

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДЗЗ

Толеубай Ж. Б.¹, Усалинов Е. Б.¹, Шматов Б. Б.¹

¹ «Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина»,

г. Нур-Султан, Казахстан

(E-mail: zhanassyl.kz@gmail.com)

Аннотация

В статье представлена сравнительная оценка высоты снежного покрова в Товариществе с ограниченной ответственностью «Северо-Казахстанская сельскохозяйственная опытная станция» с использованием трех различных подходов расчета доли снежного покрова с последующим определением водного эквивалента снега с одной стороны, а с другой - на месте.

С точки зрения развития науки и технологий, построение объективной методологии и модели для определения зон резервирования талых и паводковых вод в степной природной зоне, способствует улучшению сельского хозяйства путем применения ДЗЗ и ГИС технологий.

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования, снежный покров, высота снега, водный эквивалент снега, высота снежного покрова, снегомер, Sentinel-2.

Введение

В северных регионах Казахстана периодически повторяются наводнения, связанные с паводками и тальми водами в весенний период снеготаяния. Для предотвращения наводнений в первую очередь необходимы инструменты оценки текущей ситуации. Одним из ключевых параметров текущей ситуации является объем накопленных осадков на

территории т.е. объем снежного покрова.

Существующие методы оценки объема снежного покрова основаны в первую очередь на полевых снегомерных съемках в ходе которого по маршруту, на контрольных точках отбираются образцы снега и проводятся замеры.

Учитывая обширность территории северных регионов

Казахстана, снегомерные съемки не обеспечивают современные требования к оперативности информации. Требуется более оперативные методы оценки объема снежного покрова.

Дистанционное зондирование Земли с помощью космических аппаратов могла бы обеспечить оперативной информацией при съемке всей территории северных регионов Казахстана каждые 5-10 дней. Для этого необходимы

Материалы и методы исследований

Существует несколько способов измерения высоты, плотности, доли снежного покрова (ДСП) и водного эквивалента снега (ВЭС) как на месте, так и с помощью данных дистанционного зондирования.

Полевая снежная съемка на ключевом участке проводилась с 27 по 29 февраля 2020 года. Толщина снежного покрова измерена в 559 точках, а плотность снега - в 71 точке на всей территории ТОО «Северо-Казахстанская сельскохозяйственная опытная станция». Толщина снега

методы обработки, дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли.

В этой связи, в рамках настоящего исследования стоит задача анализа существующих методов оценки снежного покрова на основе данных дистанционного зондирования Земли, их адаптации и в случае необходимости доработки.

измерялась металлической линейкой со шкалой 1 мм, а плотность снега рассчитывалась с помощью весового снегомера ВС-43. Для удобного и быстрого передвижения по исследуемой территории был использован собственный снегоход, принадлежащий научно-образовательному центру ГИС-технологий Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина (рисунок 1). Фактическая плотность (ρ) снега была рассчитана на основе массы (m) измеренного снега и измеренной высоты снега (HS):

$$(1) \quad \rho = \frac{m}{10 \times HS}$$

где ρ - в кг / м³, HS - в м, а m - в кг.



Рисунок 1 - Процесс измерения высоты снега металлической линейкой и плотности снегомером VS-43 на снегоходе для удобного и быстрого передвижения

Однако, в литературе есть несколько методов расчета плотности снега с минимальными входными параметрами. Из них действительно хотелось бы показать [1, с. 1380-1394], в котором представлена серия невероятно простых в использовании формул плотности снега, доступных с помощью одного уравнения:

$$(2) \rho = \rho_0 + (\rho_{\max} - \rho_0) \times (1 - \exp(-k_1 \times HS - k_2 \times \frac{DOY}{100}))$$

где переменные ρ_0 , ρ_{\max} , k_1 , k_2 доступны в таблице 1; а DOY - простой день в году, который начинается с -92 1 октября до -1 31 декабря и с 1 1 января до 181 30 июня.

Для определения водного эквивалента снега (SWE) использовалась простая формула:

$$(3) \quad SWE = \rho \times HS,$$

где SWE выражается в кг / м² = мм (H₂O), ρ в кг / м³ и HS в м.

Для расчета высоты снега (HS) и водного эквивалента снега (SWE) из Нормализованного разностного индекса снега (NDSI) был использован многоспектральный спутниковый снимок Sentinel-2 под названием: S2A_MSIL1C_20200212T063001_N0209_R077_T42UWE и применен общий поток обработки данных (рисунок 2).

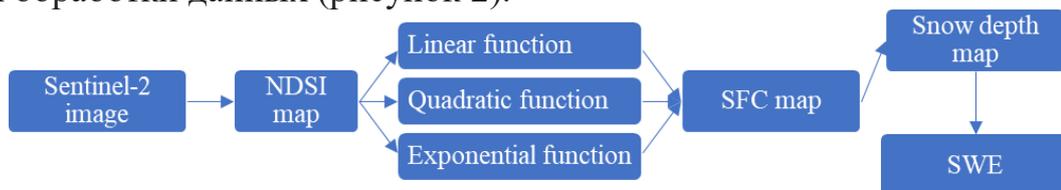


Рисунок 2 - Блок-схема методов обработки данных

NDSI основан на разнице в поглощении снегом излучения в видимой и инфракрасной областях спектра. Следовательно, алгоритм применим только в дневное время; вечером или ночью пиксели, покрытые льдом, не будут

обнаружены [2, с. 401-410]. Индекс NDSI рассчитывается как отношение разности к сумме коэффициентов отражения излучения с длиной волны 560 нм (Band 3) и 1610 нм (Band 11) Sentinel-2:

$$(4) \quad NDSI = \frac{B_3 - B_{11}}{B_3 + B_{11}}$$

где B3 - полоса отражения зеленого цвета, а B11 - полоса SWIR Sentinel-2. После вычисления Нормализованного разностного индекса снега мы можем определить площадь, покрытую снегом, со значениями пикселей выше 0,4.

Наиболее важным аспектом при дистанционной оценке высоты снежного покрова является вычисление доли снежного покрова (SCF) в каждом пикселе изображения. Он демонстрирует долю заснеженной области в пикселе и варьируется от 0 до 1 (0% - 100%). В литературе есть три существующих уравнения оценки SCF из NDSI:

1. линейная функция (Salomonson et al., 2004)

$$(5) \quad SCF = a + b \times NDSI$$

где a и b - константы, равные -0,69 и 1,91 соответственно.

2. квадратичная функция (Бартон и др., 2000)

$$(6) \quad SCF = a + b \times NDSI + c \times NDSI^2$$

где a, b и c - оптимизированные константы, равные 0,18, 0,37 и 0,255 соответственно.

3. экспоненциальная функция (Lin et al., 2012)

$$(7) \quad SCF = a + b \times e^{c \times NDSI}$$

где a, b и c равны -0,41, 0,571 и 1,068 соответственно.

При оценке высоты снежного покрова (HS) Романов и др. (2004) обнаружили, что существует высокая корреляция между SCF и HS, поскольку высота снежного покрова увеличивается с увеличением доли снежного покрова. На основании этого наблюдения они предложили следующее уравнение:

$$(8) \quad HS = e^{a \times SCF - b} - 1$$

где a и b - константы, равные 0,33 и 0 соответственно.

Результаты

Высота снега рассчитывалась по уравнениям (7) и (8); затем они были подтверждены результатами съемок снега на месте. Кроме того, проведена оценка SWE с помощью уравнения (3).

С использованием линейных, квадратных и экспоненциальных

уравнений нормализованный разностный индекс снега (NDSI) и доля снежного покрова (SCF), представленные на рисунке (рисунок 3).

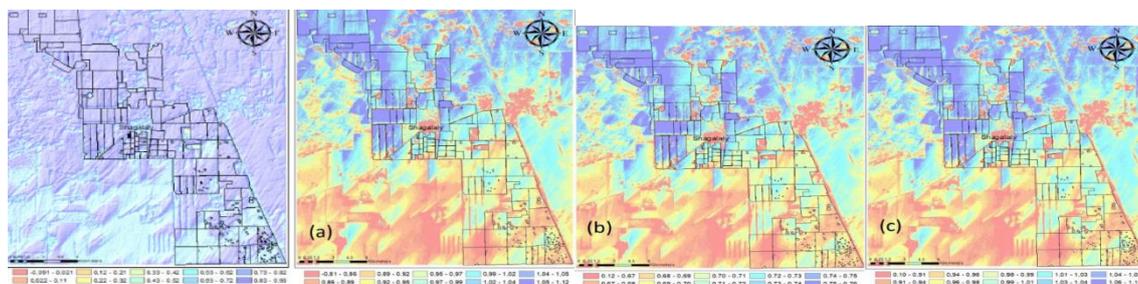


Рисунок 3 - Карты нормализованного разностного индекса снега (NDSI) и доли снежного покрова (SCF): (а) линейные, (б) квадратные, (с) экспоненциальные уравнения

Кроме того, карты высоты снежного покрова были созданы с использованием формулы (8) для каждого уравнения SCF: линейного уравнения HS, квадратного уравнения HS и экспоненциального уравнения HS (рисунок 4). Поскольку высота снежного покрова для каждого изображения была оценена с использованием

одного и того же уравнения, различия более заметны. Для карт HS, основанных на линейных и экспоненциальных формулах, максимальная высота снега оценивалась примерно в 45 см, в то время как максимальная высота снега в случае квадратного уравнения составляла примерно 28 см.

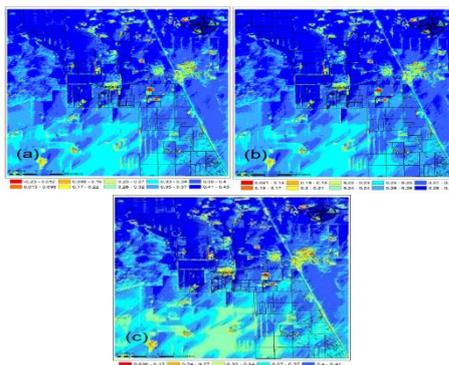


Рисунок 4 - Карты высоты снежного покрова (HS), созданные с использованием (а) линейных, (б) квадратичных, (с) экспоненциальных уравнений SCF

Обсуждение результатов и заключение

Большая часть исследуемой территории Северного Казахстана была покрыта снегом из-за климатических условий. Можно отчетливо заметить, что линейное и экспоненциальное уравнения дают практически идентичные результаты, а квадратное уравнение показывает относительно низкие значения доли снега.

Построена корреляция уровня снежного покрова, записанная линейкой на месте и оцененная по картам высоты снежного покрова (рисунок 5) со среднеквадратичной ошибкой (RMSE) 12,06 см для линейных уравнений, 1,31 см для квадратных уравнений и 12,82 см для экспоненциальных уравнений. В линейном уравнении из-за

отрицательного представления SCF высота снега в некоторых случаях часто имеет отрицательное значение. Значение высоты снега в квадратичной функции обычно мало, так как переменные были

занижены при расчете уровня SCF. Однако данные, как правило, гораздо более неоднозначны в экспоненциальном методе по сравнению с двумя другими случаями.

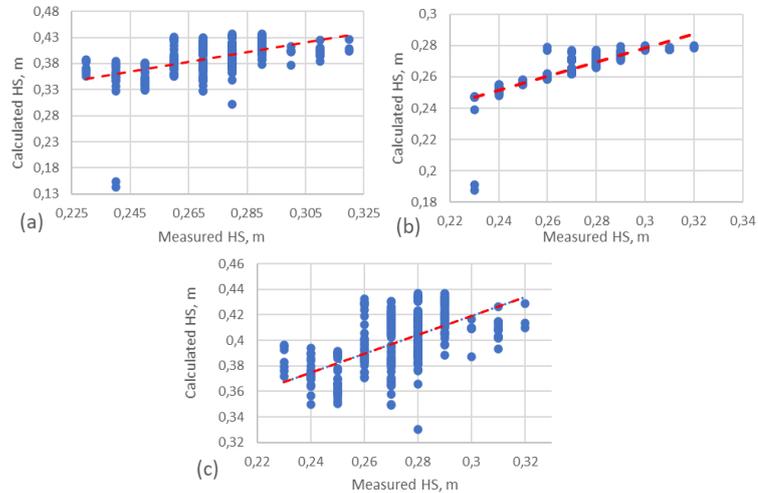


Рисунок 5 - Проверка каждой рассчитанной карты HS с помощью (а) линейных, (б) квадратичных и (с) компонентных уравнений путем сравнения с фактическими измеренными значениями HS

В целом, после статистических данных, было решено рассчитать окончательный эквивалент воды в снегу (SWE), используя карту HS, созданную с использованием квадратичной функции расчета SCF. Для этого расчетное уравнение (3) было реализовано со средней измеренной плотностью снега ($\rho_{avg} = 216 \text{ кг / м}^3$), умноженной на высоту снега (HS) из квадратного уравнения (рисунок 6). На карте хорошо видно, что юго-западный ветер повлиял на

накопление большего количества снега за объектами на противоположной северо-восточной стороне из-за водоворота и в низинных возвышенностях. Более того, низколежащая северная часть территории ТОО «Северо-Казахстанская сельскохозяйственная опытная станция» держала относительно больше снега, тогда как южные сельскохозяйственные поля имели как минимум на 1 см меньше снежного покрова.

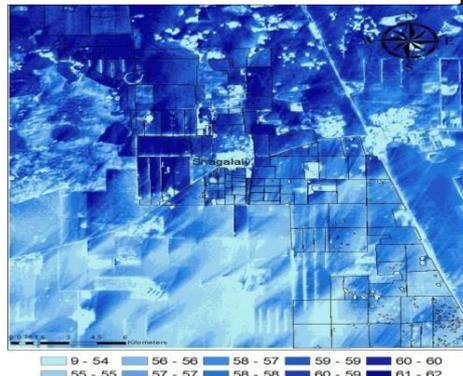


Рисунок 6 - Расчетный водный эквивалент снега (SWE) на исследуемой территории в кг / м² = мм

В этом исследовании простое мультиспектральное изображение Sentinel-2 было введено в предложенную формулу расчета SCF с использованием NDSI, а на основе рассчитанного SCF были созданы 3 карты высоты снежного покрова (HS). Несмотря на то, что NDSI имеет сильную корреляцию SCF, есть несколько переменных, которые влияют как на SCF, так и на

NDSI. Кроме того, формула каждого применяемого метода адаптирована для областей исследований, в отличие от Северо-Казахстанской области следует отметить, что в городских застроенных районах снег исчезает из-за уборки снега, даже если есть измеренная на месте высота снега (HS), поэтому может быть ошибка.

Список литературы

1. Sturm M. Estimating regional and global snow water resource using depth data and climate classes of snow / Sturm M., Taras B., Liston G., Derksen C., Jonas T., and Lea J. // Journal of Hydrometeorology. - 2010. N 11. - С. 1380-1394.
2. Daesong K. Comparison of Snow Cover Fraction Functions to Estimate Snow Depth of South Korea from MODIS Imagery / Daesong K., Hyung Sup J., Jeong-Cheol K. // Korean Journal of Remote Sensing, - 2017. - Vol. 33. - N 4 - С. 401-410.
3. Farinotti D. From dwindling ice to headwater lakes: could dams replace glaciers in the European Alps? / Farinotti D., A. Pistocchi and M. Huss. // Environ. Res. Letters, - 2016. - N 11. - С. 56-68
4. Alim M. A. Feasibility analysis of a small-scale rainwater harvesting system for drinking water production at Werrington, New South Wales, Australia / Alim, M. A., Rahman, A., Tao, Z., Samali, B., Khan, M. M., & Shirin, S. // Journal of Cleaner Production, - 2020. - N 270. - С. 227-239
5. Wei H. Study on the estimation of precipitation resources for rainwater harvesting agriculture in semi-arid land of China / Wei, H., Li, J., Liang, T. // Agricultural Water Management, - 2005. - N 71(1). - С. 33-45.

References

1. Sturm M. Estimating regional and global snow water resource using depth data and climate classes of snow / Sturm M., Taras B., Liston G., Derksen C., Jonas T., and Lea J. // Journal of Hydrometeorology. - 2010. N 11. - С. 1380-1394.
2. Daesong K. Comparison of Snow Cover Fraction Functions to Estimate Snow Depth of South Korea from MODIS Imagery / Daesong K., Hyung Sup J., Jeong-Cheol K. // Korean Journal of Remote Sensing, - 2017. - Vol. 33. - N 4 - С. 401-410.

3. Farinotti D. From dwindling ice to headwater lakes: could dams replace glaciers in the European Alps? / Farinotti D., A. Pistocchi and M. Huss. // Environ. Res. Letters, - 2016. - N 11. - С. 56-68

4. Alim M. A. Feasibility analysis of a small-scale rainwater harvesting system for drinking water production at Werrington, New South Wales, Australia / Alim, M. A., Rahman, A., Tao, Z., Samali, B., Khan, M. M., & Shirin, S. // Journal of Cleaner Production, - 2020. - N 270. - С. 227-239

5. Wei H. Study on the estimation of precipitation resources for rainwater harvesting agriculture in semi-arid land of China / Wei, H., Li, J., Liang, T. // Agricultural Water Management, - 2005. - N 71(1). - С. 33-45.

ҚАР ЖАМЫЛҒЫСЫ СИПАТТАРЫН ЖҚЗ ДЕРЕКТЕРІМЕН ЕСЕПТЕУ МОДЕЛІ

Төлеубай Ж.Б.¹, Усалинов Е.Б.¹, Шматов Б.В.¹

¹ «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті»,

Нұр-Сұлтан қ. Қазақстан

(E-mail: zhanassyl.kz@gmail.com)

Түйін

Мақалада «Солтүстік Қазақстан ауылшаруашылық тәжірибе станциясы» жауапкершілігі шектеулі серіктестігінде қар жамылғысының тереңдігіне салыстырмалы бағалау ұсынылады, бір жағынан қардың су эквивалентін анықтай отырып, қар жамылғысының үлесін есептеуге үш түрлі тәсіл қолданылады. ал екіншісінде – жергілікті жерде.

Ғылым мен техниканың дамуы тұрғысынан, далалық табиғи аймақта еріген және тасқын сулардың резервтелген аймақтарын анықтаудың объективті әдістемесі мен моделін құру қашықтықтан зондтау мен ГАЖ технологияларын қолдану арқылы ауыл шаруашылығын жақсартуға ықпал етеді.

Кілт сөздер: қашықтан зондтау деректері, қар жамылғысы, қардың қалыңдығы, қардың су эквиваленті, қардың қалыңдығы, қар өлшегіш, Sentinel-2.

MODEL FOR CALCULATING SNOW COVER CHARACTERISTICS BASED ON ERS DATA

Toleubay Zh. B.¹, Usalinov E. B.¹, Shmatov B. B.¹

¹ «S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University», Nur-Sultan, Kazakhstan

(E-mail: zhanassyl.kz@gmail.com)

Abstract

The article presents a comparative assessment of the depth of snow cover in the North Kazakhstan Agricultural Experimental Station Limited Liability Partnership using three different approaches for calculating the proportion of snow cover with the subsequent determination of the water equivalent of snow on the one hand, and on the other - on the spot.

From the point of view of the development of science and technology, the construction of an objective methodology and model for determining the zones of reserving melt and flood waters in the steppe natural zone will contribute to the improvement of agriculture through the use of remote sensing and GIS technologies.

Keywords: remote sensing data, snow cover, snow depth, water equivalent of snow, snow depth, snow meter, Sentinel-2.