

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 551.578.467+578.46

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ: ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ЛЕСНЫХ МАССИВАХ КАК ВОЗМОЖНЫЙ ИСТОЧНИК ПОГРЕШНОСТЕЙ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

© 2020 г. Л. М. Китаев^а, *, А. С. Желтухин^б, **, Е. Д. Коробов^б, В. А. Аблеева^с, ***

^аИнститут географии РАН, Москва, Россия

^бЦентрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник,
Тверская обл., Нелидовский р-н, пос. Заповедный, Россия

^сПриокско-Террасный государственный природный биосферный заповедник,
Московская обл., Серпуховской р-н, пос. Данки, Россия

*e-mail: lkitaev@mail.ru

**e-mail: azheltukhin@mail.ru

***e-mail: sfm0@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.04.2019 г.

После доработки 09.07.2020 г.

Принята к публикации 12.08.2020 г.

Погрешности восстановленных по спутниковым данным снегозапасов в лесных массивах связаны, в основном, с характером снежной толщи и особенностями растительного покрова. Основная задача наших исследований состоит в оценке локальной изменчивости снегозапасов в современных климатических условиях в связи с таксономической неоднородностью лесных массивов — как возможного дополнительного источника погрешностей, восстановленных по спутниковой информации снегозапасов. Для реперных пунктов лесной зоны Восточно-Европейской равнины рассчитаны ошибки восстановленных по спутниковым данным характеристик снежного покрова (продукт GlobSnow(SWE), European Space Agency) для абсолютных значений, показателей межгодовой и многолетней изменчивости. Полученные погрешности связаны в том числе с особенностями учета в модельных алгоритмах отражающей способности снежного покрова в лесных массивах (коэффициент проницаемости). На основе данных экспериментальных наблюдений в пределах Центрально-Лесного заповедника выявлены заметные локальные различия фактических характеристик снежного покрова в лесных массивах с преобладанием хвойных и лиственных пород. Полученные закономерности могут быть использованы для уточнения региональных оценок снегозапасов с применением результатов спутниковой съемки.

Ключевые слова: снегозапасы, приземная температура воздуха, осадки, фактические и восстановленные данные, пространственная и многолетняя изменчивость, ряды Фурье, аномалии, регрессионные зависимости

DOI: 10.31857/S2587556620060072

ВВЕДЕНИЕ

Наличие снежного покрова, занимающего в холодный период года обширные пространства в умеренных и высоких широтах Евразии, оказывает существенное влияние на характер взаимодействия процессов в атмосфере и на поверхности суши. Периоды потеплений и похолоданий последнего столетия сопровождаются динамичными изменениями в характере снегонакопления, что приводит к заметным изменениям гидрологического режима и биоты. Все вышеперечисленное указывает на необходимость усовершенствования методов мониторинга снегонакопления — в частности, путем восстановления характеристик

снежного покрова по спутниковым данным. Основная причина существующей на сегодня несогласованности фактических и восстановленных снегозапасов связана с региональной пространственной неоднородностью и временной трансформацией снегозапасов. В качестве наиболее важных факторов, влияющих на формирование снежного покрова, признаны климатические условия, рельеф и характер растительности, и те же факторы рассматриваются основополагающими в процессе разработки алгоритмов восстановления снегозапасов по спутниковым данным.

Погрешности восстановленных снегозапасов в лесных массивах связаны, в основном, с измен-

чивостью характеристик снежной толщи и неоднородностью растительного покрова. Вместе с тем зависимости снегонакопления от таксономических характеристик лесных массивов и детализация в оценках временной изменчивости снегозапасов в связи с различиями растительного покрова на сегодня исследованы недостаточно.

Основная задача проводимых нами исследований состоит в оценке локальной изменчивости снегозапасов в связи с различиями лесной растительности как возможного дополнительного источника погрешностей восстановленных по спутниковой информации снегозапасов.

МЕТОДОЛОГИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Как уже упоминалось, распределение снегозапасов по территории зависит в значительной мере от климатических факторов (осадки, приземная температура воздуха, ветровой режим) и от характера растительности. Результаты работ В.М. Мишона [6–8] показывают превышение снегозапасов лесных массивов над снегозапасами открытых пространств в 1.4 раза — на основании анализа данных наблюдений Нижнедевицкой и Волховской водно-балансовых станций (лесостепная зона Воронежской области). В качестве основной причины различий выделяются ветро-метелевая сублимация снега и испарение с его поверхности [4]. В первом случае, по данным В.И. Панова, в степной зоне Восточно-Европейской равнины потери снегозапасов достигают 20–25% от их общей величины [9], во втором случае, по данным В.М. Котлякова, потери могут составлять до 30 мм — 25% общей величины [5]. Кроме того, высказываются предположения об увеличении турбулентности воздушных потоков над лесными массивами за счет их “шероховатости”, что приводит здесь к повышению интенсивности выпадения осадков, и, как следствие, к увеличению снегозапасов [7, 8]. Также имеются признаки усиленного снегонакопления на границе открытых пространств и лесных массивов, связанного, по-видимому, с повышенной здесь аккумуляцией переносимого метелями снега [2].

Процесс накопления снега в лесу, наряду с зависимостью от метеорологических условий, является сложной функцией климата, рельефа и таксационных характеристик лесных массивов. Соответствующие закономерности распределения снежного покрова в зоне лесов на сегодня разработаны недостаточно. Так, в частности, на метеорологических станциях, при проведении режимных маршрутных снегомерных съемок в лесу, особенности древостоя не фиксируются. В результате, неоднородность залегания снежного покрова может анализироваться лишь в сравнении данных наблюдений на открытых и лесных маршрутах конкретных метеорологических стан-

ций или же сравнением данных лесных снегомерных наблюдений, проводимых в разных природно-климатических зонах с заведомо различным составом лесной растительности, что не позволяет снизить неопределенность в оценках региональных снегозапасов.

Для оценки точности расчета снегозапасов по спутниковой информации нами использованы данные Продукта GlobSnow(SWE) второй версии, разработанного в рамках исследований Европейского Космического Агентства (European Space Agency). Рассчитанные моделью значения водного эквивалента снега (далее — восстановленные снегозапасы) получены по данным частотных каналов спутниковых радиометров 19 и 37 ГГц с точным разрешением начиная с 1979 г. по настоящее время с пространственным разрешением 25×25 км.

Механизм восстановления значений снегозапасов основывается на использовании полуэмпирической модели HUT (Helsinki Technological university — Технологический институт, Хельсинки). Модель описывает наблюдаемую радиояркостную температуру как функцию характеристик снежной толщи и с учетом влияния атмосферы и состояния лесной растительности для ячеек 25×25 км на Северное полушарие [13]. В качестве входных параметров используются наблюдаемые на метеорологических станциях толщина и плотность снега, размер зерна, приземная температура воздуха; в алгоритм расчета встроены блоки, оценивающие теплообмен снежной толщи с подстилающей поверхностью и атмосферой и описывающие особенности снежной толщи после начала снеготаяния [14].

В модели HUT второй версии восстановленные снегозапасы оптимизируются на основе байесовского подхода с учетом интерполируемых в соответствующую сетку фактических данных (в том числе, размер зерен в снежной толще), используемых в качестве входных параметров [12]. Кроме того, усовершенствован используемый ранее механизм оценки снегозапасов на залесенных территориях по спутниковым данным в оптическом диапазоне. В алгоритме SCAMod (Finland Environment Institute — Институт окружающей среды, Финляндия) влияние леса учитывается с помощью эмпирической модели отражения снежного покрова, где в качестве параметров используются значения коэффициента отражения снега, леса и свободной от снега поверхности. Получаемые в результате коэффициенты прозрачности лесных массивов корректируют в модели HUT расчет снегозапасов в лесных массивах [10, 11]. В итоге, по сведениям разработчиков продукта GlobSnow (SWE), ошибка модельных расчетов снегозапасов может достигать тем не менее 35% по отношению к данным наземных

Таблица 1. Многолетняя изменчивость снегозапасов по фактическим данным метеорологических станций и восстановленным значениям продукта GlobSnow(SWE) (февраль—март 1979—2016 гг.)

Пункт, тип растительности	Значения снегозапасов: фактические/восстановленные		
	Среднее, мм	Стандартное отклонение, мм	Коэффициент линейного тренда, мм/год
Калевала, тайга	102/171	24.5/30.9	<i>−0.471/−0.426</i>
Усть-Цильма, тайга	121/150	24.9/36.5	<i>−0.795/−0.405</i>
Вытегра, тайга	80/131	34.0/40.1	<i>−1.072/−0.669</i>
Опарино, тайга	125/179	23.6/36.4	<i>−1.167/−0.717</i>
Сухиничи, смешанные леса	42/74	23.3/23.1	<i>−0.102/−0.952</i>
Порецкое, лесостепь	48/74	21.7/20.8	<i>−0.661 /−0.306</i>

Примечание. Курсивом выделены незначимые коэффициенты линейного тренда.

наблюдений — при максимальных погрешностях на юго-западе региона, в связи, по-видимому, с повышенной здесь влажностью снега. Вместе с тем, разработчиками указано, что в лесной зоне разница в значениях восстановленных и фактических снегозапасов в отдельных случаях может достигать 60 мм. Повысить точность расчетов в должной степени авторам алгоритма не удалось ввиду сложности в оценке величины зерен, наличия в снежной толще ледяных корок, значительной глубины снега, отражательной способности снежного покрова в лесных массивах [12, 13].

Оценка качества воспроизведения межгодовой изменчивости снегозапасов продуктом GlobSnow(SWE) проведена нами путем сравнения соответствующих рядов восстановленных снегозапасов с данными наблюдений шести метеорологических станций Восточно-Европейской равнины (далее — фактические снегозапасы): тайга — Калевала, Усть-Цильма, Вытегра, Опарино; смешанные леса — Сухиничи; лесостепь — Порецкое. Для точки расположения каждой станции, согласно датам снегомерных маршрутных наблюдений, формировались ряды суточных данных соответствующей ячейки продукта GlobSnow (SWE) на период 1979—2016 гг. для января и февраля, как месяцев с максимальными снегозапасами, наиболее значимыми для годового гидрологического цикла.

Особенности локальной изменчивости снегонакопления в лесных массивах как возможной причины дополнительных погрешностей в расчетах снегозапасов по спутниковым данным исследованы нами с использованием результатов экспериментальных работ на территории Центрально-Лесного заповедника, расположенного в подзоне южной тайги верховьев Западной Двины (Тверская область). Анализируются результаты снегомерных съемок на двух закрепленных маршрутах

в лесных массивах с преобладанием хвойных и лиственных пород. Ход приземной температуры воздуха и осадков исследован здесь с использованием данных наблюдений на метеорологической открытой площадке. Все объекты наблюдения расположены в непосредственной близости друг от друга, измерения проводились в соответствии с методиками Росгидромета.

ТОЧНОСТЬ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ СНЕГОЗАПАСОВ ДАННЫМИ ПРОДУКТА GLOBSNOW (SWE)

Как видно из табл. 1, восстановленные средние за период снегозапасы превышают фактические с ошибкой 24—76%. Для реперных пунктов, расположенных в зоне тайги, стандартное отклонение для восстановленных снегозапасов заметно превышает стандартное отклонение фактических снегозапасов (ошибка 26—61%) в отличие от реперных пунктов в смешанных лесах и лесостепи, где погрешности невелики (ошибка −0.8...−1.2%). В последнем случае малые различия стандартного отклонения восстановленных и фактических снегозапасов можно, по-видимому, связывать с большими погрешностями расчетов в густых хвойных массивах тайги. Значимое многолетнее убывание фактических снегозапасов характерно для всех метеорологических станций — коэффициенты линейного тренда −0.661...−1.167 мм/год, что превышает скорость убывания восстановленных снегозапасов с меньшими или незначимыми коэффициентами линейного тренда (см. табл. 1).

Подобные ошибки, по мнению разработчиков модели, во многом связаны с качеством входной информации. Процесс использования в качестве входных параметров и верификатора в алгоритме расчета данных наблюдений (характер зерна, влажность ледяные прослойки в снежной толще) требует существенной доработки ввиду недоста-

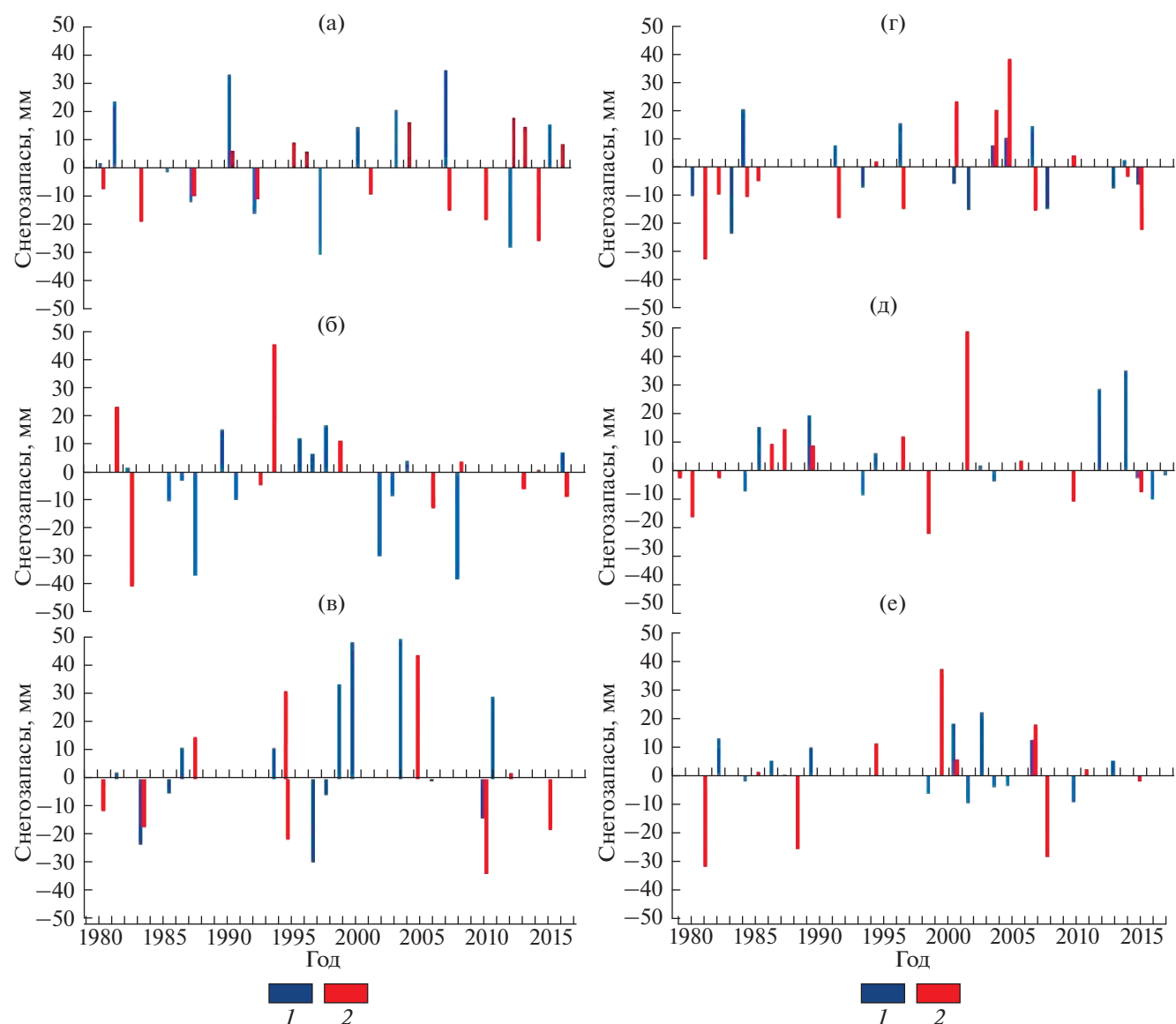


Рис. 1. Годы аномальных значений снегозапасов. Реперные пункты: (а) – Калевала, (б) – Усть-Цильма, (в) – Вытегра, (г) – Опарино, (д) – Сухиничи, (е) – Порецкое. 1 – фактические данные (метеорологические станции), 2 – данные продукта GlobSnow (SWE).

точного количества пунктов наблюдения, неравномерного их распределения по территории и разрывов в рядах данных. Поправки, связанные с отражающей способностью поверхности под пологом леса (коэффициент проницаемости лесных массивов) создавались на примере ограниченной территории – бореальной тайги Финляндии, что также создает дополнительную неопределенность в оценках снегозапасов других регионов.

Особенности многолетних изменений снегозапасов проиллюстрированы нами также ходом их аномалий. В качестве аномалий рассматриваются превышения исследуемыми характеристиками величины стандартного отклонения много-

летних рядов в положительной и отрицательной областях распределения. Как для положительных, так и отрицательных аномалий для периода 1979–2016 гг. отмечается от четырех до шести аномальных лет, т.е. 11–16% от продолжительности ряда. Отсутствие совпадений для разных метеорологических станции вполне логично – в данном случае сказываются региональные различия снегонакопления. Вместе с тем совпадения аномалий фактических и расчетных снегозапасов как в отрицательной, так и положительной областях имеются лишь в двух-трех случаях в течение расчетного периода (рис. 1).

Таблица 2. Основные характеристики приземной температуры воздуха, осадков и снегозапасов в период с устойчивым снежным покровом в пределах Центрально-Лесного заповедника (1999–2015 гг.)

Среднегодовы́е характеристики		Березняк/ельник		
		Среднее	Стандартное отклонение	Коэффициент линейного тренда (величина/год)
Приземная температура воздуха, °С	средняя	–3.0/–3.2	1.7/1.9	–0.05/0.01
	сумма	–404/–408	235/224	–6.03/2.12
Суммарные осадки, мм		167/160	40.9/40.5	–0.18/–0.17
Снегозапасы, мм		85/ 64	35.3/29.5	–3.41/ –2.74
Снегозапасы максимальные, мм		138/103	57.0/45.3	–6.3/– 3.1
Дата максимума снегозапаов, количество дней с 1 марта		17 /19	11.5/10.3	–0.04/0.24
Период залегания устойчивого снежного покрова, дни		149/127	60.7/17.1	–2.82/–0.22

Примечание. Курсивом выделены незначимые коэффициенты линейного тренда.

ЛОКАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ЛЕСНЫХ МАССИВАХ НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Процесс накопления снега в лесу, наряду с зависимостью от метеорологических условий, является сложной функцией многих факторов и прежде всего таксационных характеристик – породного состава лесонасаждений, их полноты, ярусности и возраста, сомкнутости лесного полога. Указанное А.В. Мишоном соотношение снегозапасов открытых и залесенных пространств в 1.4 раза основано на анализе данных наблюдений в лесостепи Воронежской области, где лесные массивы имеют существенное преобладание лиственных пород [7, 8]. Подобное соотношение получено нами в результате проведения экспериментальных работ в аналогичных условиях лесостепи Курской области [1]. Наши исследования в подзоне смешанных лесов (Приокско-Террасный заповедник, юг Московской области) позволили оценить различия в снегонакоплении уже для лесных участков с разным породным составом: среднегодовы́е снегозапасы лесных массивов с преобладанием лиственных пород превышают здесь снегозапасы лесных массивов с преобладанием хвойных пород в 1.25 раза [3].

Особенности снегонакопления в лесных массивах Центрально-Лесного заповедника исследованы с использованием данных снегомерных съёмок на двух закреплённых маршрутах:

– лесной массив с преобладанием хвойных пород: **ельник неморально кисличный**, средневозрастной, средней густоты с отдельными, небольшими по размеру, ветровальными окнами – далее **ельник**;

– лесной массив с преобладанием лиственных пород: **березняк неморальный**, сформировавшийся на месте вырубki 50-летней давности, с равномерным, средней густоты древостоем и отдель-

ными куртинами ели во втором ярусе – далее **березняк**.

Рассмотрена пространственная и временная (многолетняя) изменчивость для следующих характеристик (период 1999–2015 гг.): снегозапасы (водный эквивалент снега) – сезонные средние и максимальные; даты наступления максимума снегозапасов; период залегания устойчивого снежного покрова; приземная температура воздуха – средняя и суммарная и сумма осадков за период с устойчивым снежным покровом. Данные, приведенные в табл. 3, показывают незначительные расхождения среднегодовы́х значений температуры воздуха и осадков для лиственных и хвойных массивов – –3.0...–3.2 °С и 167–160 мм при практически равных значениях стандартного отклонения – соответственно 1.7–1.9 °С и 40.9–40.5 мм.

Средние и максимальные снегозапасы березняка превышают снегозапасы ельника соответственно в 1.32–1.34 раза, величина стандартного отклонения – соответственно в 1.20–1.25 раза (табл. 2). Если превышение снегозапасов лиственных лесов над снегозапасами открытых пространств лесостепной зоны связано с испарением с поверхности снега [5, 9], то в зоне смешанных лесов упомянутые различия внутри лесных массивов связаны с перехватом кронами хвойных деревьев твердых осадков с последующим их испарением, а также с меньшим испарением с затененной кронами поверхности снега. Исходя из результатов исследования в Приокско-Террасном заповеднике, превышение снегозапасов лиственных массивов над снегозапасами открытых пространства и хвойных массивов равнозначно [3].

Меньшая изменчивость (стандартное отклонение) многолетнего ряда снегозапасов в ельнике Центрально-Лесного заповедника может быть связана с практическим отсутствием здесь метеорологического перераспределения снега, незначитель-

Таблица 3. Регрессионная зависимость многолетнего хода изменчивости характеристик снежного покрова от изменений приземной температуры воздуха и суммы осадков за период с устойчивым снежным покровом

Характеристика	Регрессионные коэффициенты (березняк/ельник)		
	Общий коэффициент	Бета коэффициенты	
		Суммарная приземная температура воздуха, °С	Осадки, мм
Средние снегозапасы, мм	0.513/0.748	–0.476/–0.444	0.140/0.528
Максимальные снегозапасы, мм	0.470/0.804	–0.271/–0.445	0.231/0.675
Дата максимума снегозапасов	0.666/0.701	0.042/–0.477	0.526/0.136
Период залегания устойчивого снежного покрова, дни	0.486/0.707	0.124/0.169	0.401/0.715

ным воздействием прямого солнечного излучения и, соответственно, меньшим испарением с поверхности снега. Большой период залегания снежного покрова в березняке по отношению к ельнику – в 1.22 раза – связан с большими снегозапасами в березняке. Средне многолетние различия в дате наступления максимумов снегозапасов березняка и ельника составляют два дня, равно как невелики различия в величине стандартного отклонения – 11.5 и 10.3 дней. Значимые многолетние тенденции выявлены только для средних и максимальных снегозапасов – с отрицательным знаком коэффициентов линейного тренда (см. табл. 2). Скорость многолетнего снижения снегозапасов в березняке существенно превышает скорость снижения в ельнике – в 1.24–2.03 раза, что может быть связано с меньшей зависимостью изменений снежного покрова от приземной температуры воздуха под покровом хвойных лесов.

Сходство и различие многолетних рядов характеристик может быть также проиллюстрировано распределением во времени их аномалий. В качестве аномальных мы рассматриваем значения характеристик, превышающие величину стандартного отклонения в положительной и отрицательной областях распределения – для рядов с удаленным трендом (рис. 2). Для средних и максимальных снегозапасов прослеживается полное совпадение аномальных лет в березняках и ельниках; для остальных характеристик совпадения встречаются менее чем в половине случаев. Наибольшее количество аномальных случаев фиксируется для продолжительности залегания снежного покрова.

Зависимость межгодовой изменчивости характеристик снежного покрова от изменчивости суммарных за период с устойчивым снежным покровом приземной температуры воздуха и осадков в большей степени проявляется в ельнике, нежели в березняке (см. табл. 3) – общие коэффициенты регрессии составляют 0.707 и 0.486. Соответственно величинам бета-коэффициентов

многолетний ход средних и максимальных снегозапасов в березняке зависит прежде всего от хода приземной температуры воздуха (отрицательная зависимость), в ельнике – от суммы твердых осадков (положительная зависимость). Можно предположить, что кроны хвойных деревьев в значительной степени снижают прогрев поверхности, и в результате основным фактором изменчивости снегонакопления здесь становятся осадки. Кроме того, возможность перехвата кронами хвойных пород твердых осадков должна, по-видимому, иметь некий предел, и при интенсивных или продолжительных снегопадах скорость накопления снега на поверхности может увеличиваться.

Дата появления максимальных снегозапасов в березняке в большей степени зависит от суммарных осадков (положительная зависимость), в ельнике – от приземной температуры воздуха (отрицательная зависимость). Здесь, по-видимому, также сказывается задержка осадков кронами хвойных деревьев, и появление максимальных снегозапасов становится зависимым в первую очередь от приземной температуры воздуха. Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом как в березняке, так и в ельнике в большей степени зависят от суммарных осадков (см. табл. 3).

ВЫВОДЫ

Исследования показали наличие существенных различий фактических и восстановленных по спутниковым данным характеристик снежного покрова. Восстановленные алгоритмом продукта GlobSnow (SWE) значения снегозапасов в реперных точках превышают фактические с ошибкой 24–76%, величину стандартного отклонения – с ошибками 26–61% в зоне тайги и –0.8...–1.2% в смешанных лесах и лесостепи. В данном случае процесс использования не в качестве входных параметров и верификатора в алгоритме расчета данных наземных наблюдений требует существенной доработки ввиду недостаточного коли-

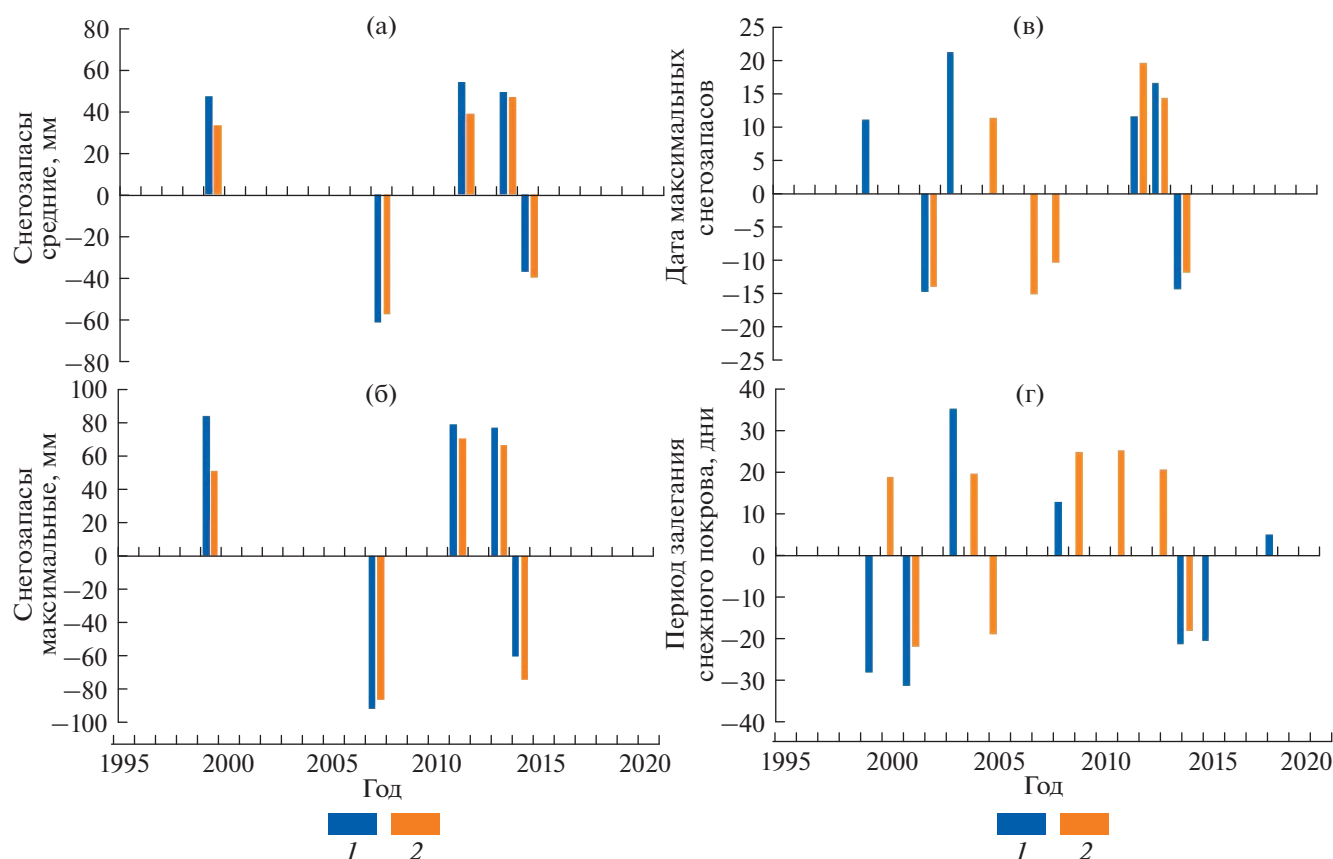


Рис. 2. Многолетний ход аномалий: (а) — средние снегозапасы (мм); (б) — максимальные снегозапасы (мм); (в) — дата максимальных снегозапасов (дни с 1 марта); (г) — период с устойчивым снежным покровом (дни). 1 — березняк, 2 — ельник.

чества пунктов наблюдения, неравномерного их распределения по территории и разрывах в рядах данных. Коэффициент проницаемости лесных массивов, используемый в алгоритме, разработан на примере ограниченной территории — бореальной тайги Финляндии, с чем связана дополнительная неопределенность в оценках снегозапасов других регионов. Анализ хода аномальных значений снегозапасов для периода 1979–2016 гг. показал наличие от четырех до шести аномальных лет, что составляет 11–16% продолжительности ряда. Совпадения аномалий фактических и восстановленных снегозапасов имеются лишь в двух-трех случаях в течение расчетного периода.

В ходе работ рассмотрены также особенности локального распределения снегозапасов на территории Центрально-Лесного заповедника. Выявлены существенные различия характеристик снежного покрова лесных массивов с преобладанием хвойных (ельник) и лиственных (березняк) пород. Так, величина снегозапасов и стандартное отклонение их многолетнего ряда, а также продолжительность залегания устойчивого снежного покрова в березняке заметно превышают значения

соответствующих характеристик в ельнике. Скорость многолетнего снижения снегозапасов в березняке существенно превышает скорость снижения снегозапасов в ельнике — в 1.24–2.03 раза. Зависимость межгодовой изменчивости характеристик снежного покрова от изменчивости приземной температуры воздуха и осадков в большей степени проявляется в ельнике. Многолетний ход средних и максимальных снегозапасов в березняке зависит прежде всего от хода приземной температуры воздуха, в ельнике — от суммы твердых осадков.

Таким образом, погрешности восстановленных алгоритмом GlobSnow (SWE) снегозапасов, связанные с особенностями характеристик снежной толщи и влиянием лесной растительности на пассивное микроволновое излучение, могут быть связаны также с существенной локальной неоднородностью характеристик снежного покрова в лесных массивах.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты

№ 18-05-00440 и 20-55-00007 (сбор и обработка первичной информации), а также в рамках госзадания Института географии РАН № 0148-2019-0009 “Изменения климата и их последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России”.

FUNDING

The work was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research, projects no. 18-05-00440 and no. 20-55-00007 (collection and processing of initial information), and within the framework of the state-ordered research theme of the Institute of Geography RAS, no. 0148-2019-0009 (“Climate Change and Consequences for the Environment and Population Life and Activities on the Territory of Russia”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Китаев Л.М.* Статистический анализ распределения характеристик снежного покрова Курской модельной области // Материалы метеорологических исследований. 1998. № 16. С. 65–72.
2. *Китаев Л.М., Крюгер О., Шерстюков Б.Г., Хобе Х.* Признаки влияния растительности на распределение снежного покрова // Метеорология и гидрология. 2005. № 7. С. 61–69.
3. *Китаев Л.М., Аблеева В.А., Асаинова Ж.А.* Влияние лесной растительности на тенденции локальной изменчивости снеготопливных запасов // Труды Приокско-Террасного заповедника. Тула: Изд-во Аквариус, 2015. Вып. 6. С. 67–77.
4. *Котляков В.М.* Гляциологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 526 с.
5. *Котляков В.М.* Снежный покров Земли и ледники. Л.: ГИМИЗ, 1968. 475 с.
6. *Мишон В.М.* Снежные ресурсы и местный сток: закономерности формирования и методы расчета. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1988. 192 с.
7. *Мишон В.М.* Река Воронеж и ее бассейн: ресурсы и водно-экологические проблемы. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2000. 296 с.
8. *Мишон В.М.* Теоретические и методические основы оценки ресурсов поверхностных вод в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения Европейской части России: Автореф. дис. ... д-ра географ. наук. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2007. 40 с.
9. *Панов В.И.* Потери снега на ветро-метельную сублимацию и снос в открытых и лесомелиорированных агроландшафтах степной зоны // Научно-агрономический журн. 2016. № 2 (99). С. 10–12.
10. *Kruopis N., Praks J., Arslan A.N., Alasalmi H., Koskinen J., Hallikainen M.* Passive microwave measurements of snow-covered forest areas // EMAC'95. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 1999. V. 37. P. 2699–2705.
11. *Metsämäki S., Anttila S., Huttunen M., Vepsäläinen J.* A feasible method for fractional snow cover mapping in boreal zone based on a reflectance model // Remote Sensing of Environment. 1995. V. 95 (1). P. 77–95.
12. *Pulliainen J.* Mapping of snow water equivalent and snow depth in boreal and sub-arctic zones by assimilating space-borne microwave radiometer data and ground-based observations // Remote Sensing of Environment. 2006. V. 101. P. 257–269.
13. *Pulliainen J., Hallikainen M.* 2001. Retrieval of regional snow water equivalent from space-borne passive microwave observations // Remote Sensing of Environment. V. 75. P. 76–85.
14. *Takala M., Pulliainen J., Sari J., Metsämäki O., Koskinen J.T.* Detection of Snowmelt Using Spaceborne Microwave Radiometer Data in Eurasia from 1979 to 2007 // IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2009. V. 4. № 9. P. 2996–3007.

Snow Cover: Characteristics of Local Distribution in Forests as Possible Source of Satellite Data Errors

L. M. Kitaev^{1, *}, A. S. Zheltukhin^{2, **}, E. D. Korobov², and V. A. Ableeva^{3, *}**

¹*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

²*Central Forest State Nature Biosphere Reserve, Tver oblast, Zapovedny, Russia*

³*Prioksko-Terrasny State Nature Biosphere Reserve, Moscow oblast, Dunki, Russia*

*e-mail: lkitaev@mail.ru

**e-mail: azheltukhin@mail.ru

***e-mail: sfm0@yandex.ru

The errors in the snow reserves recovered from satellite data in forest territories are mainly associated with the nature of the snow thickness and the characteristics of plant communities. The main objective of our research is to assess the local variability of snow reserves in modern climatic conditions in connection with the forest taxonomic heterogeneity as a possible additional source of errors in snow reserves calculating with using satellite information. Errors of snow cover characteristics recovered from satellite data (product GlobSnow (SWE), European Space Agency) for basic points within the forest zone of the East European Plain were calculated for absolute values, indicators of interannual and long-term variability. The errors obtained are connected with the approaches considering in model algorithms the reflective ability of the snow cover in forest tracts (permeability coefficient). Using experimental observations results in the Central Forest Reserve, noticeable local differences in the actual characteristics of the snow cover in the forest territories with

a predominance of coniferous or deciduous species are revealed. The obtained patterns can be used to refine regional estimates of snow reserves calculating using satellite imagery.

Keywords: snow reserves, surface air temperature, precipitation, factual and restored data, spatial and long-term variability, anomalies, regression dependencies

REFERENCES

1. Kitaev L.M. Statistical analysis of the distribution of snow cover characteristics in the Kursk model region. In *Materialy Meteorologicheskikh Issledovaniy* [Materials of Meteorological Research]. Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1998, vol. 16, pp. 65–72. (In Russ.).
2. Kitaev L.M., Kryuger O., Sherstyukov B.G., Hobe H. Signs of the influence of vegetation on the distribution of snow cover. *Meteorol. Gidrol.*, 2005, no. 7, pp. 61–69. (In Russ.).
3. Kitaev L.M., Ableeva V.A., Asainova ZH.A. The influence of forest vegetation on trends in local variability of snow storage. In *Tr. Prioksko-Terrasnogo Zapovednika* [Proc. of the Prioksko-Terrasny Reserve]. Tula: Akvarius Publ., 2015, vol. 6, pp. 67–77. (In Russ.).
4. Kotlyakov V.M. *Glyatsiologicheskii slovar'* [Glaciological Dictionary]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1984. 526 p.
5. Kotlyakov V.M. *Snezhnyi pokrov Zemli i ledniki* [Earth's Snow Cover and Glaciers]. Leningrad: GIMIZ Publ., 1968. 475 p.
6. Mishon V.M. *Snezhnye resursy i mestnyi stok: zakonomernosti formirovaniya i metody rascheta* [Snow Resources and Local Runoff: Formation Patterns and Calculation Methods]. Voronezh: Voronezh. Gos. Univ., 1988. 192 p.
7. Mishon V.M. *Reka Voronezh i ee bassein: resursy i vodno-ekologicheskie problemy* [Voronezh River and its Basin: Resources and Water-Environmental Problem]. Voronezh: Voronezh. Gos. Univ., 2000. 296 p.
8. Mishon V.M. Theoretical and methodological foundations for assessing surface water resources in areas of insufficient and unstable humidification of the European part of Russia. *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Voronezh: Voronezh. State Univ., 2007. 40 p.
9. Panov V.I. Snow losses due to wind-and-snow sublimation and demolition in open and forest-reclaimed agro-landscapes of the steppe zone. *Nauchno-Agronomicheskii Zh.*, 2016, no. 2(99), pp. 10–12. (In Russ.).
10. Kruopis N., Praks J., Arslan A. N., Alasalmi H., Koskinen J., Hallikainen M. Passive microwave measurements of snow-covered forest areas. *EMAC'95. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1999, vol. 37, pp. 2699–2705.
11. Metsämäki S., Anttila S., Huttunen M., Vepsäläinen J. A feasible method for fractional snow cover mapping in boreal zone based on a reflectance model. *Remote Sens. Environ.* 1995, vol. 95(1), pp. 77–95.
12. Pulliainen J. Mapping of snow water equivalent and snow depth in boreal and sub-arctic zones by assimilating space-borne microwave radiometer data and ground-based observations. *Remote Sens. Environ.*, 2006, vol. 101, pp. 257–269.
13. Pulliainen J., Hallikainen M. Retrieval of regional snow water equivalent from space-borne passive microwave observations. *Remote Sens. Environ.*, 2001, vol. 75, pp. 76–85.
14. Takala M., Pulliainen J., Sari J., Metsämäki O., Koskinen J.T. Detection of Snowmelt Using Spaceborne Microwave Radiometer Data in Eurasia from 1979 to 2007 *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 2009. vol. 4, no. 9, pp. 2996–3007.