МЕТЕОРОЛОГИЯ
Научная статья
УДК 551.578.4
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-110-116
EDN: NDUMSR

ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЛЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ В ГИС-ПРИЛОЖЕНИЯХ

Андрей Дмитриевич Крючков ✉, Анна Александровна Поморцева, Илья Александрович Сидоров
Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия
✉ candy55man@ya.ru, ORCID: 0000-0002-3693-6025, SPIN-код: 7491-1985, eLibrary AuthorID: 846357

Аннотация. Представлены результаты исследования по восстановлению пространственного распределения характеристик снежного покрова (высоты снега и запасов воды в снеге) на территории Пермского края с использованием методов интерполяции в ГИС-приложениях. На основе данных гидрометеорологических наблюдений за сезоны 2020–2024 гг. выполнена оценка точности восстановления полей для северной, центральной, южной частей региона. Проведено сравнение трех методов интерполяции: Сплайн, Кригинг, Обратно Взвешенные Расстояния (ОВР). Установлено, что метод Кригинга демонстрирует наилучшую точность (ошибки менее 15 %) для северной и центральной частей региона, в то время как метод Сплайна показал значительные ошибки, особенно в южной части и в периоды с неустойчивым снежным покровом. Метод ОВР показывает стабильные, но слабо сглаженные результаты. Для всех трех методов характерна тенденция к занижению расчетных значений по сравнению с фактическими данными измерений. Наибольшие ошибки (до 45 %) в соответствующих рядах данных отмечаются в периоды активного снеготаяния (март-апрель). В пространственном выражении из-за отсутствия достаточного количества исходной информации для южной части Пермского края страдает качество интерполяции при использовании всех рассматриваемых методов. Показано, что все инструменты в среднем занижают влагозапасы. Для Чернушки относительная ошибка Сплайна достигает 33 %, у Кригинга и ОВР – около 20 %. В течение сезона ошибки растут до февраля, затем снижаются, а при снеготаянии снова увеличиваются. Делается вывод о целесообразности применения метода Кригинга как наиболее сбалансированного метода для восстановления пространственных полей снежного покрова в условиях Пермского края.

Ключевые слова: высота снега, влагозапасы, ГИС-приложения, Сплайн, Кригинг, ОВР
Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 24-27-00054.
Для цитирования: Крючков А. Д., Поморцева А. А., Сидоров И. А. Особенности восстановления полей пространственного распределения характеристик снежного покрова на территории Пермского края с помощью инструментов интерполяции в ГИС-приложениях // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 2(77). С. 110–116. EDN: NDUMSR DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-110-116

METEOROLOGY
Original article
DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-110-116
EDN: NDUMSR

RECONSTRUCTION OF SPATIAL DISTRIBUTION FIELDS OF SNOW COVER CHARACTERISTICS IN PERM KRAI USING INTERPOLATION TOOLS IN GIS APPLICATIONS

Andrey D. Kryuchkov ✉, Anna A. Pomortseva , Iliya A. Sidorov
Perm State University, Perm, Russia
✉ candy55man@ya.ru, ORCID: 0000-0002-3693-6025, SPIN-code: 7491-1985, eLibrary AuthorID: 846357

Abstract. The article presents the results of a study on the reconstruction of the spatial distribution of snow cover characteristics (snow depth and snow water equivalent) in Perm Krai conducted with the use of interpolation methods in GIS applications. Basing on hydrometeorological observation data for the 2020–2024 seasons, we performed an assessment of the accuracy of fields reconstruction for the northern, central, and southern parts of the region. Three interpolation methods were compared: spline, kriging, and inverse distance weighting (IDW). The study has found that the kriging method demonstrates the best accuracy (errors of less than 15 %) for the northern and central parts of the

© Крючков А. Д., Поморцева А. А., Сидоров И. А., 2026
Лицензировано под CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

region, while the spline method shows significant errors, especially in the southern part and during periods of unstable snow cover. The IDW method produces stable but slightly smoothed results. All the methods tend to underestimate values compared to actual data. The highest reconstruction errors (up to 45 %) are observed during periods of active snowmelt (March–April). In spatial terms, due to the lack of sufficient source information for the southern part of Perm Krai, the quality of interpolation suffers when using all the methods under consideration. All the tools, on average, understate moisture reserves. For Chernushka, the relative error of the spline approach reaches 33 %, of the kriging approach and IDW – about 20 %. During the season, the errors increase until February, then decrease, and increase again with snowmelt. The conclusion is made about the advisability of using kriging as the most balanced method for reconstructing spatial fields of snow cover in the conditions of Perm Krai.

Keywords: snow depth, snow water equivalent, GIS applications, Spline, Kriging, IDW

Funding. The work was supported financially by the Russian Science Foundation (RSF), project no. 24 27 00054.

For citation: Kryuchkov A. D., Pomortseva A. A., Sidorov I. A. Reconstruction of spatial distribution fields of snow cover characteristics in Perm Krai using interpolation tools in GIS applications. *Geographical Bulletin*, 2026, no. 2(77), pp. 110–116. EDN: NDUMSR DOI: 10.17072/2079-7877-2026-2-110-116

Введение

Снежный покров играет важную роль в климатической системе Земли, влияя на радиационный баланс, гидрологический цикл, биогеохимические процессы. Изучение характеристик снежного покрова на региональном уровне, где значительные колебания температуры и количества осадков оказывают существенное влияние на формирование и таяние снега, основано на использовании данных сети гидрометеорологического мониторинга. Такие наблюдения, хотя и являются наиболее точными по сравнению с другими источниками информации, не позволяют в полной мере оценить пространственно-временное распределение характеристик снега в силу редкого и неравномерного расположения наблюдательных подразделений [1–4; 6–10]. Фактические сведения о запасах влаги в снежном покрове получают в результате ландшафтно-маршрутных измерений, которые в силу трудоемкости процесса не могут обеспечить требуемую детализацию по времени, необходимую для качественной оценки региональных климатообразующих факторов. По разным причинам проводимые в наблюдательных подразделениях мероприятия по контролю на маршрутах не всегда соответствуют нормативам. Кроме того, в выборочных рядах бывают пропуски данных, что тоже оказывает влияние на последующий анализ полученной информации [3; 4; 8–10]. Именно поэтому проблема восстановления пространственного распределения характеристик снежного покрова является актуальной задачей в современных географических исследованиях.

При восстановлении данных активно используются различные статистические методы [1; 2; 6], а также инструменты интерполяции данных, например, в геоинформационных технологиях [6; 7; 11]. Современные геоинформационные системы (ГИС) предоставляют широкий спектр инструментов для анализа и визуализации пространственных данных, включая методы интерполяции, позволяющие восстанавливать непрерывные поля характеристик снежного покрова на основе ограниченного числа наблюдений. Однако выбор оптимального метода интерполяции зависит от множества факторов, таких как тип исследуемого объекта, плотность сети наблюдения, наличие рельефных ограничений, требуемая точность результатов.

Цель данной статьи заключается в изучении возможностей и особенностей различных методов интерполяции для восстановления пространственного распределения характеристик снежного покрова на примере Пермского края, который характеризуется большим разнообразием ландшафтных и климатических условий снегонакопления. Рассматриваются основные подходы к выбору оптимальных алгоритмов интерполяции, а также оцениваются преимущества и ограничения каждого из них применительно к условиям региона.

Материалы и методы

В качестве исходных данных использовались материалы наблюдений за характеристиками снежного покрова (высота снега и запасы воды в снеге), проводимых на сети гидрометеорологического мониторинга Пермского края, а также соседних регионов. Рассматривались периоды с октября по май в сезоны 2020–2024 гг. [5]. Изучение высоты снега было основано на среднемесячных данных, влагозапасов – на декадных значениях.

Было определено три станции, для которых в дальнейшем проводилось исследование. На севере региона – Чердынь, в центральной части – Пермь, в южной зоне – Чернушка. Последовательно исключая значения на данных станциях из стартовых параметров, проводилось восстановление полей высоты снежного покрова и влагозапасов в нем с помощью различных инструментов интерполяции, встроенных в программный комплекс ArcGIS. К таким инструментам относятся методы Сплайн, Кригинг, Обратно Взвешенные Расстояния (ОВР) [12].

Инструмент Сплайн создает гибкую поверхность, проходящую через каждую точку данных, используя полиномиальные уравнения. Сплайны хороши для визуализации рельефа местности и моделирования плавных изменений метеорологических характеристик.

Инструмент Кригинг использует статистический подход, который предполагает наличие пространственных корреляций между точками данных и позволяет оценить точность полученных результатов путем вычисления стандартных отклонений. Кригинг применяется там, где важна высокая точность анализа.

Инструмент Обратно Взвешенные Расстояния (ОВР) представлен алгоритмом, основывающимся на предположении, что значения точек вблизи измеренной точки оказывают большее влияние на расчет результата,

чем удаленные точки. Используется для пространственно-распределенных явлений, где имеет значение эффект близости.

В результате проделанной работы были сформированы временные ряды данных с информацией о высоте снега и запасе воды в снежном покрове в точках, соответствующих выбранным станциям, для каждого исследуемого инструмента интерполяции и два ряда на основе ландшафтно-маршрутных наблюдений. Производилось сопоставление фактических и расчетных данных. Произведен расчет абсолютной и относительной ошибок. Относительная ошибка считалась приемлемой, если не превышает 15 %.

Результаты и их обсуждение

При пространственном представлении результатов с точки зрения визуального восприятия полученной информации наиболее качественную картину показывает инструмент Сплайн. Особенностью данного инструмента является способность обеспечивать высокую степень сглаживания, поэтому на картах отсутствуют резкие скачки и изломы линий, характерные, например, для Кригинга.

Кроме того, можно отметить, что в южной и центрально-восточной частях карты, построенной по данным Сплайна (рис. 1а), присутствуют ярко выраженные зоны значений высоты снега, в то время как на карте Кригинга этих зон не наблюдается или они имеют меньшую выраженность.

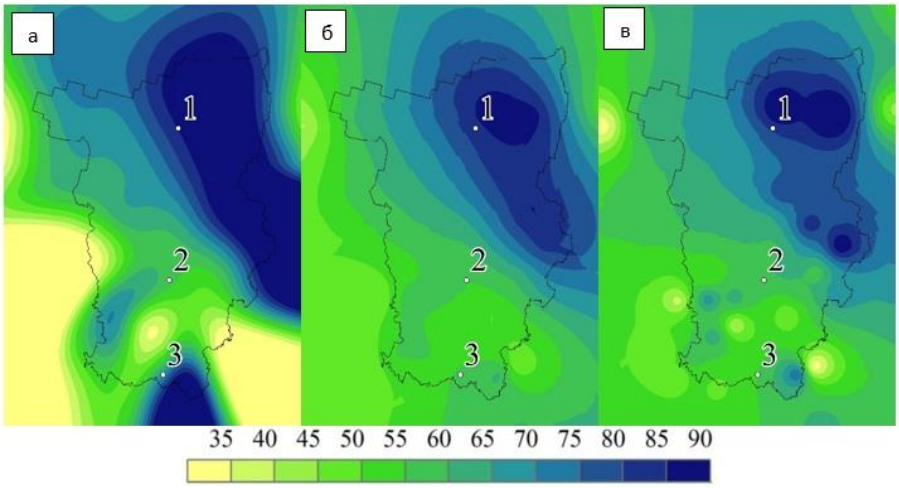


Рис. 1. Пространственное распределение среднемесячных значений высоты снежного покрова для станций Чердынь (1), Пермь (2) и Чернушка (3) за март 2022 г., восстановленных с помощью инструментов Сплайн (а), Кригинг (б) и ОВР (в)
Fig. 1. Spatial distribution of the average monthly snow depth values for the Cherdyn (1), Perm (2), and Chernushka (3) stations for March 2022, reconstructed using the spline (a), kriging (б), and IDW (в) tools

С учетом того, что подобные очаги заметны и на карте ОВР, можно сделать вывод, что Кригинг в данном случае недостаточно хорошо воспроизвел пространственное распределение характеристик. Это объясняется тем, что для работы с инструментом Кригинг необходимо учитывать большое количество входных параметров, которые могут существенно повлиять на итоговый результат. Хотя Кригинг хорошо отражает общие тенденции, форма конечной поверхности определяется исключительно свойствами данных и выбранной моделью вариограммы, а не внешним контролем пользователя.

С другой стороны, на картах Сплайна в областях с низкой плотностью исходных данных отмечаются артефакты – «гребни», которые отсутствуют при использовании Кригинга.

На интерполяцию методом ОВР (рис. 1в) также влияют такие параметры, как распределение или плотность исходных данных. Однако используемые в этом инструменте алгоритмы приводят к тому, что редкое расположение входных точек создает неестественную пятнистую поверхность, на которой наблюдаются концентрические круги с резкими изменениями значений вокруг себя.

Таким образом, для визуализации пространственной информации с учетом редкой сети наблюдений и выбора настроек предпочтителен инструмент Сплайн.

Сопоставление данных по высоте снега, полученных при интерполяции различными методами, с фактическими значениями показало, что результаты расчетов имеют существенную зависимость от положения станции. Так, для центральной станции средняя ошибка восстановления данных всеми инструментами не превысила 2 см (рис. 2). Чуть более выраженный сдвиг в сторону занижения значений показал Кригинг.

В относительном выражении Сплайн показал для Перми результат менее качественный, чем два других инструмента, превысив удовлетворительные 15 %. Это связано с высокими показателями ошибки в октябре, когда снежный покров в большинстве случаев имеет временный характер и малые значения по высоте, и

изменения даже на 1 см в ту или иную сторону являются критичным фактором. При этом также необходимо принимать во внимание и влияние городской черты, в которой находится станция Пермь. Однако даже по сравнению с Кригингом и ОВР инструмент Сплайн для Перми показал значительные 69 %. Как известно [13], пространственная поверхность, которую воспроизводит Сплайн, может быть достаточно неточной на больших площадях при редкой плотности наблюдений. При этом результат сильно зависит от выбора числа и расположения опорных точек. Если узлы расположены неравномерно, итоговая поверхность может содержать артефакты или ложные экстремумы.

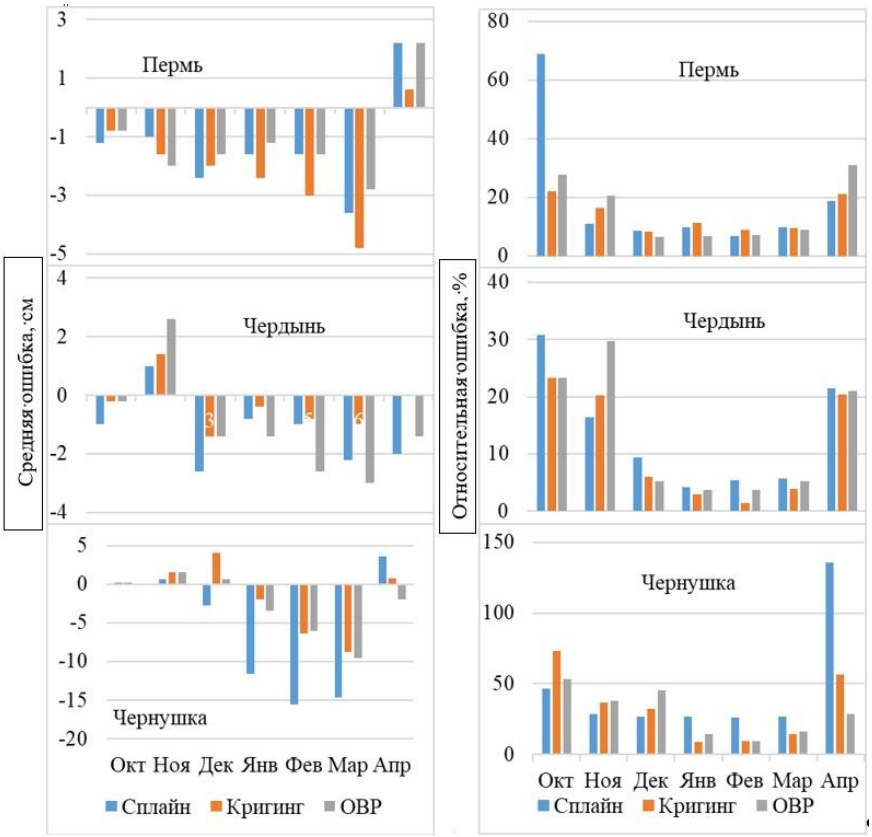


Рис. 2. Ошибки восстановления высоты снежного покрова на станциях Чердынь, Пермь, Чернушка, инструментами интерполяции Сплайн, Кригинг и ОВР
Fig. 2. Snow depth reconstruction errors at the Cherdyn, Perm, Chernushka stations when using the spline, kriging, and IDW interpolation tools

Характер изменений средних ошибок с октября по апрель имеет видимое сходство для Сплайна и ОВР с максимальными значениями в марте и некоторыми колебаниями на протяжении сезона. При использовании Кригинга ошибки постепенно растут с октября по март, а затем уменьшаются.

Для северной станции величина средней ошибки по большей части лежит в пределах статистической погрешности, лишь в отдельные месяцы достигая 3 см. Наилучшие показатели характерны для Кригинга, чуть хуже других выглядят результаты с ОВР.

Станция Чернушка отличается высокими значениями средней ошибки восстановления данных. Особенно это касается Сплайна, для которого среднее отклонение от фактических значений за сезон составляет 6 см. Наибольших значений погрешность Сплайна достигает в январе, феврале, марте. Два других инструмента показали более точные результаты, но и они превышают 5 см в феврале и марте.

Следует отметить, что все три используемых инструмента преимущественно занижают расчетные значения по сравнению с фактическими.

В относительном выражении для станции Чернушка максимальные отклонения расчетных значений от фактических наблюдаются в октябре, ноябре, апреле для всех инструментов, т.е. в месяцы, когда снежный покров имеет неустойчивый характер. В то же время для Чернушки относительная ошибка достигла наибольших значений среди трех станций, от 29 % ОВР до 45 % Сплайна. В последнем случае основной вклад в ошибку (135 %) вносит апрель, а в целом величина отклонения не опускается ниже 26 % за сезон. Очевидно, в отношении южной точки инструменты интерполяции проявляют чувствительность по отношению к количеству входных данных, поскольку вблизи границы региона очень мало других наблюдательных подразделений, а основное влияние на интерполированные данные оказывают две расположенные к востоку станции.

Разбор результатов восстановления влагозапасов в выбранных пунктах показал, что все три инструмента в среднем занижают показатели относительно фактической величины (рис. 3). Для центральной станции средняя за сезон ошибка интерполяции составила 6–10 мм, для северной – 21–22 мм, для южной – 2–13 мм. Стоит отметить, что для Чернушки средняя ошибка инструмента интерполяции Кригинг имеет небольшое, но все же положительное значение.

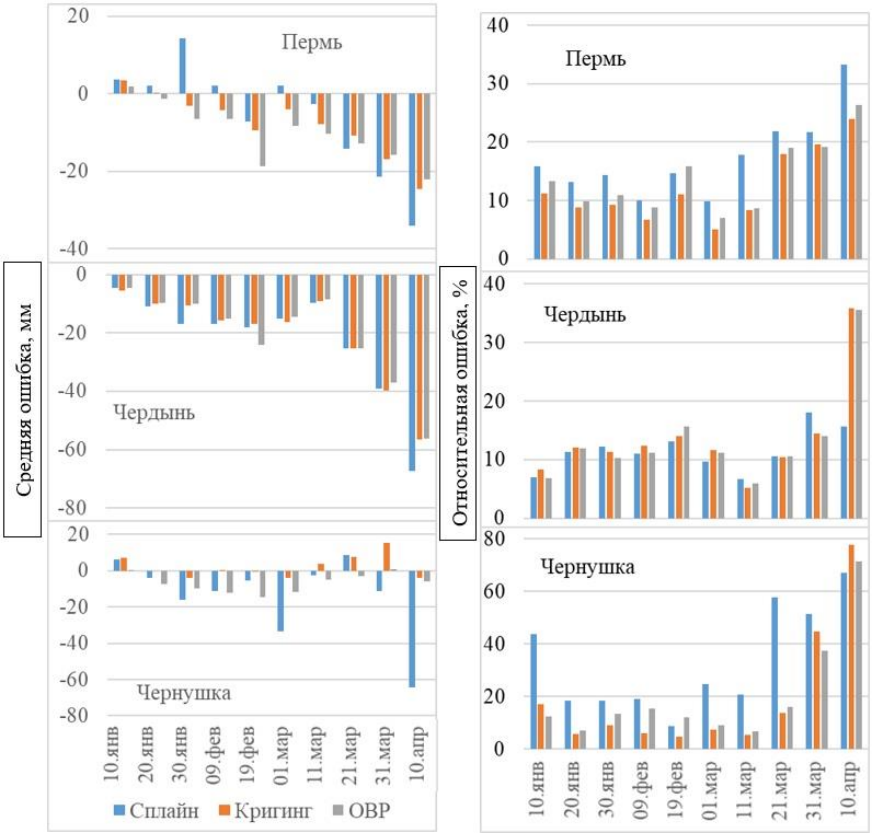


Рис. 3. Ошибки восстановления запасов воды в снежном покрове на станциях Чердынь, Пермь, Чернушка инструментами интерполяции Сплайн, Кригинг, ОВР

Fig. 3. Snow water equivalent reconstruction errors at the Cherdyn, Perm, Chernushka stations when using the spline, kriging, IDW interpolation tools

В относительном выражении для станции Пермь средняя за сезон ошибка при использовании Сплайна достигает 17 %, а для Кригинга и ОВР – 12 и 14 % соответственно. Для северного подразделения ошибки лежат в пределах от 12 до 14 %. Наибольшая величина относительной ошибки для всех инструментов зафиксирована в Чернушке, где самый слабый результат показал Сплайн – 33 %. Два других инструмента получили отклонения от фактических значений на 19 и 20 %.

Если рассматривать изменение величины ошибок с января по апрель, то можно отметить некоторую тенденцию к росту ошибок до середины февраля, затем уменьшение к началу марта и достаточно быстрое увеличение при начале и продолжении активного снеготаяния.

Подобная тенденция отчетливо заметна на диаграмме станции Чердынь, чуть менее выражена на южном направлении, проявляясь в значениях ошибки Сплайна, и очень слабо – в центральной части, где значения ошибок в относительном выражении до середины февраля существенно не изменяются, однако впоследствии также показывают рост. В начале апреля ошибка Сплайна для северной и южной точек превышает 60 мм.

В Чердыни и два других инструмента для апрельских измерений показывают ошибку более 50 мм. С другой стороны, в относительном выражении в силу большего количества снегозапасов в северном пункте ошибка не достигает 40 %, а вот для южной станции превышает 65 % для всех трех инструментов.

Выводы

Эффективность используемых методов интерполяции меняется в зависимости от плотности и положения начальных параметров. Так, наименее точные результаты для всех методов были получены для станции в южной части Пермского края, что объясняется расположением точки вблизи границы региона, где отмечается недостаточное количество соседних станций.

Наилучшие результаты при восстановлении как высоты снежного покрова, так и влагозапасов для северной и центральной станции показал инструмент интерполяции Кригинг.

Метод Сплайна обеспечивает наиболее гладкие и визуально привлекательные карты, но склонен создавать артефакты («гребни») в зонах с редкими данными и имеет низкую точность для всех исследуемых точек.

Интерполяция с помощью ОВР показала промежуточные результаты между Кригингом и Сплайном.

Для всех трех методов характерна тенденция к занижению расчетных значений по сравнению с фактическими данными измерений.

Наибольшие ошибки восстановления как высоты снега, так и влагозапасов наблюдаются в периоды активного снеготаяния (март-апрель). Систематические ошибки также характерны для месяцев с неустойчивым снежным покровом (октябрь, ноябрь).

Таким образом, наиболее предпочтительным и сбалансированным методом интерполяции для восстановления пространственных полей характеристик снежного покрова в условиях Пермского края является метод Кригинга, так как он обеспечивает наивысшую точность при учете пространственной структуры данных. Методы Сплайна и ОВР могут быть полезны для визуализации, но их применение для количественного анализа требует осторожности, особенно в районах с разреженной сетью наблюдений и в переходные сезоны года.

Библиографический список

1. *Ветров А. Л., Смирнова А. А.* Характеристики снежного покрова на Урале по данным наблюдений и результатам гидродинамического моделирования // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сборник научных трудов. Том. Вып. 4. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2011. С. 67–74. EDN: WMOWJZ

2. *Калинин В. Г., Шайдулина А. А., Русаков В. С., Фасахов М. А.* Математико-геоинформационное моделирование процесса снеготаяния на речных водосборах Прикамья // Лед и снег. 2022. Т. 62, № 1. С. 63–74. DOI: 10.31857/S2076673422010116. EDN: KWGIAD

3. *Калинин Н. А., Крючков А. Д., Сидоров И. А., Абдуллин Р. К., Шихов А. Н.* Климатические характеристики влагозапасов снега на территории Пермского края // Лед и снег. 2025. № 65(1). С. 50–68. DOI: 10.31857/S2076673425010044 EDN: GZIZZV

4. *Крючков А. Д., Калинин Н. А., Сидоров И. А.* Качество характеристик снежного покрова, полученных на основе реанализа ERA 5-Land для территории Пермского края // Лед и снег. 2023. Т. 63, № 3. С. 383–396. DOI: 10.31857/S2076673423030055 EDN: KLPXPM

5. Метеорологический ежемесячник. Уральское УГМС. 1990–2020 гг. Екатеринбург, 2020. Вып. 9, Ч. 2. С. 10–13.

6. *Пьянков С. В., Шихов А. Н.* Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2017. 148 с. ISBN: 978-5-7944-3001-1 EDN: YMXXNP

7. *Харламова Н. Ф., Казарцева Н. Ф.* Построение карты максимальных снегозапасов территории Алтайского края на основе ГИС-технологий // Бюллетень науки и практики. 2017. № 6(19). С. 116–122. DOI: 10.5281/zenodo.808269 EDN: WGKMJE

8. *Харламова Н. Ф., Казарцева О. С.* Пространственно-временные характеристики снежного покрова Алтайского края // Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования: сборник науч. ст. междунар. конф. (Барнаул, 20–24 октября 2015 г.). Барнаул: Алтайский гос. ун-т, 2015. С. 1403–1406. EDN: UVPIFZ

9. *Чурюлин Е. В., Копейкин В. В., Фролова Н. Л., Розинкина И. А.* Комплексный контроль восстановленных значений водного эквивалента на основе оперативных метеорологических измерений // Третьи виноградовские чтения. Грани гидрологии: сборник докл. междунар. науч. конф. памяти выдающегося русского гидролога Юрия Борисовича Виноградова (Санкт-Петербург, 28–30 марта 2018 г.). СПб: Наукоемкие технологии, 2018. С. 120–143.

10. *Чурюлин Е. В., Копейкин В. В., Розинкина И. А., Фролова И. Л., Чурюлина А. Г.* Анализ характеристик снежного покрова по спутниковым и модельным данным для различных водосборов на Европейской территории Российской Федерации // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 2(368). С. 120–143. EDN: XSCLOP

11. *Шихов А. Н., Черепанова Е. С., Пономарчук А. И.* Геоинформационные системы: применение ГИС-технологий при решении гидрологических задач. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2014. 91 с. ISBN: 978-5-7944-2388-4 EDN: YNHIYD

12. Comparing Interpolation Methods, ESRI : website. URL: http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/compa-ring-interpolation-methods.htm (дата обращения: 28.11.25)

13. *Hofstra N., Haylock M., New M., Jones P., Frei C.* Comparison of Six Methods for the Interpolation of Daily, European Climate Data // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2018. Vol, 8. No. 10. DOI: 10.1029/2008JD010100 EDN: MEZNLT

References

1. Vetrov A. L., Smirnova A. A. Kharakteristiki snezhnogo pokrova na Urale po dannym nablyudenii i rezul'tatam gidrodinamicheskogo modelirovaniya [Characteristics of snow cover in the Urals based on observation data and hydrodynamic modeling results]. In *Geoinformatsionnoe obespechenie prostranstvennogo razvitiya Permskogo kraya. Sbornik nauchnykh trudov. Permskii gosudarstvennyi natsional'nyi issledovatel'skii universitet. Tom Vypusk 4. Perm': Permskii gosudarstvennyi natsional'nyi issledovatel'skii universitet*, 2011, no. 4, pp. 67–74. (In Russ.) EDN: WMOWJZ

2. Kalinin V.G., Shaydulina A.A., Rusakov V.S., Fasakhov M.A. Mathematical and geoinformation modeling of snowmelt process in the river drainage basins of the Kama region. *Ice and Snow*, 2022, vol. 62, no. 1, pp. 63–74. (In Russ.) DOI: 10.31857/S2076673422010116. EDN: KWGIAD

3. Kalinin N.A., Kryuchkov A.D., Sidorov I.A., Abdullin R.K., Shikhov A.N. Climatic characteristics of snow water equivalent in the Perm Krai area. *Ice and Snow*, 2025, no. 65(1), pp. 50–68. (In Russ.) DOI: 10.31857/S2076673425010044

4. Kryuchkov A.D., Kalinin N.A., Sidorov I.A. Quality of Snow Cover Characteristics Derived from ERA 5-Land Reanalysis for the Territory of Perm Krai. *Ice and Snow*, 2023, vol. 63, no. 3, pp. 383–396. (In Russ.) DOI: 10.31857/S2076673423030055. EDN: KLPXPM

5. *Meteorologicheskii ezhemesyachnik. Ural'skoe UGMS. 1990–2020 gg. Vyp. 9. Part. 2* [Meteorological Monthly. Ural UMS. 1990–2020. Vol. 9. Part 2]. Ekaterinburg, 2020, pp. 10–13. (In Russ.)

6. P'yankov S. V., Shikhov A. N. *Geoinformatsionnoe obespechenie modelirovaniya gidrologicheskikh protsessov i yavlenii* [Geoinformation Support for Modeling of Hydrological Processes and Phenomena]. Perm': Permskii gosudarstvennyi natsional'nyi issledovatel'skii universitet, 2017. 148 p. (In Russ.) EDN: YMXXNP.

7. Kharlamova, N., & Kazartseva, O. Mapping the maximum snow reserves in the Altai Region using GIS technologies. *Bulletin of Science and Practice*, 2017, no. 6(19), pp. 116–122. (In Russ.) DOI: 10.5281/zenodo.808269. EDN: WGKMJE

8. Kharlamova N. F., Kazartseva O. S. Prostranstvenno-vremennye kharakteristiki snezhnogo pokrova Altaiskogo kraya [Spatial and temporal characteristics of the Altai Territory snow cover]. In *Lomonosovskie chteniya na Altae: fundamental'nye problemy nauki i obrazovaniya: Sbornik nauchnykh statei mezhdunarodnoi konferentsii (Barnaul, 20–24 oktyabrya 2015 g.)* Barnaul: Altaiskii gosudarstvennyi universitet, 2015, pp. 1403–1406. (In Russ.) EDN: UVPIFZ

9. Churyulin E. V., Kopeikin V. V., Frolova N. L., Rozinkina I. A. Kompleksnyi kontrol' vosstanovlennykh znachenii vodnogo ekvivalenta na osnove operativnykh meteorologicheskikh izmerenii [Comprehensive Control of the Restored Values of the Water Equivalent Based on Operational Meteorological Measurements]. In *Tret'i vinogradovskie chteniya. Grani gidrologii: Sbornik dokladov mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii pamyati vydayushchegosya russkogo gidrologa Yuriya Borisovicha Vinogradova (Sankt-Peterburg, 28–30 marta 2018 g.).* Sankt-Peterburg: Naukoemkie tekhnologii, 2018, pp. 120–143. (In Russ.)

10. Churiulin E.V., Kopeykin V.V., Rozinkina I.A., Frolova N.L., Churiulina A.G.Analysis of snow cover characteristics by satellite and model data for different catchment areas are located on the territory of the Russian Federation. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy*, 2018, no. 2(368), pp. 120–143. (In Russ.) EDN: XSCLOP

11. Shikhov A. N., Cherepanova E. S., Ponomarchuk A. I. *Geoinformatsionnye sistemy: primenenie GIS-tekhnologii pri reshenii gidrologicheskikh zadach* [Geoinformation Systems: Application of GIS Technologies in Solving Hydrological Problems]. Perm': Permskii gosudarstvennyi natsional'nyi issledovatel'skii universitet, 2014. 91 p. (In Russ.)

12. Comparing Interpolation Methods, ESRI. URL:http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/compa-ring-interpolation-methods.htm (Assessed 28 November 2025).

13. Hofstra N., Haylock M., New M., Jones P., Frei C. Comparison of Six Methods for the Interpolation of Daily, European Climate Data. Journal of Geophysical Research: Atmospher, 2018, vol. 8, no. 10. DOI: 10.1029/2008JD010100

Статья поступила в редакцию: 01.11.25, одобрена после рецензирования: 13.02.26, принята к опубликованию: 11.06.26.

The article was submitted: 01 November 2025; approved after review: 13 February 2026; accepted for publication: 11 June 2026.

Информация об авторах

Андрей Дмитриевич Крючков
Кандидат географических наук,
старший научный сотрудник, доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы,
Пермский государственный национальный исследовательский университет;
614068, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15
ORCID: 0000-0002-3693-6025, SPIN-код: 7491-1985, eLibrary AuthorID: 846357

Information about the authors

Andrey D. Kryuchkov
Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Associate Professor, Department of Meteorology and Atmospheric Protection,
Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia
ORCID: 0000-0002-3693-6025, SPIN-code: 7491-1985, eLibrary AuthorID: 846357

e-mail: candy55man@ya.ru

Анна Александровна Поморцева
Кандидат географических наук,
доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы,
Пермский государственный национальный исследовательский университет;
614068, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15
ORCID: 0000-0002-7912-2902, SPIN-код: 7310-0611, eLibrary AuthorID: 132386

Anna A. Pomortseva
Candidate of Geographical Sciences,
Associate Professor, Department of Meteorology and Atmospheric Protection,
Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia
ORCID: 0000-0002-7912-2902, SPIN-code: 7310-0611, eLibrary AuthorID: 132386

e-mail: smirnova@psu.ru

Илья Александрович Сидоров
Младший научный сотрудник,
Пермский государственный национальный исследовательский университет;
614068, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

Iliya A. Sidorov
Junior Researcher,
Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: bender59rus@gmail.com

Вклад авторов
Крючков А. Д. – идея, сбор материала, написание и редактирование статьи.
Поморцева А. А. – обработка материала, научное редактирование текста.
Сидоров И. А. – сбор и обработка материала, обработка данных ГИС, создание карт.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors
Andrey D. Kryuchkov – the idea; data processing; writing and editing of the text.
Anna A. Pomortseva – data processing; scientific editing of the text.
Iliya A. Sidorov – data collection and processing; GIS data processing; creation of maps.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.