

Исследование динамики дат схода снежного покрова в Северном Казахстане

А.М. Кауазов¹, А.С. Дара¹, М.Ж. Батырбаева¹, И.С. Витковская¹,
Н.Р. Муратова¹, В.Г. Сальников², Г.К. Турулина², С.Е. Полякова²,
Л.Ф. Спивак³, С.И. Тюребаева¹

¹ *Национальный центр космических исследований и технологий
г. Алматы, 050010, Республика Казахстан
E-mail: a_kauazov@mail.ru*

² *Казахский национальный университет им. аль-Фараби
г. Алматы, 051000, Республика Казахстан
E-mail: vitali.salnikov@kaznu.kz*

³ *Международный университет «Дубна», г. Дубна, 141982, Россия
E-mail: levspivak@mail.ru*

Работа посвящена исследованию динамики дат схода снежного покрова в Казахстане. Приводятся результаты исследования климатических особенностей снежного покрова на территории Северного Казахстана на основе тематического дешифрирования данных NOAA/AVHRR с 1982 по 2012 гг. Приводятся данные об изменениях в сроках схода снежного покрова, динамике схода снежного покрова за 30 лет. Анализ спутниковых карт и их сравнение со среднемноголетними наземными данными за последнее тридцатилетие показал наличие изменений в сроках схода и в особенностях залегания снежного покрова. Проведена статистическая обработка данных о сходе 4-х наземных МС (Костанай, Петропавловск, Кокчетав и Астана), установлены сроки схода снежного покрова на территории Северного Казахстана. Установлена тенденция к более раннему сходу снежного покрова на 7–10 дней за последние 30 лет.

Ключевые слова: снежный покров, сход, карта, площадь, дата схода, тенденция, метеостанция, дистанционное зондирование, метод, спутник, NOAA/AVHRR

*Одобрена к печати: 19.01.2016
DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-161-168*

Введение

Большой интерес представляет снежный покров как элемент климата и индикатор его изменения. Одна из наиболее актуальных задач – это определение границы области устойчивого залегания и дат схода снежного покрова.

В Казахстане работы по исследованию снежного покрова ведутся не первый год, разработаны соответствующие методики (Кауазов, 2010), и уже получены результаты космического мониторинга схода снежного покрова за последнее десятилетие (Кауазов и др, 2010). Между тем большой интерес представляет изучение сроков залегания снежного покрова в условиях изменения климата. Целью данной работы является оценка современных тенденций схода устойчивого снежного покрова на территории Северного Казахстана в условиях глобального изменения климата по данным космического мониторинга.

Методика и данные

Для целей мониторинга снежного покрова на территории Казахстана из всего разнообразия видов данных ДЗЗ наибольший интерес, по совокупности достоинств (доступность, оперативность, полоса обзора, информативность и прочее), представляют данные

NOAA/AVHRR. В рамках исследовательской работы по изучению схода снежного покрова в условиях изменения климата собран обширный исходный материал – космические снимки NOAA с 1982 г. Космические снимки NOAA до 2000 г. были скачаны из сети интернет, пространственное разрешение этих снимков 4 км, что вполне достаточно для мониторинга снеготаяния. В качестве данных, начиная с 2000 г., использовались снимки, полученные с собственной (АО «НЦКИТ») приемной антенны с пространственным разрешением 1 км. Общее число космических снимков, использованных в работе для построения карт схода снежного покрова, превысило 1500 единиц.

Выделяют количественные и качественные методы распознавания снежного покрова. Качественные методы основаны на визуальных дешифровочных признаках и в настоящее время практически не применяются. Количественные методы основаны на особенностях спектральных характеристик снежного покрова в оптическом и инфракрасном диапазонах спектра.

Физической основой распознавания снежного покрова является его высокая отражательная способность в видимом диапазоне и низкая отражающая способность в ИК-диапазоне, а также рост рассеивающих свойств сухого снега по мере снижения длины волны микроволнового излучения при радиометрических измерениях.

На современных спутниках установлены сканирующие радиометры с возможностью измерений в широкой области спектра, включая 1,6 мкм, где снежный покров имеет очень низкую отражательную способность. Использование комбинации такого канала с каналом видимого диапазона привело к разработке алгоритма NDSI (Normalized Differential Snow Index – нормализованный дифференциальный снежный индекс) (Hall et al., 1995).

Для исследования была выбрана территория Северного Казахстана (Костанайская, Акмолинская и Северо-Казахстанская области), которая с юга ограничивалась 48,00 с.ш., с севера – 55,70 с.ш., с востока – 74,20 в.д., а с запада – 60,00 в.д. Именно на эти три области приходится до 80% всего урожая яровых зерновых культур. Поэтому для этой территории значение снежного покрова как аккумулятора зимних осадков особенно велико.

Обсуждение результатов

На основе спутниковых снимков были построены карты динамики схода снежного покрова за период с 1982 по 2013 гг. и привлечены карты схода снежного покрова с 2001 г. Для первичной оценки сроков залегания снежного покрова проведен анализ наиболее поздних дат схода снежного покрова за период с 1982 по 2013 гг. Установлено, что в среднем наиболее поздняя дата схода снежного покрова в Северном Казахстане приходится на 12 апреля. Наиболее ранний сход приходился на 31 марта в 2008 г., а наиболее поздний – на 24 апреля в 1998 г. Разброс в 12 дней возник благодаря физико-географическому положению Северного Казахстана: большая протяженность территории с севера на юг, наличие на западе Уральских гор, а в центре Кокшетауской возвышенности (рис. 1).

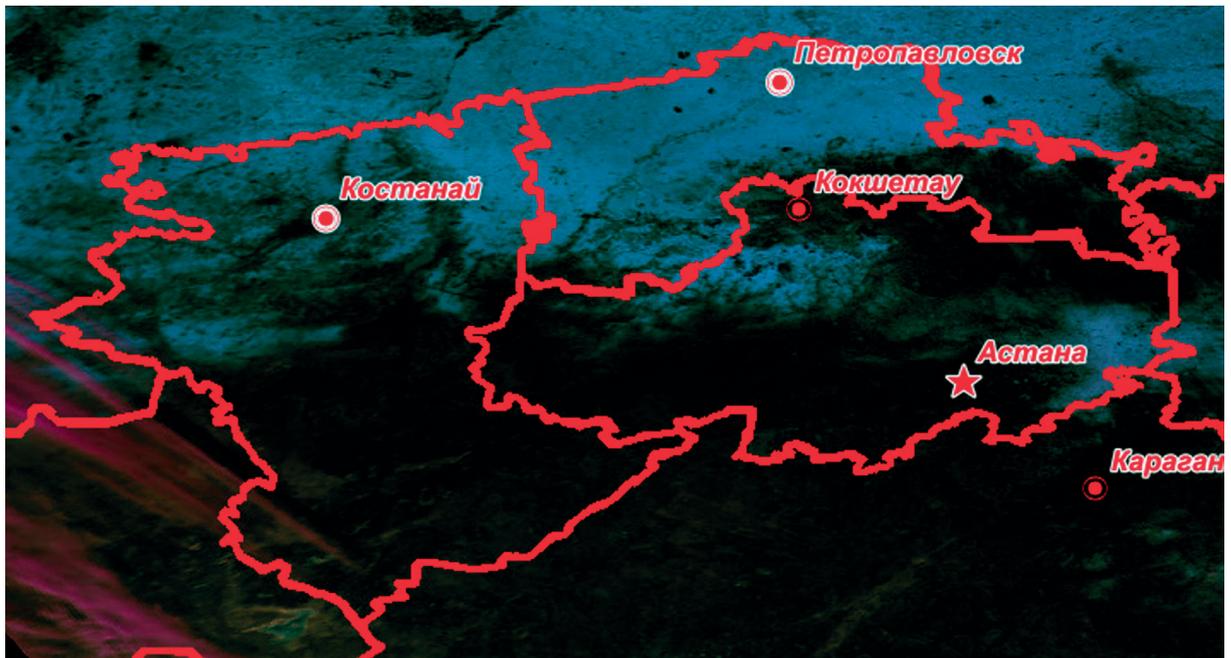


Рис. 1. Фрагмент космического снимка NOAA/AVHRR в четырехканальном композите СМΥΚ (последовательность каналов 3421) за 1 апреля 2007 г. территории Северного Казахстана (Костанайская, Акмолинская и Северо-Казахстанская область) с расположением метеостанций, данные которых были использованы

В первом приближении анализ показал, что сход снежного покрова имеет тенденцию к более раннему наступлению: за последние 30 лет сдвиг дат составил примерно 1 неделю.

Сравнение экстремальных дат схода снежного покрова, полученных по данным ДЗЗ за период с 1982 по 2012 гг., и среднемноголетних дат разрушения снежного покрова показывает смещение экстремальных дат на ранние сроки: для самых поздних дат незначительно, на 1–5 дней, а для самых ранних весьма значительно – на 8–25 дней раньше.

Таким образом, самый поздний сход снежного покрова происходит на 1–5 дней раньше самых поздних дат разрушения. Отсюда можно предположить, что даты самых ранних разрушений снежного покрова значительно – на неделю и более – сместились на ранние сроки, однако данное предположение нуждается в уточнении по наземным данным.

Это предположение подтверждают данные по метеостанциям. За период с 1982 по 2012 гг. на четырех метеостанциях Северного Казахстана (МС Костанай, Петропавловск, Кокчетав и Астана) были определены даты схода снежного покрова по картам схода снежного покрова, полученным на основе спутниковых данных.

Анализ дат схода на метеостанциях и их осредненных значений показал, что сход снежного покрова имеет тенденцию к более раннему наступлению – примерно на 10 дней (рис. 2).

Метеостанции и исследуемая территория в целом преимущественно расположены в одной зоне – степной, лишь на севере она переходит в лесостепную. Поэтому данные на всех четырех метеостанциях показывают тенденцию к сокращению сроков снеготаяния и к раннему сходу. Наиболее сильно этот процесс выражен на МС Костанай, а наименее сильно – на МС Петропавловск.

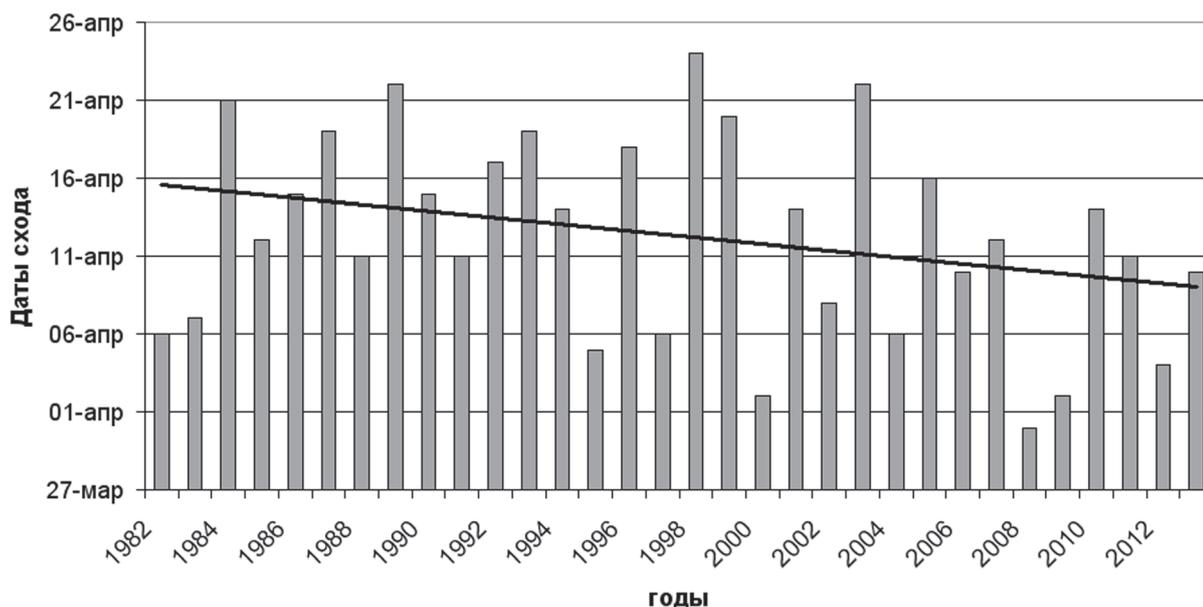


Рис. 2. Даты схода снежного покрова, осредненные по четырем метеостанциям (Костанай, Петропавловск, Кокчетав и Астана)

Как следует из табл. 1, средняя дата схода за период 1982–2012 гг. приходится на 31 марта. Однако для последнего десятилетия 2001–2012 гг. дата схода приходится на 26 марта, а в предыдущие периоды (1992–2000 гг. и 1982–1991 гг.) – на 2 и 3 апреля, соответственно. При этом увеличивается и межгодовая изменчивость.

Таблица 1. Средние даты схода на метеостанциях Северного Казахстана по десятилетиям с 1982 по 2012 гг.

Характеристика схода	Периоды, года				
	1982–1991	1992–2000	2001–2012	1982–2000	1982–2012
Средняя дата схода	3 апр	2 апр	26 мар	2 апр	31 мар
Стандартное отклонение, дней	7	6	10	6	9

Стандартное отклонение для последнего десятилетия составляет 10 дней, между тем как в предыдущие десятилетия (1992–2000 гг. и 1982–1991 гг.) – 6 и 7 дней, соответственно.

Принимая во внимание полученные результаты, необходимо отметить, что межгодовая изменчивость достаточно высокая и, соответственно, полученные линейные тренды имеют высокие ошибки аппроксимации. Также следует отметить, что тенденция к изменению дат схода снежного покрова проявилась особенно выражено в последнее десятилетие. Фактически достоверность результатов будет тем выше, чем длиннее будет ряд, однако в настоящее время он ограничен. Тем не менее, полученные результаты представляют интерес, поскольку позволяют уже сейчас, не дожидаясь накопления длительного ряда данных, оценить в первом приближении динамику и вариации в датах схода снежного покрова.

В связи с этим возникает закономерный вопрос: насколько соответствуют полученным результатам наземные данные? Для этого были привлечены данные наблюдений с сети метеостанций Казгидромета по температуре и снежному покрову.

Проведен анализ временного хода средней месячной температуры воздуха и ее аномалий для холодного периода и для зимнего сезона. Временные ряды приведены здесь за 1940–2008 гг., когда основная сеть метеорологических наблюдений на территории Казахстана уже сформировалась, и вариации состава доступных для анализа температуры климатических данных и методики их обработки можно считать незначительными. Во временном ряде температуры зимнего сезона (на примере января) можно выделить положительный статистически значимый тренд аномалий температуры приземного воздуха. При этом в качестве меры интенсивности температурных изменений за указанный интервал времени использовался коэффициент линейного тренда, определенный по методу наименьших квадратов и характеризующий среднюю скорость изменений климатической переменной, соответствующую тренду. В качестве меры существенности тренда рассчитывалась доля дисперсии климатической переменной, объясняемая трендом, выраженная в процентах от полной дисперсии климатической переменной за рассматриваемый интервал времени.

Коэффициент линейного тренда, характеризующий изменение среднего уровня температуры, составляет для января 0,3–0,5 °C/10 лет. Трендовая составляющая выражена коэффициентом детерминации, формула вычисления и интерпретация которого приведена во многих работах, включая (Долгих, 1995). В последние 10 лет преобладали значительные положительные отклонения температуры приземного воздуха в холодный период. Повышение температуры приземного воздуха холодного периода происходило со скоростью 0,66 °C за каждые 10 лет. В последние 20 лет температура воздуха холодного периода чаще была выше нормы, рассчитанной за 1971–2000 гг.

Приведенные результаты отражают общую тенденцию повышения средней месячной температуры воздуха в регионе (Груза и др., 2004; Сальников и др., 2009).

Сравнение экстремальных дат схода снежного покрова, полученных по данным ДЗЗ, и среднемноголетних дат разрушения снежного покрова на МС, взятых из Национального Атласа РК, показывает некоторое смещение экстремальных дат на ранние сроки. Исследуя снежный покров по данным ДЗЗ, следует отметить, что в метеорологии существует два термина: «снежный покров» и «устойчивый снежный покров». Днем со снежным покровом считают такой, когда более половины видимой окрестности покрыто снегом (6 баллов). Устойчивым считается такой снежный покров, который лежал непрерывно в течение всей зимы или не менее месяца с перерывами не более 3 дней подряд. Данные космического мониторинга не позволяют корректно оценить бальность на конкретной точке. Также вследствие облачности затруднительно оценить перерывы в три дня. В результате возникает некоторое разночтение в терминах. В данной работе при использовании спутниковых данных оценивается лишь факт исчезновения снега на конкретном пикселе изображения. Между тем, согласно (Котляков, 2004), граница сезонного снега совпадает на космическом снимке с зоной 50%-ной покрытости земли снегом. Следова-

тельно, даты схода снежного покрова, выявленные по космическим снимкам, сопоставимы с датами разрушения устойчивого снежного покрова, хотя о полном соответствии этих показателей говорить не приходится. Тем не менее, представляет интерес сравнить эти значения (табл. 2).

Таблица 2. Сравнительная таблица экстремальных дат схода на метеостанциях Северного Казахстана и данных из Национального Атласа РК (НА РК)

Даты схода (по данным ДЗЗ) и даты разрушения (по данным НА РК) снежного покрова	Метеостанции			
	Костанай	Петропавловск	Кокшетау	Астана
Самая поздняя (ДЗЗ)	17 апр	18 апр	19 апр	19 апр
Самая ранняя (ДЗЗ)	24 фев	14 мар	1 мар	1 мар
Самая ранняя (НА РК)	21 мар	22 мар	13мар	21 мар
Самая поздняя (НА РК)	18 апр	23 апр	24 апр	20 апр
Разность дат, полученных по данным НА РК, и ДЗЗ для самых поздних дат	-1	-5	-5	-1
Разность дат, полученных по данным НА РК, и ДЗЗ для самых ранних дат	-25	-8	-12	-20

Сравнение среднегодовых и экстремальных дат схода снежного покрова, полученных по данным ДЗЗ за период с 1982 по 2012 гг., показывает смещение последних на ранние сроки: для самых поздних – незначительно, на 1–5 дней, а для самых ранних – весьма значительно, на 8–25 дней раньше.

Таким образом, самый поздний сход снежного покрова происходит на 1–5 дней раньше самых поздних дат разрушения. При этом надо отметить, что разрушение снежного покрова предшествует его сходу. Поэтому, хотя даты схода определялись с некоторой ошибкой, не превышающей нескольких дней, тем не менее обнаруженные вариации для самых ранних дат значительно превышают диапазон ошибки измерения. Достоверность полученных результатов подтверждается схожими результатами, полученных как по наземным данным, так и по данным ДЗЗ.

Заключение

В рамках исследовательской работы собран обширный исходный материал – космические снимки NOAA с 1982 г. Проведена процедура первичной обработки и оценки качества снимков по ранее установленным критериям качества и информативности. На основе алгоритмов выделения снежного покрова и экспертной оценки были выделены границы снежного покрова и сформированы карты динамики схода нежного покрова за период с 1982 по 2012 гг. Анализ спутниковых карт и их сравнение со среднегоду-

ними наземными данными за 30 лет показал наличие изменений в сроках схода и в особенностях залегания снежного покрова. Проведена статистическая обработка данных о сходе 4 наземных МС (Костанай, Петропавловск, Кокчетав и Астана), рассчитаны подекадные площади занятые снежным покровом, установлены окончательные сроки схода снежного покрова на территории Северного Казахстана. Установлена тенденция к более раннему сходу снежного покрова на 7–10 дней. Новизна результатов заключается в том, что собранный обширный архивный материал спутниковых снимков позволил впервые в Казахстане получить современные данные о пространственном распределении схода и разрушения снежного покрова в Северном Казахстане. Полученные результаты являются основой для дальнейшего уточнения данных по статистике залегания снежного покрова и режиму снеготаяния.

Литература

1. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 50–66.
2. Долгих С.А. О многолетних тенденциях термического режима на территории Республики Казахстан // Гидрометеорология и экология. 1995. № 3. С. 68–77.
3. 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.
4. Кауазов А.М. Методика определения максимальных влагозапасов в Северном Казахстане с использованием данных дистанционного зондирования // Поиск. Серия естественных и технических наук. 2010. № 3(1). С. 149–153.
5. Кауазов А.М., Муратова Н.Р., Тюребаева С.И., Бердыгулов Н. Мониторинг снеготаяния в Северном Казахстане с использованием спутниковых данных NOAA/AVHRR. Прикладные космические исследования в Казахстане / Под ред. Жантаева Ж.Ш., Алматы: «Дайк-Пресс», 2010. С. 25–29.
6. Котляков В.М. Снежный покров и ледники Земли. Т. 2. М.: Наука, 2004. 447 с.
7. Сальников В.Г., Турулина Г.К., Долгих С.А., Полякова С.Е. Современные тенденции изменения климата // Университеты XXI века: инновации и новые технологии. Материалы международной науч. конф., посв. 75-летию КазНУ им. аль-Фараби, 14–15 октября, 2009 г. – Алматы: Қазақ университеті, 2009. С. 216–220.
8. Снег. Справочник. Под ред. Д.М.Грея и Д.Х.Мейла. Пер. с англ. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 752с.
9. 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. № 54. P. 127–140.

Investigation of timing dynamics of snow cover loss in Northern Kazakhstan

A.M. Kauazov¹, A.S. Dara¹, M.Zh. Batyrbayeva¹, I.S. Vitkovskaya¹, N.R. Muratova¹, V.G. Salnikov², G.K. Turulina², S.E. Polyakova², L.F. Spivak³, S.I. Turebayeva¹

¹ National Center of Space Researches and Technologies, Almaty 050010, Republic of Kazakhstan

E-mail: a_kauazov@mail.ru

² Al-Farabi Kazakh National University, Almaty 051000, Republic of Kazakhstan

E-mail: vitali.salnikov@kaznu.kz

³ International university "Dubna", Dubna 141982, Russia

E-mail: levspivak@mail.ru

The paper investigates changes in timing of snow cover loss in Northern Kazakhstan. Climatic features of snow cover in the territory of Northern Kazakhstan derived from thematic interpretation of NOAA/AVHRR data of 1982-2012 are presented. Data on changes in snow cover loss timing and its dynamics over the past 30 years are provided. Analysis of satellite maps and comparisons with the average longterm ground data for the past 30 years demonstrated changes in the dates of snow cover melt and loss and in characteristics of snow spatial distribution. Statistical data on snow cover loss from 4 ground meteorological stations (Kostanay, Petropavlovsk, Kokchetav and Astana) were processed, final terms of snow cover loss in the territory of Northern Kazakhstan were established. A trend for an earlier loss of snow cover by 7-10 days over the past 30 years was revealed.

Keywords: snow cover loss, map, area, timing of snow cover loss, trend, meteorological station, remote sensing, satellite, NOAA/AVHRR

Accepted: 19.01.2016

DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-161-168

References

1. Gruza G.V., Ran'kova E.Ya. Obnaruzhenie izmenenii klimata: sostoyanie, izmenchivost' i ekstremal'nost' klimata (Detection of climate change: condition of climate, variability and extreme), *Meteorologiya i gidrologiya*, 2004, No. 4, pp. 50–66.
2. Dolgikh S.A. O mnogoletnikh tendentsiyakh termicheskogo rezhima na territorii Respubliki Kazakhstan (On the multi-year trends of thermal regime in the territory of the Republic of Kazakhstan), *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 1995, No. 3, pp. 68–77.
3. Kauazov A.M. Vozmozhnost' opredeleniya dat skhoda snezhnogo pokrova v Severnom Kazakhstane po sputnikovym dannym NOAA/AVHRR (The possibility of determining the date of snowmelt in the Northern Kazakhstan from satellite data NOAA/AVHRR), *Vestnik KazNU. Seriya geograficheskaya*, 2010, No. 1, pp. 95–99.
4. Kauazov A.M. Metodika opredeleniya maksimal'nykh vlagozapasov v Severnom Kazakhstane s ispol'zovaniem dannykh distantsionnogo zondirovaniya (Method of determining SWE in Northern Kazakhstan using remote sensing data), *Poisk. Seriya estestvennykh i tekhnicheskikh nauk*, 2010, No. 3(1), pp. 149–153.
5. Kauazov A.M., Muratova N.R., Tyurebaeva S.I., Berdygulov N. Monitoring snegotayaniya v Severnom Kazakhstane s ispol'zovaniem sputnikovyykh dannykh NOAA/AVHRR (Monitoring snowmelt in northern Kazakhstan using NOAA/AVHRR data), In: *Prikladnye kosmicheskie issledovaniya v Kazakhstane* (Applied space studies in Kazakhstan), Almaty: Daik-Press, 2010, pp. 25–29.
6. Kotlyakov V.M. *Snezhny pokrov i ledniki Zemli* (Snow cover and glaciers of the Earth). Vol. 2. Moscow: Nauka, 2004, 447 p.
7. Sal'nikov V.G., Turulina G.K., Dolgikh S.A., Polyakova S.E. Sovremennye tendentsii izmeneniya klimata (Modern trends in climate change), *Universitety XXI veka: innovatsii i novye tekhnologii* (Universities XXI century: innovation and new technologies), Almaty: Kazak universiteti, 2009, pp. 216–220.
8. *Sneg. Spravochnik* (Snow. Handbook), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986, 752 p.
9. 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, No. 54, pp. 127–140.