

NEWS**OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES**

ISSN 2224-5278

Volume 3, Number 441 (2020), 79 – 87

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.57>

UDC 556.5:528

IRSTI 89.57.35;39.01.85

**A. K. Tolepbayeva^{1,2,3}, A. A. Tanbayeva^{1,4}, R. K. Karagulova^{1,2},
G. M. Iskaliyeva^{1,4}, A. A. Zhakupova², G. M. Urazbayeva¹, J. Lentschke⁵**¹Institute of Geography, Almaty, Kazakhstan;²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;³Satbayev University, Almaty, Kazakhstan;⁴Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan;⁵Humboldt-University, Berlin, Germany.

E-mail: akmaral1980@mail.ru

**ESTIMATION OF THE CHANGES IN WATER SURFACE AREA
BASED ON THE USE OF ARCHIVES SATELLITE IMAGES
OF LANDSAT SATELLITES
(ON THE EXAMPLE OF THE ERTIS RIVER)**

Abstract. Conservation of the surface waters and their rational use is one of the pressing problems throughout the world. In our country, monitoring the regulation of the flow and flooding of the floodplains is also an actual issue. This article examines the remote sensing processing technique for studying the water surface, reflecting the changes that occurred in size and in time, which allows the assessment at a new level.

To determine the technique for studying the surface water researches, the analysis of published materials on modern methods of monitoring the natural water bodies based on data from the use of satellite imagery archives was carried out, and the possibilities of their application to study floodplain flooding dynamics were studied. As a result of the analysis, a technique based on the use of global surface water research data (Global Surface Water Explorer) of the European Commission research center was determined. The global surface water data set (GSWE) uses three million archival satellite images of Landsat to quantify flooding over 32 years (from 1984 to 2015) with a spatial resolution of 30 m.

The analysis of the results obtained showed the presence of the problem for their use in the technique of monitoring the areas of the water surface of the river Ertis floodplain associated with a large number of raster cells with a NoData value (no data) for individual months of individual years. Despite the problems, as a result of analyzing the data of the annual level (Yearly Water Classification), the areas of the water surface were determined, which consists of the area of permanent (permanent water) and seasonal water surface (seasonal water) of the Ertis river floodplain plots.

The purpose of the article is to obtain water surface data by using Landsat satellite imagery archives to monitor area dynamics.

The presented results demonstrate a high potential for various applications requiring the information on the dynamics of the surface waters.

Key words: Landsat, global data, surface waters, remote sensing.

Introduction. Water is a vital natural resource. Water reserves in natural and artificial reservoirs are useful for increasing the available water resources for human society; therefore, water flow should be the main direction in the assessment of water resources [1]. Surface water is an important variable in hydrological, climatic as well as in biodiversity studies [2-4]. The surface waters in rivers and lakes are important both for the existence of an ecosystem and for humans [5-6]. Therefore, the most urgent problem at the present time is the conservation of surface waters and their rational use [7]. For monitoring

the changes in the surface waters [8] and assessing the flooding of floodplain areas [9] recently, satellite images are used, global databases are mapped and created, modeling is conducted [5,8,10].

The important advantages of the remote sensing methods are the ability to regularly monitor the state of the earth's surface, the greater visibility, the high efficiency of obtaining information about the area of interest and the integration into geographic information systems. The latest advances in remote sensing, GIS will help ensure and process a large range of data simultaneously in real time [11].

The remote sensing has become an important source of information in the analysis and getting the data on the changes in various terrestrial resources, and in particular, the surface waters. The sensing and application of GIS technologies for the water resources include the assessment of the risk of flooding and their management [12-13].

Analysis of foreign experience of a similar study. At present, the issue of monitoring the flooding of floodplain territories becomes relevant. There are many methods of floodplains research offered by the scientists from different countries. Considering the global water deficit, the satellite images are used to monitor the changes in surface waters and to assess the flooding of floodplain areas, the global databases are mapped and created. The automatic mapping of the surface waters, their dynamics over seasons or several years and over large areas is becoming increasingly important for quantifying the impact of factors on surface waters, which is necessary for making management decisions [14].

One of the recommended global datasets to use is the Global Surface Water Exploration Data Set (Global Surface Water Explorer) of the Joint Research Center (JRC) of the European Commission, created by using the Landsat 5TM, Landsat 7ETM +, Landsat 8 OLI satellite images archived from March 16, 1984 to October 10, 2015 [8].

The Global WaterPack dataset. The Global WaterPack time series (GWP), which is processed in the German Remote Sensing Data Center (DFD) DLR, quantifies the daily dynamics of global inland waters with daily time resolution. The daily temporal resolution and global coverage of the Global WaterPack (GWP) has a great potential for identifying the effects of climate change, meteorological variability and human activity on the surface water dynamics [15-16].

Using the satellite images, you can determine the state of the surface waters. One of these works is made by Australian scientists; they developed the Water Observation from Space (WofS) product. Observing the Water from the Space (WofS) is a web service that displays the historical surface water observations from the Landsat 5 and Landsat 7 satellite images archives for all of Australia from 1987 to the present [17-18].

Despite the rapidly growing number of large-scale and long-term surface water (SW) records (Pekel et al., Klein et al., 2017; Mueller et al., 2016;), there are currently no proven methods to quantify the dynamics of surface water (SW) according to Landsat resolution and regular time step of 8 days or less. To achieve this goal and eliminate the space-time resolving limitations in Landsat and MODIS based on the mapping of large-scale floodplain flooding dynamics, Australian scientists applied a generalized additive model regression (GAM) [19].

Recently, in world practice, when assessing the river flow and rivers floodplains, the mathematical models of floodplain processes are most effective, which allow reproducing various hydrological phenomena in a wide range of geomorphological and hydrological conditions [20].

Methods. As a result of the analysis, the method based on the use of the data from global studies of the surface waters (Global Surface Water Explorer) of a research center of the European Commission was determined. The Global surface water research data are publicly available. For global studies, the Landsat satellite images archives for the 32-year period 5TM, Landsat 7ETM +, Landsat 8OLI, received in the interval from March 16, 1984 to October 10, 2015, were used. These images contain the information on the water surface for the period of March 1984 - October 2015, the data sets for 8 months (the snowless period from March to October) [8,21]. For the study, the methods of processing and decoding the multi-zone space images.

Results. To monitor the water surface of the Ertis floodplain the pre-processing of the raster datasets of global studies of the surface waters and the created floodplain layer was carried out

The preprocessing stage included the processes of preparing the database, bringing the dataset to a common projection, clipping (Clip Raster) extra territory, converting the vector layer of the river Ertis floodplain in raster, building and updating of raster attribute tables (Build Raster Attribute Table), creating mosaic datasets (Create Mosaic Dataset).

The process and its stages, as well as the preparation of input data sets for the classification and ensuring compliance with the requirements of the data format, metadata and raster fields for analyzing the changes in the area of water bodies are shown in (figure 1).

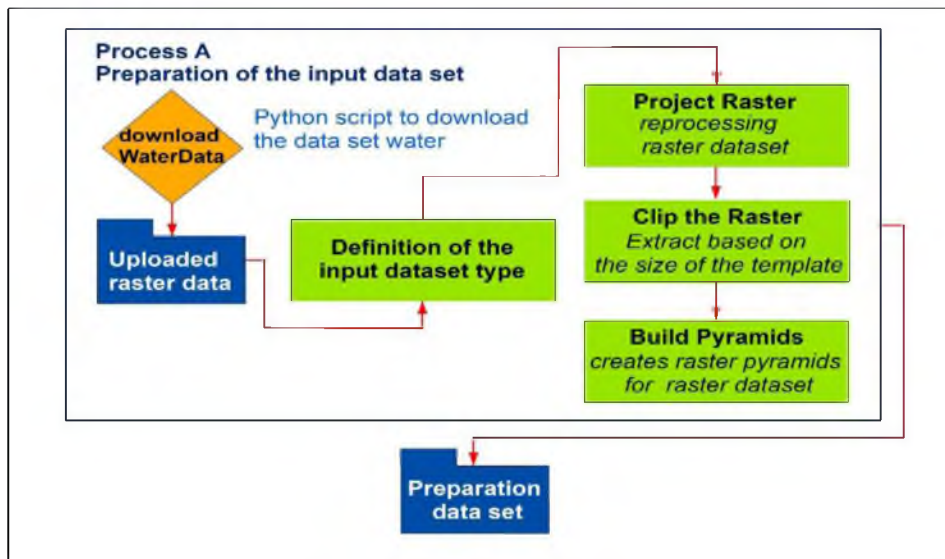


Figure 1 – Preparing the input dataset

To extract quantitative data on the dynamics of the river Ertis surface water area from the corresponding global surface water research datasets the Zone Statistics toolkit of the ArcGIS desktop program was used. Zone statistics is the calculation of statistical data (by pixels) within a specific zone (s). As zones, a mask in the sections of the Ertis floodplain was used. Using the methods of zonal statistics, the maximum area of the floodplain, the area of constant water and the area of seasonal water were determined.

When the source datasets were prepared, raster layers were classified by assigning them unique values. Table 1 presents the attribute characteristics of the objects and their key values, which are used to create and analyze the information on detected changes in surface water bodies for the purpose of mapping. These fields provide the necessary information, such as weights for each class (output data) and labels for each class (range labels).

For the "Yearly Water Classification" collection containing the raster datasets by year based on the repeatability of values detected during the year, the unique values from 0 to 4 are assigned (0 = no data, 1 = not water, 2 = seasonal water, 3 = permanent water).

Table 1 – Characteristics of object attributes for annual data (Yearly Water Classification)

| Band Name | Description | Label |
|--------------|--|---|
| Yearly_Water | Classification of seasonality of water throughout the year | 0 = no data, 1 = not water, 2 = seasonal water, 3 = permanent water |

The next step was to restore the gaps and redefine the cell classes (figure 2). In the "Yearly Water Classification" raster dataset collection, the indication "No data" (0 = no data) is an omission due to the lack of data or due to heavy clouds.

In order to ensure the proper coverage of water bodies, the "Water Recurrence" raster set (Water Recurrence Map) was used to eliminate a small imperfection in the annual raster data. The water recurrence map reflects the interannual variability of water availability. This map shows how often water returns from year to year (expressed as a percentage). Recurring water at 100% means that water is present every year from the beginning of the year of water observations. On the contrary, low percentages characterize the variability of water. Therefore, we believe that if the sum of repetitions of the observed

pixels is more than 75%, then the presence of water gives sufficient confidence that the water returned annually. Conversely, below 74%, the lack of the observation of the water is enough to demonstrate the seasonality of water or its absence.

In the presence of the water indication "NoData" in the year of observation, the following transitions were displayed:

- Permanent water surfaces equal to a value greater than 75%;
- Seasonal water surfaces are from 11 to 74%;
- Lost water surfaces with a value below 10%.

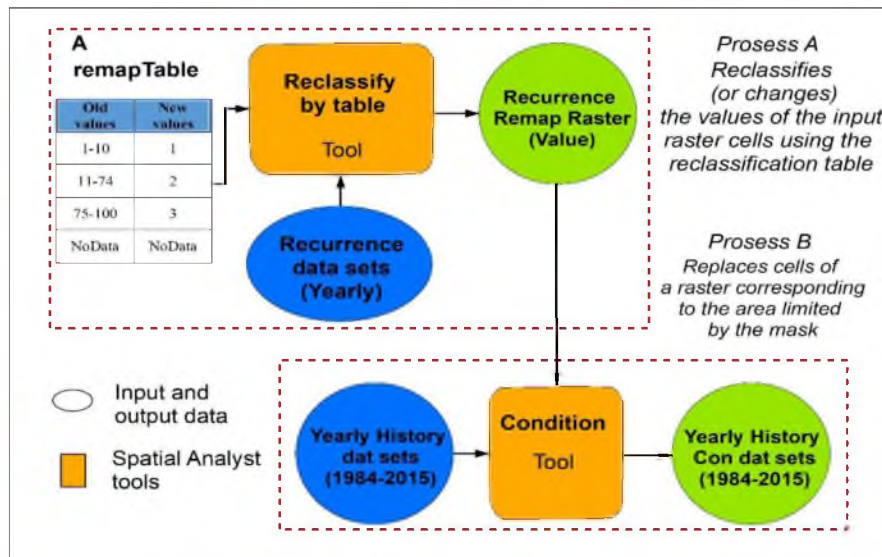


Figure 2 – Process “Restore Missing Pixels”

To eliminate the gaps in the source data, the RemapValue tool in conjunction with the Con tool was used, which allows you to change the NoData values in the raster to any desired value while maintaining the original values, other than NoData (figure 3), for the remaining cells. To reclassify the output raster of the raster dataset RemapValue, Reclassify (Spatial Analyst) was used as follows:

1. reclassfield = "Value"
2. remap = RemapValue ([[0,10,1],
3. [11,74,2],
4. [75,100,3]])
5. rasterlist = []

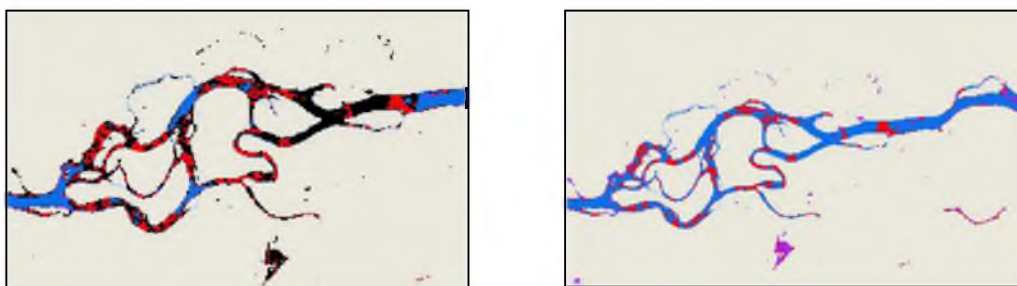


Figure 3 – The example of a raster after restoration (on the left - the original, on the right - the result of the restoration); black color indicates missing pixels

For example, to create a raster where the NoData areas (figure 3) were assigned to a specific value from the data set, while the other (NoData) cells retain their values, the procedure would be as follows:

1. inRaster1 = "Yearly_Water"
2. inRaster2 = "year2_2015",

3. inRaster3 = "Yearly_recurrence"
4. outCon = "C: / ArcGIS / output / outcon"
5. # Process: Con
6. arcpy.gp.Con_save (inRaster1, inRaster2, outCon, inRaster3, "Value = 0")

Calculation of surface water bodies areas. To study the temporal variability of surface water bodies, the Tabulate Area tool was used, which calculates a cross table of areas between two data sets and provides an area table as quantitative characteristics (table 2).

The principle of the "Tabulate Area" tool: If you know the size of the grid cell, then you can easily calculate the area occupied by each object (figure 4).

- In table 2: Z1 - nominal input layer - objects
- Z2 - new scalar type layer - area of objects

Table 2 – «Tabulate Area»

| | |
|----------------------|--|
| Z2 = objectArea (Z1) | the value in the cell of the Z2 layer is equal to the area of the object from the Z1 layer that includes this cell |
|----------------------|--|

For example: let the cell have a size of 100m * 100m = 1 hectare, then we get the area in hectares

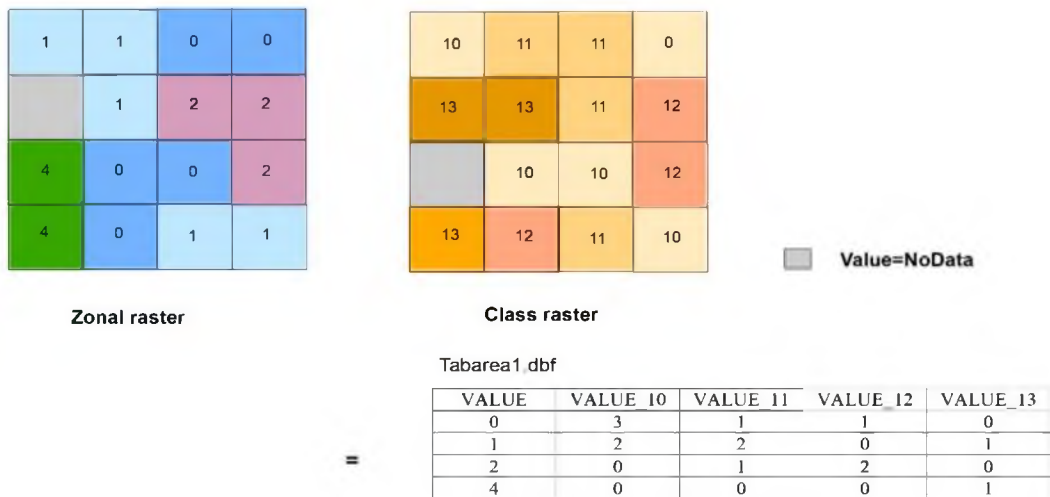


Figure 4 – Example of statistics “Tabulate Area”

As a result of the study, the method of monitoring the water surface area of the Ertis floodplain was defined in terms of annual average data based, from which the data of permanent (Min) and seasonal water (Max) areas were extracted from 2000 to 2015 (figure 5).

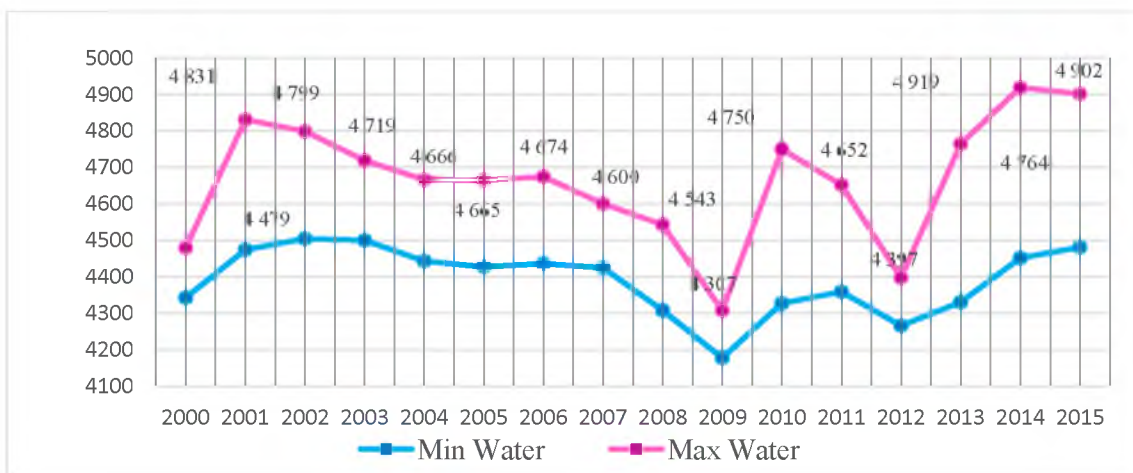


Figure 5 – Dynamics of the changes in the Ertis river water surface based on the archives of satellite images of Landsat satellites, (from the PRC border to the Bukhtarma water reservoir, km²)

Discussion. The analysis of the results showed that there is a problem for their use in the method of monitoring the surface area of the Ertis river floodplain associated with a large number of raster cells with a NoData value for individual months of individual years. Most of the raster cells with a NoData value is associated with the absence of separate Landsat 5 images for the territory of Kazakhstan for the period from 1984 to 1990 in the used remote sensing archive. Space images (from 1984 to 1999), which were characterized by high clouds, do not allow their use for assessing and monitoring the water surface.

Conclusion. Despite the above problems, for the data set "Yearly Water Classification" from 2000 to 2015 we got the water surface area of the floodplain areas of Ertis river (min = permanent water and max = seasonal water). With enough professional study of the water surface area of the floodplain, it is possible to get quite understandable, clear picture. The obtained results allow to analyze the distribution and changes of water bodies in Kazakhstan, including unexplored water bodies.

In view of the vastness of the river floodplains and the speed of its flooding processes, remote sensing data can be used to solve the problem. For land modeling and water management, it is advisable to have daily or more frequent information about water. The satellite remote sensing is only technology available to obtain such information over large areas.

**А. К. Толепбаева^{1,2,3}, А. А. Танбаева^{1,4}, Р. К. Карагулова^{1,2},
Г. М. Исканиева^{1,4}, А. А. Жакупова², Г. М. Уразбаева¹, Ян Ленчке⁵**

¹ География институты, Алматы, Қазақстан;

² Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

³ Satbayev University, Алматы, Қазақстан;

⁴ Қазақ Ұлттық Аграрлық Университеті, Алматы, Қазақстан;

⁵ Гумбольдт университеті, Берлин, Германия

LANDSAT АРХИВТІК ҒАРЫШТЫҚ ТҮСІРІЛІМДЕРІНІҢ НЕГІЗІНДЕ СУ БЕТІНІҢ ӨЗГЕРІСІН БАҒАЛАУ (ЕРТІС ӨЗЕНІ НЕГІЗІНДЕ)

Аннотация. Жер беті суларын сақтау және оларды тиімді пайдалану дүние жүзі бойынша ең өзекті мәселелердің бірі болып отыр. Әртүрлі елдердің ғалымдары ұсынған, жайылманы зерттеудің көптеген әдістемелері бар. Ғаламдық су тапшылығына байланысты, жер беті суының өзгеруін бақылау және жайылмалық аумақты судың басуын бағалау мақсатында ғарыштық түсірілімдерді пайдалана отырып, жер беті суларының картасы жасалып, ғаламдық база құрылып келеді. Қашықтықтан зондаудың мониторингтік деректерін өңдеудің негізінде құрылған ғаламдық деректер жыйынтығы су ресурстарының жылдар мен маусым арасындағы өзгеру динамикасын түсінуге мүмкіндік береді.

Біздің елімізде де ағындыға мониторинг жасау мен жайылма аумақтарындағы суды басу – өте маңызды сұрақтардың бірі. Бұл мақалада жерді қашықтықтан зондауда су бетін зерттеу үшін болып жатқан өзгерістерді көлемі мен уақыттық белгілерімен бейнелейтін, бағалауды жаңа деңгейде жүргізуге мүмкіндік беретін өңдеу әдістемесі қарастырылады.

Бұл мақаланың мақсаты – Жер беті сулары ауданының динамикасына мониторинг жасау мақсатында Landsat архивтік ғарыштық түсірілімдерін пайдалана отырып, деректер алу.

Жер беті суларын зерттеудің әдістемесін анықтау үшін, архивтік ғарыштық түсірілімдерді пайдалану кезіндегі мәліметтерді негізге ала отырып, табиғи су нысандарына мониторинг жасаудың қазіргі заманғы әдістері бойынша жарияланған мәліметтерге талдау жасалды, оларды жайылма аумақтардағы суды басу динамикасын зерттеу үшін қолдану мүмкіндіктері қарастырылды.

Талдау нәтижесінде Еуропалық комиссияның зерттеу орталығының жер беті суларын ғаламдық зерттеу (Global Surface Water Explorer) деректерін пайдалануға негізделген әдістеме анықталды. Жер беті суларын ғаламдық зерттеудің деректері жалпы қолжетімді.

Ғаламдық зерттеулер үшін Landsat 5TM, Landsat 7ETM+, Landsat 8OL жер серігінен алынған 1984 жылдың 16 наурызынан – 2015 жылдың 10 қазанына дейінгі 32 жылдық кезеңді қамтитын ғарыштық түсірілімдердің архиві пайдаланылды. Бұл түсірілімдердің кеңістік дәлдігі – 30 метр, 1984 жылдың наурыз айынан – 2015 жылдың қазан айына дейінгі жер беті сулары жайлы ақпараттардан тұрады, деректер жинағына 8 ай кіреді (наурыздан қазан айына дейінгі қар жоқ уақыттар).

Ертіс өзені жайылмасының су бетіне мониторинг жасау үшін жер беті суларының ғаламдық зерттеу деректері мен жайылманың құрылған қабығына алдын ала өңдеу жасалды.

Алынған нәтижелерді талдау, Ертіс өзені жайылмасының су бетінің ауданына мониторинг жасау әдістемесінде оларды пайдалануда проблемалар туындайтынын көрсетті, олар растрда жекелеген жылдар мен жекелеген айлардағы NoData (деректер жоқ) мәні бар ұшықтар санының көптігімен байланысты. Растрларда NoData (деректер жоқ) мәні бар ұшықтар санының көп болуы, жерді қашықтықтан зондтаудағы архивтік түсірілімдерде 1984 жылдан 1990 жылдар арасындағы кезеңде Қазақстан аумағында жоғары бұлттылықпен сипатталатын Landsat 5 жекелеген түсірілімдерінің болмауымен байланысты, су бетіне бақылау жасап, бағалауға мүмкіндік бермейді.

Жоғарыда айтылған мәселелерге қарамастан, біз «Yearly Water Classification» деректер жинағын пайдаланып, Ертіс өзені жайылмасының жекелеген участкелері бойынша 2000-2015 жылдар аралығындағы тұрақты (min=permanent water) және маусымдық (max=seasonal water) жер беті суларының аудандарын беретін су бетінің ауданын алдық.

Жеткілікті деңгейде кәсіби түрде зерттесе, жайылма участкелеріндегі су бетінің ауданы жайлы нақты, түсінікті бейнені алуға болады. Алынған нәтижелер Қазақстанның су нысандарының өзгеруі мен таралуына талдау жасауға, әсіресе, аса зерттелмеген су нысандары жайлы да деректер алуға жақсы мүмкіндік береді. Ұсынылып отырған нәтижені жер беті суларының динамикасы жайлы ақпараттарды қажет ететін көптеген жерлерге қолдануға болады.

Спутниктік қашықтықтан зондтау – үлкен аумаққа мұндай ақпараттарды алуда қолданылатын бірден-бір технология. Өзен жайылмасының кеңдігі мен онда болатын су басу процестерінің жылдамдығын ескере отырып, туындайтын проблемаларды шешуде жерді қашықтан зондтау (ЖҚЗ) деректерін пайдалану керек.

Түйін сөздер: ғаламдық деректер, қашықтан зондтау, Landsat, жер беті сулары, су басу.

**А. К. Толепбаева^{1,2,3}, А. А. Танбаева^{1,4}, Р. К. Карагулова^{1,2},
Г. М. Исканиева^{1,4}, А. А. Жақупова², Г. М. Уразбаева¹, Ян Ленчке⁵**

¹Институт Географии, Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

³Satbayev University, Алматы, Казахстан;

⁴Казахский национальный аграрный университет, Алматы, Казахстан;

⁵Гумбольдский университет, Берлин, Германия

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АРХИВОВ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ СПУТНИКОВ LANDSAT (НА ПРИМЕРЕ Р. ЕРТИС)

Аннотация. Сохранение поверхностных вод и их рациональное использование является одним из актуальных проблем во всем мире. Существует множество методик исследования поймы, предлагаемые учеными разных стран. Учитывая глобальный дефицит воды для мониторинга изменения поверхностных вод и оценки затопления пойменных территорий, используются космические снимки, картируются и создаются глобальные базы данных. Наборы глобальных данных, созданных на основе обработки мониторинговых данных дистанционного зондирования, позволяют понять особенности межгодовой и внутрисезонной динамики водных ресурсов.

В нашей стране мониторинг регулирования стока и затоплений пойменных территорий также является актуальным вопросом. В данной статье рассматривается методика обработки дистанционного зондирования для исследования водной поверхности, отражающих произошедшие изменения в величине и во времени, которая позволяет произвести оценку на новом уровне.

Цель этой статьи – получение данных водной поверхности путем использования архивов космических снимков спутников Landsat с целью мониторинга динамики площадей.

Для определения методики изучения исследований поверхностных вод был проведен анализ опубликованных материалов по современным методам мониторинга природных водных объектов на основе данных использования архивов космических снимков, изучены возможности их использования для исследования динамики затопления поймы.

В результате анализа была определена методика, основанная на использовании данных глобальных исследований поверхностных вод (Global Surface Water Explorer) исследовательского центра Европейской комиссии. Данные глобальных исследований поверхностных вод являются общедоступными.

Для глобальных исследований были использованы архивы космических снимков спутников Landsat за 32-летний период 5TM, Landsat 7ETM+, Landsat 8 OLI, полученные в интервале от 16 марта 1984 года до 10 октября 2015 года. Эти изображения содержат информацию о водной поверхности за период март 1984 - октябрь 2015 года, наборы данных за 8 месяцев (бесснежный период с марта по октябрь) с простран-

ственным разрешением 30 м. Использовали методы обработки и дешифрирования многозональных космических снимков.

Для мониторинга водной поверхности поймы р. Ертис была проведена предварительная обработка растровых наборов данных глобальных исследований поверхностных вод и созданного слоя поймы.

Анализ полученных результатов показал наличие проблемы для их использования в методике мониторинга площади водной поверхности поймы р. Ертис, связанные с большим количеством ячеек растров со значением NoData (нет данных) за отдельные месяцы отдельных годов. Большая часть наличия ячеек растров со значением NoData связана с отсутствием в использованном архиве ДДЗ отдельных снимков Landsat 5 на территории Казахстана за период с 1984 по 1990 гг. Космоснимки (с 1984 по 1999 гг.), которые характеризовались высокой облачностью, не позволяют их использование для оценки и мониторинга водной поверхности.

Несмотря на вышеизложенные проблемы, по набору данных «Yearly Water Classification» с 2000 по 2015 гг. мы получили площадь водной поверхности по участкам поймы р. Ертис, которая состоит из площади постоянной (min=permanent water) и сезонной водной поверхности (max =seasonal water) поймы р. Ертис по участкам.

При достаточно профессиональном изучении площади водной поверхности участков поймы можно получить вполне объяснимую, ясную картину. Полученные результаты позволяют анализировать распределение и изменение водных объектов Казахстана, в том числе и неизученных водных объектов. Представленные результаты демонстрируют высокий потенциал для различных применений, требующих информации о динамике поверхностных вод.

Для получения такой информации на большие территории спутниковое дистанционное зондирование является единственно возможной технологией. Учитывая обширность речных пойм и быстроту протекающих на них процессов затопления, для решения проблемы можно использовать данные дистанционного зондирования земли (ДДЗ).

Ключевые слова: глобальные данные, дистанционное зондирование, Landsat поверхностные воды, затопление.

Information about authors:

Tolepbayeva A.K., Researcher, PhD Doctoral student, Satbayev University, Institute of Geography, Senior Lecturer of the Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; akmaral1980@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2194-3142>

Tanbayeva A.A., PhD Doctoral student, Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan; tanbayevaagerim@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3083-4383>

Karagulova R.K., Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Head of Laboratory, Institute of Geography, Almaty, Kazakhstan; karagulovaroza@mail.ru;

Iskaliyeva G.M., PhD Doctoral student, Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan; adaika87@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3183-728X>

Zhakupova A.A., Candidate of Geographical Sciences, Senior Lecturer of the Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; aiman.zhakupova15@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7223-1172>

Urazbayeva G.M., Senior Researcher, Institute of Geography, Almaty, Kazakhstan; jamilya0502@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5555-4316>

Lentschke J., PhD, Scientific assistant, Humboldt-University, Berlin, Germany; jan.lentschke@geo.hu-berlin.de; <https://orcid.org/0000-0003-1816-8920>

REFERENCES

[1] Oki T., Kanae S. (2006) Global hydrological cycles and world water resources, *Science*, 313: 1068–1072. DOI: 10.1126/science.1128845 (in Eng.).

[2] Downing J.A., Prairie Y.T. et al. (2006) The Global Abundance and Size Distribution of Lakes, Ponds, and Impoundments, *Limnology and Oceanography*, 51 (5): 2388–2397. DOI:10.4319/lo.2006.51.5.2388 (in Eng.).

[3] Jung M., Reichstein M., et al. (2010) Recent decline in the global land evapotranspiration trend due to limited moisture supply, *Nature*, 467 (7318): 951. DOI:10.1038/nature09396 (in Eng.).

[4] Pereira H.M., Ferrier S., et al. (2013) Essential biodiversity variables, *Science*, 339 (6117): 277–278. DOI: 10.1126/science.1229931 (in Eng.).

[5] Yamazaki Dai, Mark A. Trigg, Daiki Ikeshima. (2015) Development of a global ~90 m water body map using multi-temporal Landsat images, *Remote Sensing of Environment*, 171: 337–351. DOI:10.1016/j.rse.2015.10.014 (in Eng.).

- [6] Absametov M.K., Adenova D.K., Nusupova A.B. (2019) Assessment of the impact of anthropogenic factors water resources of Kazakhstan // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. Vol. 1, N 433 (2019). P. 248-254. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.30> ISSN 2518-170X (Online), ISSN 2224-5278 (Print).
- [7] Hossain M.S., Madhusudan Debnath et al. (2013) Effects of climate change on Bangladesh water resources and using model for surface water assessment. International Conference on Climate Change Impact and Adaptation (I3CIA-2013) Center for Climate Change and Sustainability Research (3CSR), Department of Civil Engineering DUET - Gazipur, Bangladesh. 10 p.
- [8] Jean-François Pekel, Andrew Cottam, Noel Gorelick & Alan S. Belward. (2016) High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes, *Nature*, 540: 418-422. DOI:10.1038/nature20584 (in Eng.).
- [9] Yamazaki Dai, Kanae Shinjiro, Kim Hyungjun, and Oki Taikan. (2011) A physically based description of floodplain inundation dynamics in a global river routing model, *Water resources research*, 47 (4): 21. DOI:10.1029/2010WR009726 (in Eng.).
- [10] Sood A., Smakhtin V., etc. (2017) Global environmental flow information for the sustainable development goals, IWMI Research Report, 168: 37. DOI:10.5337/2017.20 (in Eng.).
- [11] Thakur Jay Krishna et al. (2017) Integrating remote sensing, geographic information systems and global positioning system techniques with hydrological modeling, *Appl Water Sci*, 7: 1595–1608. DOI:10.1007/s13201-016-0384-5 (in Eng.).
- [12] Gudina L. Feyisa, Henrik Meilby, etc. (2014) Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery, *Remote Sensing of Environment*, 140: 23-35. DOI:10.1016/j.rse.2013.08.029 (in Eng.).
- [13] Amamath G. (2014) An algorithm for flood inundation mapping from optical data using a reflectance differencing technique, *Journal of Flood Risk Management*, 7: 239-250. DOI:10.1111/ifr3.12045 (in Eng.).
- [14] Tulbure M.G. et al. (2016) Surface water extent dynamics from three decades of seasonally continuous Landsat time series at subcontinental scale in a semi-arid region, *Remote Sensing of Environment*, 178: 142–157. DOI:10.1016/j.rse.2016.02.034 (in Eng.).
- [15] Klein I. et al. (2017) Global WaterPack – A 250 m resolution dataset revealing the daily dynamics of global inland water bodies, *Remote Sensing of Environment*, 198: 345–362. DOI:10.1016/j.rse.2017.06.045 (in Eng.).
- [16] Andreas J. Dietz, Igor Klein. (2017) Detection of Water Bodies from AVHRR Data – A TIMELINE Thematic Processor, *Remote Sensing Letters*, 9 (1): 57. DOI:10.3390/rs9010057 (in Eng.).
- [17] Mueller N., Lewis A. et al. (2016) Water observations from space: Mapping surface water from 25 years of Landsat imagery across Australia, *Remote Sensing of Environment*, 174: 341–352. DOI:10.1016/j.rse.2015.11.003 (in Eng.).
- [18] Shan J., Hussain E., et al. (2019) Flood mapping and damage assessment – A case study in the state of Indiana. *Geospatial Technology for Earth Observation*. Springer, Germany. ISBN: 978-144190049-4. DOI:10.1007/978-1-4419-0050-0_18.
- [19] Heimhuber V. et al. (2018) Addressing spatio-temporal resolution constraints in Landsat and MODIS based mapping of large-scale floodplain inundation dynamics, *Remote Sensing of Environment*, 211: 307–320. DOI:10.1016/j.rse.2018.04.016 (in Eng.).
- [20] Dutta D., Vaze J., et al. (2017) Development and application of a Large Scale River System Model for National Water Accounting in Australia, *Journal of Hydrology*, 547: 124-142. DOI:10.1016/j.jhydrol.2017.01.040 (in Eng.).
- [21] <https://global-surface-water.appspot.com/>. Access date 11.03.2019.