

УДК 551.578.42(470.53)(045)

*Л.А. Злыднева, Е.В. Пищальникова***ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЛАНДШАФТА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И РЕАНАЛИЗА (НА ПРИМЕРЕ г. ПЕРМЬ)**

Научный интерес к динамике снежного покрова растет особенно в связи с изменчивостью климата. Возможности мониторинга снежного покрова постоянно совершенствуются, позволяя учитывать его характеристики из труднодоступных мест в гидродинамических моделях атмосферы, для нужд прогнозирования климата и погоды. В данной работе представлен анализ данных натурных наблюдений в малых формах рельефа с данными наблюдений стационарной сети наземных наблюдений и реанализа ERA5-Land. Установлено, что временная изменчивость высоты и плотности снежного покрова в различных элементах ландшафта успешно воспроизводится реанализом. Самые близкие значения характеристик снежного покрова наблюдаются в период его становления. Наибольшей неравномерностью в распределении снежного покрова отличаются отрицательные формы рельефа и лесные опушки, что определяется метелевым переносом. Высота снежного покрова в поле при маршрутных наблюдениях в окрестности метеостанции и стационарных наблюдений на метеостанции имеет расхождения в среднем на 1–4 см. Высота снежного покрова в балке на 10–22 % больше, чем в поле и на 10 % больше, чем в лугу. Показано, что наибольшая плотность снега наблюдается на открытых участках, так как в условиях открытой местности важная роль в уплотнении снежного покрова принадлежит ветру. Сравнение данных натурных наблюдений с реанализом о распределении плотности снежного покрова показывает малые расхождения: не более 0,08 г/см<sup>3</sup>. Максимальное отклонение от фактических данных наблюдается в первой половине марта.

*Ключевые слова:* снежный покров, элементы ландшафта, высота снега, плотность снежного покрова, натурные наблюдения, реанализ ERA5-Land.

DOI: 10.35634/2412-9518-2021-31-3-301-310

Снег с присущими ему уникальными физическими свойствами, такими как высокое альbedo, низкая шероховатость и низкая теплопроводность, имеет значительную пространственную и временную изменчивость, которая в значительной степени определяет взаимодействие энергии и воды между атмосферой и поверхностью суши. Физико-механические свойства снега, его строение и особенности распространения находятся в тесной зависимости от ландшафтных условий территории [1; 2. С. 20–54]. Знания о пространственно-временной изменчивости характеристик снежного покрова и о влиянии ландшафта на распределение снежного покрова играют ключевую роль в определении сроков и величины весеннего стока талых вод [3; 4]. Кроме того, точная оценка состояния снежного покрова имеет решающее значение для улучшения начальных условий для численных прогнозов погоды, моделирования, прогнозирования климата, управления водными ресурсами, обеспечения готовности к наводнениям и смягчения их последствий. В настоящее время существует множество видов мониторинга снежного покрова, основанных на различных принципах измерения его характеристик. В мониторинг снежного покрова входят постоянные наблюдения на гидрометеорологических станциях и постах, снегомерные съемки по маршруту на разных формах рельефа, авиаразведки снежного покрова с применением аэрофотосъемки и гамма-съемки, телеметрические наблюдения, дистанционные спутниковые наблюдения, численные модели снежного покрова, данные различных реанализов [5–10]. С помощью перечисленных методов можно получить сведения о состоянии параметров снежного покрова: высота и его плотность, запас воды в снеге или водный эквивалент, покрытость территории снегом [11–15]. В настоящей работе представлен сравнительный анализ натурных наблюдений снежного покрова в разных элементах ландшафта с данными наземного мониторинга и реанализа с целью выявления ограничений по применению глобальных данных для узких прикладных задач.

**Материалы и методы исследований**

Существующая система сетевых снегомерных наблюдений охватывает в основном два элемента ландшафта (поле и лес), а вся остальная территория с ее многочисленными видами поверхностей, элементами рельефа и растительного покрова, переходными зонами (от поля к лесу, от ровного места к оврагам/ балкам) имеет распределение снежного покрова, отличающееся большой неравномерно-

стью, и почти не оснащена измерениями [5]. Перемещается снег по физическим законам переноса песка, то есть на участках, менее подверженных сильным ветрам происходит накопление снега, и образуются снежные микроформы рельефа, а места, которые находятся под длительным воздействием ветра, лишены снежного покрова [10].

Для проведения натурных наблюдений был выбран маршрут, находящийся на восточной окраине города Перми. В границах районов Ива, Костарёво, Висим маршрут в виде ломанной линии ориентирован с юго-запада на северо-восток, с запада на восток и с юго-юго-запада на северо-северо-восток. Продолжительность маршрута 1 км без коэффициента перепадов высот. В самой ближней точке расстояние до трассы на восточный обход составляет 500 м. Столько же до ближайшего садового товарищества, находящегося на склонах первой балки. От ближайших капитально застроенных кварталов подход под маршрут составляет 1 км. Расстояние от начала маршрута до метеостанции Пермь составляет 2 км. Маршрут начинается в поле, в котором присутствует растительность, непосредственно влияющая на распределение снежного покрова. Вторым объектом маршрута является балка, по дну которой проходит временный водоток в период дождей и снеготаяния. Балка ориентирована с юго-востока на северо-запад. Дно полого-вогнутое, без выраженного русла. Длина около 600 м. Склоны задернованы. Присутствует растительность: на подошве балки — высокая трава, по склонам — заросли кустарников и лиственные деревья. После балки маршрут проходит через поле. В поле также присутствует растительность высотой до 1 м. С момента выхода маршрута из балки ориентация идет на угловую опору ВЛЭП 10 кВ. Лесная часть маршрута проходит вдоль просеки через лог, которая находится в междуречье реки Огаршиха и безымянной речки. Лог ориентирован с востока-юго-востока на северо-запад. Реки имеют глубокие долины, перепады высот составляют 20 м. Склоны логов, а также берега рек укреплены противозерозионной геосеткой. Вдоль двух вышеуказанных основных водотоков прибрежная линия укреплена щебнем. По линии просеки зарыт газопровод, проходящий на уровне 155 м над уровнем моря. Лес является характерным для данного района субъекта и сформированным по большей части из темнохвойного древостоя. Однако встречаются «острова» молодых ельников, березняков, а также небольшой сосновый бор (рис. 1).



Рис. 1. Карта расположения маршрута натурных измерений снежного покрова

Натурные наблюдения за снежным покровом проводились с января по апрель 2018–2020 гг., еженедельно с 10 ч 30 мин до 15 ч 00 мин по местному времени. При поломке снегомера измерения проводились только по рейке. Высота снежного покрова измерялась каждые 10 м в поле и каждые 5 м в балке

и в логу, для ее измерения применялась переносная снегомерная рейка. Также определялась плотность снежного покрова каждые 100 м в поле и каждые 50 м в логу с помощью весового снегомера.

Для сравнения натуральных наблюдений с реанализом был выбран набор данных ERA5-Land. Он является последней климатической разработкой Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) и представляет собой ежечасный глобальный набор данных о поверхности суши с разрешением 9 км, согласующийся с атмосферными данными из повторного анализа ERA5, начиная с 1950 г. Информация представляет собой мгновенное значение высоты снежного покрова, осредненное по квадрату сетки с пространственным разрешением 9 км ( $0,1 \times 0,1^\circ$ ). Данные с 1981 г. по настоящее время уже доступны для общего пользования. Данные периода 1950–1980 гг. находятся в стадии подготовки и планируется к публичному выпуску в 2021 г. Поля поверхности в ERA5-Land кодируются в формате GRIB1 или GRIB2 [16]. С целью сравнительного анализа из всего массива глобальных данных был отобран узел, ближайший к координатам маршрута снегомерных наблюдений за снежным покровом. Для обработки информации использовалось программное обеспечение QGIS – свободная географическая информационная система, предназначенная для создания и использования картографии.

### Результаты и их обсуждение

Замеры высоты снега были произведены в период с января по апрель 2018–2019 гг. и с января по март 2020 г. Данные, приведенные на рис. 2 (а, б, в), характеризуют ход снегонакопления на полевых и овражно-балочных участках в сравнении с данными реанализа ERA5-Land. Кривые распределения средней высоты снежного покрова имеют сложный вид с несколькими экстремумами. В течение периода наблюдений происходит непрерывный рост высоты снежного покрова. На рис. 2а максимум отмечается в конце марта к началу весеннего снеготаяния. Для данного периода наибольшая высота снежного покрова в поле составила 61 см, в балке – 63 см, в логу – 70 см. Кроме того большие высоты также отмечались в конце января в балке и составляли 55 см, 28 февраля – 62 и 48 см для балки и поля соответственно, и 14 марта – 54 и 48 см для лога и поля соответственно. По данным ERA5-Land максимумы отмечены в последних декадах января, февраля и марта. Наибольшая высота снежного покрова зафиксирована 28 февраля и составила 67 см. Данные максимумы связаны с сильными снегопадами и метелями. Уменьшению высоты снежного покрова способствовали дефицит осадков и сильные ветра с низкой относительной влажностью, которые привели к интенсивному испарению снега в первых двух декадах февраля и арктические вторжения в третьей декаде марта. Из графика видно, что в январе и феврале значения высоты снежного покрова в балке и по данным реанализа приблизительно равны, максимальное расхождение составляет около 5 см. Также наиболее близкие совпадения высоты снежного покрова в данных реанализа с наземными наблюдениями отмечаются в период начала снеготаяния – первая декада апреля.

В результате выпадения большого количества осадков в феврале 2019 г. (рис. 2б), как по данным снегосъемки, так и по данным реанализа, максимум приходится на конец февраля–начало марта и составляет 70 см в поле, 78 см в логу, 79 см в балке. По причине частых снегопадов немалые высоты также зафиксированы 11 и 23 января, и 6 февраля. В третью декаду января территория Пермского края находилась под влиянием арктического вторжения, что стало причиной резкого уменьшения высоты снежного покрова по данным натуральных наблюдений. В то же время реанализ показывает рост высоты снежного покрова, завышая фактические данные в среднем на 10 см. В марте высота снежного покрова начала активно уменьшаться, так как наблюдались слабые оттепели и осадки в виде дождя.

Кривые распределения высоты снежного покрова в 2020 г. непрерывно возрастают до начала второй декады февраля и далее идут более ровно без значительных перепадов. Такая особенность распределения объясняется избытком осадков в январе (рис. 2в). Максимальные значения высот приходятся на конец первой декады февраля. По данным снегосъемки высота снега на 10 февраля составила в балке 76 см, в логу и поле 68 см, по данным ERA5-Land 73 см. Стоит отметить, что кривая распределения высоты снежного покрова по данным реанализа имеет более схожий вид с кривыми, построенными по данным снегомерных наблюдений. Разница между данными колеблется от 1 до 7 см. Наиболее хорошо реанализ воспроизводит значения высоты снежного покрова в логу.

Наибольшее количество снега наблюдается в пониженных формах рельефа (балка, лог), так как в условиях открытой местности важная роль в формировании и распределении запасов снега принадлежит метелевому снегопереносу, то есть ветру. Средняя высота снежного покрова при снегосъемке

2018 г. в балке и логу составляет 53 и 48 см соответственно, что на 22 и 9 % больше, чем в поле. Кроме того, установлено, что толщина снежного покрова в балке по отношению к логу на 10 % больше. Это объясняется тем, что в период с середины января по третью декаду марта господствующим ветром был юго-юго-восточный, и лес, находящийся вдоль маршрута через лог, стал препятствием для ветрового снегопереноса. В период наблюдений 2019 г. средняя высота в балке и логу составила 60 см, что на 10 % больше, чем в поле. Существенных различий в высоте снега между балкой и логом не зафиксировано. Неполные наблюдения в 2020 г. также указывают на наибольшее снегонакопление в балке в сравнении с полем. Значение высоты снежного покрова в балке составило 69 см, что на 10 % больше, чем в поле и на 9 % больше, чем в логу. Так как балка имеет пологие склоны и невысокую растительность снегозаносимость ее наибольшая и практически равномерная по сравнению с логом. Увеличению высоты снежного покрова в балке способствовало преобладание южного и юго-юго-восточного ветров, вследствие чего снег выдувался с поля и задерживался в балке. В логу наибольшая снегозаносимость отмечается в том случае, когда преобладающими ветрами является южный и юго-юго-восточный.

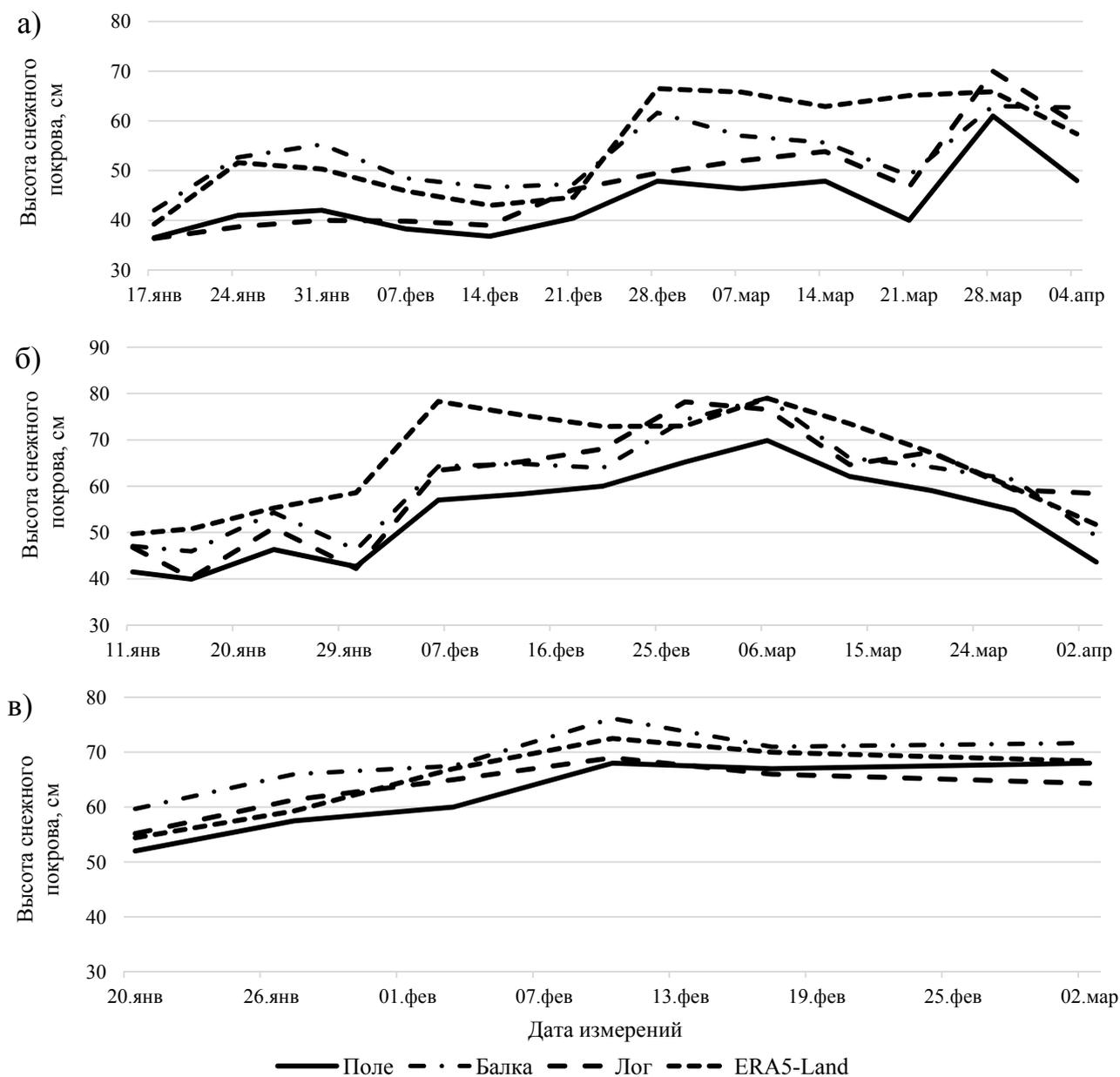


Рис. 2. Изменение средней высоты снежного покрова в зависимости от элементов ландшафта в сравнении с ERA5-Land: а – 2018 г., б – 2019 г., в – 2020 г.

Гистограмма с показателями средней высоты снежного покрова по данным снегомерных съемок в районе Костарёво, реанализа ERA5-Land и данными ближайшей метеостанции Пермь в период наблюдений с середины января по начало апреля 2018–2019 гг. и с третьей декады января по начало марта 2020 г. отображена на рис. 3. Между показателями средней высоты снежного покрова по данным снегомерных наблюдений в Костарево и постоянной рейки метеостанции заметны расхождения в среднем на 1–4 см. Такое различие возможно по нескольким причинам: различие условий формирования снежного покрова и неравномерность распределения из-за особенностей рельефа, большая удаленность от крупных городских агломераций, особенности расположения станции, а также влияние элементов ландшафта, в частности леса, который является препятствием для ветровой эрозии. Сравнение данных наблюдений с реанализом ERA5-Land с точки зрения воспроизведения им распределения снежного покрова в целом показывает расхождения порядка около 6 см. Довольно близкое соответствие распределения высоты снежного покрова по данным реанализа инструментальным наблюдениям отмечается в 2020 г., разница составила всего лишь 1 см. Сравнивая периоды наблюдений, видно, что высота снежного покрова имеет тенденцию к увеличению, что в большей степени зависит от синоптической обстановки в районе исследования и погодно-климатических особенностей холодных периодов: более снежные без оттепелей зимы 2019–2020 гг. и морозная с отсутствием осадков зима 2018 г.

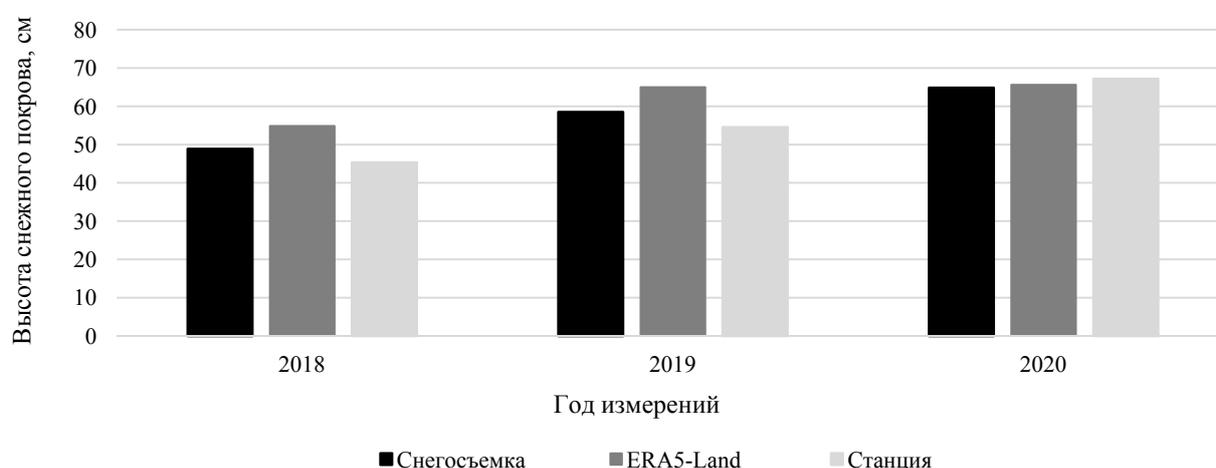


Рис. 3. Средняя высота снежного покрова по данным натурных измерений (снегосъемка), реанализа ERA5-Land и данных наземной сети (станция)

Во многих научных и практических задачах наряду с высотой снежного покрова используется его плотность, которая весьма чувствительна к температурному фону, фазовому состоянию осадков, ветровому режиму. Изменения толщины и плотности снежного покрова становятся заметными в конце марта – начале апреля. Снег тает в течение дня, а ночью вновь подмерзает и не дает еще существенного стока. Таяние снега идет значительно скорее, чем его накопление.

Поскольку снег распределяется на местности неравномерно, плотность его тоже изменчива. В периоды снегомерных наблюдений 2018–2020 гг. были проведены замеры плотности снега. Кривые распределения средней плотности снежного покрова имеют сложный вид с несколькими экстремумами (рис. 4 а, б, в). В течение периода наблюдений происходит непрерывный рост плотности снежного покрова. На рис. 4а максимум отмечается в начале апреля к началу весеннего снеготаяния. Для данного периода наибольшая плотность снежного покрова в балке составила  $0,24 \text{ г/см}^3$ , в поле  $0,26 \text{ г/см}^3$  и в логу  $0,28 \text{ г/см}^3$ . Помимо этого, немалые плотности также отмечались 7 марта для поля  $0,25 \text{ г/см}^3$ , 14 марта для балки  $0,23 \text{ г/см}^3$  и в третьей декаде марта для лога  $0,20 \text{ г/см}^3$ . Данные максимумы связаны с усилением скорости ветра на открытых участках и теплой первой декадой апреля. Кривая по данным ERA5-Land имеет схожий вид с кривыми распределения плотности снежного покрова по данным снегосъемки вплоть до начала марта и далее наблюдаются расхождения в данных в пределах от  $0,01$  до  $0,08 \text{ г/см}^3$ . Наибольшие отклонения от фактических данных наблюдаются в первой и второй декадах марта. По реанализу плотность достигает максимума 4 апреля со значением  $0,23 \text{ г/см}^3$ , также наибольшая плотность отмечена 28 марта  $0,20 \text{ г/см}^3$ . Уменьшению плотности снежного покрова способствовали сильные снегопады с метелью в четвертой декаде января, февраля и марта.

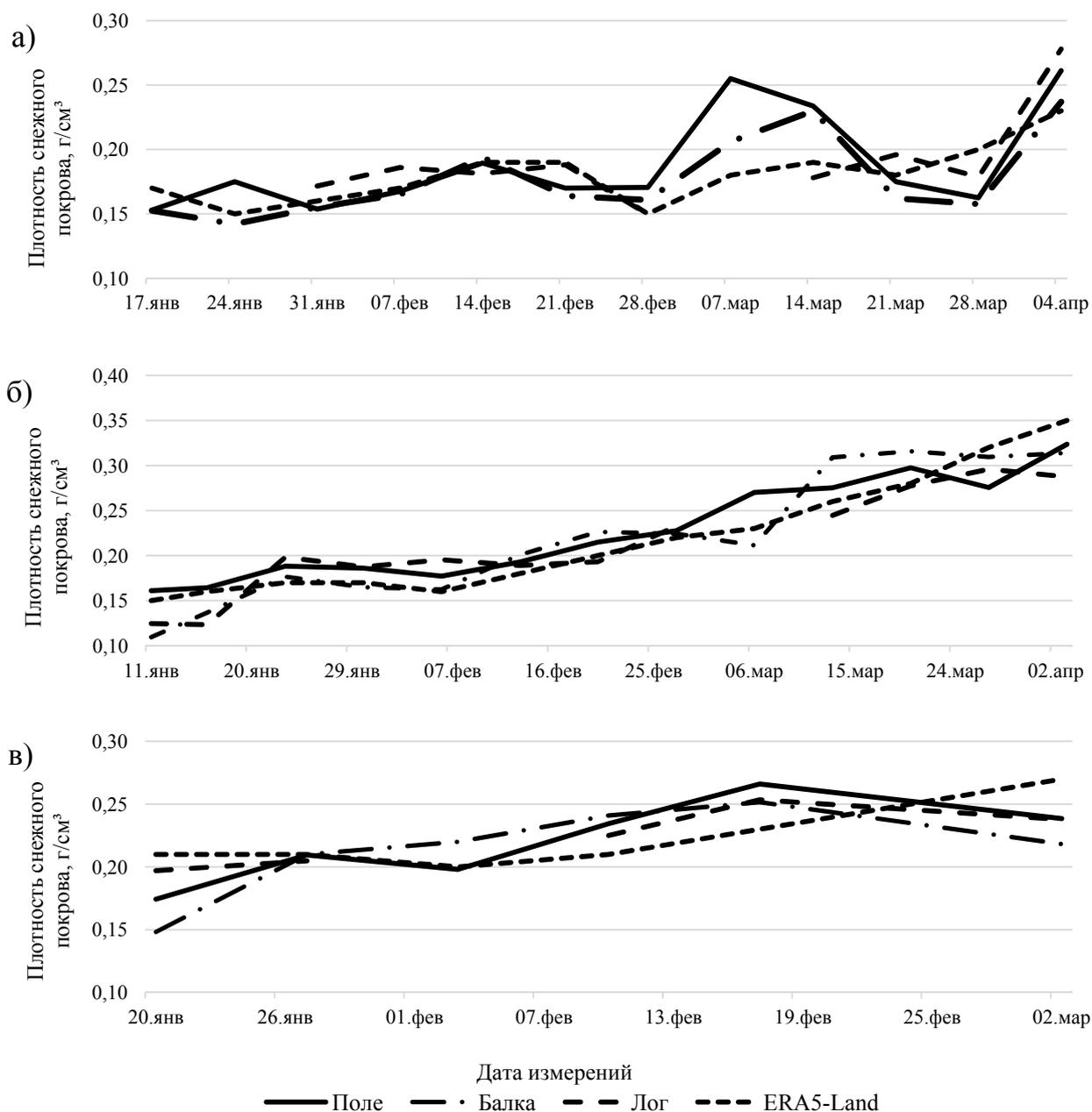


Рис. 4. Изменение средней плотности снежного покрова в зависимости от элементов ландшафта в сравнении с ERA5-Land: а – 2018 г., б – 2019 г., в – 2020 г.

Максимум плотности по данным снегосъемки 2019 г. (рис. 4 б) приходится на конец марта – начало апреля и составляет  $0,30 \text{ г/см}^3$  в логу,  $0,32 \text{ г/см}^3$  в балке и поле. По причине умеренных ветров большие плотности также зафиксированы в конце января, и в результате оттепели с осадками в виде дождя в первой половине марта. Кривая распределения плотности снежного покрова по данным реанализа имеет более плавный ход и достигает пика в первой декаде апреля. На 3 апреля плотность по данным ERA5-Land составила  $0,35 \text{ г/см}^3$ . Реанализ в целом имеет отклонение от фактических данных на  $0,02 \text{ г/см}^3$ . Максимальные расхождения отмечаются в балке 13 марта –  $0,05 \text{ г/см}^3$  и в логу 3 апреля –  $0,06 \text{ г/см}^3$ .

В 2020 г. средняя плотность снежного покрова на разных микроформах рельефа постепенно возрастает с последней декады января и достигает пика во второй декаде февраля (рис. 4в). Максимальная плотность 17 февраля в балке и логу составила  $0,25 \text{ г/см}^3$ , в поле  $0,27 \text{ г/см}^3$ . С 18 февраля до конца натурных наблюдений показатели плотности начали убывать. По данным реанализа наблюдается постепенный рост плотности в течение периода наблюдений, кроме первой декады февраля, когда отмечался

непрерывный слабый снег и плотность уменьшилась на  $0,01 \text{ г/см}^3$ . Максимальное значение плотности по данным ERA5-Land составило  $0,27 \text{ г/см}^3$ . При этом в реанализе происходит как завышение, так и занижение средней плотности по отношению к натурным наблюдениям. В третьей декаде января и конце февраля–начале марта превышение колеблется от  $0,01 \text{ г/см}^3$  до  $0,06 \text{ г/см}^3$ . Занижение показателей в целом составляет  $0,02 \text{ г/см}^3$  и наблюдается в первой и второй декадах февраля.

Наибольшая плотность снега наблюдается на открытых участках, так как в условиях открытой местности важная роль в уплотнении снежного покрова принадлежит ветру. В зимние периоды 2018–2019 гг. средняя плотность снежного покрова в поле в среднем на  $0,01\text{--}0,02 \text{ г/см}^3$  больше, чем в логу и балке. Существенных различий в плотности снежного покрова между балкой и логом не зафиксировано. Гистограмма с показателями средней плотности снежного покрова по данным снегомерных съемок в районе Костарёво и реанализа ERA5-Land в период наблюдений с середины января по начало апреля 2018–2019 гг. и с третьей декады января по начало марта 2020 г. отображена на рис. 5.

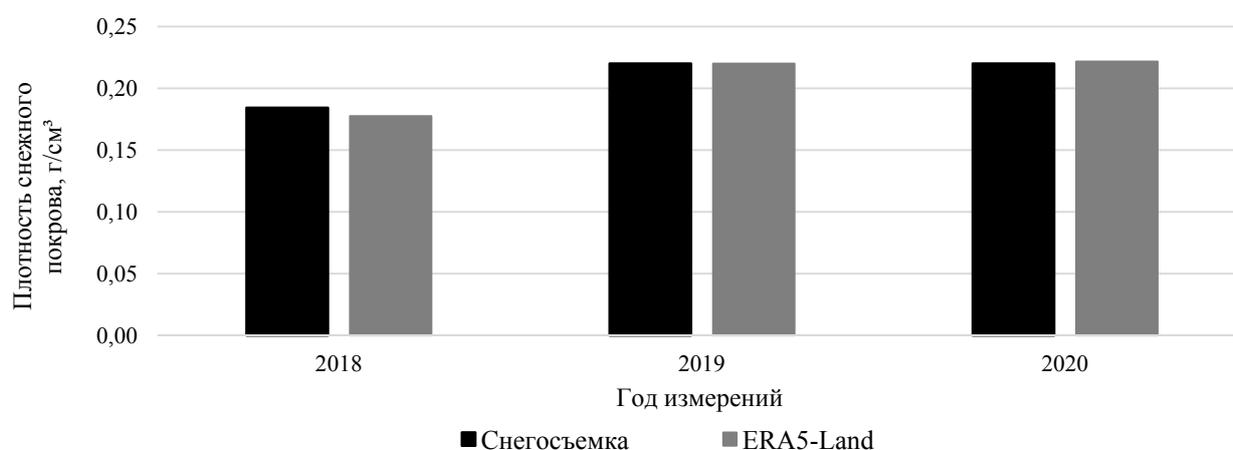


Рис. 5. Средняя плотность снежного покрова за весь период наблюдений по данным снегосъемки и ERA5-Land.

Сравнение данных наблюдений с реанализом с точки зрения воспроизведения им распределения плотности снежного покрова в целом показывает расхождения порядка около  $0,01 \text{ г/см}^3$ . Довольно близкое соответствие распределения высоты снежного покрова по данным реанализа инструментальным наблюдениям отмечается в 2019 и 2020 гг. На разницу показателей плотности снежного покрова в разные периоды наблюдений влияют погодные-климатические условия в районе исследования.

## Выводы

Пространственно-временное распределение высоты и плотности снежного покрова находится в тесной зависимости от целого ряда факторов: выпадающих осадков, от направления преобладающих ветров; таких явлений, как оттепель и метель. В зависимости от сочетания погодных-климатических условий и особенностей рельефа из года в год складываются различия в снегонакоплении. На основании выполненного исследования можно сделать предварительные выводы:

- межгодовая изменчивость параметров снежного покрова на восточной окраине города Пермь успешно воспроизводится реанализом ERA5-Land;
- наиболее близкие совпадения характеристик снежного покрова в данных реанализа с фактическими данными наблюдаются в период становления снежного покрова;
- наибольшей неравномерностью в распределении снежного покрова отличаются отрицательные формы рельефа (балка, лог) и лесные опушки, это обуславливается, вероятнее всего, особенностями метелевого переноса. Увеличение высоты снежного покрова на разных элементах ландшафта связано с сильными снегопадами и метелями, уменьшение высоты – с дефицитом осадков, сильными ветрами, с низкой относительной влажностью, арктическими вторжениями, а также оттепелями. Высота снежного покрова в поле при маршрутных наблюдениях в окрестности метеостанции (в пределах 5 км) и стационарных наблюдений на метеостанции за искомый период имеет расхождения в среднем на 1–4 см. Высота снежного покрова в балке на 10–22 % больше, чем в поле и на 10 % больше, чем в логу;

– существенных различий в плотности снега в разных элементах ландшафта не выявлено, сравнение натурных наблюдений с данными реанализа показывает расхождения плотности порядка  $0,02 \text{ г/см}^3$ .

Необходимо подчеркнуть, что замеров, проведенных в течение трех зимних сезонов, не достаточно для составления полноценной статистики и надежных выводов, поэтому исследования в данном направлении требуют продолжения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Войтковский К.Ф. Основы гляциологии. М.: Наука, 1999. 255 с.
2. Копанев И.Д. Снежный покров на территории СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1978. 180 с.
3. Булыгина Н.О., Коршунова Н.Н., Разуваев В.Н. Мониторинг снежного покрова на территории Российской Федерации // Труды Гидрометцентра России. 2017. Вып. 366. С. 87-96.
4. Сухова О.В. Пространственно-временная изменчивость основных характеристик снежного покрова на территории Пермского края // Географический вестник. 2012. Вып. 3 (22). С. 64-71.
5. Наставление по гидрометеорологическим станциям и постам. Вып.3, Ч. 1 Метеорологические наблюдения на станциях. Л.: Гидрометеоздат, 1985. С. 98-113.
6. Romanov P., Gutman G., Csiszar I. Automated monitoring of snow cover over North America using multispectral satellite data // Journ. of Applied Meteorology. 2000. Vol. 39. P. 1866-1880.
7. Казакова Е.В. Ежедневная оценка локальных значений и объективный анализ характеристик снежного покрова в рамках системы численного прогноза погоды COSMO-Ru: дис. ... канд. ф.-мат. наук. М.: Гидрометцентр России, 2015. 181 с.
8. Pan M. et al. Snow process modeling in the North American Land Data Assimilation System (NLDAS): 2. Evaluation of model simulated snow water equivalent // Journal of Geophysical Research Atmospheres. 2003. Vol. 108. P. 1220-1235.
9. Казакова Е.В., Чумаков М.М., Розинкина И.А. Модель для расчета характеристик снежного покрова на основе данных наблюдений стандартной метеорологической сети // Труды Гидрометцентра России. 2014. Вып. 352. С. 85-102.
10. Гельфан А.Н., Морейдо В.М. Динамико-стохастическое моделирование формирования снежного покрова на Европейской территории России // Лёд и Снег. 2014. № 2 (126). С. 44-52.
11. Телегина А.А., Фролова Н.Л., Китаев Л.М., Титкова Т.Б. Оценка точности спутниковой информации о снегозапасах крупных водосборов европейской территории России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11, № 2. С. 38-49.
12. Турков Д.В., Сократов В.С. Расчет характеристик снежного покрова равнинных территорий с использованием модели локального теплообмена SPONSOR и данных реанализа на примере Московской области // Лёд и снег. 2016. Т. 56, № 3. С. 369-380.
13. Harpold A.A., Guo Q., Molotch N., Brooks P., Bales R., Fernandez-Diaz J.C. LiDAR derived snowpack dataset from mixed conifer forests in the Western United States // Water Resources Research. 2014. Vol. 50. P. 2749-2755. DOI: 10.1002/2013WR013935.
14. McCreight J.L., Small E.E. Modeling bulk density and snow water equivalent using daily snow depth observations // The Cryosphere. 2014. Vol. 8. P. 521-536.
15. Prokop A., Schirmer M., Rub M., Lehning M., Stocker M. A comparison of measurement methods: terrestrial laser scanning, tachymetry and snow probing for the determination of the spatial snow-depth distribution on slopes // Annals Glaciology. 2008. Vol. 49. P. 210-216.
16. Сайт Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF). URL: <https://www.ecmwf.int/en/about> (дата обращения: 01.10.2020).

Поступила в редакцию 14.09.2021

Злыднева Любовь Андреевна, магистр гидрометеорологии  
ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»  
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15  
E-mail: lyuba.zlydneva.97@mail.ru

Пищальникова Евгения Владимировна, кандидат географических наук,  
начальник отдела метеорологических прогнозов, доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы  
Пермский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды –  
филиал ФГБУ «Уральское УГМС»  
614030, Россия, г. Пермь, ул. Новогайвинская, 70  
ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»  
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15  
E-mail: evaropova@rambler.ru

L.A. Zlydneva, E.V. Pischalnikova

**THE INFLUENCE OF LANDSCAPE ELEMENTS ON THE DISTRIBUTION OF SNOW COVER ACCORDING TO FIELD MEASUREMENTS AND ANALYSIS (ON THE EXAMPLE OF PERM).**

DOI: 10.35634/2412-9518-2021-31-3-301-310

The scientific interest in snow dynamics is growing steadily, especially in relation to climate variability. The ability to monitor snow cover is being improved, which makes it possible to take into account the characteristics of snow cover from hard-to-reach places in hydrodynamic models of the atmosphere. As a result, the quality of climate and weather forecasting improves. This paper presents an analysis of field observation data in small relief forms with observation data from a stationary network of ground-based observations and ERA5-Land reanalysis. It was found that the temporal variability of the height and density of the snow cover in various elements of the landscape is successfully reproduced by reanalysis. The closest values of the characteristics of the snow cover are observed during the period of its formation. The greatest unevenness in the distribution of snow cover is distinguished by negative landforms and forest edges, which seems to be determined by snowstorm transport. The height of the snow cover in the field during route observations in the vicinity of the meteorological station and stationary observations at the meteorological station has discrepancies on average by 1-4 cm. The height of the snow cover in the gully is 10–22 % higher than in the field and 10 % more than in the log. It is shown that the highest snow density is observed in open areas, since in open areas, the wind seems to play an important role in compaction of the snow cover. Comparison of field observation data with reanalysis on the distribution of snow cover density shows small discrepancies: no more than 0.08 g/cm<sup>3</sup>. The maximum deviation from the actual data is observed in the first half of March.

*Keywords:* snow cover, landscape elements, snow depth, snow cover density, field observations, ERA5-Land reanalysis.

REFERENCES

1. Voytkovskiy K.F. *Osnovy glyatsiologii* [Foundations of glaciology], Moscow: Nauka, 1999, 255 p (in Russ).
2. Kopanev I.D. *Snezhnyy pokrov na territorii SSSR* [Snow cover on the territory of the USSR], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1978, pp. 20–54 (in Russ).
3. Bulygina N.O., Korshunova N.N., Razuvaev V.N. [Monitoring snow cover on the territory of Russia], in *Trudy Gidromettsentra Rossii*, 2017, no. 366, pp. 87-96 (in Russ).
4. Sukhova O. V. [The spatial and temporal variability of the main characteristics of snow cover in the Perm Region] in *Geograficheskiy vestnik*, 2012, no. 3 (22), pp. 64–71(in Russ).
5. *Nastavlenie po gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam. Vyp.3, chast' 1 Meteorologicheskie nablyudeniya na stantsiyakh* [Manual on hydrometeorological stations and posts, Iss.3, Part Meteorological observations at stations], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985, pp. 98–113 (in Russ).
6. Romanov P., Gutman G., Csiszar I. Automated monitoring of snow cover over North America using multispectral satellite data, in *Journal of Applied Meteorology*, 2000, vol. 39, pp. 1866–1880.
7. Kazakova E.V. *Ezhednevnyaya otsenka lokal'nykh znacheniy i ob"ektivnyy analiz kharakteristik snezhnogo pokrova v ramkakh sistemy chislennogo prognoza pogody COSMO-Ru* [Daily assessment of local values and objective analysis of snow cover characteristics in the framework of the COSMO-Ru numerical weather forecasting system], Cand. of Physical and Mathematical sci. diss., Moscow: Hydrometeorological Center of Russia, 2015, 181 p. (in Russ).
8. Pan M. et al. Snow process modeling in the North American Land Data Assimilation System (NLDAS): 2. Evaluation of model simulated snow water equivalent, in *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2003, vol. 108, pp. 1220–1235.
9. Kazakova E.V., Chumakov M.M., Rozinkina I.A. [Model for calculating the characteristics of snow cover based on observation data of the standard meteorological network], in *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2014, no. 352, pp. 85–102 (in Russ).
10. Gelfan A.N., Moreido V.M. [Dynamic-stochastic modeling of snow cover formation on the European territory of Russia], in *Led i Sneg*, 2014, no. 2 (126), pp. 44–52 (in Russ).
11. Telegina A.A., Frolova N.L., Kitaev L.M., Titkova T.B. [Estimation of precision of snow storage satellite data for large watersheds of European Russia], in *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, vol. 11, no. 2, pp. 38–49 (in Russ).
12. Turkov D.V., Sokratov V.S. [Calculating of snow cover characteristics on a plain territory using the model SPONSOR and data of reanalysis (by the example of Moscow region)], in *Led i sneg*, 2016, vol. 56, no. 3, pp. 369–380 (in Russ).
13. Harpold A.A., Guo Q., Molotch N., Brooks P., Bales R., Fernandez-Diaz J.C. LiDAR derived snowpack dataset from mixed conifer forests in the Western United States, in *Water Resources Research*, 2014, vol. 50, pp. 2749–2755. DOI: 10.1002/2013WR013935.
14. McCreight J.L., Small E.E. Modeling bulk density and snow water equivalent using daily snow depth observations, in *The Cryosphere*, 2014, vol. 8, pp. 521–536.

15. Prokop A., Schirmer M., Rub M., Lehning M., Stocker M. A comparison of measurement methods: terrestrial laser scanning, tachymetry and snow probing for the determination of the spatial snow-depth distribution on slopes, in *Annals Glaciology*, 2008, vol. 49, pp. 210–216.
16. *Sayt Evropeyskogo tsentra srednesrochnykh prognozov pogody* [Website European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF)], Available at: <https://www.ecmwf.int/en/about> (accessed: 01.10.2020) (in Russ).

Received 14.09.2021

Zlydneva L.A., undergraduate of Hydrometeorology  
Perm State University  
Bukireva st., 15, Perm, Russia, 614990  
E-mail: lyuba.zlydneva.97@mail.ru

Pischalnikova E.V., Candidate of Geography, Head of weather forecasts, Associate Professor at Department of Meteorology and Air Protection  
Perm Center for Hydrometeorology and Environment Monitoring  
Novogayvinskaya st., 70, Perm, Russia, 614030  
Perm State University  
Bukireva st., 15, Perm, Russia, 614990  
E-mail: evapopova@rambler.ru