

П. В. Воронина^{1,2}*

Сроки установления и разрушения снежного покрова на территории Новосибирской области по спутниковым данным

¹ Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация

² Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация
* e-mail: pol.voronina@gmail.com

Аннотация. Представлены результаты определения сроков залегания снега по Новосибирской области за период с 2000 по 2022 гг. по спутниковым данным MODIS с выделением сроков установления и разрушения снежного покрова (СП) в качестве отдельных показателей. Проведен анализ полученных после обработки спутниковых снимков пространственно-временных рядов данных о покрытии территории снегом.

Ключевые слова: MODIS, обработка спутниковых данных, устойчивый снежный покров, сроки установления и разрушения снежного покрова

P. V. Voronina^{1,2}*

Onset and Destruction Dates of Snow Cover on the Novosibirsk Region from Remote Sensing Data

¹ Federal Research Center for Information and Computational Technologies, Novosibirsk,
Russian Federation

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: pol.voronina@gmail.com

Abstract. The results of determining the timing of snow occurrence in the Novosibirsk region for the period from 2000 to 2022 are presented according to MODIS satellite data, including the timing of the establishment and destruction of snow cover. An analysis of the spatial-temporal series of data on snow coverage obtained after processing satellite images was carried out.

Keywords: MODIS, satellite remote sensing data processing, snow cover, onset and destruction dates of snow cover

Введение

Снежный покров (СП), его установление осенью и разрушение весной является важным этапом годового цикла, который оказывает влияние на энергетический и водный обмены в системе «почва–атмосфера» [1–5]. Распределение снежного покрова, запаздывание или опережение сроков его установления и разрушения влияют на водообеспеченность территории, режим рек, формирование весеннего половодья, пополнение подземных вод, вегетационный период сельскохозяйственных культур, экономическое и экологическое развитие

территории [6, 7]. Снежный покров в условиях изменяющегося климата Земли оказывает значительное влияние на региональную экономику, функционирование экосистем [6, 8, 9].

Данные дистанционного зондирования перспективны для мониторинга снежного покрова в связи с их широким пространственным охватом и регулярностью съемки. Для труднодоступных территорий и в местах, в которых отсутствуют метеостанции, привлечение спутниковых данных позволяет качественнее отслеживать динамику снежного покрова [5, 10]. Определение сроков установления и разрушения снежного покрова будем проводить по данным дистанционного зондирования среднего пространственного разрешения Terra/MODIS.

Целью работы является определение текущих тенденций установления и схода снежного покрова на территории Новосибирской области в первые два десятилетия XXI в. по спутниковым данным MODIS, выявление особенностей формирования и разрушения снегового режима. В работе определяется первый день в году, когда заданный пиксель достигает ненулевого процента снежного покрова (установление снежного покрова) и первый день в году, в который заданный пиксель имеет нулевой процент снежного покрова (разрушение снежного покрова).

Снежный покров является метеорологическим индикатором, в котором, как в фокусе, отражены важнейшие физические процессы, происходящие в атмосфере и в почве. Таким образом, снежный покров становится важным показателем особенностей почвенного климата и взаимодействия двух взаимопроникающих сред – почвенной и растительной.

В работе рассматривается период залегания снега от первого дня начала его установления на территории Новосибирской области до последнего дня обнаружения снега весной с выделением сроков установления и разрушения снежного покрова в качестве отдельных показателей. Одной из основных задач работы является получение климатических характеристик сроков установления и разрушения снежного покрова – средних и стандартного отклонения за 2000–2022 гг. по спутниковым данным MODIS на территории Новосибирской области.

Характеристика территории исследования

Как и в [11] территорией исследования является Новосибирская область, располагающаяся на юго-востоке Западно-Сибирской равнины. Область располагается между 54°44' и 57°12' с. ш. в зонах южной тайги, смешанных лесов и лесостепи, ее протяжённость с запада на восток – 642 км, с севера на юг – 444 км, площадь – 177,76 тыс. км². Климат Новосибирской области суровый с продолжительной холодной зимой и коротким жарким летом. Суровость климата главным образом вызывается особенностями погодного режима в зимний период. Строение рельефа внутренних районов области и подстилающей поверхности формируют местные климатоэкологические различия, которые выражаются в ха-

рактуре растительности, снежного и почвенного покровов, густоте водной сети и т. д. [12–15].

В Новосибирской области, как и в целом в Западной Сибири, выражена весьма отчетливо широтная природно-климатическая зональность. По зональному районированию в области формируются ландшафтные типы климатов леса, лесостепи и степи, которые дополнительно еще подразделяются на ряд ступеней ландшафтной классификации (классификация предложена А.П. Слядневым). Для Новосибирской области характерно длительное и устойчивое, без приводящих к таянию снега оттепелей, залегание снега, и это период отчетливого проявления взаимного влияния атмосферы и поверхности.

Материалы исследования

В настоящей работе спутниковая информация отбиралась и обрабатывалась средствами облачной платформы для геопространственного анализа больших данных Google Earth Engine (GEE) [16], в которой обеспечивается доступ к большой базе данных спутниковых изображений и к вычислительным ресурсам, необходимым для их анализа. Поставленная задача решалась с использованием продукта, получаемого в результате обработки данных приборов Terra/MODIS. Это продукт MOD10A1 V6 Snow Cover Daily Global 500m, который содержит данные о снежном покрове, альбедо снега, частичном снежном покрове. Данные предоставляются с пространственным разрешением 500 м и временным разрешением 1 день [17].

Область исследования ограничена территорией Новосибирской области.

Обсуждение результатов

Климат Новосибирской области резко-континентальный, с холодной и продолжительной зимой, которая длится около полугода. Зимний сезон делится на три периода: установление снежного покрова, залегание снега и разрушение снежного покрова. На рис. 1 представлена продолжительность зимнего сезона по спутниковым данным по Новосибирской области с зимы 2000-2001 гг. до зимы 2021-2022 гг. Средняя продолжительность сезона (на графике это красная линия) составляет 192 дня. Выделяются четыре короткие зимы с продолжительностью менее 178 дней (это среднее значение минус среднеквадратичное отклонение). Это зимы 2006–2007 гг. (продолжительность составила 168 дня), 2010–2011 гг. (171 день), 2019–2020 гг. (174 дня), 2021–2022 гг. (175 дня). Отметим четыре долгих зимы протяженностью более 205 дней (среднее значение плюс среднеквадратичное отклонение). Это зимы 2001–2002 гг. (207 день), 2002–2003 гг. и 2003–2004 гг. (209 дней), 2014–2015 гг. (210 дней, самая долгая зима в Новосибирской области за два десятилетия). На рис. 1 показан тренд, который указывает на тенденцию уменьшения продолжительности залегания снежного покрова.

Рассмотрим теперь каждый из трех периодов зимы отдельно. Установление снежного покрова представляет собой этап годового цикла, с которым связаны процессы, протекающие между атмосферой и сушей. Раннее или позднее уста-

новление снежного покрова имеет климатообразующее значение, влияет на экономику территории, на разные сферы жизни человека.

Период установления снежного покрова начинается со дня первого обнаружения снега на территории области до ее полного покрытия снегом. В Новосибирской области первый снег появляется в конце сентября на севере территории и в первой декаде ноября на юге. По первым дням обнаружения снежного покрова на территории с 2000 г. до 2021 г. вычислен средний день начала установления для Новосибирской области, аналогично определена средняя дата окончания процесса залегания снега. Средним периодом установления снежного покрова для Новосибирской области является промежуток с 16 октября по 8 ноября (24 дня).

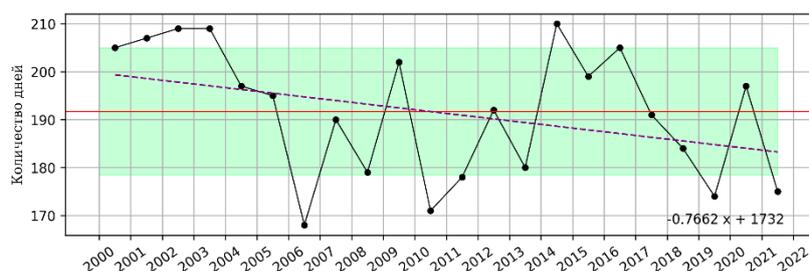


Рис. 1. Продолжительность зимнего периода на территории Новосибирской области с 2000 по 2022 гг.

На рис. 2 а приведен график начала установления снежного покрова в Новосибирской области, а на рис. 2 б – окончание этого процесса. На графиках красной штриховой линией указан средний день и заштрихована область отклонения от среднего значения на величину среднеквадратичной ошибки. Начало процесса установления может быть ранним и поздним, т.е. день первого обнаружения снега по спутниковым данным либо наступает раньше среднего дня начала установления за весь промежуток наблюдения минус величина среднеквадратичного отклонения, либо наступает позже среднего дня плюс среднеквадратичное отклонение. Аналогично и окончание установления снежного покрова может быть ранним или поздним. Раннее начало зимы отмечалось в 2000 г. (04.10), 2014 г. (29.09), 2015 г. (05.10), 2016 г. (03.10), позднее – в 2006 г. (06.11), 2010 г. (29.10), 2019 г. (28.10). Раннее окончание установления снега зафиксировано в 2016 г. (21.10), 2018 г. (29.10), а позднее – в 2001 г. (20.11), 2006 г. (17.11), 2010 г. (17.11), 2013 г. (29.11).

По количеству дней процесс установления снежного покрова определяется как быстрый или продолжительный (рис. 3). В среднем период установления продолжается около 24 дней. Но случаются годы с меньшим числом дней установления. Это 2017 г. (12 дней установления), 2018 г. (4 дня) и 2021 г. (13 дней). Годы с большим периодом установления – 2001 (44 дня), 2009 (34 дня), 2013 (41 день), 2014 (37 дней), 2022 (36 дней).

К среднестатистическим годам по установлению снежного покрова можно отнести годы с 2002 по 2005 включительно, 2007, 2008, 2011, 2012.

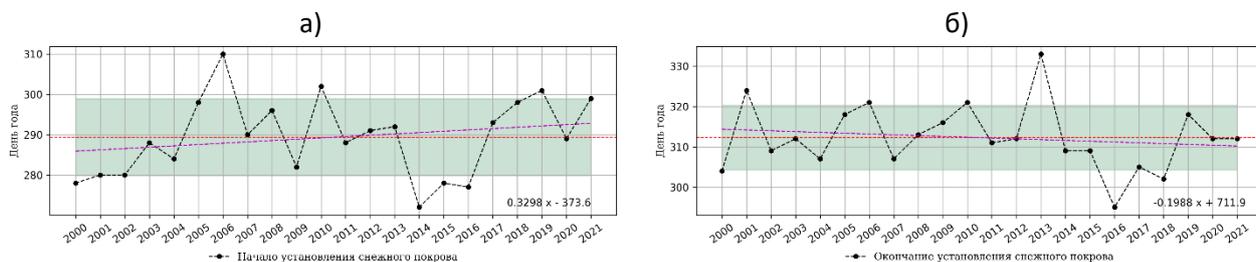


Рис. 2. Установление снежного покрова по Новосибирской области: а) начало; б) окончание

В течение двух десятилетий прослеживается тенденция на более позднее начало установления снежного покрова и на более раннее его окончание, и в целом уменьшение длительности этого процесса по Новосибирской области (рис. 3).



Рис. 3. Продолжительность установления снежного покрова по Новосибирской области

Следующий этап зимы – это залегание снега – начинается, когда вся территория области становится покрытой снегом. В Новосибирской области оттепели редкое явление, не приводящее к таянию снега, поэтому зима протекает с устойчивым снежным покровом вплоть до начала его весеннего схода. Раннее установление снежного покрова предохраняет почву от глубокого промерзания.

Средняя продолжительность залегания снежного покрова по Новосибирской области составляет 146 дней. Зимы 2000–2001 гг. (133 дня), 2001–2002 гг. (128 дней), 2013–2014 гг. (120 дней) были с меньшей продолжительностью или отрицательной аномалией (в скобках указано количество дней залегания снега). В зимы 2004–2005 гг. (159 дней), 2014–2015 гг. (157 дней), 2016–2017 гг. (171 день) и 2017–2018 гг. (160 дней) снег пролежал дольше обычного,

произошла положительная аномалия. По двум десятилетиям выделяется тенденция на увеличение периода залегания снега по Новосибирской области (рис. 4).

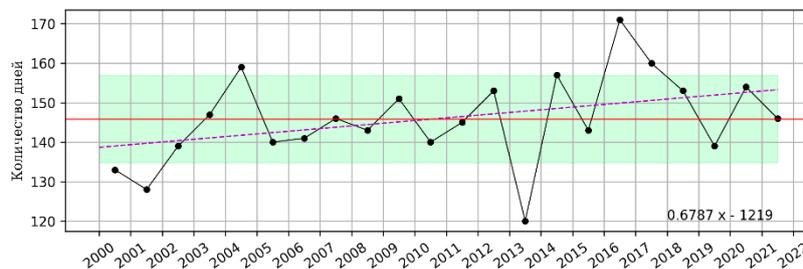


Рис. 4. Продолжительность залегания снега по Новосибирской области

Таяние снега в конце зимы это один из важнейших этапов сезонного цикла, влияющий на урожайность территории, ее водообеспеченность, формирование весеннего половодья. Опережение или запаздывание сроков схода снежного покрова территории может приводить к образованию аномалий атмосферной циркуляции в весенний период [18]. Изучение изменений сроков разрушения снежного покрова и их особенностей – серьезная задача для экономики региона. Процесс весеннего снеготаяния и разрушения устойчивого снежного покрова начинается в апреле и завершается окончательно в южных степных районах в конце апреля, в лесной зоне – в мае. Но в зависимости от характера зимних условий эти сроки могут сдвигаться на две недели или даже на месяц.

По дням начала и окончания таяния снега рассчитаны средние даты схода снежного покрова (рис. 5). По Новосибирской области средний промежуток окончания зимы это с 04.04 по 25.04. Ранее начало схода снежного покрова отмечалось в 2001 г. (07.03) и 2003 г. (25.03). Позднее начало – в 2010 г. (13.04) и 2015 г. (12.04). Ранее окончание разрушения снежного покрова произошло в 2011 г. (17.04), 2012 г. (09.04) и 2014 г. (16.04), а позднее – в 2003 г. (05.05), 2004 г. (10.05) и 2006 г. (07.05). Прослеживается тренд, с одной стороны, на более позднее начало схода снежного покрова, а, с другой, на более раннее его окончание.

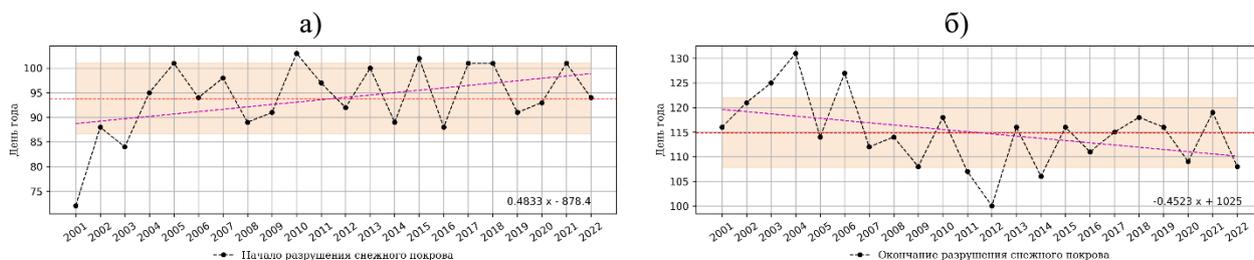


Рис. 5. Разрушение снежного покрова по Новосибирской области.
а) начало; б) окончание

Продолжительность схода снежного покрова в среднем по Новосибирской области составляет 22 дня, но за прошедшие два десятилетия случались годы с быстрым разрушением снежного покрова. Это 2011 и 2012 годы с количеством дней схода 11 и 9, соответственно. И были годы с продолжительным периодом схода. Это годы с 2001 по 2004 включительно и продолжительностью периода схода 45, 34, 42, 37 дней, соответственно, и 2006 г. (34 дня таяния). Во второе десятилетие нынешнего столетия процесс разрушения снежного покрова по Новосибирской области лежит в промежутке средних значений, а построенный тренд показывает на уменьшение продолжительности периода таяния снега.

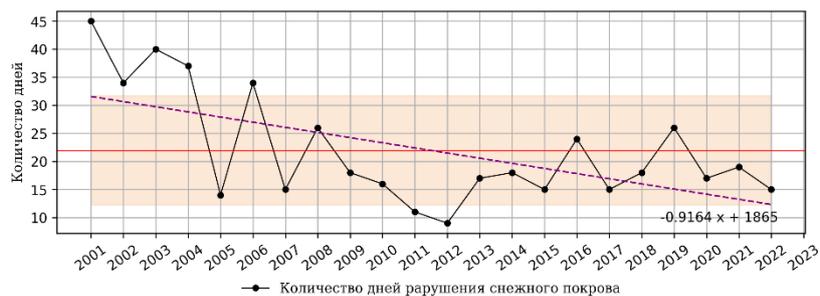


Рис. 6. Продолжительность разрушения снежного покрова по Новосибирской области

В таблице 1 приведены средние значения длительности зимы, периода залегания снега, установления и разрушения снежного покрова по Новосибирской области. И указаны зимы, в которые все параметры не выходили за промежуток средних значений. Таких зим за два десятилетия было четыре.

Таблица 1

Зимы со среднестатистическими параметрами

	Длительность зимы, дни	Период залегания снега, дни	Установление СП, дни	Разрушение СП, дни
«Средняя» зима	192	146	24 16.10–08.11	22 04.04–25.04
2007–2008	190	146	18 17.10–03.11	26 29.03–23.04
2008–2009	179	143	18 22.10–08.11	18 01.04–18.04
2012–2013	192	153	22 17.10–07.11	17 10.04–26.04
2020–2021	197	154	24 15.10–10.11	19 11.04–29.04

Заключение

Снежный покров может рассматриваться как один из наиболее чувствительных индикаторов изменения окружающей среды. Климатообразующая функция заключается в возможности снежного покрова оказывать влияние на распределение некоторых климатических показателей на той или иной территории. Являясь «продуктом» климата, сам снежный покров оказывает влияние на компоненты климата: распределение солнечной радиации, температуру, атмосферное давление, влажность, циркуляцию воздуха.

В результате проведенных исследований по выявлению сроков установления, залегания и схода снежного покрова по данным дистанционного зондирования по Новосибирской области с 2000 по 2022 гг. выявлена направленность на сокращение зимнего периода, при этом прослеживается тенденция на сокращение периодов установления и разрушения снежного покрова, но период залегания снега увеличивается.

Данные дистанционного зондирования перспективны для изучения пространственно-временной динамики распределения снежного покрова. Материалы космической съёмки дополняют и расширяют точечную информацию сети Гидрометеослужбы о появлении и сходе снежного покрова, позволяют построить пространственное распределение установления и разрушения снежного покрова по территории, особенно для той её части, которая не охвачена наземными наблюдениями. Снежный покров имеет значительное климатообразующее значение, а аномалии сроков установления и схода влияют на социально-экономическое состояние территории. Изучение распределения, установления и схода снежного покрова позволяет выявить, уточнить особенности климата, что важно для исследования и прогнозирования экологических процессов и их взаимодействия с двумя средами – атмосферой и почвой. Полученные в ходе такого исследования результаты могут послужить основой для районирования территории с целью ее хозяйственного освоения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попова В.В., Полякова И.А. Изменение сроков разрушения устойчивого снежного покрова на севере Евразии в 1936–2008 гг.: влияние глобального потепления и роль крупномасштабной атмосферной циркуляции // Лёд и Снег. 2013. № 2 (122). С. 29–39.
2. Попова В.В., Ширяева А.В., Морозова П.А. Сроки установления снежного покрова на севере Евразии: прямые и обратные связи с крупномасштабной атмосферной циркуляцией // Лёд и Снег. 2014. № 3 (127). С. 39–49.
3. Попова В.В., Морозова П.А., Титкова Т.Б., Семенов В.А., Черенкова Е.А., Ширяева А.В., Китаев Л.М. Региональные особенности современных изменений зимней аккумуляции снега на севере Евразии по данным наблюдений, реанализа и спутниковых измерений // Лёд и Снег. 2015. Т. 55. № 4. С. 73–86.
4. Турулина Г.К., Сальников В.Г., Полякльва С.Е., Муратова Н.Р. Современные тенденции продолжительности залегания устойчивого снежного покрова в Северном Казахстане // Гидрометеорология и экология. 2013. №3. С. 7–15.
5. 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.

6. Musselman, K.N., Clark, M.P., Liu, C., Ikeda, K. and Rasmussen, R. Slower snowmelt in a warmer world // *Nature Climate Change*. 2017. 7(3). pp. 214–219.
7. Barnhart, T.B., Molotch, N.P., Livneh, B., Harpold, A.A., Knowles, J.F. and Schneider, D. Snowmelt rate dictates streamflow // *Geophysical Research Letters*. 2016. 43(15). pp. 8006–8016.
8. Beniston, M. Impacts of climatic change on water and associated economic activities in the Swiss Alps // *Journal of Hydrology*. 2012. 412. pp. 291–296.
9. Попова В.В., Ширяева А.В., Морозова П.А. Изменения характеристик снежного покрова на территории России в 1950–2013 годах: региональные особенности и связь с глобальным потеплением // *Криосфера Земли*. 2018. Т. XXII. № 4. С 65–75.
10. Истомина Е.А., Максютова Е.В. Возможность использования продукта MODIS «snow cover» для характеристики пространственной структуры снежного покрова Предбайкалья // *Лёд и Снег*. 2014. № 1 (125). С. 66–72.
11. Воронина П.В. Динамика температуры поверхности Новосибирской области по данным дистанционного зондирования в XXI веке // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2022. Т. 4. С. 31–39.
12. Почвенно-климатический атлас Новосибирской области. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. – 121 с.
13. Кравцов В.М., Донукалова Р.П. География Новосибирской области. – Новосибирск: Инфолио-пресс, 1999. – 205 с.
14. Западно-Сибирская низменность. – М.: География, 1963. – 262 с.
15. Кузнецов А.В., Кузнецов Н.А. Охотничьи угодья Новосибирской области. – Новосибирск: Новосибирское книжное издательство, 1987. – 232 с.
16. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // *Remote sensing of Environment*. 2017. V. 202. pp. 18–27. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031.
17. Hall D.K., Salomonson V.V., Riggs G.A. MODIS/Terra Snow Cover Daily L3 Global 500m Grid. Version 6. // Boulder, Colorado USA: NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. 2016.
18. Вильфанд Р.М., Садоков В.П., Тищенко В.А. О связи границы снежного покрова с интенсивностью циклонической деятельности в Северном полушарии // *Метеорология и гидрология*. 2002. № 9. С. 32–39.

© П. В. Воронина, 2024