# Сезонная и многолетняя изменчивость площади снежного покрова хребта Кодар (Забайкалье)

#### Э.Ю. Осипов

#### Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, 664033, Россия E-mail: eduard@lin.irk.ru

Количественная оценка изменчивости площади снежного покрова в горных бассейнах имеет большое значение для понимания механизмов функционирования гидрологических процессов и других компонент природной среды, а также своевременного прогнозирования таких опасных явлений, как весенне-летние половодья и паводки. Хребет Кодар расположен в зоне влияния трассы БАМ — важного инфраструктурного объекта международного значения, однако до настоящего времени современная динамика снежного покрова в данном районе практически не исследовалась. В работе были изучены сезонные и межгодовые изменения площади снежного покрова хребта Кодар с месячным разрешением. Для анализа использованы данные дистанционного зондирования среднего пространственного разрешения MODIS/Terra (готовый продукт MOD10A1) и Landsat-8/9 OLI за период 2018-2023 гг. За исследуемый период площадь снежного покрова колебалась от 88 км<sup>2</sup> (август 2019 г.) до 16 371 км<sup>2</sup> (апрель 2023 г.). Было установлено, что снегонакопление на Кодаре начинается в первой декаде сентября и достигает годового максимума во второй декаде апреля. Период снеготаяния продолжается вплоть до первой декады июля. В многолетних трендах (2019-2023) выявлено статистически значимое увеличение площади снежного покрова в апреле (на 775 км<sup>2</sup>/год). Кроме того, прослеживается тенденция уменьшения продолжительности периода залегания снежного покрова и увеличение скорости его таяния.

**Ключевые слова:** хребет Кодар, снежный покров, дистанционное зондирование, Landsat, MODIS, сезонная динамика, многолетние тренды

Одобрена к печати: 04.03.2025 DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-2-145-153

#### Введение

Снежный покров является важной частью климатической системы Земли, что объясняется его высоким альбедо, малой теплопроводностью, затратами тепла на таяние и слабой шероховатостью поверхности (Котляков, 2004). Снег в горных районах средних и высоких широт имеет важное гидрологическое значение, определяя характеристики речного стока в зависимости от метеорологических условий конкретного года. В условиях глобального потепления наблюдаются довольно существенные изменения многих характеристик снежного покрова (Варламова, Соловьев, 2024; Rumpf et al., 2022). В наиболее снежные годы весенне-летнее таяние снежного покрова в горах может вызывать катастрофические паводки на предгорных и равнинных территориях, где, как правило, сосредоточены населённые пункты и важные объекты инфраструктуры. Ярким примером может служить наводнение в бассейне реки Урал весной 2024 г. (Шинкаренко и др., 2024). Объём весенних половодий может определяться не только водным эквивалентом снежного покрова, но и его теплоизолирующими свойствами (Терехов и др., 2023). Поэтому ежегодный мониторинг снежного покрова в горах представляется актуальной задачей, стоящей перед многими заинтересованными организациями федерального и регионального уровня (Росгидромет, МЧС, Минприроды и др.).

Хребет Кодар является наиболее высоким хребтом, расположенным на северо-восточном фланге Байкальской рифтовой зоны. С южной стороны Кодар граничит с суходольной Чарской впадиной, вдоль которой проходит железнодорожная трасса Байкало-Амурской магистрали (БАМ) — важный инфраструктурный проект международного значения. На современном этапе (с 2013 г.) БАМ активно используется для решения транспортнологистических задач и модернизируется с целью увеличения её пропускной способности

(Базарова и др., 2024). Для безопасной эксплуатации участка БАМ в пределах Чарской впадины необходимо своевременно прогнозировать паводковые явления, вызванные резкими изменениями снежного покрова в окружающих горах. К сожалению, исследования современной динамики снежного покрова Кодара практически отсутствуют (особенно с 1990-х гг.).

В последние десятилетия для мониторинга снежного покрова широко используются спутниковые данные, например, полученные с помощью радиометров AVHRR (англ. Advanced Very High Resolution Radiometer) (Hao et al., 2021), MODIS (ahea. Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) и VIIRS (англ. Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) (Riggs, Hall, 2020). Продукты MODIS получили широкое распространение в мониторинге снежного покрова благодаря высокому временному и среднему пространственному разрешению (Калашникова, Гафуров, 2017; Кауазов и др., 2023; Титкова, Виноградова, 2017; Hall et al., 1995, 2002; Liu et al., 2020). Общая абсолютная точность продуктов MODIS с разрешением 500 м (MOD10\_L2 и MOD10A1) составляет ~93 %, но зависит от типа покрова Земли и состояния снега (Hall, Riggs, 2007). Снимки Landsat позволяют строить карты снежного покрова с ещё более высоким пространственным разрешением (30 м), причём за более продолжительные временные периоды (с 1970-х гг.). Однако частота съёмки Landsat составляет 16 дней, что иногда бывает недостаточно для оперативного мониторинга изменчивого снежного покрова (Hall et al., 2002). Тем не менее данные Landsat часто используются для калибровки карт снежного покрова более низкого пространственного разрешения (Hao et al., 2021; Liu et al., 2020).

Целью настоящей работы было исследование особенностей сезонных и межгодовых колебаний площади снежного покрова хребта Кодар с месячным разрешением по данным дистанционного зондирования среднего пространственного разрешения MODIS и Landsat за период 2018–2023 гг.



*Рис. 1.* Район исследования. Чёрные контуры показывают границы 26 речных бассейнов. Заштрихованы речные бассейны северо-западного макросклона хребта

#### Район исследования

Хребет Кодар (*рис. 1*, см. с. 146) находится в центральной части Азиатского континента, в восточной части Российской Федерации (56,4–57,8° с.ш., 115,4–119,1° в.д.). В административном плане Кодар расположен в Каларском (северная часть Забайкальского края) и Бодайбинском (Иркутская область) районах. Западная и восточная граница Кодара проходят по долинам рек Витима и Чары соответственно. На севере хребет граничит с Байкало-Патомским и Олёкмо-Чарским нагорьями, на юге — с Витимо-Олёкминским низкогорьем. Хребет высокогорный, вытянут в направлении с юго-запада на северо-восток. Протяжённость хребта с юго-запада на северо-восток 240 км, ширина от 60 до 90 км. Максимальная высота хребта 3072 м над уровнем моря (Пик БАМ). Гидрологически в пределах хребта можно выделить 26 речных бассейнов, которые относятся к северо-западному (65 % площади хребта) и юго-восточному (35 %) макросклонам хребта.

### Исходные данные и методика

Для картирования снежного покрова использовались два типа данных с умеренным пространственным разрешением — MODIS и Landsat. Готовый продукт MOD10A1 включает ежедневные глобальные данные по снежному покрову, альбедо, облачности и оценке качества с февраля 2000 г. по настоящее время, полученные на основе набора данных MODIS/ Terra (Riggs, Hall, 2020). Он представляет собой сеть из 460 плиток (*англ.* tiles) размером приблизительно  $1200 \times 1200$  км ( $10 \times 10^{\circ}$ ) в синусоидальной равновеликой проекции. Номинальное пространственное разрешение снимков MOD10A1 составляет 500 м (истинное — около 463 м). В настоящей работе была использована 41 плитка MOD10A1 за период с 13.08.2018 по 22.12.2023, что позволяет охарактеризовать изменения снежного покрова с месячным разрешением.

Изображения Landsat получены со спутников Landsat-8/9 с помощью сканера OLI (*англ.* Operational Land Imager), работающего в девяти спектральных диапазонах. Временное разрешение Landsat OLI составляет 16 дней, а пространственное разрешение в видимом, ближнем инфракрасном и коротковолновом инфракрасном диапазонах — 30 м. Район исследования на 95 % покрывается двумя сценами Landsat (p127r020 и p127r021), поэтому были использованы только эти сцены. Всего для данного исследования было отобрано 48 малооблачных (облачный покров <25 %) сцен Landsat OLI за период с 29.10.2018 по 19.12.2022 (24 даты съёмки).

Снимки Landsat (как с более высоким пространственным разрешением — 30 м) использовались для оценки точности МОD10А1. Карты снежного покрова строились на основе автоматизированных алгоритмов расчёта нормализованного разностного индекса снежного покрова NDSI (англ. Normalized Difference Snow Index). В готовых продуктах MODIS применяется отражение в диапазоне 4 (0,545–0,565 мкм) и 6 (1,628–1,652 мкм) (Hall, Riggs, 2007; Hall et al., 1995). Для расчёта NDSI по данным Landsat OLI были использованы спектральные диапазоны 3 (зелёный, 0,525-0,600 мкм) и 6 (коротковолновой инфракрасный, 1,560–1,660 мкм). Обычно для выявления снежных пикселей берётся пороговое значение NDSI, равное 0,4 (Hall et al., 1995, 2002; Liu et al., 2020). В данной работе пороговые значения NDSI (для Landsat) были рассчитаны на нескольких тестовых участках с разными условиями топографии (пологие водоразделы, крутые склоны, днища долин, освещённые и затенённые склоны, открытые и залесённые участки, поверхность озёр и ледников). Бинарные карты снежного покрова были отфильтрованы с помощью масок облачного покрова. Итоговые карты снежного покрова имели три класса: снег, не снег и облачность. Все алгоритмы построения и статистического анализа карт снежного покрова были реализованы в программе QGIS. Количественные характеристики снежного покрова рассчитывались для каждого из 26 речных бассейнов, в целом для Кодара, а также для двух его макросклонов (см. рис. 1).

#### Результаты и обсуждение

На рис. 2 показаны изменения площади снежного покрова Кодара за многолетний период (с августа 2018 по декабрь 2023 г., месячное разрешение). За рассматриваемый период площадь колебалась от 88 км<sup>2</sup> (август 2019 г.) до 16 371 км<sup>2</sup> (апрель 2023 г.). В течение гидрологического года (с сентября по август) доля территории, покрытой снежным покровом, закономерно меняется. Накопление снега начинается в сентябре (3,7 тыс. км<sup>2</sup>, 22 % площади хребта) и достигает пика в ноябре (12,5 тыс. км<sup>2</sup>, 75 %). Небольшой спад наблюдается в декабре-январе (до 9,7 тыс. км<sup>2</sup>, 58 %). Причиной этого, вероятно, является усиление в этот период ветровой деятельности в высокогорье, в результате которой снег со склонов сдувается в понижения. В феврале – марте площадь снега снова увеличивается и достигает годового максимума в апреле (14,8 тыс. км<sup>2</sup>, 88 %). Это связано с преобладанием циклонических процессов над антициклоническими в высокогорье Кодара в весенние месяцы (Осипова, Осипов, 2023). В мае-июне площадь довольно резко сокращается и в июле составляет всего 1 тыс. км<sup>2</sup> (6%). Наименьший за год снежный покров наблюдается в августе (0,2 тыс. км<sup>2</sup>, 1,5 %). Накопление снега в осенние и весенние месяцы связано с влиянием западного переноса влаги. Годовой ход на разных макросклонах в целом идентичен (коэффициент корреляции 0,99), однако в октябре – мае на северо-западном макросклоне площадь снежного покрова несколько выше, чем на юго-восточном (в среднем на 8%). Наибольшие различия между макросклонами характерны для мая (14%) и октября (9%) — в месяцы наиболее активного таяния и аккумуляции снега.



Рис. 2. Изменение площади (месячное разрешение) снежного покрова Кодара, его северо-западного (СЗ) и юго-восточного (ЮВ) макросклонов за период 2018–2023 гг. Горизонтальные штриховые линии показывают максимальные площади территории Кодара и его макросклонов. Вертикальные серые линии — годовые максимумы площади снежного покрова Кодара

В *таблице* (см. с. 150) показаны средние значения десяти фенологических индексов снежного покрова Кодара осреднённые за пять гидрологических лет (2018/2019–2022/2023). В среднем период залегания снежного покрова составляет 307 дней (площадь снежного покрова  $\geq 15$  %). Аккумуляция снега начинается в первой декаде сентября (04.09) и заканчивается ко второй декаде апреля (16.04). Наибольший прирост площади снега наблюдается в сентябре – октябре (266 км<sup>2</sup>/день или 1,6 %/день). Средняя продолжительность периода аккумуляции составляет 225 дней. Таяние снега продолжается в течение 83 дней до первой декады июля (07.07). Наиболее сильное сокращение площади наблюдается в мае – июне (227 км<sup>2</sup>/день или 1,4 %/день). Фенологические различия между макросклонами незначительные. В среднем на северо-западном макросклоне снег накапливается и тает быстрее, чем на юго-восточном.

В многолетних трендах (2019—2023) наблюдается увеличение площади снежного покрова для периода с ноября по май (*рис. 3*). Статистически значимый положительный тренд (на 95%-м уровне) наблюдается только в апреле, во время годового максимума снежного покрова (775 км<sup>2</sup>/год,  $R^2 = 0.86$ ). Отрицательные тренды выявлены для июня—июля и сентя-бря—октября. Наиболее значим тренд июля (-334 км<sup>2</sup>/год,  $R^2 = 0.58$ ).



*Рис. 3.* Тренды площади снежного покрова Кодара в разные месяцы года (красные линии) за период 2019–2023 гг. Зелёными кривыми показаны 95%-е доверительные интервалы

Таким образом, за последние пять лет площадь снежного покрова Кодара зимой и весной увеличивается, а летом и осенью, наоборот, уменьшается. Это свидетельствует об увеличении снегонакопления в зимне-весенний период и уменьшении в летне-осенний. Кроме того, за последние пять лет прослеживалась тенденция отодвигания даты начала периода аккумуляции снега на более поздние сроки (+6 дней/год). При этом продолжительность периода залегания снежного покрова уменьшалась (-8 дней/год), а скорость его разрушения увеличивалась (+0,15 %/год).

| Кодар | C3  | ЮВ  |
|-------|---|---|
| 88    | 94  | 87  |
| 106   | 106   | 106   |
| 247   | 256   | 255   |
| 225   | 216   | 217   |
| 188   | 187   | 187   |
| 83    | 82  | 82  |
| 307   | 297   | 298   |
| 0,33  | 0,36  | 0,33  |
| 0,88  | 0,96  | 0,88  |
| 2,7   | 2,6   | 2,7   |
|       | Кодар<br>88<br>106<br>247<br>225<br>188<br>83<br>307<br>0,33<br>0,88<br>2,7 | КодарC3889410610624725622521618818783823072970,330,360,880,962,72,6 |

Индексы снежного покрова, рассчитанные для Кодара, его северо-западного (СЗ) и юго-восточного (ЮВ) макросклонов

\* Индексы снежного покрова: MSC (англ. Maximum Snow Cover) — максимальная площадь, MSCD (англ. Maximum Snow Cover Day) — дата максимального покрова, SAOD (англ. Snow Accumulation Onset Day) — дата начала аккумуляции, SAP (англ. Snow Accumulation Period) — период аккумуляции, SMED (англ. Snow Melt Ending Day) — дата окончания таяния, SMP (англ. Snow Melt Period) — период таяния, AAP (англ. Accumulation Ablation Period) — период аккумуляции и таяния, SAS (англ. Snow Accumulation Slope) — градиент аккумуляции, SMS (англ. Snow Melt Slope) — градиент таяния.

#### Заключение

По материалам геоинформационного анализа космических снимков MODIS и Landsat с месячным разрешением была оценена площадь снежного покрова хребта Кодар за период 2018–2023 гг., её сезонная и межгодовая динамика на северо-западном и юго-восточном макросклонах хребта. Продолжительность периода залегания снежного покрова ( $\geq$ 15 % площади) на Кодаре в среднем составляет 307 дней. Снегонакопление начинается в первой декаде сентября и достигает годового максимума во второй декаде апреля. В декабре – январе наблюдается некоторое сокращение площади снега, вероятно связанное с усилением ветровой активности в высокогорье. Период таяния снега продолжается до первой декады июля. В многолетних трендах выявлено статистически значимое увеличение площади снежного покрова в апреле (775 км<sup>2</sup>/год). За последние пять лет дата начала периода аккумуляции снега отодвигалась на более поздние сроки, продолжительность периода залегания снежного покрова уменьшалась, а скорость его разрушения увеличивалась.

Работа выполнена в рамках исследовательского проекта Минобрнауки № 0279-2021-0005.

## Литература

1. *Базарова Н.Б., Батуев А.Р., Безруков Л.А. и др.* Географические исследования в зоне БАМ. Новосибирск: Сибирское отд-ние РАН, 2024. 215 с. DOI: 10.53954/9785605099567.

- 2. *Варламова Е. В., Соловьев В. С.* Региональные особенности схода снежного покрова в Сибири в условиях быстрого потепления Арктики // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 4. С. 284–297. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-4-284-297.
- 3. *Калашникова О. Ю., Гафуров А.А.* Использование наземных и спутниковых данных о снежном покрове для прогноза стока реки Нарын // Лёд и снег. 2017. Т. 57. № 4. С. 507–517. DOI: 10.15356/2076-6734-2017-4-507-517.
- 4. *Кауазов А. М., Тиллакарим Т.А., Сальников В. Г., Полякова С. Е.* Оценка изменений площади снежного покрова в Казахстане с 2000 по 2022 год // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 1. С. 298–305. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-298-305.
- 5. *Котляков В. М.* Избранные сочинения в шести книгах. Книга 2. Снежный покров и ледники Земли. М.: Наука, 2004. 448 с.
- 6. *Осипова О. П., Осипов Э. Ю.* Влияние атмосферных процессов на динамику ледников Кодара // География и природ. ресурсы. 2023. Т. 44. № 4. С. 99–107. DOI: 10.15372/GIPR20230410.
- 7. *Терехов А. Г., Абаев Н. Н., Тиллякарим Т. А., Серикбай Н. Т.* О взаимосвязи между количеством снега и объёмом весеннего половодья в Северном Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 1. С. 323–328. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-323-328.
- 8. *Титкова Т.Б., Виноградова В.В.* Сроки залегания снежного покрова на территории России в начале XXI в. по спутниковым данным // Лёд и снег. 2017. Т. 57. № 1. С. 25–33. DOI: 10.15356/2076-6734-2017-1-25-33.
- 9. Шинкаренко С. С., Барталев С. А., Лупян Е. А. Мониторинг последствий наводнения в Оренбургской области при половодье на реке Урал в 2024 году // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 3. С. 339–347. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-339-347.
- 10. *Hall D. K.*, *Riggs G.A.* Accuracy assessment of the MODIS snow products // Hydrological Processes. 2007. V. 21. No. 12. P. 1534–1547. DOI: 10.1002/hyp.6715.
- Hall D. K., Riggs G. A., Salomonson V. V. Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data // Remote sensing of Environment. 1995. V. 54. Iss. 2. P. 127–140. DOI: 10.1016/0034-4257(95)00137-P.
- 12. *Hall D. K.*, *Riggs G.A.*, *Salomonson V.V. et al.* MODIS snow-cover products // Remote sensing of Environment. 2002. V. 83. Iss. 1–2. P. 181–194. DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00095-0.
- 13. *Hao X., Huang G., Che T. et al.* The NIEER AVHRR snow cover extent product over China a long-term daily snow record for regional climate research // Earth System Science Data. 2021. V. 13. Iss. 10. P. 4711–4726. DOI: 10.5194/essd-13-4711-2021.
- 14. *Liu C., Li Z., Zhang P. et al.* An assessment and error analysis of MOD10A1 snow product using Landsat and ground observations over China during 2000–2016 // IEEE J. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2020. V. 13. P. 1467–1478. DOI: 10.1109/JSTARS.2020.2983550.
- 15. *Riggs G., Hall D.* Continuity of MODIS and VIIRS snow cover extent data products for development of an earth science data record // Remote Sensing. 2020. V. 12. Iss. 22. Article 3781. DOI: 10.3390/rs12223781.
- 16. *Rumpf S. B., Gravey M., Brönnimann O. et al.* From white to green: Snow cover loss and increased vegetation productivity in the European Alps // Science. 2022. V. 376. No. 6597. P. 1119–1122. DOI: 10.1126/science. abn6697.

# Seasonal and interannual variability of snow cover area of the Kodar Range (Transbaikalie)

### E. Yu. Osipov

Limnological Institute SB RAS, Irkutsk 664033, Russia E-mail: eduard@lin.irk.ru

Quantitative assessment of snow cover area variability in mountain basins is important for understanding the mechanisms of functioning of hydrological processes and other components of the natural environment, as well as for timely forecasting of such dangerous phenomena as spring-summer floods. The Kodar Range is located in the zone of influence of the Baikal–Amur Mainline, an important infrastructure facility of international importance, but up to now the modern dynamics of snow cover in this area has not been practically studied. In this paper, we have studied seasonal and interannual changes in the snow cover area of the Kodar Range with a monthly resolution. MODIS/Terra (MOD10A1 product) and Landsat-8/9 OLI medium spatial resolution remote sensing data for the period 2018–2023 were used for the analysis. During the study period, the snow cover varied from 88 km<sup>2</sup> (August 2019) to 16,371 km<sup>2</sup> (April 2023). It was found that snow accumulation at Kodar Range starts in the first decade of September and reaches its annual maximum in the second decade of April. The snowmelt period continues up to the first decade of July. The multi-year trends (2019–2023) reveal a statistically significant increase in the snow cover area in April (by 775 km<sup>2</sup> yr<sup>-1</sup>). In addition, there is a tendency for a decrease in snow cover duration and an increase in its melting rate.

Keywords: Kodar Range, snow cover, remote sensing, Landsat, MODIS, seasonal changes, interannual trends

> Accepted: 04.03.2025 DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-2-145-153

#### References

- 1. Bazarova N. B., Batuev A. R., Bezrukov L. A. et al., *Geograficheskie issledovaniya v zone BAM* (Geographical research in the BAM zone), Novosibirsk: SB RAS, 2024, 215 p. (in Russian), DOI: 10.53954/9785605099567.
- 2. Varlamova E. V., Solovyev V.S., Regional features of snow cover disappearance in Siberia under fast Arctic warming, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, V. 21, No. 4, pp. 284–297 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-4-284-297.
- 3. Kalashnikova O.Y., Gafurov A.A., Water availability forecasting for Naryn River using groundbased and satellite snow cover data, *Ice and Snow*, 2017, V. 57, No. 4, pp. 507–517 (in Russian), DOI: 10.15356/2076-6734-2017-4-507-517.
- 4. Kauazov A. M., Tillakarim T. A., Salnikov V. G., Polyakova S. E., Assessment of changes in snow cover area in Kazakhstan from 2000 to 2022, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, V. 20, No. 1, pp. 298–305 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-298-305.
- 5. Kotlyakov V. M., *Izbrannye sochineniya v shesti knigakh. Kniga 2. Snezhnyi pokrov i ledniki Zemli* (Selected works in six books. Book 2. Snow cover and glaciers of the Earth), Moscow: Nauka, 2004, 448 p. (in Russian).
- Osipova O. P., Osipov E. Yu., Influence of atmospheric processes on the dynamics of Kodar glaciers, *Geography and Natural Resources*, 2023, V. 44, No. 4, pp. 99–107 (in Russian), DOI: 10.15372/ GIPR20230410.
- 7. Terekhov A. G., Abayev N. N., Tillakarim T. A., Serikbay N. T., Interrelation between snow cover depth and spring flooding in Northern Kazakhstan, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, V. 20, No. 1, pp. 323–328 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-323-328.
- 8. Titkova T. B., Vinogradova V.V., Snow occurrence time on the Russia's territory in the early 21<sup>st</sup> century (from satellite data), *Ice and Snow*, 2017, V. 57, No. 1, pp. 25–33 (in Russian), DOI: 10.15356/2076-6734-2017-1-25-33.
- 9. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A., Loupian E.A., Monitoring the consequences of flooding in Orenburg Region during spring flood on the Ural River in 2024, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, V. 21, No. 3, pp. 339–347 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-339-347.
- Hall D. K., Riggs G. A., Accuracy assessment of the MODIS snow products, *Hydrological Processes*, 2007, V. 21, No. 12, pp. 1534–1547, DOI: 10.1002/hyp.6715.
- Hall D. K., Riggs G. A., Salomonson V. V., Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data, *Remote Sensing of Environment*, 1995, V. 54, Iss. 2, pp. 127–140, DOI: 10.1016/0034-4257(95)00137-P.
- 12. Hall D. K., Riggs G.A., Salomonson V.V. et al., MODIS snow-cover products, *Remote Sensing of Environment*, 2002, V. 83, Iss. 1–2, pp. 181–194, DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00095-0.
- 13. Hao X., Huang G., Che T. et al., The NIEER AVHRR snow cover extent product over China a long-term daily snow record for regional climate research, *Earth System Science Data*, 2021, V. 13, Iss. 10, pp. 4711–4726, DOI: 10.5194/essd-13-4711-2021.
- 14. Liu C., Li Z., Zhang P. et al., An assessment and error analysis of MOD10A1 snow product using Landsat and ground observations over China during 2000–2016, *IEEE J. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2020, V. 13, pp. 1467–1478, DOI: 10.1109/JSTARS.2020.2983550.

- 15. Riggs G., Hall D., Continuity of MODIS and VIIRS snow cover extent data products for development of an earth science data record, *Remote Sensing*, 2020, V. 12, Iss. 22, Article 3781, DOI: 10.3390/rs12223781.
- 16. Rumpf S. B., Gravey M., Brönnimann O. et al., From white to green: Snow cover loss and increased vegetation productivity in the European Alps, *Science*, 2022, V. 376, No. 6597, pp. 1119–1122, DOI: 10.1126/ science.abn6697.