

УДК 504.064.37; 556.16

Канд. техн. наук А.Г. Терехов<sup>1</sup>**СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ФОРМИРОВАНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА КАЗАХСТАНА**

**Ключевые слова:** спутниковые снимки, устойчивый снежный покров, календарные даты, устойчивый снежный покров, карты формирования устойчивого снежного покрова

*Спутниковые продукты НАСА MOD09 и MOD10 использовались для построения карт календарных дат формирования устойчивого снежного покрова на территории Казахстана в период с 2001 по 2017 годы. Обзорные карты строились в двух шкалах: календарная дата появления устойчивого снежного покрова; и её относительные оценки, для типичных условий данного места (рано – поздно). Полученные карты представляют интерес при описании сезонных, пространственно-временных особенностей формирования снежного покрова в Казахстане и поиске «года аналога» для процессов весеннего снеготаяния, в рамках долгосрочного прогноза с заблаговременностью 3 месяца.*

**Введение.** Формирование/разрушение снежного покрова является одним из наиболее физиономичных сезонных изменений на территории Казахстана. В связи с этим, информация по его характеристикам (календарная дата появления/разрушения, толщина, водный эквивалент и пр.) представляет большой интерес. Активное весеннее снеготаяние во многих частях Казахстана несёт угрозу разрушительных паводков. В условиях климатического дефицита увлажнения для роста и развития сельскохозяйственных культур на богаре водные ресурсы снежного покрова обеспечивают значительную долю почвенной влаги в корнеобитаемом слое в течение первой половины вегетационного периода. Таким образом, снежный покров на территории Казахстана представляет собой объект, существенно влияющий на практически значимые характеристики территорий, и поэтому наблюдения за ним и оценки его параметров являются весьма востребованными [1].

Из-за большой территории Казахстана (2,7 млн. км<sup>2</sup>) традиционные методы картирования снежного покрова на основе наземных маршрутных

---

<sup>1</sup> Казгидромет, г. Алматы, Казахстан

обследований и данных сети пунктов наблюдений РГП Казгидромет не могут обеспечить равнозначимой информацией всю территорию Республики. Большая часть территории представлена данными, полученными в результате экстраполяции, что ухудшает детализовку карт и приводит к искажению фактической информации.

Спутниковая информация широко используется для пространственно-временной характеристики снежного покрова Земли. В свободном доступе находится ряд автоматических спутниковых продуктов, которые предоставляет «National Snow and Ice Data Center» [<http://nsidc.org/data>], в том числе: MOD10 [2] и MODIS/TerraSnowCover\_Global. Они доступны в формате ежедневных, 8-дневных или месячных композитов.

Спутниковые снимки и результаты их обработки, основанной на распознавании снега по высокому коэффициенту отражения в оптической части спектра, являются удобным источником информации о расположении и состоянии снежного покрова. Маскирующее влияние облачного покрова, также как и в случае наземных данных, приводит к необходимости использования экстраполяции. Но объём информации, полученной в результате экстраполяции, в этом случае, значительно меньше, она фрагментарна и не имеет жесткой привязки к определённому месту. Это делает спутниковые карты формирования/разрушения устойчивого снежного покрова в Казахстане более достоверными, лучше отображающими сезонные особенности погодных условий.

Снежный покров средних широт имеет два характерных временных параметра, это дата его установления и дата разрушения. При этом процесс формирования снежного покрова привлекает меньше внимания, чем вопросы его разрушения [1]. Между тем, пространственно-временные особенности формирования снежного покрова на территории Казахстана тоже несут важную информацию о сезонных особенностях регионального погодного режима. Это может быть связано с практически интересными задачами долгосрочного прогноза активности весенних паводков и весенних запасов почвенной влаги. Долгосрочные прогнозы, с заблаговременностью от 3-х месяцев, не имеют хорошей оправдываемости, что связано с фундаментальными свойствами процесса формирования погоды, но определённый практический интерес они всё равно представляют.

**Территория мониторинга.** В работе рассматривалась вся территория Казахстана. Основной упор делался на равнинную часть Республики. Снежный покров высокогорных районов детально не рассматривался.

Площадь горных стран, расположенных в Казахстане, относительно невелика. Развитый облачный покров высокогорных территорий, жесткая зависимость снежного покрова от абсолютной высоты местности и экспозиции склона требует отдельных подходов к его детальному описанию.

**Цель работы.** Целью данной работы являлось создание набора обзорных карт календарных дат формирования устойчивого снежного покрова на территории Казахстана в течение последних 17 лет (2001...2017 гг.) в шкале абсолютных дат и их относительных оценок (рано – поздно). На основе этой базы данных можно рассматривать некоторые прикладные аспекты. Например, искать «год аналог», в котором сценарий формирования снежного покрова происходил максимально близко к сценарию сезона 2017...2018 годов. Соответственно, паводковая активность и весенние запасы продуктивной влаги в почве «года аналога» могут служить в качестве долгосрочного (3 месяца заблаговременности) прогноза режима на текущий сезон.

**Исходная информация.** Снежный покров на территории Казахстана обычно формируется в период с октября по январь. В октябре возникает снежный покров на среднегорье и иногда на севере Республики. Полупустынные территории на юге Казахстана ненадолго покрываются снегом в январе. В некоторые года снежный покров здесь не образуется вовсе.

Обзорные карты формирования снежного покрова строились на базе продуктов MOD09A1 (collection 5) [3] и MOD10L2 (collection 6) [2]. Продукт MOD09A1, представляющий собой 8-дневный композит физических коэффициентов отражения подстилающей поверхности, использовался для периода 2001...2015 гг. Период накопления данных 8 суток (8-дневный композит) уменьшает маскирующее влияние облачности, которая затрудняет распознавание снежного покрова. Сезоны 2016 и 2017 гг. анализировались на основе ежедневного продукта MOD10L2. Продукт представляет собой спутниковую оценку доли проективного покрытия подстилающей поверхности (0...100 %) снегом. Мешающее влияние облачности отображено в продукте MOD10L2 через включение в него маски облачности (продукт MOD35L2 [4]).

**Методика обработки данных.** Образование снежного покрова на поверхности Земли резко увеличивает её коэффициент отражения в оптическом диапазоне спектра, что является простым диагностическим признаком. Любой способ классификации даёт хорошие результаты. Основная проблема связана с маскирующим действием облачного покрова и способами учёта этого влияния.

Календарные даты формирования устойчивого снежного покрова по территории Казахстана в многолетнем аспекте весьма вариативны. Почти в любом месте Республики наиболее ранние даты отличаются от наиболее поздних (по результатам многолетних наземных наблюдений) на 1...2 месяца. Столь значительная вариативность во времени даёт возможность огрублять шкалу регистрируемых календарных дат до 8-дневных страт. 8-дневные композиты по календарным датам автоматически удаляют большую часть мешающего влияния облачного покрова. Правда, остаются ситуации, когда облачный покров существовал над этой территорией все 8 суток. Для решения этой проблемы применялась экстраполяция с помощью данных по конфигурациям границы снежного покрова соседних, безоблачных территорий. При необходимости привлекалась информация соседних календарных дат.

Исходными данными для построения карт формирования снежного покрова на территории Казахстана выступали спутниковые продукты НАСА: для периода 2000...2015 гг. – MOD 09 GA (физические коэффициенты отражения подстилающей поверхности в оптическом диапазоне спектра) – 8-дневный композит, коллекция-5 [3] (128 покрытий, периода октябрь – январь 2000...2015 гг.). Последние два года, сезоны 2016...2017 гг. и 2017...2018 гг., анализировались по продукту MOD 10 L1 (снежный покров) коллекция-6 [4], ежедневно (224 покрытия за октябрь – январь 2016...2018 гг.).

Методика обработки спутниковых данных сводилась к регистрации календарной даты образования снежного покрова. На базе продукта MOD09A1 (2001...2015 гг.), который представляет собой 8-дневный композит, эта дата определялась согласно описанным выше принципам. Последние два сезона (2016...2017 гг.) анализировались по ежедневному продукту MOD10L2 (снежный покров). Этот продукт уже содержит распознанные основные классы подстилающей поверхности (снежный покров, облачный покров, безснежная поверхность). Поэтому обработка включала формирование 8-дневных композитов для уменьшения влияния облачного покрова и экстраполяцию (в случае необходимости) для восстановления границы снеговой линии в тех местах, где мешающее влияние облачного покрова всё ещё оставалось.

**Полученные результаты.** Полученные карты календарных дат формирования устойчивого снежного покрова (под устойчивым понимался снежный покров, существующий не менее 6...8 суток) в период 2000...2018 гг. представлен на рис. 1-2.

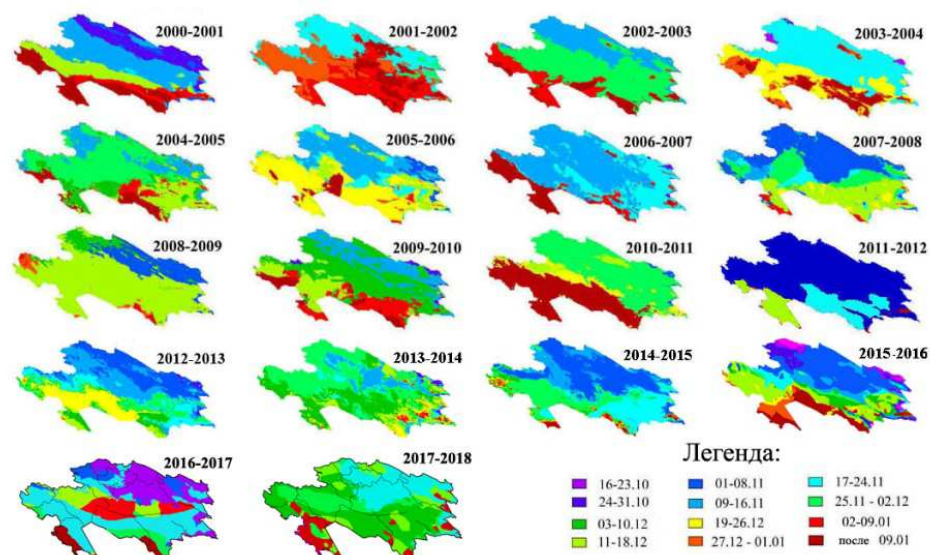


Рис. 1. Карты календарных дат формирования устойчивого снежного покрова на территории Казахстана в период 2000...2018 гг. по спутниковым данным MODIS, продукты MOD 09, MOD10.

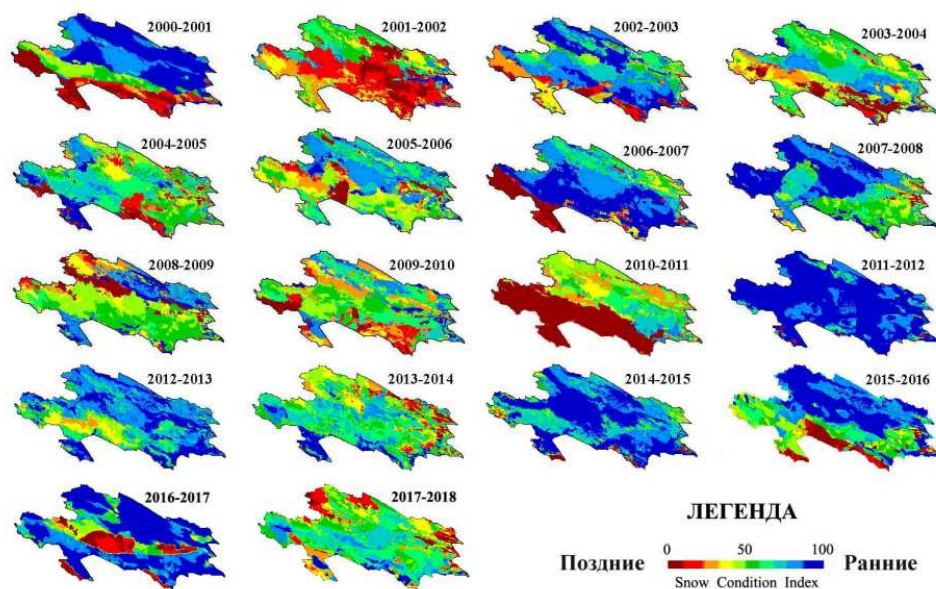


Рис. 2. Карты относительных дат формирования устойчивого снежного покрова на территории Казахстана в период 2000...2018 гг. по спутниковым данным MODIS, продукты MOD09, MOD10.

Анализ карты формирования снежного покрова Казахстана в сезоне 2017...2018 гг. (рис. 3), показывает её наибольшее сходство с сезонами: 2014...2015 гг. (по конфигурации); и с 2013...2014 гг. (по календарным датам).

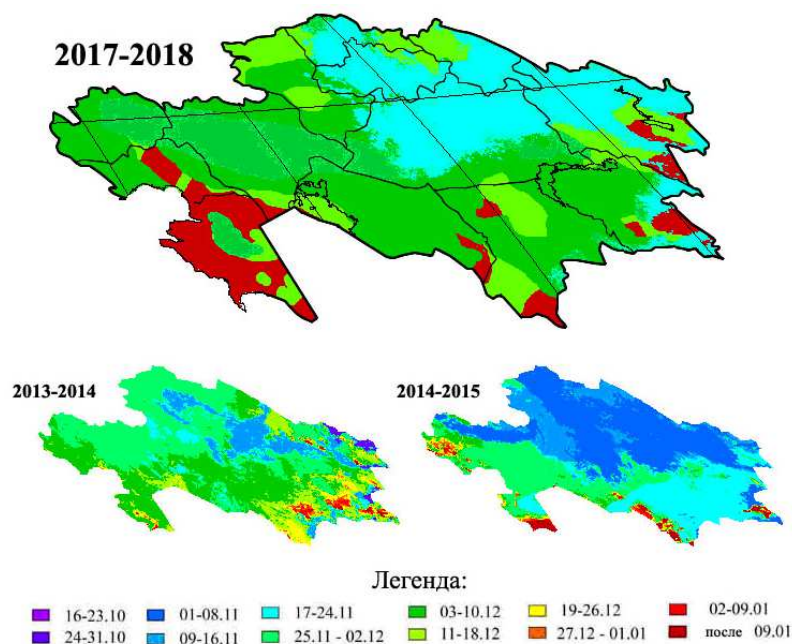


Рис. 3. Календарные даты формирования снежного покрова в сезоне 2017...2018 гг. и максимально близких к ним режимов прошлых лет из архива с 2001 г. Построено по спутниковым данным MODIS.

**Выводы.** По спутниковым данным относительно легко можно распознать границу снежного покрова. Спутниковые карты календарных дат появления устойчивого снежного покрова на территории Казахстана в период с 2001 до текущего момента дают характеристику погодному сценарию осенне-зимнего периода (октябрь – январь). Между осенне-зимним и весенним периодами имеется определённая связь. На её основе можно строить поиск «года аналога» для долгосрочного прогноза практически значимых параметров, например активности весенних паводков и запасов весенней влаги в почве.

Сравнительный анализ условий формирования устойчивого снежного покрова на территории Казахстана в сезоне 2017...2018 гг. показал, что аналогичный ему, как по конфигурациям, так и по календарным датам в архиве с 2001 г. отсутствует. По конфигурации изолиний карта формирования снежного сезона 2017...2018 гг. наиболее близка к сезону 2014...2015 гг., по календарным датам, к сезону 2013...2014 годов.

Пространственная близость в динамике формирования снежного покрова между сезонами представляется более значимым фактором, чем схожесть их календарных дат в целом. Поэтому долгосрочным (заблаговремен-

ность 3 месяца) прогнозом весенних паводков и запасов весенней влаги в почве для территории Казахстана в целом на весну 2018 г. можно считать условия 2015 г.. На рис. 4 представлена спутниковая карта календарных дат весеннего разрушения устойчивого снежного покрова в 2015 г.. Сезон 2018 г. предположительно может быть близок к этому режиму.

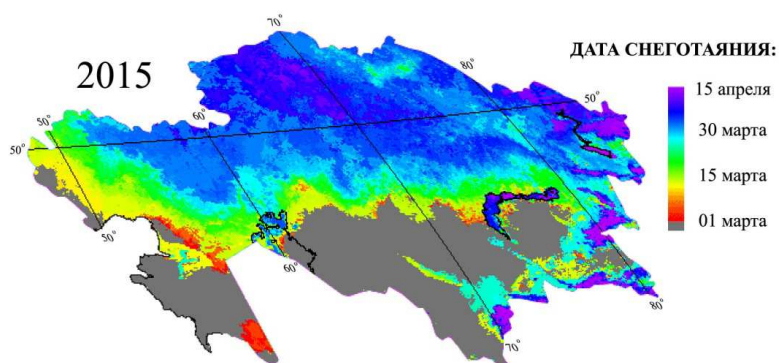


Рис. 4. Карта календарных дат весеннего снеготаяния в сезоне 2015 г. Построено по суточным спутниковым данным MOD10L2 [Terra] периода 1 марта – 19 апреля 2015 года.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Spivak L., Terekhov A., Muratova N. The NCSRT RK in «Global Agriculture Monitoring» // EU JRC. Luxembourg: Publications Office of the European Union. – 2010. – 32 p.
2. Riggs G.A., Hall D.K. MODIS Snow Products Collection 6 User Guide [Электрон. ресурс]. URL: <http://nsidc.org/sites/nsidc.org/files/files/MODIS-snow-user-guide-C6.pdf> Landsat Mission (дата обращения: 12.02. 2018).
3. Vermote E.F. MODIS Surface Reflectance User's Guide [Электрон. ресурс]. URL: [http://modis-sr.ltdri.org/guide/MOD09\\_UserGuide\\_v1\\_3.pdf](http://modis-sr.ltdri.org/guide/MOD09_UserGuide_v1_3.pdf) (дата обращения: 12.02. 2018).
4. Collection-6 TerraProduct Description MOD35 L2 [Электрон. ресурс] URL: [https://modaps.modaps.eosdis.nasa.gov/services/about/products/c6/MOD35\\_L2.html](https://modaps.modaps.eosdis.nasa.gov/services/about/products/c6/MOD35_L2.html) (дата обращения 12.02.2018)

Поступила 6.03.2018

Техн. ғылымд. канд. А.Г. Терехов

#### ҚАЗАҚСТАН ҚАР ЖАМЫЛҒЫСЫ ҚАЛЫПТАСУЫНЫҢ ЖЕРСЕРІКТІК МОНИТОРИНГІСІ

**Түйін сөздер:** жерсеріктік суреттер, тұрақты қар жамылғысы, тұрақты қар жамылғысының күнтізбелік қалыптасу күндері, тұрақты қар жамылғысының қалыптасу картасы



*Қазақстан аумағы бойынша тұрақты қар жамылғысының қалыптасу картасын салу үшін 2001 және 2017 жылдар аралығындағы НАСА MOD09 және MOD10 жерсеріктік өнімдері қолданылған. Шолу карталары екі шкалада салынған, тұрақты қар жамылғысының күнтізбелік қалыптасу күндері осы аумақтың жағдайлары үшін (ерте-кеш) және олардын салыстырмалы бағасын беру үшін жасалған. Дайындалған карталар Қазақстан Республикасы бойынша көктемдік қар еруінің процесстерін алдын ала 3 ай бұрын болжау үшін «жыл аналог» таңдауға және қар жамылғысының кеңістік және уақыттық ерекшеліктерінің мезгілдік сиппатамасын беру үшін қызығушылығын көрсетеді.*

A.G. Terekhov

## **SATELLITE MONITORING OF THE SNOW COVER FORMATION IN KAZAKHSTAN**

**Keywords:** satellite image, stable snow cover, calendar dates for the formation of a stable snow cover, maps for the formation of a stable snow cover

*The satellite products NASA MOD09 and MOD10 were used for mapping of the calendar dates of a stable snow cover formation in Kazakhstan between 2001 and 2017 years. The overview maps were created in two scales, the scale of the calendar dates of the stable snow cover appearance and the scale of relative dates (early – late). The created maps are of interest for the description of seasonal, spatio-temporal features of the snow cover formation in Kazakhstan and for searching of the «year of analogy» for the spring snow melting, within the framework of the long-term forecast with a lead time of 3 months.*