

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ХИЗМАТИ АГЕНТЛИГИ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ВА АТРОФ-МУҲИТ МОНИТОРИНГИ

ИЛМИЙ ЖУРНАЛ

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ
И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

**HYDROMETEOROLOGY
AND ENVIRONMENTAL MONITORING**

SCIENTIFIC JOURNAL

№4

2024

ISSN 2181-1261

МЕТЕОРОЛОГИЯ / METEOROLOGY

УДК: 551.501:551.508.91:551.507.362

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДИАГНОЗА ПЫЛЬНЫХ БУРЬ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ С ЭЛЕМЕНТАМИ ИНТЕРАКТИВНОГО РЕЖИМА И ГИС ТЕХНОЛОГИЙ**М.Л. АРУШАНОВ^{1*}, Х.У. УМЕРОВ¹, Л.Ю. ШАРДАКОВА¹**¹Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, mikl-arushanov@rambler.ru

Аннотация. Представлена разработанная в НИГМИ автоматизированная технология диагноза пыльных бурь (АТДПБ) по данным спутниковых снимков NOAA/AVHRR. Составляющими технологии являются два основных блока – блок первичной и блок тематической обработки изображения. Первичная обработка состоит в трансформировании снимка в заданную картографическую проекцию и его географическая привязка. Тематическая обработка представляет собственно диагноз пыльных бурь. Для этого используются два подхода. Первый подход основан на вычислении пылевого индекса NDDI, аэрозольной оптической толщины (АОТ) и массы аэрозоля (МА, $г/м^3$). Совместный анализ этих трёх количественных характеристик пыльной бури позволяет достаточно надёжно выделить на спутниковом снимке области пыльных бурь. Второй подход основан на классификации изображения с использованием модуля IsoData ГИС-пакета ENVI. Совместное использование двух подходов позволяет с высокой надёжностью выполнять автоматизированный диагноз с элементами интерактивного режима (на этапе трансформирования и географической привязки снимка по опорным точкам) пыльных бурь по данным спутниковых снимков.

Ключевые слова: спутниковые снимки, трансформирование, географическая привязка, пылевой индекс, аэрозольная оптическая толщина, масса аэрозоля, классификация изображения.

Введение. Мониторинг пыльных бурь, как опасного метеорологического явления, на современном этапе должен основываться на реализации автоматизированных технологий с использованием данных дистанционного зондирования (спутниковых данных). При этом важнейшим элементом автоматизированной обработки спутниковых снимков является возможность получения количественных характеристик пыльных бурь: дифференциальный индекс запылённости NDDI (Normalized Difference Dust Index), аэрозольная оптическая толщина (АОТ) и масса аэрозоля (МА, $г/м^3$).

Цель работы. В данной статье представлены этапы реализации автоматизированной обработки спутниковых снимков с целью диагноза пылевых бурь и оценки их количественных характеристик (NDDI, АОТ, МА).

Приведён пример реализации автоматизированной обработки спутникового снимка с пыльной бурей 17 марта 2021 года в Каракалпакстане, над Ормузским проливом и Оманским заливом.

Постановка задачи. Модули, реализующие автоматизированную обработку спутниковых снимков с пыльными бурями подробно рассмотрены в работах [Арушанов и др., 2022; Арушанов и др., 2024]. В данной работе алгоритмы первичной и тематической обработки сведены в единую автоматизированную систему, позволяющую выполнять

* Ответственный автор: mikl-arushanov@rambler.ru, тел.: +998 90 997-61-46

необходимые процедуры в режиме оперативной работы. Кроме того, модули, описанные в вышеуказанных работах, пополнены процедурами классификации изображения с результатом построения векторного изображения пыльной бури на базе пакета ENVI [ENVI 5.1, 2014]. Данное добавление позволяет сопоставить результаты диагноза пыльной бури, выполненного двумя методами.

Используемые данные. Автоматизированная технология диагноза пыльных бурь (АТДПБ) апробировалась по спутниковым изображениям NOAA/AVHRR, сведённых в базу данных за период 2010-2021 годы с датами пыльных бурь. Здесь необходимо отметить, что, хотя апробация АТДПБ выполнялась по данным AVHRR, по сути, она имеет универсальный характер и применима к любой серии спутников.

Этапы обработки спутникового снимка. Автоматизированная технология диагноза пыльных бурь включает два основных блока: блок первичной обработки спутникового снимка и блок тематической обработки – собственно диагноз пыльной бури на спутниковом изображении. Целная блок-схема автоматизированной технологии показана на рис. 1.

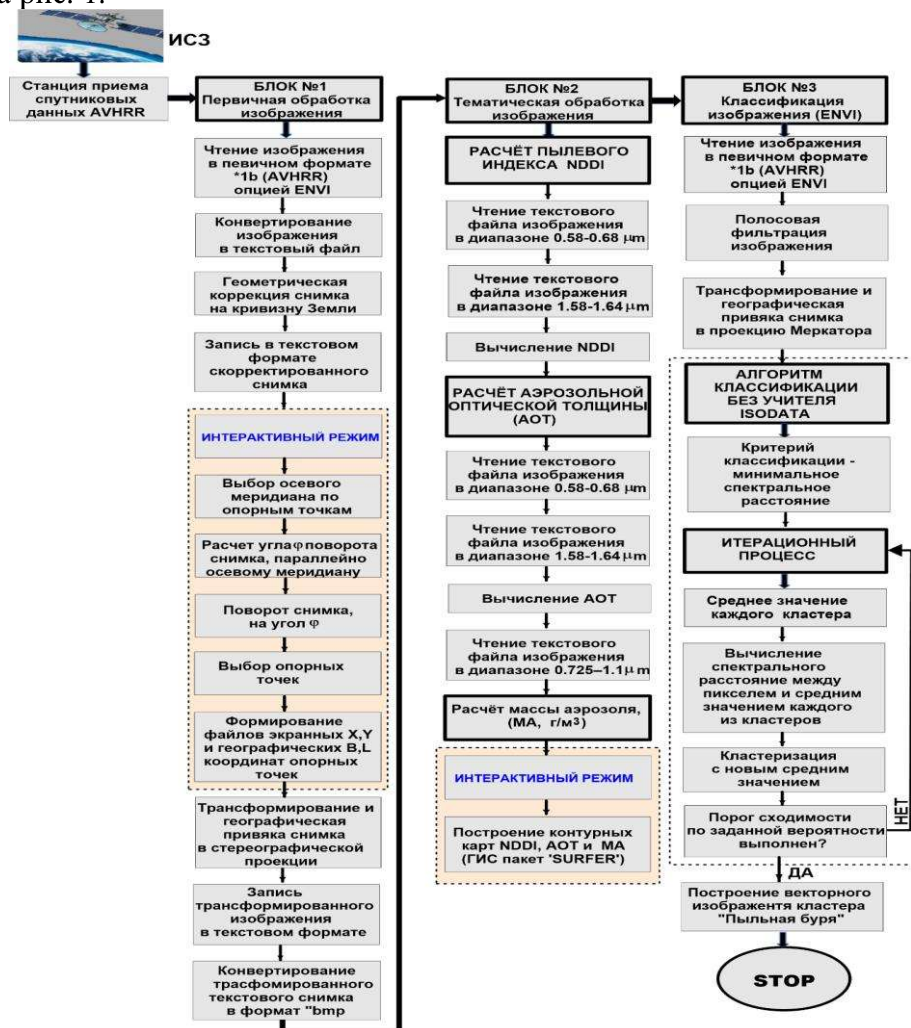


Рис. 1. Блок-схема автоматизированной технологии диагноза пыльной бури

Fig. 1. Block diagram of automated technology for dust storm diagnosis

Первичная обработка снимка включает его геометрическую коррекцию на кривизну Земли, трансформирование в заданную картографическую проекцию. В АТДПБ

предусмотрена стереографическая и меркаторская проекции. Результат первичной обработки снимка NOAA/AVHRR 17 марта 2010 года показан на рис. 2. Географическая привязка снимка осуществляется по опорным точкам [Арушанов, 1994].

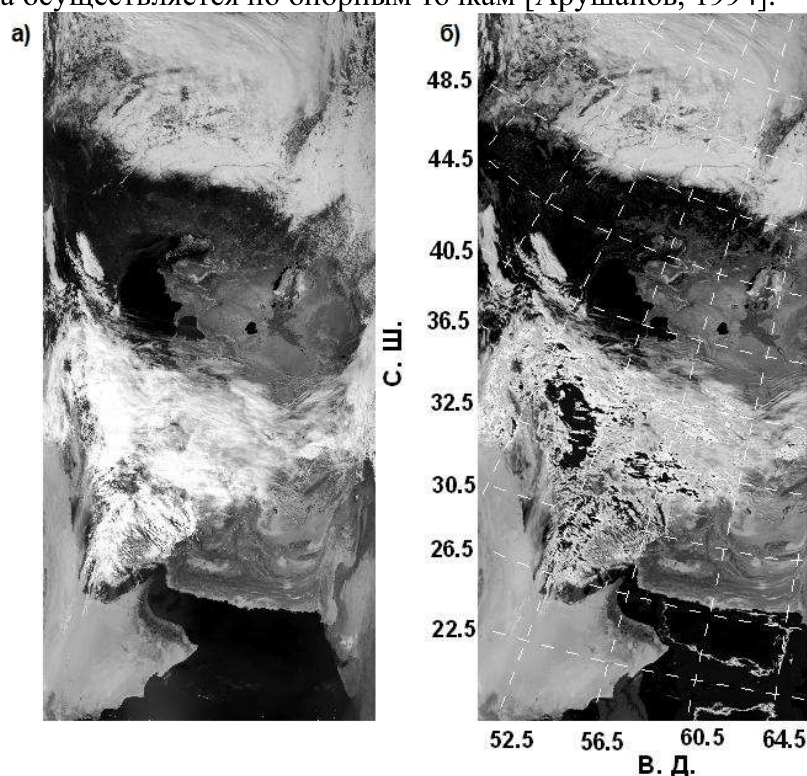


Рис. 2. Исходный (а) и трансформированный в стереографическую проекцию (б) снимок NOAA/AVHRR 17.03.2010 г.

Fig. 2. Original (a) and transformed into stereographic projection (b) NOAA/AVHRR image of 17.03.2010

Тематическая обработка снимка состоит из ряда процедур, позволяющих получить количественные характеристики пыльной бури в виде пылевого индекса NDDI, AOT и MA. Результаты обработки снимка с пыльной бурей 17 марта 2021года, которая была зафиксирована на МС Муйнак, Жаслык, Чимбай и Тахтакупыр, приведены на рис. 3. Отрицательные значения NDDI характеризуют увлажнённые области, а положительные – засушливые.

Важнейшей характеристикой в диагнозе пыльной бури по спутниковому снимку является масса аэрозоля, рассчитанная, как линейная функция AOT. Диагноз распространения пылевой бури должен основываться на совместном анализе распределений NDDI, AOT и MA. Очевидно, максимальные значения MA и высокие положительные значения NDDI с большой вероятностью соответствуют областям очага и переноса аэрозольной пыли.

Классификация изображения с использованием ГИС пакета ENVI. В программном комплексе ENVI алгоритмы классификации согласно теории распознавания образов [Розенфельд, 1972] подразделяются на два класса: с учителем и без обучения. В данной работе из алгоритмов классификации применён класс без обучения, реализуемый в программном комплексе ENVI модулем IsoData. Алгоритм IsoData – это процедура кластеризации спектрально-анализированных изображений, в основе которой используется

минимальное спектральное расстояние для определения соответствующего кластера (класса) для каждого пикселя. Реализация этой процедуры построена как итерационный процесс.

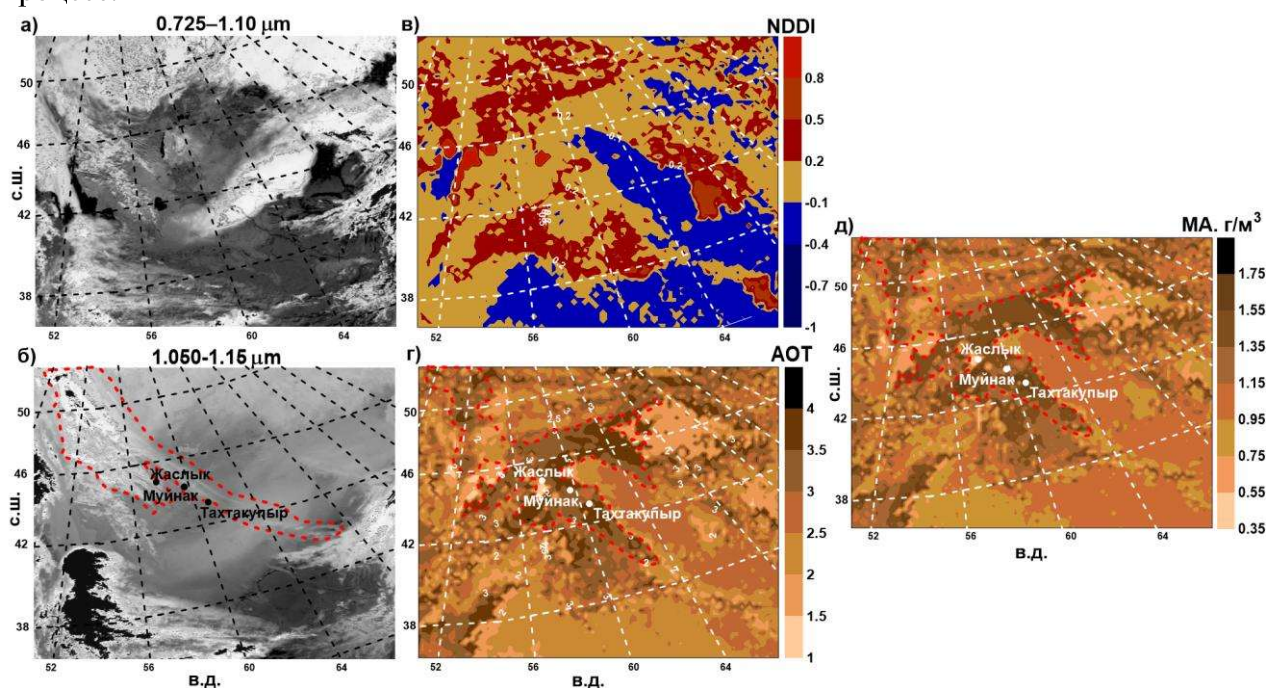


Рис. 3. Диагноз пыльной бури по фрагменту снимка AVHRR 17.03.2021г. по значениям NDDI, AOT и МА

Примечание: а), б) – трансформированные снимки в соответствующих диапазонах длин волн; в), г) – NDDI, AOT, соответственно; д) – масса аэрозоля (МА); красный пунктир – области пыльной бури на снимке и по значениям NDDI, AOT и МА.

Fig. 3. Diagnosis of a dust storm from a fragment of the AVHRR image on 17.03.2021 according to NDDI, AOT and MA values

Note: а), б) – transformed images in the corresponding wavelength ranges; в), г) – NDDI, AOT, respectively; д) – aerosol mass (MA); red dotted line – dust storm areas in the images and by the NDDI, AOT and MA values

В первой итерации кластеризации спектральное пространство равномерно разбивается на заданное количество кластеров. Далее вычисляется спектральное расстояние между пикселем и средним значением каждого из кластеров. Распознаваемый пиксель относится к тому кластеру, до которого расстояние минимально. После завершения каждой итерации рассчитывается новое среднее значение каждого кластера и итерационный процесс продолжается до момента выполнения условия порога сходимости – все пиксели с заданной вероятностью образуют свой кластер (рис. 1, блок №3).

Программный комплекс ENVI включает в себя язык программирования IDL (*Interactive Data Language*), на котором и реализовывались алгоритмы классификации изображений.

Первый шаг классификации изображения состоит в полосовой фильтрации каждого из каналов с целью фильтрации шумовых пикселей.

Второй шаг – трансформирование снимка в меркаторскую проекцию и его географическая привязка.

Результаты выполнения первых двух шагов показаны на рис. 4.

Третий шаг – собственно классификация изображения и выделение кластера «пыльная буря».

Четвёртый шаг – построение векторного изображения пыльной бури.

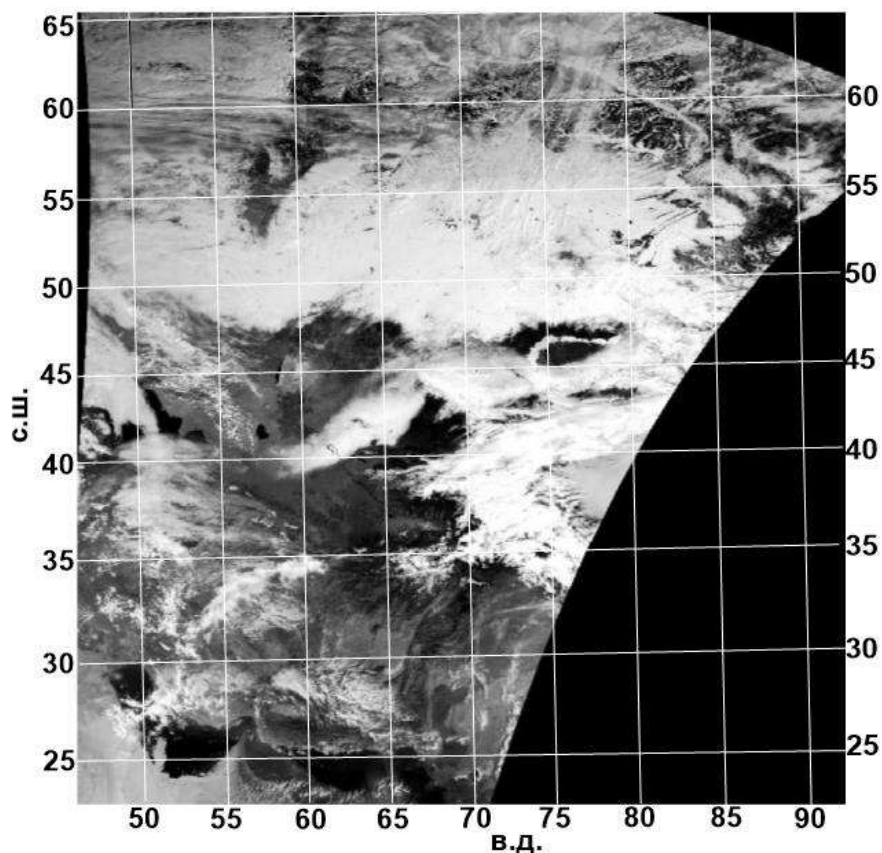


Рис. 4. Трансформированное в меркаторскую проекцию изображение (0.725-1.1 μm) AVHRR 17.03.2021 г., подвергнутое полосовой фильтрации и географической привязке

Fig. 4. AVHRR 17.03.2021 image (0.725-1.1 μm) transformed into Mercator projection, bandpass filtered and georeferenced

Результаты классификации изображения с пыльной бурей. На рис. 5 приведены результаты реализации третьего и четвёртого шагов – собственно классификация и построение векторного изображения пыльной бури по результатам классификации.

Сравнение рис. 5а, 5б с результатами выделения на снимки пыльной бури зафиксированной на МС Жаслык, Муйнак, Чимбай и Тахтакупыр 17 марта 2021 года по значениям NDDI, AOT и MA (рис. 3) в области, ограниченной широтами 47-34° с. ш. и долготами 50-64° в. д. показывает их большое сходство. Здесь отметим, что в случае диагноза пыльной бури на основе классификации был подвергнут классификации не фрагмент изображения, как показано на рис. 3, а снимок полностью (рис. 4). В результате чётко выделилась пыльная буря над Ормузским проливом и Оманским заливом, зафиксированная на МС Бендер-Аббас в Иране.

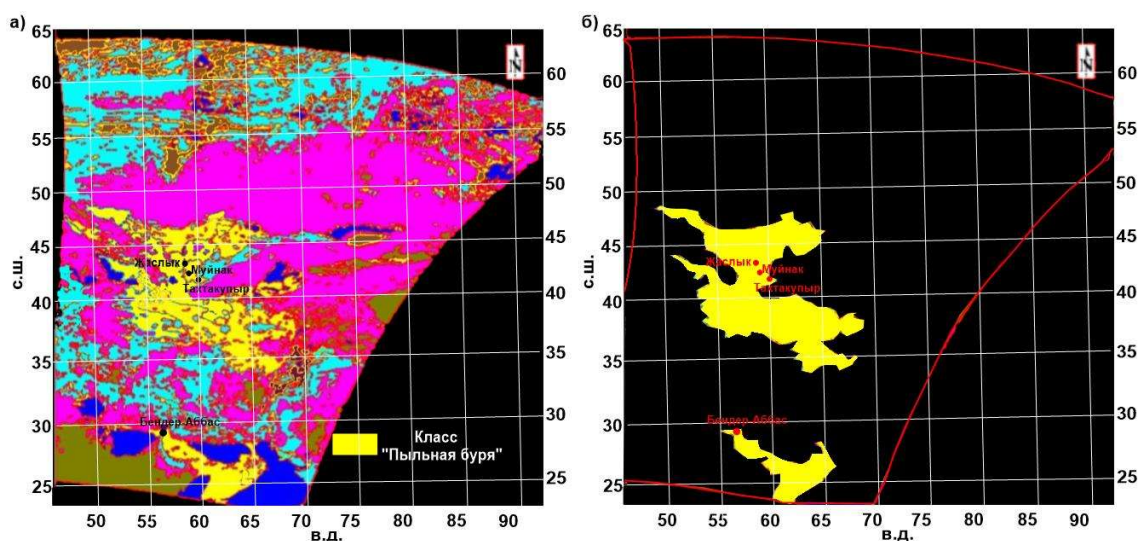


Рис. 5. Диагноз пыльной бури на снимке AVHRR 17.03. 2021г. на основе классификации изображения модулем IsoData (а) и дихотомическое векторное изображение (б) результата классификации

Fig. 5. Dust storm diagnosis in the AVHRR image of 17.03.2021 based on image classification by the IsoData module (a) and a dichotomous vector image (b) of the classification result

Выводы. Представленная в данной статье АТДПБ имеет большое значение в рамках ведения мониторинга пыльных бурь по данным дистанционного зондирования гидрометеорологическими организациями, в частности, Узгидрометом.

Используемые два подхода в диагнозе пыльных бурь – по максимальным значениям АОТ и МА и косвенной характеристике NDDI и классификации изображения на базе модуля IsoData ENVI позволяет с достаточной надёжностью выполнять автоматизированный диагноз пыльных бурь по данным спутниковых снимков.

Благодарности. Работа выполнена в рамках гранта АЛ-5721122055 «Разработка технологии системы мониторинга пыльных бурь с использованием наземных и спутниковых данных».

Вклад авторов. М.Л. Арушанов: постановка задачи, разработка теоретической части, разработка программного комплекса АТДПБ. Х.У. Умеров: реализация классификации изображения в оболочке ГИС-пакета ENVI. Л.Ю. Шардакова: подготовка базы данных пыльных бурь и архива снимков NOAA/AVHRR по сформированным датам. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

Арушанов М.Л., Нишонов Б.Э., Шардакова Л.Ю. Диагностика пыльных бурь по данным AVHRR NOAA // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды, №3. – 2022. – С. 83-90.

Арушанов М.Л., Умеров Х.У., Шардакова Л.Ю. Количественная оценка аэрозольной оптической толщины по данным спутниковых снимков яркостной температуры // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды, №2. – 2024. – С. 19-27.

Арушанов М.Л. Простая модель географической привязки сканерных снимков малого разрешения, обеспечивающая высокую точность // Исследование Земли из космоса, № 3. – 1994. – С. 41-46.

ENVI 5.1. Руководство пользователя. – М.: Совзонд, 2014. – 242 с.

Розенфельд А. Распознавание и обработка изображений – М.: Мир, 1972. – 232с.

ГИС ТЕХНОЛОГИЯЛАР ВА ИНТЕРФАОЛ РЕЖИМ ЭЛЕМЕНТЛИ СУНЪИЙ ЙЎЛДОШ ТАСВИРЛАРИ БЎЙИЧА ЧАНГ БЎРОНЛАРИНИ ТАШХИСЛАШНИНГ АВТОМАТЛАШТИРИЛГАН ТЕХНОЛОГИЯСИ

М.Л. АРУШАНОВ¹, Х.У. УМЕРОВ¹, Л.Ю. ШАРДАКОВА¹

¹ Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, mikl-arushanov@rambler.ru

Аннотация. NOAA/AVHRR сунъий йўлдош тасвирлари асосида чанг бўронларини таххислаш учун ГМИТИ да ишлаб чиқилган автоматлаштирилган технология (ЧБТАТ) тақдим этилган. Бирламчи ва тасвирни тематик қайта ишлаш блоклари технологиянинг иккита асосий таркибий қисмлари ҳисобланади. Бирламчи қайта ишлаш тасвирни берилган картографик проекцияга трансформациялаш ва уни географик боғлашдан иборат. Тематик ишлов бериш блоки чанг бўронларининг айнан таххисини амалга оширади. Бунда иккита ёндашув қўлланилади. Биринчи ёндашув NDDI чанг индекси, аэрозол оптик қалинлиги (АОТ) ва аэрозол массасини (МА, г/м³) ҳисоблашга асосланган. Чанг бўронининг ушбу учта миқдорий характеристикаларини биргаликда таххил қилиш сунъий йўлдош тасвирида чанг бўронлари кузатилаётган ҳудудларни ишончли аниқлаш имконини беради. Иккинчи ёндашув тасвирни ENVI ГИС пакетининг IsoData модули ёрдамида таснифлашга асосланган. Иккала ёндашувдан биргаликда фойдаланиш сунъий йўлдош тасвирлари маълумотлари бўйича чанг бўронларини интерфаол режим элементлари (трансформация ва тасвирни таянч нуқталар бўйича географик боғлаш босқичларида) билан ишончли автоматлаштирилган таххислаш имконини беради.

Калит сўзлар: сунъий йўлдош тасвирлари, трансформация, географик боғлаш, чанг индекси, аэрозол оптик қалинлиги, аэрозол массаси, тасвир таснифи.

AUTOMATED TECHNOLOGY OF DUST STORM DIAGNOSIS BASED ON SATELLITE IMAGES WITH ELEMENTS OF INTERACTIVE MODE AND GIS TECHNOLOGIES

M.L. ARUSHANOV¹, H.U. UMEROV¹, L.Yu. SHARDAKOVA¹

¹ Hydrometeorological Research Institute, mikl-arushanov@rambler.ru

Abstract. The article presents an automated technology of dust storm diagnosis (ATDS) developed at HRMI based on NOAA/AVHRR satellite images. The technology consists of two main blocks – a primary block and a thematic block of image processing. Primary processing consists of transforming the image into a given cartographic projection and its geographic referencing. Thematic processing is the actual diagnosis of dust storms. Two approaches are used for this purpose. The first approach is based on calculating the NDDI dust index, aerosol optical thickness (AOT) and aerosol mass (MA, g/m³). Joint analysis of these three quantitative characteristics of a dust storm allows one to fairly reliably identify dust storm areas on a satellite image. The second approach is based on image classification using the IsoData module of the ENVI GIS package. The combined use of the two approaches allows one to perform highly reliable automated diagnosis with interactive elements (at the stage of image transformation and georeferencing using reference points) of dust storms based on satellite imagery.

Keywords: satellite images, transformation, georeferencing, dust index, aerosol optical thickness, aerosol mass, image classification.

REFERENCES

Arushanov M.L., Nishonov B.E., Shardakova L.Yu. Diagnostika pilnikh bur po dannym AVHRR NOAA [Diagnostics of dust storms based on AVHRR NOAA data] // *Gidrometeorologiya i monitoring okrujayushey sredi*, No. 3. – 2022. – S. 83-90. (in Russian)

Arushanov M.L., Umerov H.U., Shardakova L.Yu. Kolichesnennaya ocenka aerzolnoy opticheskoy tolscheny po dannym sputnikovyh snimkov yarkostnoq temperatury [Quantitative assessment of aerosol optical thickness based on satellite images of brightness temperature] // *Gidrometeorologiya i monitoring okrujayushey sredi*, No. 2. – 2024. – S. 19-27. (in Russian)

Arushanov M.L. Prostaya model geograficheskoy privyazki skanernyh snimkov malogo razresheniya, obespechivayusheaya visokuyu tochnost [A simple model for georeferencing low-resolution scanner images providing high accuracy] // *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, No. 3. – 1994. – S. 41-46. (in Russian)

ENVI 5.1. Rukovodstvo polzovatelya [User's Guide]. – M.: Sovzond, 2014. – 242 s. (in Russian)

Rosenfeld A. Raspoznavanie i obrabotka izobrajeniy [Image recognition and processing]. – M.: Mir, 1972. – 232 s. (in Russian)

УДК: 551.48

ҚУРҒОҚЧИЛИК ИНДЕКСЛАРИНИ ҲИСОБЛАШДА ХАЛҚАРО МАЪЛУМОТЛАР БАЪЗАСИДАН ФЙДАЛАНИШ ИМКОНИАТЛАРИ

Н.О. ОМОНОВ^{1*}, Ғ.Ў. УМИРЗАҚОВ^{1,2}, К.Р. РАҲМОНОВ²

¹ Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, oomonov506@gmail.com, g.umirzakov@gmail.com

² Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, k.rahmonov@nuu.uz

Аннотация. Мазкур мақола Писком дарёси ҳавзасида қурғоқчилик индексларини аниқлашга бағишланган бўлиб, унда Иқлимий тадқиқотлар бўлими (Climatic Research Unit - CRU) маълумотлар базасидан фойдаланилган. Тадқиқотда дастлаб CRU маълумотларининг ишончилигини баҳолаш мақсадида, уларни метеорология станциялари кузатув маълумотлари билан таққослаш ишлари амалга оширилди. Ушбу таққослаш натижасида икки хил усулда аниқланган метеорологик маълумотлар ўртасидаги фарқлар ва ўзаро боғлиқлик даражаси аниқланиб, таҳлил қилинган.

Географик ахборот тизимлари (ГАТ) ёрдамида Писком дарёси ҳавзасининг чегаралари аниқланган ва ҳавзани тўлиқ қамраб олувчи CRU маълумотлари йиғилган. Ушбу маълумотлар асосида қурғоқчилик индекслари ҳисобланиб, статистик таҳлиллар амалга оширилган. Атмосфера ёгинлари ва дарё оқими ўртасидаги статистик боғланишлар асосида қурғоқчиликни прогнослаш имкониятлари ўрганилди. Прогноз сифатини аниқлаш учун Hit Score индексидан фойдаланилди.

Тадқиқот натижалари CRU маълумотлар базасининг қурғоқчилик таҳлили ва бошқа иқлимий тадқиқотлар учун юқори даражада самарали эканлигини тасдиқлайди. Айниқса, метеорология станциялари мавжуд бўлмаган ҳудудларда ёки кузатув маълумотларида узилишлар кузатишганда, CRU маълумотларидан фойдаланган ҳолда маълумотларни тиклаш ва узайтириш мумкинлиги очиб берилди. Ушбу усул дарё ҳавзасидаги иқлим ўзгаришлари ва сув ресурсларини мониторинг қилишни янада такомиллаштириш имконини беради.

Калит сўзлар: дарё, дарё ҳавзаси, атмосфера ёгинлари, дарё оқими, CRU, SPI ва SSI қурғоқчилик индекслари, статистик боғланиш, Hit Score, Пирсон ва Спирман корреляция коэффициентлари.

* Масъул муаллиф: oomonov506@gmail.com, тел.: +998 90 958-39-30