

А. М. КАУАЗОВ, И. С. ВИТКОВСКАЯ, М. Ж. БАТЫРБАЕВА, Л. Ф. СПИВАК

АО «Национальный центр космических исследований и технологий», Алматы, Казахстан

ТЕХНОЛОГИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СНЕЖНОГО ПОКРОВА В КАЗАХСТАНЕ

Солтүстік Қазақстан аумағындағы қар жамылғысы еруінің аяқталуы жарыштық дерктер арқылы анықтау мониторингі деректерін ұсыну үшін арналған. Жұмыста қар жамылғысы анықтау әдісі туралы, маусымдық және маусымаралық талдау әдістерін деректер ұсынылады. Сонымен қатар, ол негізгі ақпарат тұтынушылар үшін арнайы бюллетеньдер форматын қар жинау талдау нәтижелерін өкілдіктерінің мысалдармен көрсетеді. Қар жамылғысы туралы деректерді құрғақшылықтың пайда болу тәуекелдерді вегетация бірінші жартысында алдын ала бағалау үшін маңыздылығы байқалады.

Представлены результаты мониторинга дат схода снежного покрова, определенных по космическим данным для Северного Казахстана. Приводятся данные о методике распознавания снежного покрова, формированию карт динамики схода снежного покрова, методике анализа сезонных и межсезонных космических данных о датах схода снежного покрова. Показаны форматы и примеры специальных бюллетеней с обобщенным представлением результатов анализа схода снежного покрова для основных потребителей информации. Отмечается важность данных о сходе снежного покрова для ранней оценки рисков возникновения засухи в первой половине вегетации.

This article is devoted to presentation of results of monitoring of the dates of a disappearance of snow cover determined by remote sensing data for the territory of Northern Kazakhstan. The paper presents data on snow cover detection technique, technique the formation of snow melting maps, methods of analysis of seasonal and interseasonal space data about snowmelts. In addition, formats of special bulletins with examples of generalized representations of results of the analysis of a disappearance of snow cover for the main consumers of information are shown. The importance of data on a disappearance of snow cover for an early assessment of the risks of drought in the first half of the growing season is noted.

Введение. Снежный покров играет значительную роль в климатической системе, в возникновении чрезвычайных ситуаций и в сельском хозяйстве. Спектр применения данных о снежном покрове чрезвычайно обширен. Изначально наиболее доступной для дистанционного зондирования из космоса была задача мониторинга снеготаяния. Регулярный космический мониторинг схода снежного покрова осуществляется в Казахстане с 2000 года.

В практическом плане результаты мониторинга снеготаяния могут использоваться в важных приложениях для:

- оценки глобального изменения климата;
- контроля прохождения весенних паводков в регионах с высоким риском затопления;
- оценки сельскохозяйственных рисков с учетом влияния погодных условий (оценка запасов продуктивной влаги в почве, оценка вероятности наступления засушливых условий).

Третья задача имеет особое значение для районов неполивного возделывания зерновых в северных областях Казахстана, поскольку весенний влагозапас является ключевым фактором, определяющим урожайность зерновых культур.

Ниже описаны технологии распознавания и картирования снежного покрова, анализа сезонной и многолетней динамики процесса снеготаяния и приведена форма представления результатов космического мониторинга.

Распознавание и оперативное картирование границ снежного покрова. В рамках классической системы мониторинга природных объектов выделяют три задачи [1]:

- 1) классификация и распознавание объектов;
- 2) выявление изменений;
- 3) прогноз потенциальных изменений.

В практическом плане данная система космического мониторинга базируется на трех соответствующих поставленным задачам комплексах технологий:

- 1) оперативное картирование границ снежного покрова;

2) мониторинг сезонной динамики схода снежного покрова;

3) анализ многолетней динамики схода снежного покрова.

Первая задача для снежного покрова вполне надежно решается с помощью ДДЗ [2].

Снежный покров в любых условиях и при любой, даже самой низкой, температуре излучает длинноволновую радиацию (поток собственного излучения снежного покрова). В то же время он непрерывно поглощает потоки длинноволновой радиации, идущие от окружающих объектов.

Несмотря на некоторое снижение излучательной способности снега по мере его старения, она остается самой высокой в сравнении с излучательной способностью других природных объектов. Снежный покров является, таким образом, самым совершенным в природе излучателем и поглотителем длинноволновой радиации и, кроме того, самым совершенным отражателем прямой и рассеянной солнечной радиации [3, 4].

Существенное уменьшение коэффициента отражения при переходе от сухого и чистого к мокрому и загрязненному снегу относится к уменьшению его почти на одинаковую величину для всех длин волн, поэтому избирательность отражения для мокрого и засоренного снега остается в пределах видимой части спектра столь же небольшой, как и для сухого и чистого снега [5].

В период снеготаяния изменения отражательной способности снега происходят быстрее и достигают более значительных величин, чем зимой. Коэффициент отражения снежного покрова в этот период изменяется от 0,70–0,82 в начале и до 0,30 в конце снеготаяния

Таким образом, физической основой распознавания снежного покрова является их высокая отражательная способность в видимом диапазоне и низкая излучательная способность в инфракрасном (ИК) диапазоне.

Для распознавания снежного покрова используется нормализованный дифференциальный снежный индекс (NDSI) [6], учитывающий высокую отражательную способность снега в видимом диапазоне и низкую излучательную способность в ближнем инфракрасном диапазоне. NDSI рассчитывается по формуле:

$$NDSI = \frac{(b3 - b6)}{(b3 + b6)},$$

где $b3$ и $b6$ – значения интенсивности излучения в каналах 3 и 6 радиометра MODIS. Чтобы отделить снег от других объектов, применяются следующие хорошо известные критерии:

«снег», если $b3 \geq 0,1$ и $NDSI \geq 0,4$;

«облачность», если $b3 \geq 0,1$ и $-0,2 \leq NDSI < 0,4$;

«полупрозрачная облачность», если $b3 \geq 0,1$ и $-0,2 > NDSI \geq -0,5$;

«бесснежная поверхность» во всех остальных случаях [7].

Оперативные карты границ снежного покрова строятся раз в сутки на основе данных Aqua и Terra MODIS. В процессе построения карты основная проблема заключается в разделении снега и облачности.

Построенные карты используются для анализа сезонной динамики снежного покрова. Решение второй задачи, т.е. оценка изменений, осуществляется ежедневным мониторингом площади, занятой снежным покровом, что позволяет оценить динамику схода снежного покрова.

Мониторинг сезонной динамики схода снежного покрова. Из многолетних данных была определена длительность периода снеготаяния на территории Казахстана – разрушение и сход снежного покрова начинаются с начала второй декады февраля на крайнем юге Казахстана до конца второй декады апреля на севере страны – в лесостепной и степной зонах [8]. Для полученного периода необходимо было идентифицировать ежедневные снимки. Применение так называемой «легко читаемой» шкалы с таким количеством градаций возможно только с использованием палитры цветов.

Так как для цветного изображения на электронных устройствах применяется цветовая палитра на основе трех цветов: красного, зеленого, синего, то для идентификации ежедневных снимков была использована цветовая палитра RGB.

Для рассматриваемого периода была сопоставлена палитра (спектр) цветов от темно-красного (вторая декада февраля) до фиолетового (конец второй декады апреля). Затем палитра была разбита на составляющие цвета так, чтобы каждому дню соответствовал строго определенный цвет в виде численных значений каждой составляющей палитры RGB.

Цвета в палитре подобраны эмпирическим путем с таким расчетом, чтобы достигнуть высокой цветовой контрастности между декадами и вместе с тем обеспечить плавный переход спектра с учетом динамики снеготаяния. Кроме того, интервалы между цветами позволяют сжимать изображения специальными алгоритмами без существенной потери информативности о дате схода.

После определения цветовой шкалы на спутниковых снимках ежедневно определялась граница снежного покрова и выделялась определенным для этого дня цветом. Выделенные области последовательно накладывались в виде слоев за весь период снеготаяния. Следует заметить, что таяние снежного покрова происходит не равномерно. В периоды похолодания площадь, занятая снежным покровом, не только не уменьшается, но может и увеличиться за счет вновь выпавшего снежного покрова, а в периоды потепления от снега могут освобождаться значительные площади.

Далее, после схода снежного покрова по так называемому «пирогу» определялись характерные даты – даты со значительными изменениями положения границы снежного покрова. На основе характерных дат строилась легенда карты. В случаях длительного периода сплошной облачности и незначительного изменения границы снежного покрова, отдельные участки границ, полученные за несколько дней, объединялись в одну основную дату (на дату с наименьшим количеством облачности). При перекрытии различных участков границ учитывалась граница снежного покрова за день, ближайший к выбранной за основу дате.

Следует отметить, что облачный покров является значительным препятствием для построения точных карт схода снежного покрова. В период снеготаяния редко наблюдается установление антициклонических условий с ясной погодой на большей части территории Казахстана. Как правило, облачные массы закрывают ту или иную часть республики. В случаях длительного периода сплошной облачности и незначительного изменения границы снежного покрова отдельные участки границ, полученные за несколько дней, объединялись в одну основную дату (дату с наименьшим количеством облачности). При перекрытии различных участков границ учитывалась граница снежного покрова за день, ближайший к выбранной за основу дате. По завершению процесса снеготаяния на всей территории Казахстана формируется итоговая карта, которая в дальнейшем используется для анализа межсезонной динамики схода снежного покрова.

Анализ многолетней динамики схода снежного покрова. Если рассматривать космический мониторинг снежного покрова не как самоцель, а как источник информации для конечных потребителей, тогда большое значение приобретает форма представления информации конечным потребителям: министерствам, ведомствам, фермерским хозяйствам, страховым компаниям и другим организациям. Информация должна быть изложена максимально доступно и обобщенно. Наиболее целесообразно при таких условиях использовать специализированные бюллетени. Бюллетень позволяет в универсальной доступной форме представить всю информацию. Информация, представленная в бюллетене, подразделяется на три вида: текущую, сезонную и межсезонную. Текущая информация представляется ежедекадными данными о районах залегания снежного покрова на территории РК.

Технология анализа сезонной динамики схода снежного покрова предусматривает пространственное сопоставление оперативных карт и оценку изменения площадей снежного покрова, бесснежных территорий и зоны активного снеготаяния. Следует заметить, что сход снежного покрова происходит не равномерно. В периоды похолодания площадь, занятая снежным покровом, может увеличиться за счет вновь выпавшего снега, а в периоды потепления от снега могут освобождаться значительные площади. Результаты сравнения оформляются в виде карт и диаграмм, отражающих изменение площади зон, анализ которых позволяет оценить темпы снеготаяния и выделить участки ускоренного схода снега. Эта информация полезна для прогноза наиболее критичных направлений развития паводков и может быть использована для оценки объема стаявшего снега.

По итогам анализа один раз в декаду формируется бюллетень 1, отражающий подекадную динамику схода снега в текущем сезоне (рисунок 1).

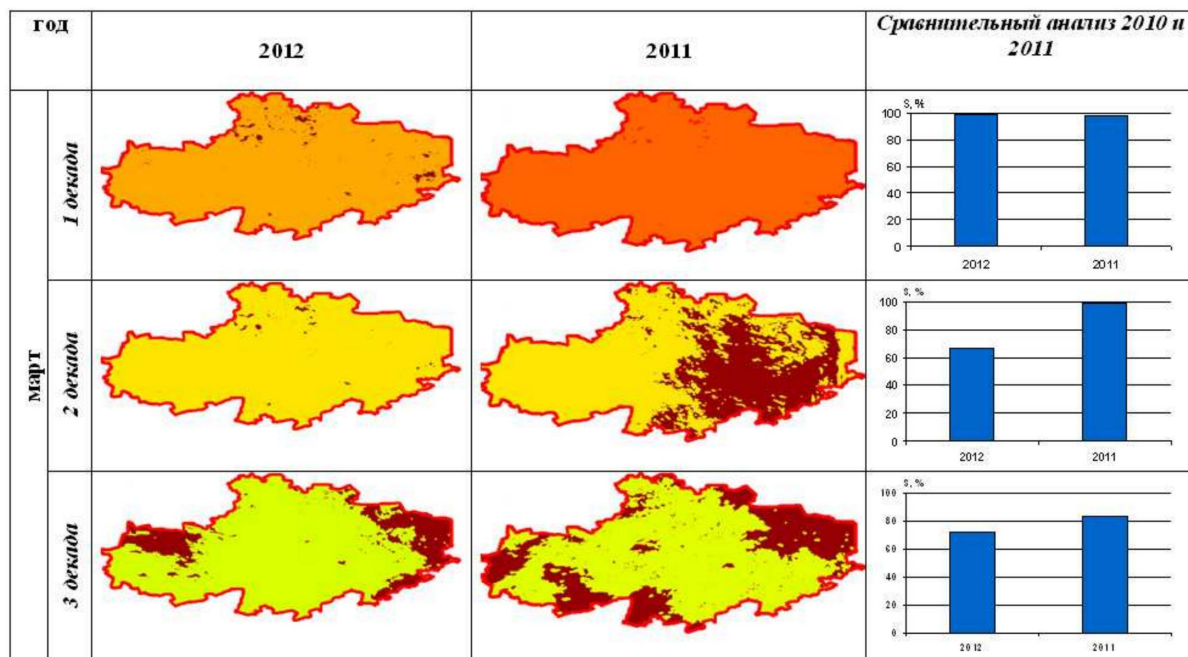


Рисунок 1 – Сравнительная подекадная динамика снежного покрова

Гистограммы отражают площади соответствующих зон в процентах от общей территории мониторинга. Бюллетень формируется раз в декаду по принципу «скользящего окна».

Сезонная информация представлена результатами синтеза ежедневного мониторинга в карте динамики схода снежного покрова, межсезонная – результатами анализа текущего года с предыдущими.

Межсезонный мониторинг предусматривает:

сравнительный анализ динамики схода снежного покрова в текущем и предшествующих сезонах для оценки риска затопления территорий;

анализ пространственно-временных закономерностей схода снежного покрова и развития засух за многолетний период.

Сравнительный анализ результатов мониторинга схода снежного покрова в текущем сезоне и за предшествующие годы позволяет оценить темпы снеготаяния относительно средне-многолетней нормы (быстрый, нормальный, медленный) и выбрать «год-аналог», похожий по темпам схода снежного покрова, что дает возможность прогнозировать развитие ситуации в текущем году по аналогичному сценарию.

Результаты анализа оформляются в виде специального бюллетеня, предоставляющего возможность сравнения с предыдущими годами (рисунки 2 и 3).

На рисунке 2 приведен образец бюллетеня с результатами сравнении текущего и прошлогоднего состоянии снежного покрова на примере Акмолинской области Республики Казахстан. В данном бюллетене представлено ежедекадное положение границы снежного покрова в период снеготаяния за текущий и предыдущий год. У пользователя есть наглядная возможность оценить различия в темпах снеготаяния, сравнить раньше или позже сойдет снежный покров и подготовиться к посевной.

Возвращаясь к задачам системы мониторинга, в частности к третьей задаче – прогноза потенциальных изменений, следует заметить, что снежный покров относится к наиболее сложному типу объектов – динамическим, т.е. изменяющим как форму, так и положение в пространстве. Этому способствуют флуктуации температурного поля в пространстве и времени, а также выпадение новых осадков в разном фазовом состоянии, что сильно меняет скорость снего-

таяния и границы снежного покрова. Поэтому в настоящее время задача прогноза снеготаяния остается довольно сложной. При этом важно учитывать, что информация о динамике снеготаяния становится значительно ценнее, если известно прошлое состояние объекта и можно использовать эту информацию в совместном анализе. Кроме того, значительный интерес представляет сравнение динамики схода со среднемноголетней картой, с указанием зон раннего и позднего схода снежного покрова.

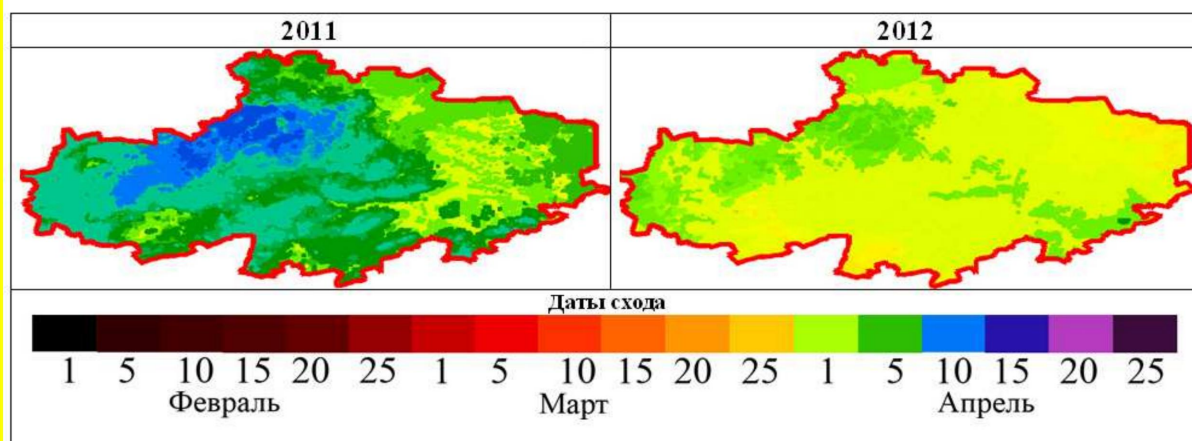


Рисунок 2 – Результаты сравнения динамики схода снежного покрова (раньше – позже)

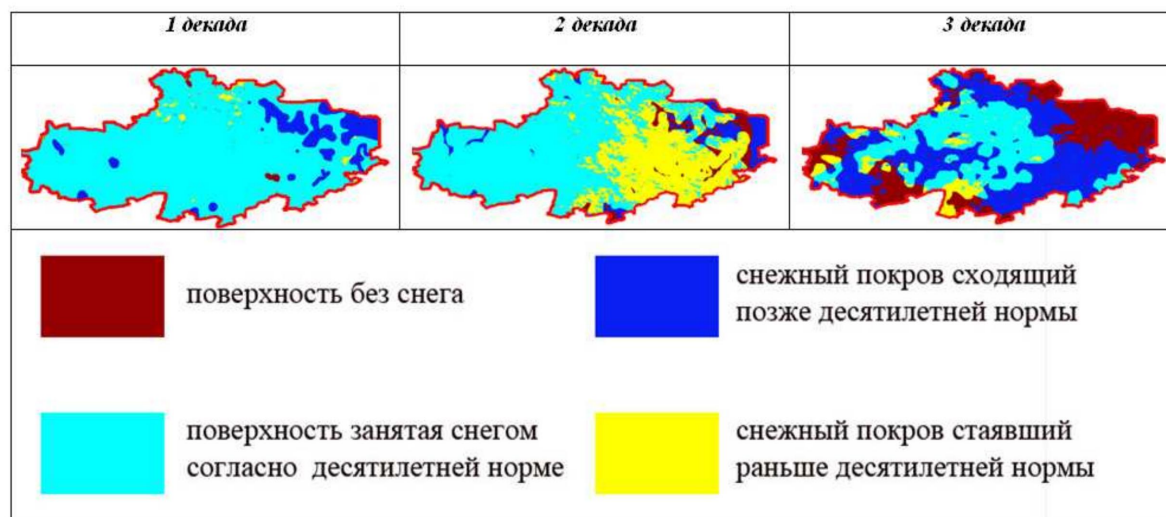


Рисунок 3 – Анализ динамики схода снежного покрова

Технология анализа многолетней динамики схода снежного покрова основывается на сравнении декадной среднемноголетней нормы залегания снежного покрова с залеганием в текущем году. На текущее положение границы снеготаяния накладывается среднемноголетняя граница (см. рисунок 3). Области, занятые снежным покровом и лежащие в пределах среднемноголетней границы, обозначаются как нормальное залегание снежного покрова (на рисунке – область голубого цвета). Области снежного покрова, лежащие за пределами среднемноголетней границы, фактически области с поздним сходом (на рисунке – область синего цвета). Те области, которые лежат в пределах среднемноголетней границы снежного покрова, но свободные от снега, являются фактически областями с ранним сходом (на рисунке – область желтого цвета). Вся остальная бесснежная территория как по среднемноголетним данным, так и по текущим также выделяется (на рисунке – область малинового цвета).

Контроль дат и темпов снеготаяния важен еще и потому, что позволяет косвенно предсказать потенциальные очаги засухи. Известно, что первая половина вегетации растений в

значительной степени зависит от снегозапасов, а точнее, от весеннего влагозапаса в почве. Сравнение карт вегетации (NDVI) и карт схода снежного покрова показывает, что области с низким снегозапасом являются потенциальными источниками возникновения засушливых явлений [9]. Ранний сход снежного покрова и соответственно ранняя весна становятся причиной раннего начала вегетации, при этом максимум вегетации также смещается на ранние сроки: конец мая – начало июня, хотя в обычные годы пик вегетации приходится на месяц позже. Бурное развитие вегетации, вкуче с низкими начальными почвенными влагозапасами, вызывает нехватку влаги и последующий риск развития засухи. При этом предварительные исследования взаимосвязи дат схода снежного покрова и динамики вегетационных индексов (NDVI, VCI) показали, что коэффициент корреляции линейно растет с начала весны и достигает максимального значения 0,6 в конце июня – начале июля и далее снижается по причине возросшего влияния других факторов. В целом правомерно утверждать, что ранние даты схода снежного покрова являются предвестником засухи в первую половину вегетации и аналитические данные о датах схода будут представлять значительный практический интерес особенно для планирования агротехнических работ на зерновых полях Северного Казахстана. Именно предварительное планирование агротехнических работ (включая нормы высева семян, сорта и даты сева) является важнейшим и основным способом борьбы с негативным влиянием засухи, так как после посева зерновых бороться с наступающей засухой в условиях богарного земледелия практически невозможно.

Заключение. Разработана методика построения карт снежного покрова, на примере Акмолинской области проведен анализ залегания снежного покрова в 2012 году и представлены форматы специальных бюллетеней с продуктами анализа распределения снежного покрова. Разработаны форматы специальных бюллетеней с результатами анализа дат схода снежного покрова, полученных по данным космического мониторинга в обобщенном виде, что может способствовать привлечению широкого круга потребителей. Целевыми потребителями данной информации могут стать фермеры, частные компании в области агрострахования, акиматы различного уровня, Министерство сельского хозяйства и другие ведомства и организации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Спивак Л.Ф. Основы создания систем космического мониторинга: Методическое пособие. – 2-е изд., доп. и обновл. – Алматы: Дайк-Пресс, 2010. – 88 с.
- [2] Кауазов А.М. Возможность определения дат схода снежного покрова в Северном Казахстане по спутниковым данным NOAA/AVHRR // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2010. – № 1. – С. 95-99.
- [3] Снег: справочник / Под ред. Д. М. Грея, Д. Х. Мейла; Пер. д с англ., под ред. В. М. Котлякова. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 751 с.
- [4] Богородский В.В., Козлов А.И., Тучков Л.Т. Радиотепловое излучение земных покровов. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 224 с.
- [5] Метеорологическое зондирование подстилающей поверхности из космоса / Под ред. К. Я. Кондратьева. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 247 с.
- [6] 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. – N 54. – P. 127-140.
- [7] Нейштадт И.А. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2006. – Вып. 3, т. II. – С. 359-365.
- [8] Республика Казахстан. Природные условия и ресурсы / Под. ред. Н. А. Исакова, А. Р. Медеу. – Алматы, 2006. – Т. 1. – С. 232.
- [9] Закарин Э.А., Спивак Л.Ф., Архипкин О.П., Муратова Н.Р., Терехов А.Г. Методы дистанционного зондирования в сельском хозяйстве Казахстана. – Алматы: Гылым, 1999. – 230 с.