

Валидация суточного продукта Snow Depth FEWS NET для бассейна реки Урал по данным метеорологических наблюдений

А. Г. Терехов^{1,2}, Н. И. Ивкина², Н. Н. Абаев^{2,3}, А. Г. Елтай³, З. М. Егембердиева^{1,4}

¹ *Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК
Алматы, 050010, Казахстан
E-mail: aterekhov1@yandex.ru*

² *Республиканское государственное предприятие «Казгидромет»
Алматы, 050022, Казахстан
E-mail: terekhov_a@meteo.kz*

³ *Казахский национальный университет имени аль-Фараби
Алматы, 050040, Казахстан
E-mail: abayev.nurlan@gmail.com*

⁴ *Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, 050013, Казахстан
E-mail: egem.zm@mail.ru*

Высота снежного покрова — важная характеристика для территорий Российской Федерации. Однако сеть метеостанций в России довольно редка, а инструментальные измерения высоты снега на снегомерных постах в степных и лесостепных зонах затруднены сильным ветром. Это обстоятельство определяет интерес к различным оценкам параметров снежного покрова, основанным на спутниковых данных. Недавно появившийся для Центральной Азии модельный продукт Snow Depth программы Famine Early Warning System Network (Snow Depth FEWS NET) в формате обзорных карт с разрешением $0,044 \times 0,044^\circ$ опирается на данные спектрорадиометра MODIS спутника Terra. Продукт покрывает часть территории России южнее 56° с. ш., имеет суточное обновление и архив с октября 2000 г. Однако в документации системы отсутствуют ссылки на результаты валидации на наземные данные в различных частях территории покрытия. В работе приведены результаты проверки продукта Snow Depth FEWS NET для северо-западной части сцены, относящейся к российской части бассейна р. Урал. В валидации использовались данные пяти метеорологических станций (Верхнеуральск, Магнитогорск, Кизильское, Энергетик и Орск) периода 2005–2018 гг. Около 5600 наземных измерений высоты снега сравнивались с более 2000 суточных карт Snow Depth FEWS NET. В результате было получено, что наземные и дистанционные данные имеют тесную линейную корреляционную связь. Коэффициент корреляции Пирсона составил 0,702 для отдельных суточных значений и 0,997 — для средних многолетних величин. При этом значения по высоте снега Snow Depth FEWS NET оказались завышенными примерно на 28 % и имели сдвиг (+4 см) относительно наземных измерений. Эти расхождения видятся незначительными, и продукт Snow Depth FEWS NET может представлять интерес для мониторинга высоты снега в районе бассейна р. Урал.

Ключевые слова: высота снежного покрова, метеорологические наблюдения, Snow Depth FEWS NET, бассейн р. Урал, валидация, линейная регрессия

Одобрена к печати: 28.04.2020
DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-31-40

Введение

Снежный покров юга Сибири и Казахстана является важным природным ресурсом, влияющим на многие параметры окружающей среды, в том числе: на календарные даты освобождения территории от снега (Лупян и др., 2018; Терехов и др., 2019а; Черенкова, 2019), активность весеннего половодья (Терехов и др., 2016), объёмы стока рек (Терехов, Пак, 2019; Титкова, 2019), влагообеспеченность первой половины года в аспекте сельского хозяйства (Терехов и др., 2020; Muratova, Terekhov, 2004; Spivak et al., 2012; Sultangazin et al., 2003), естественных растительных покровов (Верхотуров и др., 2018; Терехов и др., 2019б; Terekhov et al.,

2020а) или характеристик крупных водных объектов (Гинзбург, Костяной, 2018; Терехов и др., 2015).

При описании снежного покрова используется несколько параметров. Наземные метеорологические наблюдения базируются на сети снегомерных постов и оперируют высотой снега (данные стационарных рек и маршрутные обследования), его плотностью, а также количеством запасов воды в снежном покрове (Наставление..., 1985). Спутниковые данные дополнительно вводят параметр «наличие/отсутствие снега» (*англ.* snow cover, snow extent), что может относительно легко регистрироваться на орбитальных платформах. Сильной стороной спутниковых продуктов, отличающих их от наземных наблюдений, является высокая пространственная детализация данных.

Достоверность инструментальной информации о параметрах снежного покрова лесов, степей и полупустынь юга Сибири и Казахстана оставляет желать лучшего. Наземные измерения в сети метеорологических станций рекомендуется проводить в условиях штиля или слабого ветра (Наставление..., 1985). В случае сильного ветра, который оказывается весьма распространённым погодным явлением этих территорий, ветровой перенос снега способен существенно исказить как регистрируемое количество твёрдых осадков (Yang et al., 1995), так и параметры снежного покрова, особенно в случае его относительно небольшого количества. Спутниковые измерения характеристик снежного покрова на базе микроволнового зондирования также имеют проблемы с точностью (Захаров, Захарова, 2017; Китаев и др., 2017).

Точность дистанционных оценок параметров снежного покрова зависит от многих причин (Chang, Rango, 2000; Luoju et al., 2010; Tait et al., 2000), в том числе от ландшафтных особенностей территорий. Например, от организации биомассы на поверхности Земли в зоне формирования снежного покрова, которая может варьироваться от древесной растительности лесов до травяных сообществ степей или разреженного кустарничкового покрова полупустынь. Недавно появившийся спутниковый продукт открытого доступа Snow Depth программы Famine Early Warning System Network (Snow Depth FEWS NET) для Центральной Азии в формате обзорных ежедневных карт с пространственным разрешением $0,044 \times 0,044^\circ$ покрывает территорию в пределах $24-56^\circ$ с.ш. и $47-87^\circ$ в.д. Продукт опирается на данные MODIS TERRA и имеет актуальный архив начиная с октября 2000 г. (<https://earlywarning.usgs.gov/fews>). Обзорные карты по высоте снега, доступные с ежесуточным обновлением в географической проекции (Lon Lat), могут служить основой для регионального мониторинга (Terekhov et al., 2020b).

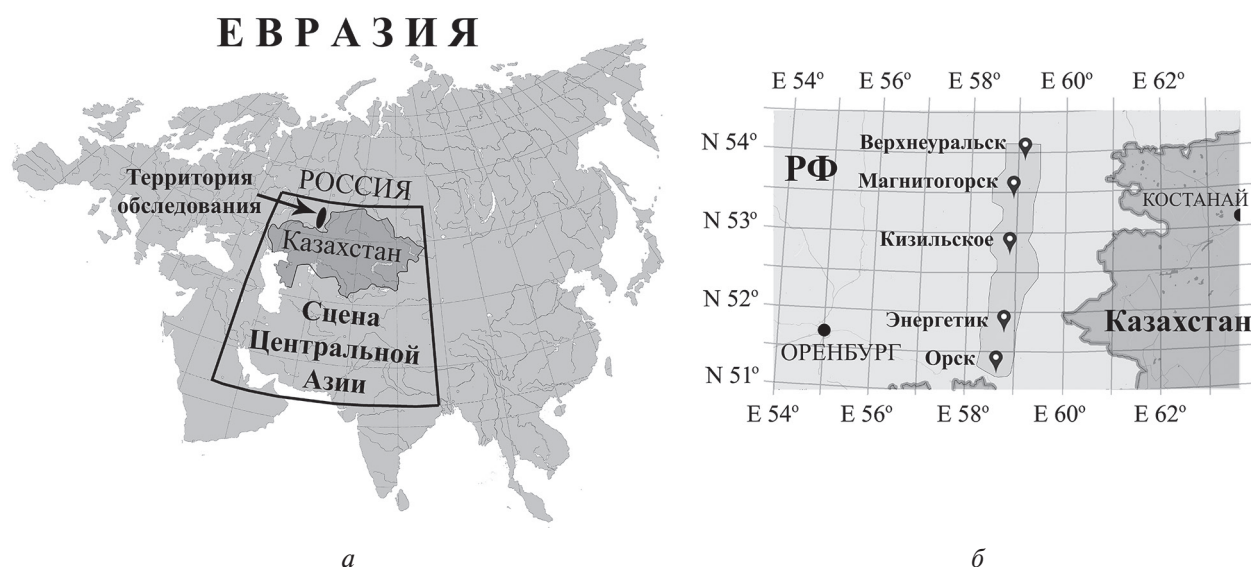


Рис. 1. Сцена «Центральная Азия» FEWS NET на картосхеме Евразии с отметкой территории исследования в бассейне р. Урал на границе Казахстана и России (а); район исследований с расположением пяти используемых метеостанций (б)

Продукт Snow Depth FEWS NET (Центральная Азия) покрывает территорию южнее 56° с. ш. Таким образом, в северную часть сцены попадает граничащая с Казахстаном территория Российской Федерации, включая российскую часть бассейна трансграничной р. Урал. Река впадает в Каспийское море на территории Казахстана и имеет преимущественно снежное питание (Rescue..., 2008), которое сильно зависит от параметров снежного покрытия в холодный период. Детальные дистанционные данные по высоте снежного покрова в бассейне р. Урал представляют большой практический интерес. Однако в документации продукта Snow Depth FEWS NET отсутствуют ссылки на работы по его валидации на наземные данные высоты снега в различных частях зоны покрытия.

Целью настоящей работы стало сопоставление карт Snow Depth FEWS NET с данными высоты снега из сети метеорологических станций Российской Федерации, относящихся к бассейну р. Урал (рис. 1, см. с. 32).

Территория исследования

Северная граница сцены «Центральная Азия» Snow Depth FEWS NET проходит по 56° с. ш. и, таким образом, захватывает южную часть гор Урала и Сибири (см. рис. 1а). Процедура валидации этих данных опиралась на данные пяти метеорологических станций, расположенных в российской части бассейна р. Урал и находящихся в сходных ландшафтных и погодноклиматических условиях (см. рис. 1б). В таблице приведены характеристики выбранных метеорологических станций.

Информация по снегомерным постам и метеорологические данные по высоте снега, характеризующие выделы (1–20 см, 20–40, 40–60, 60–80 см) обзорных карт Snow Depth FEWS NET

Метеостанция	WMO ID	с. ш.	в. д.	Snow Depth FEWS NET, выделы карты			
				1–20 см	20–40 см	40–60 см	60–80 см
Верхнеуральск	28833	53°53′	59°13′	9,6±9,0	19,0±8,6	33,2±10,0	45,5±8,7
Магнитогорск	28838	53°25′	58°59′	9,6±6,9	21,1±9,8	36,6±14,4	42,5±12,4
Кизильское	28939	52°44′	58°54′	9,8±6,8	21,6±7,9	33,2±8,6	45,5±7,6
Энергетик	35038	51°44′	58°47′	6,7±5,1	17,6±5,8	24,9±7,6	33,7±5,3
Орск	35138	51°04′	58°35′	12,3±8,8	21,2±7,7	33,4±8,6	44,7±4,2
Среднее по всем станциям				9,9±7,4	20,5±8,4	33,3±12,0	43,0±10,0

Материалы и методы

Наземная информация по высоте снежного покрова на снегомерных пунктах (стационарные рейки) выбранных метеорологических станций бралась из интернет-ресурса «Расписание погоды» (<https://rp5.ru>), который оперирует данными, предоставляемыми национальной метеорологической системой России во Всемирную метеорологическую организацию (ВМО, *англ.* World Meteorological Organization — WMO). Глубина архива варьировалась от 10 лет (с 2010 г.) для станций Верхнеуральск (WMO ID = 28833), Кизильское (WMO ID = 28939) и Энергетик (WMO ID = 35038) до 14 лет (с 2005 г.) для станции Магнитогорск (WMO ID = 28838). По станции Орск (WMO ID = 35138) доступны данные с 2008 г. Суточная погодная информация на сайте «Расписание погоды» представляет собой таблицу срочных шестичасовых измерений. Для снежного покрова измерения высоты проводятся раз в сутки — в срок, ближайший к 08:00. Высота измеряется на стационарных рейках с точностью до сантиметра (Наставление..., 1985). Анализ холодного сезона охватывал период с 1 ноября по 30 апреля. Всего в анализ было включено свыше 5600 суточных значений высоты снега, зарегистрированных на снегомерных постах выбранных метеостанций.

Суточные обзорные карты высоты снега Центральной Азии доступны на интернет-ресурсе программы FEWS NET. Для построения этих карт в Национальном оперативном гидрологическом центре дистанционного зондирования (National Operational Hydrologic Remote Sensing Center — NOHRSC) Национального управления океанических и атмосферных исследований США (National Oceanic and Atmospheric Administration — NOAA) была разработана специальная модель — Asia LISS. В настоящей работе сравнивались синхронные по времени (день-день) данные карт Snow Depth FEWS NET с имеющимися метеорологическими наблюдениями. Карта Snow Depth FEWS NET представляет собой png-файл в географической проекции (Lat-Lon) с разрешением $0,044 \times 0,044^\circ$ ($4,9 \times 2,8$ км, для широты 56°). Высота снега отображена в легенде карты с шагом 20 см, выделы: 0, 1–20, 20–40, 40–60 см и т. д. Последний, 12-й выдел карты соответствует высоте 200 см и более. В районе выбранных метеостанций в бассейне р. Урал высота снега более 1 м в период с 2005 по 2019 г. не регистрировалась. Всего в анализ было включено свыше 2000 суточных карт продукта Snow Depth FEWS NET.

Сравнение данных дистанционных расчётов высоты снега Snow Depth FEWS NET с метеорологическими измерениями строилось двумя частями. Во-первых, был сформирован архив наземной метеорологической информации по высоте снега, отнесённый к отдельным выделам карты Snow Depth FEWS NET в позициях расположения метеостанций. Статистически значимый объём наземной информации был собран для четырёх выделов: 1–20 см (2596 измерений); 20–40 (1649); 40–60 (1244) и 60–80 см (195 измерений). Для сбора этой информации на карте Snow Depth FEWS NET каждой из пяти выбранных метеостанций противопоставлялся участок размером 3×3 пикселя (примерно 15×8 км), который отображал дистанционную версию высоты снега в точке расположения снегомерного пункта. При этом в архив вносились данные с метеостанций только в том случае, если отождествляемая со снегомерным пунктом территория на карте SD FEWS NET размером 3×3 пикселя относилась к одному выделу. Вторая часть сравнения базировалась на средних значениях высоты снега в контуре, характеризующем район метеостанций площадью $14\,800$ км (см. *рис. 1б*). Средняя высота снежного покрова в этом контуре по данным Snow Depth FEWS NET противопоставлялась усреднённым значениям метеорологических наблюдений (см. *рис. 3*). Полученные архивы информации по высоте снега из обоих источников (метеорологические наблюдения и дистанционные данные Snow Depth FEWS NET) оценивались на их близость с помощью стандартных методов статистической обработки.

Результаты

Результаты сопоставления значений высоты снега выделов карты Snow Depth FEWS NET с наземными данными по отдельным метеостанциям представлены в *таблице*. Гистограммы распределения наземных данных высоты снега (усреднено по всем метеостанциям) для четырёх выделов карты Snow Depth FEWS NET: 1–20 см, 20–40, 40–60, 60–80 см — отображены на *рис. 2* (см. с. 35). На *рис. 3* (см. с. 35) показана взаимосвязь суточных данных: метеорологические наблюдения высоты снега (усреднение по всем метеостанциям) против средних значений Snow Depth FEWS NET контура тестового района (см. *рис. 1б*). Для более точного определения математической зависимости между этими двумя версиями высоты снега из рассмотрения были изъяты данные в случаях, когда на карте Snow Depth FEWS NET анализируемый контур отображался одним выделом. Таким образом, было изъято около 25 % от общего объёма информации (397 отсчётов из 1592 имеющихся в общем архиве).

Обсуждение

Полученные результаты показывают, что оба варианта оценки высоты снега тестового района в российской части бассейна р. Урал — метеорологические данные и дистанционные оценки Snow Depth FEWS NET — достаточно тесно и линейно связаны между собой.

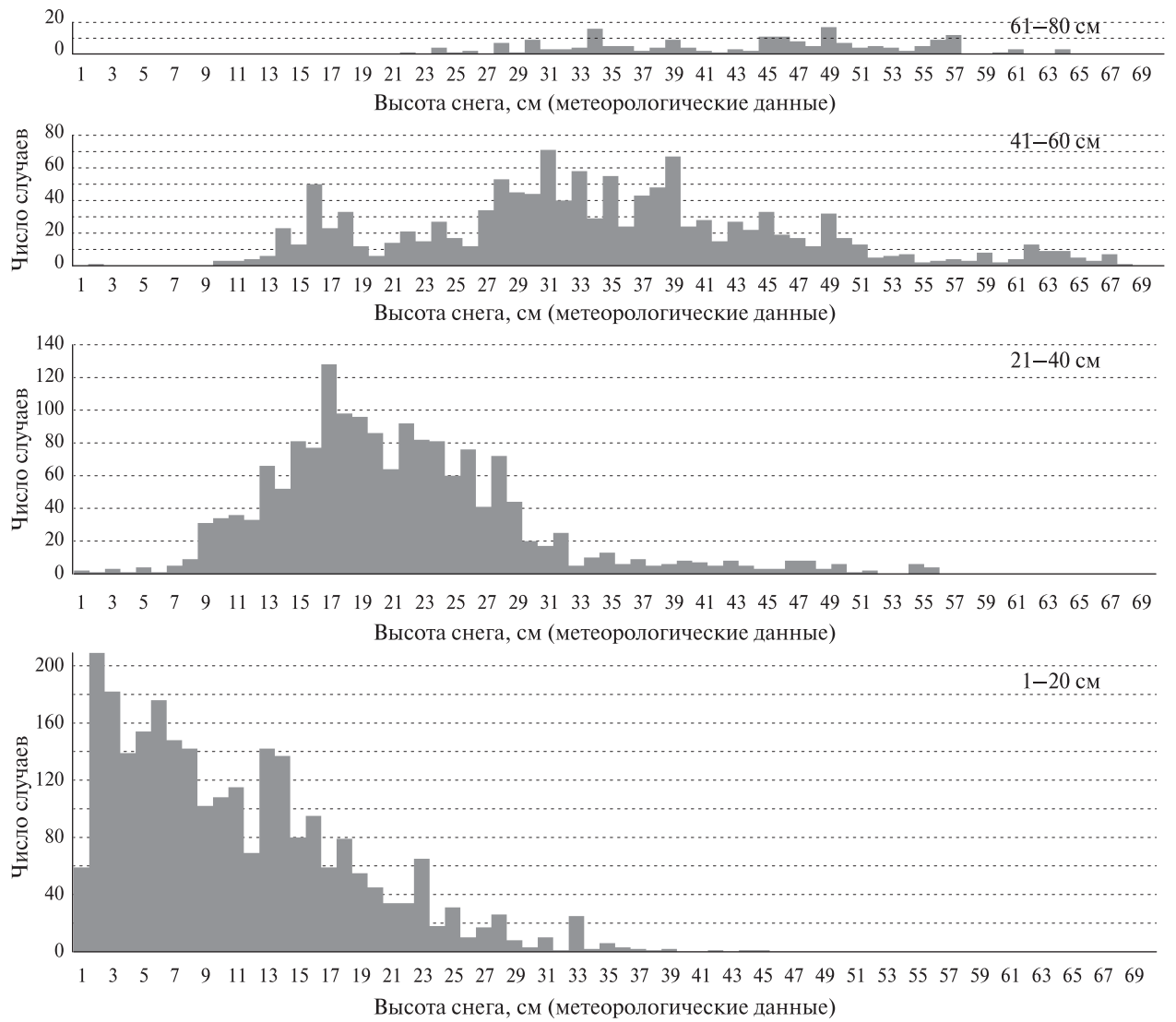


Рис. 2. Гистограммы распределения высоты снежного покрова по данным метеорологических наблюдений для четырёх выделов (1–20 см, 20–40, 40–60, 60–80 см) продукта Snow Depth FEWS NET

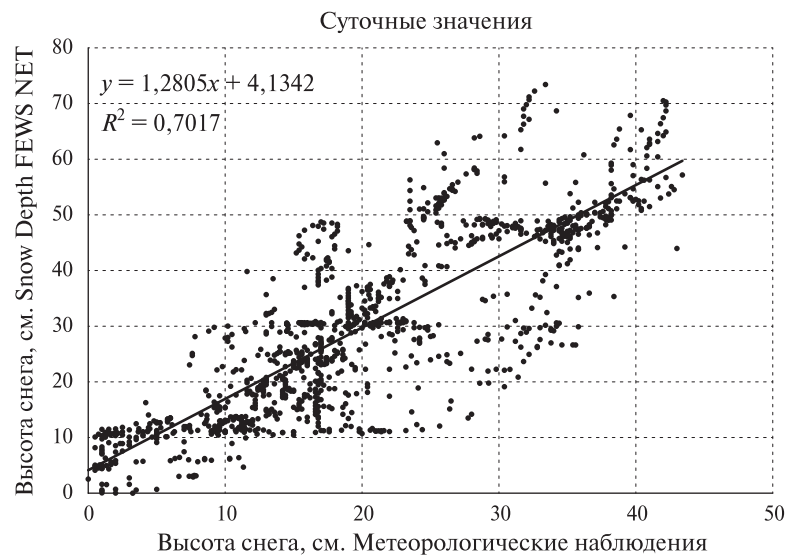


Рис. 3. Взаимосвязь между метеорологическими данными высоты снега (среднее по пяти метеостанциям) и средними значениями Snow Depth FEWS NET тестового района

Коэффициент корреляции Пирсона для суточных значений периода 1 ноября–30 апреля 2005–2019 гг. составил 0,702 (см. *рис. 3*). Если рассмотреть взаимосвязь между средними характеристиками — средние величины гистограмм распределения наземных измерений для выделов Snow Depth FEWS NET против их средних значений: 9,9 против 10,5 см; 20,5 против 30 см; 33,3 против 50 см; 43 против 70 см (см. *таблицу*), то коэффициент корреляции Пирсона возрастает до 0,997.

Математический вид уравнения линейной регрессии (см. *рис. 3*) указывает, что величины высоты снега, определённые в рамках метеорологических измерений, существенно меньше дистанционных расчётов Snow Depth FEWS NET. Дистанционные расчёты завышают высоту снега на 28 %. Также имеет место сдвиг (+4 см) — свободный член уравнения линейной аппроксимации.

Заключение

Таким образом, метеорологические и дистанционные (Snow Depth FEWS NET) величины высоты снега для российской части бассейна р. Урал имеют весьма высокую коррелированность. Это обстоятельство даёт возможность проводить анализ режимов заснеженности этих территорий на основе данных Snow Depth FEWS NET, которые доступны с октября 2000 г. При этом адекватность описания параметров снежного покрова с помощью данных Snow Depth FEWS NET в целом близка к метеорологическим наблюдениям, но дистанционные данные имеют преимущество в виде значительно более высокой пространственной детализации.

Работа выполнена при поддержке грантового финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан, проект АР 05134241.

Литература

1. *Верхотуров А. Л., Соколова Г. В., Барталев С. А., Крамарева Л. С.* Исследование лесогидрологических процессов на водосборах рек бассейна Амура по данным спутниковых и гидрометеорологических наблюдений // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т. 15. № 4. С. 142–154. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-142-154.
2. *Гинзбург А. И., Костяной А. Г.* Тенденции изменений гидрометеорологических параметров Каспийского моря в современный период (1990-е–2017 гг.) // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т. 15. № 7. С. 195–207. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-7-195-207.
3. *Захаров А. И., Захарова Л. Н.* Наблюдения динамики снежного покрова на радарных интерферограммах L-диапазона // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14. № 7. С. 190–197. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-7-190-197.
4. *Китаев Л. М., Тихонов В. В., Титкова Т. Б.* Точность воспроизведения по спутниковым данным аномальных значений снегозапасов // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14. № 1. С. 27–39. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-1-27-39.
5. *Лузян Е. А., Бурицев М. А., Крашенинникова Ю. С.* Зона раннего схода снежного покрова в Дмитровском районе Московской области // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т. 15. № 2. С. 277–281. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-277-281.
6. *Наставление гидрометеорологическим станциям и постам*. Вып. 3. Ч. 1. Метеорологические наблюдения на станциях / ред. Слабкович Г. И. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 299 с.
7. *Терехов А. Г., Пак А. А.* Спутниковый прогноз влияния пополнения Капшагайского водохранилища (КНР) на водность трансграничной реки Иле в 2019 году // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019. Т. 16. № 4. С. 298–302. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-298-302.
8. *Терехов А. Г., Пак И. Т., Долгих С. А.* Данные Landsat-5, -7, -8 и ЦМР в задаче мониторинга гидрологического режима Капшагайского водохранилища на реке Текес (китайская часть бассейна реки Иле) // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2015. Т. 12. № 6. С. 174–182.

9. Терехов А. Г., Пак И. Т., Долгих С. А. Спутниковые наблюдения аномального весеннего паводка 2016 года в низовьях реки Аягуз // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 273–276. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-273-276.
10. Терехов А. Г., Абаев Н. Н., Юничева Н. Р. (2019а) Аномальный режим снежности 2019 года и многолетние тренды в изменениях высоты снежного покрова Казахстана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 5. С. 351–355. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-351-355.
11. Терехов А. Г., Витковская И. С., Абаев Н. Н., Долгих С. А. (2019б) Многолетние тренды в состоянии растительности хребтов Тянь-Шаня и Джунгарского Алатау по данным eMODIS NDVI C6 (2002–2019) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. С. 133–142. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-133-142.
12. Терехов А. Г., Абаев Н. Н., Лагутин Е. И. Диагностика водообеспеченности сельскохозяйственных культур СУАР КНР в течение 2003–2019 гг. по данным eMODIS NDVI C6 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 1. С. 128–138. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-128-138.
13. Титкова Т. Б. Изменение климатических условий формирования зимнего стока в бассейне Верхнего Дона по спутниковым и наземным данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 1. С. 147–157. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-147-157.
14. Черенкова Е. А. Тенденции зимнего увлажнения территории бассейнов Северной Двины и Печоры в XX – начале XXI вв. по наземным и спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 5. С. 285–292. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-285-292.
15. Chang A., Rango A. Algorithm Theoretical Basis Document for the AMSR-E Snow Water Equivalent Algorithm. Version 3.1. Greenbelt, MD, USA: NASA Goddard Space Flight Center, 2000. 124 p.
16. Luo J. K., Pulliainen J., Takala M., Lemmetyinen J., Derksen C., Wang L. Snow Water Equivalent (SWE) product guide. Version 1.0/01. European space agency study contract report. ESRIN contract 21703/08/I-EC. Global snow monitoring for climate research. 15 Dec. 2010. 15 p.
17. Muratova N., Terekhov A. Estimation of spring crops sowing calendar dates using MODIS in Northern Kazakhstan // Proc. Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS-2004). 2004. V. 6. P. 4019–4020.
18. Rescue of Sturgeon Species in the Ural River Basin / ed. Lagutov V. Dordrecht: Springer Science and Business Media, 2008. 333 p. DOI: 10.1007/978-1-4020-8924-4_10.
19. Spivak L., Vitkovskaya I., Batyrbayeva M., Terekhov A. The experience of land cover change detection by satellite data // Frontiers of Earth Science. 2012. V. 6. Iss. 2. P. 140–146. DOI: 10.1007/s11707-012-0317-z.
20. Sultangazhin U., Muratova N., Doraiswamy P., Terekhov A. Estimation of weed infestation in spring crops using MODIS data // Proc. Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS-2003). 2003. V. 1. P. 392–394.
21. Tait A. B., Hall D. K., Foster J. L., Armstrong R. L. Utilizing multiple datasets for snow-cover mapping // Remote Sensing of Environment. 2000. No. 72. P. 111–126. DOI: 10.1016/S0034-4257(99)00099-1.
22. Terekhov A. G., Abayev N. N., Bolatov K., Egemberdieva Z. (2020a) Opportunities of short-term weather forecasts data in the environmental monitoring of the Kazakhstan // E3S Web Conf. 2020. V. 149. No. 03003. DOI: 10.1051/e3sconf/202014903003.
23. Terekhov A. G., Vitkovskaya I. S., Abayev N. N. (2020b) The effect of changing stratification in the atmosphere in central zone of Eurasia according to vegetation data of Tien Shan mountains during 2002–2019 // E3S Web Conf. 2020. V. 149. No. 03004. DOI: 10.1051/e3sconf/202014903004.
24. Yang D., Goodison B. E., Metcalfe J. R., Golubev V. S., Elomaa E., Gunther T., Bates R., Pangburn T., Hanson C. L., Emerson D., Copaciu V., Milkovic J. Accuracy of Tretyakov precipitation gauge: Result of WMO intercomparison // Hydrological Processes. 1995. V. 9. Iss. 8. P. 877–895. DOI: 10.1002/hyp.3360090805.

Validation of daily Snow Depth FEWS NET product over River Ural basin on snow depth meteorological observations

A. G. Terekhov^{1,2}, N. I. Ivkina², N. N. Abayev^{2,3}, A. G. Yeltay³, Z. M. Yegemberdyeva^{1,4}

¹ *Institute of Information and Computing Technology MES RK
Almaty 050010, Kazakhstan
E-mail: aterekhov1@yandex.ru*

² *RSE Kazhydromet, Almaty 050022, Kazakhstan
E-mail: terekhov_a@meteo.kz*

³ *Al-Farabi Kazakh National University, Almaty 050040, Kazakhstan
E-mail: abayev.nurlan@gmail.com*

⁴ *Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
Almaty 050013, Kazakhstan
E-mail: egem.zm@mail.ru*

Snow depth is an important climatic characteristic of the Russian Federation. However, the Russian meteorological observational network is quite rare and instrumental measurements of snow depth over steppe and forest-steppe zones are often hampered by strong winds. This determines the interest in different estimates of snow cover parameters based on satellite data. Recently introduced for Central Asia, the product Snow Depth of the Famine Early Warning System Network (Snow Depth FEWS NET) with a resolution of $0.044 \times 0.044^\circ$ is updated daily, and the archive since 2000 covers part of the territory of Russia south of 56° N. The product documentation does not contain references to validation results for ground data in various parts of the coverage area. In the work, we tested the Snow Depth FEWS NET product for the River Ural basin. The validation used the meteorological data of 2005–2018 from five weather stations in the Russian part of the River Ural basin: Verkhneuralsk (WMO ID-28833), Magnitogorsk (WMO ID-28838), Kizilskoe (WMO ID-28939), Energetik (WMO ID-35038) and Orsk (WMO ID-35138). About 5,600 ground-based snow height measurements were compared with more than 2,000 daily Snow Depth FEWS NET maps. The Pearson correlation coefficient was 0.702 for separate daily values and 0.997 for multi-year average. But, the Snow Depth FEWS NET values were overestimated by about 28 % and had bias of (+4 cm) relative to meteorological observations. These discrepancies are insignificant and the Snow Depth FEWS NET product can be of interest for snow depth monitoring in the Russian part of the River Ural basin.

Keywords: snow cover height, meteorological observations, Snow Depth FEWS NET, River Ural basin, validation, linear regression

Accepted: 28.04.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-31-40

References

1. Verkhoturov A. L., Sokolova G. V., Bartalev S. A., Kramareva L. S., Issledovanie lesogidrologicheskikh protsessov na vodosborakh rek basseina Amura po dannym sputnikovyykh i gidrometeorologicheskikh nablyudeni (Investigation of forest hydrological processes in watersheds of the Amur River basin according to satellite and hydrometeorological observations), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 4, pp. 142–154, DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-142-154.
2. Ginzburg A. I., Kostianoy A. G., Tendentsii izmenenii gidrometeorologicheskikh parametrov Kaspiiskogo morya v sovremennyi period (1990-e – 2017 gg.) (Tendencies of changes in hydrometeorological parameters of the Caspian Sea in the modern period (1990s – 2017)), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 7, pp. 195–207, DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-7-195-207.
3. Zakharov A. I., Zakharova L. N., Nablyudeniya dinamiki snezhnogo pokrova na radarnykh interferogramakh L-diapazona (Observation of snow cover dynamics on L-band SAR interferograms), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 7, pp. 190–197, DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-7-190-197.
4. Kitaev L. M., Tikhonov V. V., Titkova T. B., Tochnost' vosproizvedeniya po sputnikovym dannym anomal'nykh znachenii snegozapasov (The accuracy of snow water equivalent anomalies retrieval from satellite data),

- Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 1, pp. 27–39, DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-1-27-39.
5. Loupian E. A., Burtsev M. A., Krashenninnikova Yu. S., Zona rannego skhoda snezhnogo pokrova v Dmitrovskom raione Moskovskoi oblasti (Snow cover early melting zone in Dmitrov District of the Moscow Region), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 2, pp. 277–281, DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-277-281.
 6. *Nastavlenie gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam, Vyp. 3, Ch. 1, Meteorologicheskie nablyudeniya na stantsiyakh* (Instructions for hydrometeorological stations and posts, Issue 3, Part 1, Meteorological observations at stations), Slabkovich G. I. (ed.), Leningrad: Gydrometeoizdat, 1985, 299 p.
 7. Terekhov A. G., Pak A. A., Sputnikovyi prognoz vliyaniya popolneniya Kapshagaiskogo vodokhranilishcha (KNR) na vodnost' transgranichnoi reki Ile v 2019 godu (Influence of the Kapshagay reservoir (China) refill on transboundary River Ile runoff and satellite-based forecasting), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 4, pp. 298–302, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-298-302.
 8. Terekhov A. G., Pak I. T., Dolgikh S. A., Dannye Landsat-5, -7, -8 i TsMR v zadache monitoringa gidrologicheskogo rezhima Kapshagaiskogo vodokhranilishcha na reke Tekes (kitaiskaya chast' basseina reki Ile) (Hydrology monitoring of Kapshagay reservoir on river Tekes (China's part of river Ile basin) based on Landsat-5, -7, -8 data and DEM bathymetry), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 6, pp. 174–182.
 9. Terekhov A. G., Pak I. T., Dolgikh S. A., Sputnikovye nablyudeniya anomal'nogo vesennego pavodka 2016 goda v nizov'yakh reki Ayaguz (Satellite observations of the anomalous spring flood at the lower reach of the Ayaguz River in 2016), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 4, pp. 273–276, DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-273-276.
 10. Terekhov A. G., Abayev N. N., Yunicheva N. R. (2019a), Anomal'nyi rezhim snezhnosti 2019 goda i mnogoletnie trendy v izmeneniyakh vysoty snezhnogo pokrova Kazakhstana (Anomalous snowy regime at 2019 year and long-term trends in snow depth in Kazakhstan), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 5, pp. 351–355, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-351-355.
 11. Terekhov A. G., Vitkovskaya I. S., Abayev N. N., Dolgikh S. A. (2019b), Mnogoletnie trendy v sostoyanii rastitel'nosti khrebtov Tyan'-Shanya i Dzhungarskogo Alatau po dannym eMODIS NDVI C6 (2002–2019) (Long term trends in vegetation in Tien-Shan and Dzungarian Alatau from eMODIS NDVI C6 (2002–2019)), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 6, pp. 133–142, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-133-142.
 12. Terekhov A. G., Abayev N. N., Lagutin E. I., Diagnostika vodoobespechennosti sel'skokhozyaistvennykh kul'tur SUAR KNR v techenie 2003–2019 gg. po dannym eMODIS NDVI C6 (Diagnostic of water availability of agricultural culture in Xinjiang during 2003–2019 years on base of eMODIS NDVI C6), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 1, pp. 62–72, DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-62-72.
 13. Titkova T. B., Izmenenie klimaticheskikh uslovii formirovaniya zimnego stoka v basseine Verkhnego Dona po sputnikovym i nazemnym dannym (Change in climatic conditions of winter runoff formation in the Upper Don basin revealed by satellite and ground data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 1, pp. 147–157, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-147-157.
 14. Cherenkova E. A., Tendentsii zimnego uvlazhneniya territorii basseinov Severnoi Dviny i Pechory v XX–nachale XXI vv. po nazemnym i sputnikovym dannym (Trends of winter humidification of the Northern Dvina and Pechora basins in the 20th–early 21st centuries based on terrestrial and satellite data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 5, pp. 285–292, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-5-285-292.
 15. Chang A., Rango A., *Algorithm Theoretical Basis Document for the AMSR-E Snow Water Equivalent Algorithm, Version 3.1*, Greenbelt, MD, USA: NASA Goddard Space Flight Center, 2000, 124 p.
 16. Luoju K., Pulliainen J., Takala M., Lemmetyinen J., Derksen C., Wang L., *Snow Water Equivalent (SWE) product guide, Version 1.0/0.1, ESA study contract report, ESRIN contract 21703/08/I-EC, Global snow monitoring for climate research*, 15 Dec. 2010, 15 p.
 17. Muratova N., Terekhov A., Estimation of spring crops sowing calendar dates using MODIS in Northern Kazakhstan, *Proc. Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS-2004)*, 2004, Vol. 6, pp. 4019–4020.
 18. *Rescue of Sturgeon Species in the Ural River Basin*, Lagutov V. (ed.), Dordrecht: Springer Science and Business Media, 2008, 333 p., DOI: 10.1007/978-1-4020-8924-4_10.
 19. Spivak L., Vitkovskaya I., Batyrbayeva M., Terekhov A., The experience of land cover change detection by satellite data, *Frontiers of Earth Science*, 2012, Vol. 6, Issue 2, pp. 140–146, DOI: 10.1007/s11707-012-0317-z.

20. Sultangazin U., Muratova N., Doraiswamy P., Terekhov A., Estimation of weed infestation in spring crops using MODIS data, *Proc. Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS-2003)*, 2003, Vol. 1, pp. 392–394.
21. Tait A. B., Hall D. K., Foster J. L., Armstrong R. L., Utilizing multiple datasets for snow-cover mapping, *Remote Sensing of Environment*, 2000, No. 72, pp. 111–126, DOI: 10.1016/S0034-4257(99)00099-1.
22. Terekhov A. G., Abayev N. N., Bolatov K., Egemberdieva Z. (2020a), Opportunities of short-term weather forecasts data in the environmental monitoring of the Kazakhstan, *E3S Web Conf.*, 2020, Vol. 149, No. 03003, DOI: 10.1051/e3sconf/202014903003.
23. Terekhov A. G., Vitkovskaya I. S., Abayev N. N. (2020b), The effect of changing stratification in the atmosphere in central zone of Eurasia according to vegetation data of Tien Shan mountains during 2002–2019, *E3S Web Conf.*, 2020, Vol. 149, No. 03004, DOI: 10.1051/e3sconf/202014903004.
24. Yang D., Goodison B. E., Metcalfe J. R., Golubev V. S., Elomaa E., Gunther T., Bates R., Pangburn T., Hanson C. L., Emerson D., Copaciu V., Milkovic J., Accuracy of Tretyakov precipitation gauge: Result of WMO intercomparison, *Hydrological Processes*, 1995, Vol. 9, Issue 8, pp. 877–895, DOI: 10.1002/hyp.3360090805.