и спутниковых измерений. *Лёд и Снег*, 55(4), 73-86. doi: 10.15356/2076/67342015-4-73-86.
- Попова, В.В., Турков, Д.В., Насонова, О.Н. (2021). Оценки современных изменений снегозапасов в бассейне Северной Двины по данным наблюдений и моделирования. *Лёд и Снег*, 61(2), 206-221. doi: 10.31857/S2076673421020082
- Протопопов, В.В. (1975). Средообразующая роль темнохвойного леса. Новосибирск: Наука, 327 с.
- Рахманов, В.В. Гидроклиматическая роль лесов. М.: *Лесная промышленность*, 1984. 240 с.
- Рубцов, М.В., Дерюгин, А.А., Гурцев, В.И. (1986). Влияние леса на запасы и таяние снега в средней тайге европейского Севера. *Лесоведение*, 1, 11-16.
- Руководство по гидрологической практике (ВМО-№ 168) (2011). 6-ое изд., Женева: Всемирная Метеорологическая Организация. 1, 1.3-35.
- Рутковский, В.И., Кузнецова, З.И. (1940). Влияние насаждений на снеговой режим. Труды ВНИИЛХ, 18, 149-179.
- Рутковский, В.И. (1956). Влияние лесов на накопление и таяние снега. В кн. *Снег и талые воды. Их изучение и использование*. М.: Изд-во АН СССР, 184-205.
- Сабо Е.Д. (1956). Испарение со снежного покрова в районе Ергеней. В кн. *Снег и талые воды. Их изучение и использование*. М.: Изд-во АН СССР, 44-51.
- Шмакин, А.Б., Турков, Д.В., Михайлов, А.Ю. (2009). Модель снежного покрова с учетом слоистой структуры и ее сезонной эволюции. *Криосфера Земли*, 13(4), 69-79.
- Шмакин, А.Б. (2010). Климатические характеристики снежного покрова Северной Евразии и их изменения в последние десятилетия. *Лёд и Снег*, 1(109), 43-58.
- Электронный ресурс. Дата обращения 11.11.2021. <https://rp5.kz>
- Berris, S.N., Harr, R.D. (1987). Comparative snow accumulation and melt during rainfall in forested and clear-cut plots in the western Cascades of Oregon. *Water Resources Research*, 23(1), 135-142.
- Brown, R.D., Derksen, C. (2013). Is Eurasian October snow cover extent increasing? *Environment Research Letters*, 8(2), 024006. doi: 10.1088/1748-9326/8/2/024006
- Brun, E., Voinnet, V., Boone, A., Decharme, B., Peyngs, Y., Valette, R., Karbou, F., Morin, S. (2013). Simulation of Northern Eurasian Local Snow Depth, Mass, and Density Using a Detailed Snowpack Model and Meteorological Reanalyses. *Journal of Hydrometeorology*, 14(1), 203-219. doi: 10.1175/jhm-d-12-012.1
- Buttle, J.N., Creed, I.F. and Moore, R.D. (2005). Advances in Canadian forest Hydrology, 1999-2003. *Hydrological Processes*, 19(1), 169-200. doi: 10.1002/hyp.5773
- Hardy, J., Davis, R., Jordan, R., Li, X., Woodcock, C., Ni, W. and McKenzie, J. (1997). Snow ablation modeling at the stand scale in a boreal jack pine forest. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 102(24), 29397-29405. doi: 10.1029/96JD03096.
- Hedstrom, N.R., Pomeroy, J.W. (1998). Measurements and modelling of snow interception in the boreal forest. *Hydrological Processes*, 12, 1611-1625.
- Khan, V., Holko, L., Rubinstein, K., Breiling, M. (2008). Snow Cover Characteristics over the Main Russian River Basins as Represented by Reanalyses and Measured Data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(6), 1819-1833. doi:10.1175/2007JAMC1626.1
- Lundberg, A., Calder, I., Harding, R. (1998). Evaporation of intercepted snow: Measurement and modeling. *Journal of Hydrology*, 206(3-4), 151-163.
- Miller, D.H. (1967). Sources of energy for thermodynamically-caused transport of intercepted snow from forest crowns. In: *International Symposium on Forest Hydrology*, W.E. Sopper and H.W. Lull (eds). New York: Pergamon Press, 201-211.
- Onuchin, A.A., Burenina, T.A. (1996). Climatic and Geographic Patterns in Snow Density Dynamics, Northern Eurasia. *Arctic and Alpine Research*, 28(1), 99-103. doi:10.2307/1552091
- Onuchin, A.A., Burenina, T.A. (2008). Hydrological role of the Forest in Siberia. *Trends in Water Resources Research* (Prescott A.B., Barkely T.U., eds.). New York: Nova Science Publishers, 67-92.

- Onuchin, A.A., Burenina, T.A. (2010). Climatic and Geographic Patterns of Spatial Distribution of Precipitation in Siberia. *Environmental Change in Siberia: Earth Observation, Fields Studies and Modeling*, 40, 193-210. doi:10.1007/978-90-481-8641-9_12
- Onuchin, A., Burenina, T., Shvidenko, A., Guggenberger, G. and Musokhranova, A. (2016). Hydrology of Taiga Forests in High Northern Latitudes. In: *Forest Hydrology. Processes, Management and Assessment*, edited by Amatya, D.M., Williams, T.M., Bren, L. and Carmen de Jong, CAB International and USDA, 254-269.
- Onuchin, A.A., Burenina, T.A., Balzter, H., Tsykalov, A.G. (2018). New look at understanding hydrological role of forest. *Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.)*, 5, 3-18. (in English with Russian abstract). DOI: 10.15372/SJFS20180501
- Popova, V.V., Babina, E.D., Georgiadi, A., Turkov, D.V. (2018). Snowfall and rainfall precipitation variation in European Russia: impact on river runoff under contemporary climate change. In: *Practical Geography and XXI Century Challenges. International Geographical Union Thematic Conference dedicated to the Centennial of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences*, 4-6 June, 1, 506-512.
- Storck, P., Lettenmaier, D., Bolton, S. (2002). Measurement of snow interception and canopy effects on snow accumulation and melt in a mountainous maritime climate, Oregon, United States. *Water Resources Research*, 38(11), 1223, doi:10.1029/2002wr001281.
- Turkov, D.V., Sokratov, V.S., Titkova, T.B., Semenov, V.A., Popova, V.V. (2017). Snow Water Equivalent in Western Siberia as simulated by land-surface model, satellite data and from ERA-Interim reanalysis. *Proc. SPIE 10466, 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics*, 1046655. doi: 10.1117/12.2285333

Features of Snow Cover Distribution in Rudny Altai Forest Plantations

Kalachev A.*, Okanov K., Rogovsky S.

A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry LLP, 58 Kirov St., Shchuchinsk 021704, Republic of Kazakhstan

*Corresponding author: Kalachev_75_los@mail.ru

<https://doi.org/10.29258/CAJWR/2023-R1.v9-1/33-58.rus>

ABSTRACT

The article presents the results of examining the formation and peculiarities of snow cover in fir plantations compared to open shrubland in the conditions of Southwestern Altai obtained during 2020-2021 snow period. The forest stand affects snow distribution and characteristics in fir woods by capturing snow with tree crowns, snow accumulation around crown perimeter and, as a result, leads to the formation of near-trunk snowdrifts, in their turn facilitating higher snow accumulation among trees and at forest edges. The maximum snow cover thickness in fir woods ranged from 80 cm (under crowns) to 150 cm (among trees and along forest edges). In the open (control) zone, snow distribution appeared more homogenous - from 126 to 135 cm. During the period of maximum snow accumulation, snow density in fir plantations ranged from 0.19 to 0.26 g/cm³; and, from 0.24 to 0.29 g/cm³ in the control zone. Snow cover humidity likewise demonstrated significant differences between fir plantations and control site, and amounted to 258.3±13.47 mm and 279.7±12.80 mm, respectively. Whereas in the control (overgrown) zone the complete snow cover melting ended in the second 10-day period of April, in fir woods it finished in the second 10-day period of May. The research findings suggest that fir plantations in river catchment areas boost winter precipitation retention and slow down its loss resulting in more uniform water transition into subsurface runoff and longer period of river water replenishment.

ARTICLE HISTORY

Received: February 4, 2022

Accepted: December 31, 2022

Published: February 14, 2023

KEYWORDS

Rudny Altai, fir forest, snow cover, formation, characteristic.

- Berris, S.N., Harr, R.D. (1987). Comparative snow accumulation and melt during rainfall in forested and clear-cut plots in the western Cascades of Oregon. *Water Resources Research*, 23(1), 135-142.
- Brown, R.D., Derksen, C. (2013). Is Eurasian October snow cover extent increasing? *Environment Research Letters*. V. 8. 2. 024006. doi: 10.1088/1748-9326/8/2/024006.
- Brun, E., Voinnet, V., Boone, A., Decharme, B., Peyngs, Y., Valette R., Karbou F., Morin S. (2013). Simulation of Northern Eurasian Local Snow Depth, Mass, and Density Using a Detailed Snowpack Model and Meteorological Reanalyses. *Journal of Hydrometeorology*, 14(1), 203-219. doi: 10.1175/jhm-d-12-012.1
- Bulygina, O. N., Korshunova, N. N., Razuvaev, V. N. (2017). Monitoring snezhnogo pokrova na territorii Rossijskoj Federacii [Monitoring of snow cover on the territory of the Russian Federation]. *Trudy Gidrometcentra Rossii*. 2017. Vyp. 366. S. 87-96. [in Russian].
- Burenina, T. A., Onuchin, A. A., Stukanov, V. D. (2002). Raspredelenie zhidkih i tverdyh osadkov. V kn.: *Lesnye jekosistemy Enisejskogo meridiana*. [Distribution of liquid and solid precipitation]. Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN, 48-50. [in Russian].
- Buttle, J.N., Creed, I.F. and Moore, R.D. (2005). Advances in Canadian forest Hydrology, 1999-2003. *Hydrological Processes*, 19(1), 169-200. doi: 10.1002/hyp.5773
- Bykov, N. I., Popov, E. S. (2011). Nabljudenija za dinamikoj snezhnogo pokrova v OOPT Altae-Sajanskogo jekoregiona [Observations of the dynamics of snow cover in the protected areas of the Altai-Sayan ecoregion]. *Metodicheskoe rukovodstvo*. Krasnoyarsk. p.65.[in Russian].
- Danilik, V.N. (1973). Otlozhenie i tajanie snega v lesu i na vyrubkah Srednego Urala [Deposition and melting of snow in the forest and clearings of the Middle Urals]. In book. *Changes in water protection and protective functions under the influence of forestry measures*. Pushkino, VNIILM, 4-17.
- Electronic resource. Pogoda v 243 stranah mira. Retrieved 11/11/2021. <https://rp5.kz> [in Russian].
- Gorbatenko V.M. (1979). Transformacija jelementov vodnogo balansa temnohvojnymi lesami hr. Hamar-Daban. [Transformation of water balance elements by dark coniferous forests Khamar-Daban]. In book. *Sredobrazujushhaja rol' lesov bassejna ozera Bajkal*. Novosibirsk: Nauka, 136-161. [in Russian].
- Grudinin, G.V. (1979). Snezhnyj pokrov [Snow cover]. In book. *Geosystems of the foothills of the Western Sayan*. Novosibirsk: Nauka, 117-133. [in Russian].
- Grudinin, G.V. (1981). Snezhnyj pokrov juga Minusinskoj kotloviny [Snow cover in the south of the Minusinsk depression]. Novosibirsk: Nauka, 160 p. [in Russian].
- Guide to Hydrological Practice (WMO No. 168). (2011). Sixth edition. I. G. 3. Geneva: World Meteorological Organization. 1, 1.p.3-35.
- Hardy, J., Davis, R., Jordan, R., Li, X., Woodcock, C., Ni, W. and McKenzie, J. (1997). Snow ablation modeling at the stand scale in a boreal jack pine forest. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 102(24), 29397-29405. doi: 10.1029/96JD03096.
- Hedstrom, N. R., Pomeroy J. W. (1998). Measurement and modelling of snow interception in the boreal forest, *Hydrol. Processes*, 12, 1611-1625.
- Inisheva, L. I., Petrov, A. I., Inishev, N. G. Dubrovskaya, L. I. Vinogradov, V. Yu. (2010). Zakonomernosti snegonakoplenija na oligotrofnyh bolotah (na primere Zapadnoj Sibiri) [Regularities of snow accumulation in oligotrophic swamps (on the example of Western Siberia)]. *Melioracija i vodnoe hozjajstvo XXI*. Nauka i obrazovanie: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Gorki BGSMA, 88-96. [in Russian].
- Kalashnikova, O. Yu., Gafurov A. A. (2017). Ispol'zovanie nazemnyh i sputnikovyh dannyh o snezhnom pokrove dlja prognoza stoka reki Naryn [The use of ground and satellite data on snow cover for the forecast of the flow of the Naryn River]. *Ljud i Sneg*, 57. 4. pp. 507-517. doi:10.15356/2076-6734-2017-4-507-517. [in Russian].
- Khan, V., Holko, L., Rubinstein, K., Breiling, M. (2008). Snow Cover Characteristics over the Main Russian River Basins as Represented by Reanalyses and Measured Data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(6), 1819-1833. doi:10.1175/2007JAMC1626.1

- Lebedev, A.V. (1982). *Gidrologicheskaja rol' gornyh lesov Sibiri* [The hydrological role of Siberian mountain forests]. Novosibirsk: Nauka. p. 182. [in Russian].
- Lundberg, A., Calder, I., Harding, R. (1998). Evaporation of intercepted snow: Measurement and modeling. *Journal of Hydrology*, 206(3-4), 151-163.
- Makarov, V. S., Zezyulin, D. V., Belyakov, V. V. (2014). Analiz vlijanija mestnosti na parametry snezhnogo pokrova [Analysis of the influence of the terrain on the parameters of snow cover]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*. 8 (1). pp. 21-25. [in Russian].
- Miller, D. H. (1967). Sources of energy for thermodynamically-caused transport of intercepted snow from forest crowns. In *International Symposium on Forest Hydrology*, edited by W. E. Sopper and H. W. Lull. New York: Pergamon Press, 201-211.
- Nazimova, D.I. (1975). Gornye temnohvojnye lesa Zapadnogo Sajana: Opyt jekologo-fitocenoticheskoj klassifikacii [Mountain dark coniferous forests of the Western Sayan: Experience of ecological and phytocenotic classification]. Leningrad: Nauka, 118 p.
- Onuchin, A. A., Borisov, A. N. (1982) Analiz vlijanija mestnosti na parametry snezhnogo pokrova [The influence of dark coniferous forests of Khamar-Daban on the formation of snow cover]. *Sredobrazujushhaja rol' lesnyh jekosistem Sibiri*. Krasnojarsk: Publishing house of the ILiD SB of the USSR Academy of Sciences. pp. 95-105. [in Russian].
- Onuchin, A.A. (1984) Snezhnyj pokrov v temnohvojnyh nasazhdenijah Hamar-Dabana i zavisimost' snegozapasov ot taksacionnyh i biometricheskikh pokazatelej nasazhdenij [Snow cover in the dark coniferous stands of Khamar-Daban and the dependence of snow reserves on the taxation and biometric indicators of plantations]. *Sredouluchshajushhaja rol' lesa*. Tezisy dokladov Vsesojuznoj nauchno-prakt. konf. 14-16, 1984 pp. 134-136. [in Russian].
- Onuchin, A.A. (1987). Transformacija tverdyh atmosfernih osadkov gornymi lesami Hamar-Dabana [Transformation of solid atmospheric precipitation by mountain forests of Khamar-Daban]. Avtoref. diss. ... kand. s.-h. nauk. Krasnojarsk. p.19. [in Russian].
- Onuchin, A.A. (2001). Obshhie zakonomernosti snegonakoplenija v boreal'nyh lesah [General patterns of snow accumulation in boreal forests]. *Izvestiya RAN*. Serija geograficheskaja 2. pp. 80-86. [in Russian].
- Onuchin A.A., Burenina T.A. Climatic and Geographic Patterns in Snow Density Dynamics, Northern Eurasia (1996). *Arctic and Alpine Research*. V. 28. № 1. P. 99-103. doi:10.2307/1552091
- Onuchin, A.A., Burenina, T.A., Farber, S.K., Shishikin, A.S. (2007). Jekologicheskie posledstvija rubok glavnogo pol'zovanija v Nizhnem Priangar'e [Environmental consequences of logging of the main use in the Lower Angara region]. *Problems of use and protection of natural resources of the Krasnojarsk Territory*. Krasnojarsk: Izd-vo KNII GiMS. pp. 34-43. [in Russian].
- Onuchin, A.A., Burenina, T.A. (2008). Hydrological role of the Forest in Siberia. *Trends in Water Research*. (Prescott A.B., Barkely T.U., eds.). New York: Nova Science Publishers, 67-92.
- Onuchin, A.A., Burenina, T.A. (2010). Climatic and geographic patterns of spatial distribution of precipitation in Siberia. Environmental change in Siberia: earth observation, fields Studies and modeling. Series "Advances in Global Change Research". V. 40. 193-210. doi:10.1007/978-90-481-8641-9_12
- Onuchin, A. A. Gaparov, K. K., Mikheeva, N. A. (2008). Vlijanie lesistosti i klimaticheskikh faktorov na godovoj stok rek Priissykkul'ja [The influence of forest cover and climatic factors on the annual flow of the rivers of the Issyk-Kul region] *Lesovedenie*, 6. pp. 45-52. [in Russian].
- Onuchin, A. A. (2015). Prichiny konceptual'nyh protivorechij v ocenke gidrologicheskoi roli boreal'nyh lesov [The reasons for conceptual contradictions in the assessment of the hydrological role of boreal forests]. *Sibirskij lesnoj zhurnal*, 2. pp. 41-54. [in Russian].
- Onuchin, A., Burenina, T., Shvidenko, A., Guggenberger, G. and Musokhranova, A. (2016). Hydrology of Taiga Forests in High Northern Latitudes. In: *Forest Hydrology. Processes, Management and Assessment*, edited by Amatya, D.M., Williams, T.M., Bren, L. and Carmen de Jong, CAB International and USDA, 254-269.

- Onuchin, A.A., Burenina, T.A., Balzter, H., Tsykalov, A.G. (2018). Novyj vzgljad na ponimanie gidrologicheskoy roli lesa [New look at understanding hydrological role of forest]. *Sibirskij Lesnoj Zurnal* (Sib. J. For. Sci.), 5, 3-18. (in English with Russian abstract). DOI: 10.15372/SJFS20180501
- Osokin, N. I., Sosnovsky, A.V. (2014). Prostranstvennaja i vremennaja izmenchivost' tolshhiny i plotnosti snezhnogo pokrova na territorii Rossii [Spatial and temporal variability of the thickness and density of snow cover on the territory of Russia]. *Ljud i Sneg*. 4 (128). pp. 72-80. [in Russian].
- OST 56-69-83 (1984). Ploshhadi probnye lesoustroitel'nye [Trial forest management areas] *Metod zakladki*. M.: CBNTilleshoz, 60 s. [in Russian].
- Popova, V. V., Shiryayeva, A.V., Morozova, P. A. (2018). Izmeneniya harakteristik snezhnogo pokrova na territorii Rossii v 1950-2013 godah: regional'nye osobennosti i svjaz' s global'nym potepleniem [Changes in the characteristics of snow cover on the territory of Russia in 1950-2013: regional features and the relationship with global warming]. *Kriosfera Zemli*. XXII. 4. pp. 65-75. doi: 10.21782/KZ1560-7496-2018-4(65-75). [in Russian].
- Popova, V. V., Morozova, P. A., Titkova, T. B., Semenov, V. A., Cherenkova, E. A., Shiryayeva, A.V., Kitaev, L. M. (2015). Regional'nye osobennosti sovremennykh izmenenij zimnej akumuljatsii snega na severe Evrazii po dannym nabljudenij, reanaliza i sputnikovyh izmerenij [Regional features of modern changes in winter snow accumulation in the north of Eurasia according to observations, reanalysis and satellite measurements]. *Ljud i Sneg*. 55. 4. pp. 73-86. doi: 10.15356/2076/67342015-4-73-86. [in Russian].
- Popova, V., Babina, E., Georgiadi, A., Turkov, D. (2018). Snowfall and rainfall precipitation variation in European Russia: impact on river runoff under contemporary climate change. Practical Geography and XXI Century Challenges. *International Geographical Union Thematic Conference dedicated to the Centennial of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences*. 506-512.
- Popova, V. V., Turkov, D. V., Nasonova, O. N. (2021). Ocenki sovremennykh izmenenij snegozapasov v bassejne Severnoj Dviny po dannym nabljudenij i modelirovanija [Estimates of current changes in snow reserves in the Northern Dvina basin based on observations and modeling data for 2021] *Ljud i Sneg*, 61. 2. pp. 206-221. doi: 10.31857/S2076673421020082. [in Russian].
- Protopopov, V.V. (1975). Sredoobrazujushhaja rol' temnohojnogo lesa [Environment-forming role of dark coniferous forest]. Novosibirsk: Nauka, 327 p. [in Russian].
- Rakhmanov, V.V. Gidroklimaticeskaja rol' lesov [Hydroclimatic role of forests]. M.: *Lesnaya promyshlennost'*, 1984. 240 p. [in Russian].
- Rubtsov, M.V., Deryugin, A.A., Gurtsev, V.I. (1986). Vlijanie lesa na zapasy i tajanie snega v srednej tajge evropejskogo Severa [Influence of the forest on snow reserves and melting in the middle taiga of the European North]. *Lesovedenie*, 1, 11-16. [in Russian].
- Rutkovsky, V.I. (1956). Vlijanie lesov na nakoplenie i tajanie snega. V kn. Sneg i talye vody. Ih izuchenie i ispol'zovanie [Influence of forests on the accumulation and melting of snow // *Snow and melt waters*]. M.: Izd-vo AN SSSR, 184-205. [in Russian].
- Rutkovsky, V.I., Kuznetsova Z.I. (1940). Vlijanie nasazhdenij na snegovoj rezhim. [Influence of plantings on the snow regime]. *Trudy VNIILKh*, 18, 149-179. [in Russian].
- Sabo, E.D. (1956). Isparenije so snezhnogo pokrova v rajone Ergenej. V kn. Sneg i talye vody. Ih izuchenie i ispol'zovanie [Evaporation from the snow cover in the Yergeni region. // *Snow and melt waters* M.: Izd-vo AN SSSR, 44-51. [in Russian].
- Shmakin, A. B., Turkov, D. V., Mikhailov, A. Yu. (2009). Model' snezhnogo pokrova s uchetom sloistoj struktury i ee sezonnoj jevoljucii [A model of snow cover taking into account the layered structure and its seasonal evolution]. *Kriosfera Zemli*. XIII. 4. pp. 69-79. [in Russian].
- Shmakin, A. B. (2010). Klimaticheskie harakteristiki snezhnogo pokrova Severnoj Evrazii i ih izmeneniya v poslednie desjatiletija [Climatic characteristics of the snow cover of Northern Eurasia and their changes in recent decades]. *Ljud i Sneg*, 1. pp. 43-58. [in Russian].
- Storck, P., Lettenmaier, D., Bolton, S. (2002). Measurement of snow interception and canopy effects on snow accumulation and melt in a mountainous maritime climate, Oregon, *United States Water resources research*, 38, 11, 1223, doi:10.1029/2002wr001281.

- The main provisions of the organization and management of forestry in the East Kazakhstan region (mountainous region). *Afforestation plan*. (2009). Almaty: Kazakh Forest Inventory Enterprise, 360 p.
- Turkov, D.V., Sokratov, V.S., Titkova, T.B., Semenov, V.A., Popova, V.V. (2017). Snow Water Equivalent in Western Siberia as simulated by land-surface model, satellite data and from ERAInterim reanalysis. Proc. SPIE 10466, 23rd Intern. *Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics*. V. 10466. 55. doi: 10.1117/12.2285333.
- Voronkov, N. A. (1988). Rol' lesov v ohrane vod [The role of forests in water protection]. Leningrad. *Gidrometeoizdat*, 286 p. [in Russian].
- Voropai, N. N., Vlasov, V. K. (2017). Osobennosti raspredelenija snezhnogo pokrova na poberezh'e ozera Bajkal. [Features of the distribution of snow cover on the coast of Lake Baikal]. *Ljud i Sneg*. 57. 3. 355-364. doi: 10.15356/2076-6734-2017-3-355-36. [in Russian].