

ISSN 2957-9856 (Online)

ISSN 2957-8280 (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІНІҢ ҒЫЛЫМ КОМИТЕТІ
«ГЕОГРАФИЯ ЖӘНЕ СУ ҚАУІПСІЗДІГІ ИНСТИТУТЫ» АҚ

КОМИТЕТ НАУКИ
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
АО «ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ
И ВОДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ»

SCIENCE COMMITTEE
OF THE MINISTRY OF SCIENCE AND
HIGHER EDUCATION
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
JSC « INSTITUTE OF GEOGRAPHY
AND WATER SECURITY»

**ГЕОГРАФИЯ ЖӘНЕ
СУ РЕСУРСТАРЫ**
◆
**ГЕОГРАФИЯ
И ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ**
◆
**GEOGRAPHY
AND WATER RESOURCES**

3

**ШІЛДЕ – ҚЫРКҮЙЕК 2025 ж.
ИЮЛЬ – СЕНТЯБРЬ 2025 г.
JULY – SEPTEMBER 2025**

**ЖУРНАЛ 2007 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 2007 ГОДА
THE JOURNAL WAS FOUNDED IN 2007**

**ЖЫЛЫНА 4 РЕТ ШЫҒАДЫ
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR**

АЛМАТЫ

АЛМАТЫ

ALMATY

Бас редакторы
география ғылымының докторы, ҚР ҰҒА академигі **А. Р. Медеу**

Бас редактордың орынбасары:
география ғылымының кандидаты **С. К. Алимкулов**, география ғылымының докторы **И. Б. Скоринцева**,
география ғылымының докторы **С. А. Тарихазер** (Әзірбайжан)

Редакция алқасы:
ҚР ҰҒА академигі, география ғылымының докторы **И. В. Северский**; PhD докторы, климатологияның қауымдастырылған профессоры **М. Шахгеданова** (Ұлыбритания); Еуропа мен Азиядағы Халықаралық ғылым академиясының академигі (IASEA), техника ғылымдарының докторы **Цуй Вэйхун** (Қытай Халық Республикасы); география ғылымының докторы **О. Б. Мазбаев**; география ғылымының докторы, профессоры **Б. А. Красноярова** (Ресей); география ғылымының докторы **Д. Т. Чонтоев** (Қырғызстан); география ғылымының докторы **Н. Ә. Әміргалиұлы**; геология-минералогия ғылымдарының докторы **М. Қ. Әбсаметов**; география ғылымының кандидаты **А. Л. Кокарев**; PhD докторы **А. С. Мадібеков**; геология-минералогия ғылымдарының кандидаты **Е. Ж. Мұртазин**; география ғылымының докторы **А. В. Чередниченко**; география ғылымының кандидаты **А. А. Тұрсунова**; география ғылымының кандидаты **М. М. Молдахметов**; география ғылымының кандидаты **Л. К. Махмудова**; география ғылымының кандидаты **А. С. Нысанбаева**

Главный редактор
академик НАН РК, доктор географических наук **А. Р. Медеу**

Заместители главного редактора:
кандидат географических наук **С. К. Алимкулов**, доктор географических наук **И. Б. Скоринцева**,
доктор географических наук **С. А. Тарихазер** (Азербайджан)

Редакционная коллегия:
академик НАН РК, доктор географических наук **И. В. Северский**; доктор PhD, ассоциированный профессор климатологии **М. Шахгеданова** (Великобритания); академик Международной академии наук Европы и Азии (IASEA), доктор технических наук **Цуй Вэйхун** (Китайская Народная Республика); доктор географических наук **О. Б. Мазбаев**; доктор географических наук **Б. А. Красноярова** (Россия); доктор географических наук **Д. Т. Чонтоев** (Кыргызстан); доктор географических наук **Н. А. Амиргалиев**; доктор геолого-минералогических наук **М. К. Абсаметов**; кандидат географических наук **А. Л. Кокарев**; доктор PhD **А. С. Мадібеков**; кандидат геолого-минералогических наук **Е. Ж. Муртазин**; доктор географических наук **А. В. Чередниченко**; кандидат географических наук **А. А. Тұрсунова**; кандидат географических наук **М. М. Молдахметов**; кандидат географических наук **Л. К. Махмудова**; кандидат географических наук **А. С. Нысанбаева**

Editor-in-Chief
Academician of the NAS of the RK, Doctor of Geographical Sciences **A. R. Medeu**

Deputy Editor-in-chief:
Candidate of Geographical Sciences **S. K. Alimkulov**, Doctor of Geographical Sciences **I. B. Skorintseva**,
Doctor of Geographical Sciences **S. A. Tarikhazer** (Azerbaijan)

Editorial Board:
Academician of the NAS of the RK, Doctor of Geographical Sciences **I. V. Severskiy**; PhD, Associate Professor in Climate Science **M. Shahgedanova** (UK); Academician of the International Academy of Sciences for Europe and Asia (IASEA), Doctor of Technical Sciences **Cui Weihong** (People's Republic of China); Doctor of Geographical Sciences **O. B. Mazbayev**; Doctor of Geographical Sciences **B. A. Krasnoyarova** (Russia); Doctor of Geographical Sciences **D. T. Chontoev** (Kyrgyzstan); Doctor of Geographical Sciences **N. A. Amirgaliyev**; Doctor of Geological and Mineralogical Sciences **M. K. Absametov**; Candidate of Geographical Sciences **A. L. Kokarev**; Doctor PhD **A. S. Madibekov**; Candidate of Geological and Mineralogical Sciences **Ye. Zh. Murtazin**; Doctor of Geographical Sciences **A. V. Cherednichenko**; Candidate of Geographical Sciences **A. A. Tursunova**; Candidate of Geographical Sciences **M. M. Moldakhmetov**; Candidate of Geographical Sciences **L. K. Makhmudova**; Candidate of Geographical Sciences **A. S. Nysanbayeva**

География и водные ресурсы
ISSN 2957-9856 (Online), ISSN 2957-8280 (Print)

Собственник АО «Институт географии и водной безопасности»

Подписной индекс для юридических лиц: **24155**

Свидетельство о регистрации издания № 8243-Ж от 5 апреля 2007 г. и перерегистрации № KZ48VPY00036995 от 23 июня 2021 г. выдано Комитетом информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан.

Включен в Перечень изданий, рекомендуемых Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан для публикации основных результатов научной деятельности, согласно приказу №288 от 29 февраля 2024 года.

Адрес редакции: 050000, г. Алматы, пр. Сейфуллина, 458/1.
Тел.: +7(727)279-21-13.

E-mail: journal.ingeo@gmail.com
Сайт: <https://ojs.ingeo.kz>

Геоинформационные технологии Геоақпараттық технологиялар Geoinformation technologies

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-3-3-10.27>

IRSTI 39.19:24

UDC 631.5

S. Turguldinova¹, Ye. Oryngozhin², M. Alimbay^{*3},
N. Miletenko⁴, U. Ramazanova⁵, A. Kuandykova⁶

¹ PhD student (Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan; turguldinova@list.ru)

² Doctor of Technical Sciences, Professor (Al-Farabi Kazakh National University, Institute of Mining named after D.A. Kunaeva, Almaty, Kazakhstan; e24.01@mail.ru)

^{3*} PhD student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; mederkul95@mail.ru),

⁴ Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher (Academician Melnikov Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources - IPKON, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; nmilet@mail.ru)

⁵ PhD student (Al-Farabi Kazakh National University Almaty, Kazakhstan; ramazanova.ud@gmail.com)

⁶ PhD student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; arailymemes@gmail.com)

MAPPING OF IRRIGATED LANDS IN AGRICULTURE USING GEOINFORMATION SYSTEMS

Abstract. The scientific article presents the basic information for the development of research using geographic information systems for mapping irrigated lands in agriculture. In the modern world it is impossible to do without the use of information systems technologies, as well as provisions of ecological reliability and environmental protection. In the CIS countries, including Russia, for the first time, the meanings of creating geoinformation systems (GIS) for individuals and legal entities were proposed to urgently create Internet networks and other GIS technologies. These geoinformation processes are based on scientific advances and initiatives to substantiate software technologies based on geoinformation systems. In our country, Kazakhstan, our vast lands stretch 1,600 km from north to south and 3,000 km from east to west, covering a large area. Therefore, the use of geographic information systems is extremely necessary. Among them are areas suitable for grazing livestock in agriculture and farms producing products on irrigated fields in the region. The soils of settlements along the Syrdarya River are suitable for growing rice. Therefore, conducting research using geographic information systems to map irrigated agricultural lands in Kazakhstan is an urgent task.

Keywords: agriculture, irrigated lands, mapping, geographic information system, research.

Introduction. If we consider Kazakhstan, our country is a large country in area, it ranks 9th in the world. The territory of Ulaanbaatak occupies a large space, stretching for 1,600 km from north to south and 3,000 km from east to west. The area is mainly suitable for grazing cattle. There are also farms in this area that produce on irrigated fields. The barren soils along the rivers are suitable for planting rice. Since the soil fertility in the region is generally low, irrigation requires the use of nitrogen, phosphorus and organic fertilizers. According to use and suitability, it is divided into the following types [1, 2]:

arable land,
irrigated fields,
fallow lands,
perennial woody plants,
meadows,

pastures,
garden and subsidiary plots.

It is obvious that GIS should be used for mapping irrigated areas of all agricultural territories.

A geographic information system (GIS) is not only a center for processing all databases, but also a basis for synthesizing all necessary data and information, combining them into a single system, and a key element in making strategic decisions in all industries and sectors of the economy.

Analysis of world experience shows that GIS plays an important role in assessing natural resources, creating infrastructure, improving the environment and effectively managing the ecosystem as a whole. The development of GIS technologies allows us to improve information technologies and use them to solve many economic problems necessary for human life [3-15].

GIS technology consists of three main parts - the applied technological basis of geographic information systems, the management of existing data by creating information systems, and the general management of GIS technologies by integrating various information into the database, as well as supporting cross- and multidimensional analyses.

Geographic information systems in the Republic of Kazakhstan have developed very well over the past ten years. GIS capabilities have been implemented to some extent in pilot projects of various ministries, departments and agencies, but mainly at the local level. There were no concepts for creating such systems. All this led to fruitless marking time. In general, the full implementation of GIS as one of the powerful analytical tools for supporting the development of the state economy was at an early stage [15-21]. The use of geographic information systems for mapping irrigated areas in agriculture is very convenient and reliable for obtaining complete information.

Materials and Methods. In the modern developed world, there is no activity that does not use information sources or does not use the concept of information. Without information technology, science in all areas is the main tool for development. There are currently many technologies that transform and improve GIS in all countries. Today, thanks to the use of modern measuring systems and modern technologies, the study of agricultural lands is undergoing significant changes. In this area, the use of GIS technologies for collecting and processing remote sensing data of large agricultural areas comes to the forefront and becomes an urgent task. Actively using products with GIS technologies in the study of agricultural lands, is the field of geospatial digital engineering. It is in this area that the need arises for design, safe use and solving land use issues using digital maps created in a single coordinate system. At present, scientists from modern developed countries have begun to pay attention to the creation of virtual maps. There are also a number of foreign software packages in this area, with the help of which, adapting to the daily changing economic situation, the system of creating realistic maps and field plans on the Internet is becoming increasingly widespread.

In recent decades, there has been a shortage of water resources at the global and regional levels, so it is necessary to manage using modern technologies. One of the effective tools for assessing and monitoring water resources is which allows you to study spectral and temporal variations for a more accurate assessment of the necessary information.

Microwave remote sensing data allowed us to estimate soil moisture. Groundwater is one of the most valuable natural resources, supporting human health, ecological diversity, and economic development. Overexploitation of this vital resource threatens our ecosystems and the lives of future generations. The application of GIS technology in groundwater hydrology is important for better understanding of geographic space and spatial information such as water sources, catchments, landforms, land use, soil cover, precipitation, temperature, humidity, soil condition and composition, geology, atmospheric conditions, human activities, environmental data, etc. It also describes the challenges and importance of groundwater and freshwater management. The integration of GIS methods allowed for the assessment of aquatic vegetation growth, salt marsh quality and floodplain degradation over time, as well as for the detailed study of source materials and the creation of a database [17, 18].

Data preparation and preprocessing: The first step in time series analysis is to import the data of interest and plot it on a map of the region of interest. We started by loading the Landsat 8 dataset and plotting the points in the region of interest. Additionally, a time field was created. The MaskL8sr function is a cloud camouflage function that uses Landsat 8 quality bands to mask any pixels that are hidden, obscured, or overloaded by clouds. This is a Landsat 8 satellite function. In fact, other platforms required different settings to use this function.

Click the Export button next to the chart to see an interactive view of it. You can also rotate some of the data points to see the relationships between them. A line connecting two points at a 45-degree angle indicates that they are consecutive data points (note that there are relatively few consecutive points). We also see relatively large spikes in the data, with an increase between late March and April and a drop at the end of August. The data varies slightly from year to year, but it can be assumed that this is due to seasonal rains in the spring and the wilting of leaves in the fall.

The linear regression function (Gearbox) can be used to perform many interesting time series analyses. To estimate linear trends over time, I consider the following linear model, where ϵ_t is the random error:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n + \epsilon_t.$$

We use this model to explain the upward or downward trend in the data by subtracting the observed values from the corresponding model values to determine the data. This trend model was fitted to the Landsat NDVI series using the ordinary least squares (OLS) method using the LinearRegression reducer.

The geographic information system is scientifically substantiated, analyzed, formed, used and applied to improve the basis of geographic information systems, and also provides programs with the necessary information for scientific, technological and industrial justification. In modern infrastructure, geographic information systems play a special role in the effective management of natural resources, the state of the environment and agriculture. The main function of GIS is called the analysis and collection of necessary data, creation of necessary databases, entering them into the systems in your computer, storing them for further use, processing all the data and transforming them for a specific presentation. GIS also allows you to re-display geoinformation based on the necessary data and creates cartographic schemes for a special industry, as well as formats and displays them in the form of tables and graphic text for convenient use at the right time. When using geographic information systems, a set of society sciences is used: digital cartography, automated control systems, planning of program works. Analyzing, we have identified and highlighted the following advantages and features of GAS [15, 16, 21-24]:

identify the necessary spatial information, compare the most appropriate measurements and data to obtain it;

be able to use the ArcGIS program and its capabilities.

ArcGIS is a GIS software suite, a developed and effective product of a modern, full-fledged GIS system. The fundamental uses of ArcGIS play a key role in strengthening GIS software, and its functions (the process of manipulating spatial data) are used in various industries and at various levels of agricultural work [15, 16, 21, 24-29].

It deals with issues of managing geographic information, its analysis and visualization in the form of geographic data sets, the structure of information about them, processes of modeling the geographic environment, as well as economics. Therefore, when creating a GIS program, it is envisaged to use modern equipment for collecting geographic data [15, 16, 21, 29-34]:

1. Geoinformation databases, farm databases, formation of their sets and presentation of the obtained information in a GIS program in the form of a common text model, including vector objects, rasters, topology, grids, etc.

2. Geovisualization is the creation of smart maps and other types of sets that model the relationships between spatial objects and objects on the Earth's surface. In addition, it is possible to create various maps, analyze the information on them, and create a "database window".

3. Geoprocessing is a set of tools for obtaining new geographic information from data using GIS, as well as a program that collects spatial data processing functions (geoprocessing) and stores the obtained results in a newly created information set by applying analytical functions to them [15- 16, 21, 25-26].

Results. The direction of development of GIS technologies in land management science, including the use of GIS systems for mapping irrigated lands in agriculture and thematic mapping using various data to identify its geographical features, is very relevant and enhances the use of modern GIS for the formation of thematic maps.

GIS applications in agriculture include monitoring of canopy biomass and vigor, drought stress, assessment of crop phenological development, cropland assessment and cropland mapping, mapping of disturbances and land use changes, and precision agriculture and irrigation management. The GIS-based mapping application helps to locate crops grown across the country and adjust various variables, monitor

the health of individual crops, estimate the yield in a particular field and maximize crop production. Using data collected through a variety of land-use tools, including mobile devices that can identify areas of food shortages and root causes of food insecurity, GIS plays a critical role in efforts to combat global hunger and is an integral part of automated field operations. Using data from sensors mounted on agricultural machinery can help make informed decisions when planning crops to increase productivity. Yields, topography, organic matter, moisture, and nutrient levels in the soil can help prepare for farming. Using GPS monitoring devices, it is possible to accurately measure crop yields, plant water content, and chlorophyll levels directly in the field. Geospatial technologies are essential for monitoring crop growth, identifying and managing various stresses, assessing crop yields, conserving natural resources, and increasing agricultural productivity. GIS plays a key role in identifying areas where crops and cropping patterns are changing and is a useful tool for crop research and mapping. Reliable and timely information on crop types, areas, and expected yields is essential for agriculture. Spectral information includes 9 aspects for crop modeling, which reflect the state and growth phases of plants. Crop maps are created by combining satellite images, geodetic survey data and providing useful data on the location of land plots for agribusiness, such as fertilizer companies. GIS can play an important role in scientific inventory of databases of various agricultural crops. Several studies have been reported using aerial photographs and digital image processing techniques. This helps to reduce the amount of field data collection and ensures high accuracy of estimation [2-16].

The history of GIS development shows that in previous periods, from the 1950-s to the 1970-s, significant advances were made in computing technology, i.e., in the development of GIS. At that time, electronic calculators, graph plotters, graphic displays, and various peripheral devices began to be used. During these years, during the development of GIS in the USA and Sweden, scientific research was carried out in the field of geography and spatial data, and numerical methods in the field of geoinformation analysis were proposed and developed at the forefront. Preparation of geoinformation for planned land management works of various scales was carried out using special scanning devices. In this direction, Canadian geoinformatics scientists began to offer new technologies based on GIS:

Automation of work with information in GIS programs, scanning of received graphic materials;

Thematic processing of information, division of data files by location of objects into thematic information files by common objects;

Performance of various cartometric operations, including calculation of areas of land plots.

The second stage of development - in the 1970-1980-s, GIS programs began to focus on the work of public administration systems and began to improve. The US Census Bureau was the first in the world to start working with GIS technology systems, that is, GIS began to develop in public administration. Then the topology and its significance were covered, the relationship of linear objects in mapping, the adjacency and intersection of objects, as well as their overlap and border with territorial objects were shown. In addition, these maps show node numbers and land parcel identifiers. A numbering and coding scheme for streets and squares was also presented. At these stages, most importantly, the effectiveness and relevance of the digitalization program was proven.

The 1980s and 1990s were the third period of rapid development. During this period, commercialization and market development became widespread. Various commercial programs were created and became available. Это развитие расширило сферу применения ГИС благодаря интеграции с геопространственными базами данных. The use of GIS expanded due to the development and integration of geospatial databases. They proposed design and engineering work using GIS in the direction of "nature management", identified and substantiated hardware and software, input of cartographic data, as well as requirements. In connection with this, the well-known ArcInfo program was created in these years. During these same years, the well-known ArcInfo program was created. The main advantage of the ArcInfo program is its availability and reliability for any technical operating system. ArcInfo was available for a variety of technical platforms and operating systems. ArcInfo also achieved great success in forestry applications [5, 6, 19-22].

The fourth stage of GIS development from 1990 to the present can be called modern. Competition in the sphere of using geoinformation technologies and their services has increased significantly. GIS users have a very wide choice on the market. The availability of GIS programs has increased, there is an opportunity for their modern openness, ease of use, and modification if possible [11, 22-31].

Discussion. The goal of modeling is to simulate a data set to solve a specific problem using the simplest possible model while taking into account the largest possible amount of data. The previous example was used to illustrate the concept of breaking a time series into components. Moreover, although the example includes values measured at the same scale throughout the time series, we often encounter situations where the measured value changes. Visual results can be distorted when vegetation cover changes abruptly due to atmospheric conditions (fog, soil moisture, cloudiness). It is important to understand the characteristics of both the data and the object of measurement. Building a time series model to understand cyclical changes in crops can provide useful information for understanding crop productivity, but if problems in the data are not taken into account, you may build a time series model with erroneous results. Many time series modeling tools, such as ARIMA modeling, are not directly applicable in certain settings due to unavailability of data, non-standard data collection periods, and variable intensities due to atmospheric conditions. We focused on understanding linear trends and harmonic modeling. Multi-temporal data in Earth Engine is represented as "image sets". The complexity factors discussed earlier are different from modeling time series analysis in Earth Engine. From a programming perspective, functions are created to aggregate data and reduce the time required to discover temporal relationships between elements in a set.

In Kazakhstan, the development of domestic GIS technologies reached its peak in the 1990s. In the course of their development, geographic information systems are finding ever wider application in such areas as technical and organizational processes, professional agriculture, geography, etc., as well as for information support for solving production problems. The main advantage of creating GIS software was the development of graphic information. Depending on the types of information and the tasks of its processing, special programs were developed, and a block process for editing information was developed. Thus, in the course of development of domestic GIS technologies, it was invented that in any editing program it is possible to automatically make changes to those parts of the drawing that contain the edited block. This has a positive effect on a significant reduction in labor costs for updating graphic documents.

Conclusion. Cartography is a science that studies the totality of natural and social phenomena, their interrelation and location, as well as their change over time, etc., using cartographic images. Star maps, globes and relief maps, their conventional designations in economics are called cartographic models. Its main areas [15, 16, 21-34]:

1. The subject of cartography, its methodology, cartographic projections, generalizations, as well as methods of their representation, conventional signs;
2. The science and history of cartography;
3. Cartographic data, their classification and theory of scientific information;
4. Technology of designing and producing maps;
5. Methodology of using maps.

Land condition mapping, in particular mapping of irrigated lands in agriculture, is carried out on a GIS technology platform. When mapping land plots, GIS technology models are used, as well as automated forms of GIS technology in cartographic work.

There is still little information about the transformation of the information obtained through GIS technologies, in particular, about the use of geographic information systems in mapping irrigated lands in agriculture. The algorithms and procedures for developing standards currently used can take into account the specifics of GIS technologies for a particular farm or their importance for mapping irrigated lands in agriculture:

- to solve structural problems of developing a computer algorithm;
- be able to perform standard processing procedures automatically;
- display data at different levels of detail;
- minimize human intervention in the process of solving specific problems.

The main tasks when using GIS technologies are: collecting data necessary for the work process, processing and updating them, storing, performing transformations, performing calculations and publishing. All of them are the main documents for consumers of GIS information.

In conclusion, several comments can be made that the presented work on the use of geographic information systems for mapping irrigated lands in agriculture is an additional contribution to the use of GIS in order to improve the level of knowledge and science in this area.

The development of modern society is impossible without GIS technologies. The use of GIS for mapping irrigated lands in agriculture is impossible without information on production, sales prices, etc. Therefore, the creation of GIS is the concentration of information in specialized GIS centers for wide and effective use by the population. Such GIS centers can be created in industry or private organizations. In addition, a GIS center can be created at the federal real estate cadastre agency, which is intended to provide individuals and legal entities with information about land plots and buildings located on them.

Therefore, it can be said that the main stage of the process of using geographic information systems for land use planning, including mapping of irrigated lands in agriculture, is the use of land use GIS. However, the role of land management does not end there. It should be considered as a system of measures, a process of implementing planned measures. Construction of roads for transition from one type of territorial organization to another, creation of perennial plantings, forest belts, placement of crop rotations, fields, working areas, regulation of boundaries, etc. is necessary, this is possible only on the basis of relevant projects. In addition, it is necessary to know the natural and economic conditions of land ownership and land use, conduct topographic and geodetic, soil and geobotanical and other studies, understand the state procedure for the reorganization of the territory, develop and approve a working project, and, if necessary, conduct an examination and supervision. From this point of view, land management can be considered as a system of measures to organize the rational use and protection of land, create sustainable landscapes and map irrigated lands in agriculture.

Of all the above, land management planning, including the use of geographic information systems for mapping irrigated lands in agriculture, is a unique, extensive and important area of scientific and practical land management activity.

REFERENCES

- [1] Restoration of damaged areas / P. N. Grishin, N. A. Mosienko and others. Saratov: MGAU publishing house, 2011. 236 p.
- [2] Protective afforestation / Pod ed. E. S. Pavlov. Agropromizdat, 2012. 263 p.
- [3] Guidelines for the design and cultivation of protective forest plantations on the lands of agricultural enterprises. M.: Kolos, 2011. 46 p.
- [4] Guidelines for the design and cultivation of protective forest plantations on the lands of agricultural enterprises. M.: Kolos, 2011. 335 p.
- [5] Forest reclamation with the basics of forestry. M.: Ear, 2012. 333 p.
- [6] Kolpakov V. V. Sukharev Agricultural reclamations/ Textbook for universities. M.: Kolos, 2012. 328 p.
- [7] Land reclamation and restoration workshop. Uch. allowance / Sost. N. S. Yerkhov, L. P. Kozochkina, T. Orderly. M.: GUZ, 2010.
- [8] Cheremisinov A. Yu., Revenkov A. I., Burlakov S. P. Restoration of damaged areas. Fly. allowance. M., 2010. 80 p.
- [9] Chernysheva A. P. Workshop on forestry and protective forestry. M.: Kolos, 2011. 152 p.
- [10] Oldroyd D. R., Grapes R. H. (2008) Contributions to the history of geomorphology and Quaternary geology: an introduction: 1-17.
- [11] Kleman J., Borgström I., Skelton A., Hall A. (2016) Landscape evolution and landform inheritance in tectonically active regions: the case of the Southwestern Peloponnese, Greece // *Zeitschrift Für Geomorphologie*. 60: 171-193.
- [12] Castelltort S., Whittaker A., Vergés J. (2015) Tectonics, sedimentation and surface processes: from the erosional engine to basin deposition // *Earth Surface Processes and Landforms*. 40: 1839-1846.
- [13] Zhang J. Y., Yin A., Liu W. C., Ding L., Xu X. M. (2016) First geomorphological and sedimentological evidence for the combined tectonic and climate control on Quaternary Yarlung river diversion in the eastern Himalaya // *Lithosphere*. 8: 293-316.
- [14] Marshall J. A., Roering J. J., Gavin D. G., Granger D. E. (2017) Late Quaternary climatic controls on erosion rates and geomorphic processes in western Oregon, USA // *GSA Bulletin* 129: 715-731.
- [15] Szabó J., Dávid L., Lóczy D. (2010) Anthropogenic geomorphology: a guide to man-made landforms. – Springer Science & Business Media, Netherland.
- [16] Ellis E. C., Fuller D. Q., Kaplan J. O., Lutters W. G. (2013) Dating the Anthropocene: towards an empirical global history of human transformation of the terrestrial biosphere // *Elementa: Science of the Anthropocene* 1, p. 000018. DOI: 10.12952/journal.elementa.000018
- [17] Tarolli P., Sofia G. (2016) Human topographic signatures and derived geomorphic processes across landscapes // *Geomorphology*. 255: 140-161.
- [18] Tarolli P. (2016) Humans and the Earth's surface // *Earth Surface Processes and Landforms*. 41 (15): 2301-2304.
- [19] Brown A. G., Tooth S., Bullard J. E., Thomas D., Chiverrell R. C., Plater A. J., Murton J., Thorndycraft V. R., Tarolli P., Rose J., Wainwright J., Downs P., Aalto R. (2017) The geomorphology of the Anthropocene: emergence, status and implications // *Earth Surface Processes and Landforms*. 42: 71-90.
- [20] Migoń P., Latocha A. (2018) Human impact and geomorphic change through time in the Sudetes, Central Europe // *Quaternary International*. 470: 194-206.

- [21] Goudie A. (2018) The human impact in geomorphology – 50 years of change // *Geomorphology*. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.12.002>
- [22] Tarolli P., Cao W., Sofia G., Evans D., Ellis E.C. (2019) From features to fingerprints: a general diagnostic framework for anthropogenic geomorphology // *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 43: 95-128.
- [23] Curebal I., Efe R., Soykan A., Sonmez S. (2015) Impacts of anthropogenic factors on land degradation during the anthropocene in Turkey // *J Environ Biol*. 36:51.
- [24] Borrelli P., Robinson D.A., Fleischer L.R., Lugato E., Ballabio C., Alewell C., Meusburger K., Modugno S., Schütt B., Ferro V., Bagarello V., Oost K.V., Montanarella L., Panagos P. (2017) An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion // *Nature Communications*. 8(1): 2013.
- [25] Tessler Z. D., Vörösmarty C. J., Grossberg M., Gladkova I., Aizenman H. (2016) A global empirical typology of anthropogenic drivers of environmental change in deltas // *Sustainability Science*. 11: 525-537.
- [26] Wang S., Fu B. J., Piao S., Lü Y., Ciais P., Feng X., Wang Y. (2016) Reduced sediment transport in the Yellow River due to anthropogenic changes // *Nat Geosci*. 9: 38.
- [27] Poeppl R. E., Keesstra S. D., Maroulis J. (2017) A conceptual connectivity framework for understanding geomorphic change in human-impacted fluvial systems // *Geomorphology*. 277: 237-250.
- [28] Csima P. (2010) Urban development and anthropogenic geomorphology // Szabó J., Dávid L., Lóczy D. (eds.) *Anthropogenic geomorphology*. Springer, Dordrecht.
- [29] Sidle R. C., Ziegler A. D. (2012) The dilemma of mountain roads // *Nature Geoscience*. 5(7): 437-438.
- [30] Penna D., Borga M., Aronica G. T., Brigandi G., Tarolli P. (2014) The influence of grid resolution on the prediction of natural and road-related shallow landslides // *Hydrology and Earth System Sciences*. 18(6): 2127-2139.
- [31] Ramos-Scharrón C. E. (2018) Land disturbance effects of roads in runoff and sediment production on dry-tropical settings // *Geoderma*. 310: 107-119.
- [32] Hromykh V. V., Hromykh O. V. *Cifrovye modeli rel'efa: uchebnoe posobie*. Tomsk, 2007 (in Russ.).
- [33] Molzhigitova D. K., Turganaliyev S. R., Usenova A. N., Izbasar Z. G., Bisengalieva L. V. Assessment of land use by small farms in fruit and vegetable growing // *Izdenister, netizheler – Research, results*. 2021. No. 1(89). IP. 149-156.
- [34] Ospanbaev Zh., Doszhanova A. S., Abdrazakov E., Kozhageldy E. Features of the formation of productivity of legendary crops under drip irrigation // *Research, results – Research, results*. 2021. No. 1(89). ISSN 2304-3334. P. 283-292.

**С. Тургульдинова¹, Е. Орынғожин², М. Әлімбай^{*3}, Н. Миленченко⁴,
У. Рамазанова⁵, А. Қуандыкова⁶**

¹ PhD докторант (Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан; turguldinova@list.ru)

² Техника ғылымдарының докторы, профессор (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Д.А. Қонаев атындағы Кен істері институты, Алматы, Қазақстан; e24.01@mail.ru)

^{3*} PhD докторант (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; nmilet@mail.ru)

⁴ Аға ғылыми қызметкер, т.ғ.к. (Жер қойнауын кешенді игеру проблемалары институты – ИПКОН РГА, Мәскеу, Ресей; mederkul95@mail.ru)

⁵ PhD докторант (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; ramazanova.ud@gmail.com)

⁶ PhD докторант (Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; arailymemes@gmail.com)

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫғыНДАғы СУАРМАЛЫ ЖЕРлерДІ ГЕОАҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕлерДІ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП КАРТАға ТҮСІРУ

Аннотация. Ғылыми мақалада ауыл шаруашылығындағы суармалы жерлерді картаға түсіру үшін геоақпараттық жүйелерді пайдалана отырып, зерттеулерді дамытудың негізгі мағлұматтары берілген. Қазіргі қоғамның дамуы ақпараттық технологияларды қолданбай мүмкін емес, өйткені кез-келген қызмет саласында шешім қабылдау үшін адамға қоршаған ортаның жай-күйі, тауарлар мен қызметтер нарығындағы тенденциялар, экологиялық жағдай және т. б. туралы өзекті білім қажет. Осыған байланысты Ресейде Internet және Intranet желілерін құру арқылы жеке және заңды тұлғалар арасында ақпарат алмасу процестерін жетілдіруге бағытталған бірқатар маңызды құжаттар қабылданады. Бұл процестерді іске асыру геоақпараттық жүйелерге негізделген технологияларға негізделуі керек. Еліміз Қазақстанд жер көлемі тұрғысынан салыстырған жеріміз кең, көлемі дүние жүзі бойынша тоғызыншы орын алады. Ұлан-байтақ территориясы терістіктен оңтүстікке қарай 1600 км, ал шығыстан батысқа қарай 3000 км аумаққа созылып үлкен кеңістікті қамтып жатыр. Аймақ негізінен мал жаюға қолайлы саналатын аумақ. Бұл өлкеде суармалы егістіктен өнім алатын шаруашалар да бар. Өзен бойларында орналасқан тақыр түстес топырақтар күріш егуге ыңғайлы. Топырақ құнарлығы жалпы облыс аумағында аз болғандықтан, суаратын кезде азоттың фосфорлық пен органикалық тыңайтқыштарды қолдану қажеттілігі туындайды

Түйін сөздер: ауыл шаруашылығы, суармалы жерлер, картаға түсіру, геоақпараттық жүйе, зерттеулер.

С. Тургулдинова¹, Е. Орынгожин², М. Әлимбаев³,
Н. Милетенко⁴, У. Рамазанова⁵, А. Қуандыкова⁶

¹ Докторант PhD (Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан; turguldinova@list.ru)

² Д.т.н., профессор (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Институт горного дела им. Д. А. Кунаева, Алматы, Казахстан; e24.01@mail.ru)

³ * Докторант PhD (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; mederkul95@mail.ru)

⁴ Старший научный сотрудник, к.т.н. (Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Мельникова – ИПКОН РАН, Москва, Россия; nmilet@mail.ru)

⁵ Докторант PhD (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; ramazanova.ud@gmail.com)

⁶ Докторант PhD (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; arailymemes@gmail.com)

КАРТИРОВАНИЕ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Дана основная информация для развития исследований с использованием геоинформационных систем для картографирования орошаемых земель в сельском хозяйстве. Развитие современного общества невозможно без использования информационных технологий, поскольку для принятия решений в любой сфере деятельности человеку необходима информация о состоянии окружающей среды, тенденциях рынка товаров и услуг, состоянии окружающей среды и др., нужны реальные знания. В связи с этим принят ряд важных документов, направленных на совершенствование процессов обмена информацией между физическими и юридическими лицами посредством создания сетей Интернет и Интранет в Казахстане. Реализация этих процессов должна основываться на базе геоинформационных систем. По площади Казахстан стоит на девятом месте в мире, его территория протянулась с севера на юг на 1600 км и с востока на запад – на 3000 км. Орошаемые земли используются для производства разнообразной сельхозпродукции, в том числе животноводческой. Бесплодные почвы, расположенные вдоль рек, пригодны для посадки риса. Поскольку плодородие почв в целом по региону низкое, при орошении возникает необходимость использования азотных, фосфорных и органических удобрений.

Ключевые слова: сельское хозяйство, орошаемые земли, картографирование, геоинформационная система, исследования.

Геоэкология

Геоэкология

Geoeology

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-3-11-22.28>

МРНТИ 87.15.15; 87.21.09; 87.19.15
УДК 504.53; 504.4.054

Р. А. Салимбаева¹, А. Н. Даулбаева^{*2}, Ж. Ы. Молдагазыева³, Ж. Ж. Есенкулова⁴

¹ К.э.н., ассоциированный профессор (НАО «Университет нархоз», Алматы, Казахстан; salimbaeva.rasima@narxoz.kz)

² *PhD, ассоциированный профессор (НАО «Университет нархоз», Алматы, Казахстан; almira.daulbayeva@narxoz.kz)

³ К.х.н., профессор (НАО «Университет нархоз», Алматы, Казахстан; zhanar.moldagazieva@narxoz.kz)

⁴ К.с.-х.н., профессор (НАО «Университет нархоз», Алматы, Казахстан; zhaukhar.esenkulova@narxoz.kz)

АНАЛИЗ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КАРАГАНДИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. Карагандинская область расположена в центральной части Казахстана, где идет интенсивная добыча и переработка рудно-минерального сырья, что приводит к высокому уровню загрязнения почвенного покрова различными поллютантами, особенно тяжелыми металлами. Различные токсиканты, содержащиеся в почве в результате естественных процессов миграции, как правило, попадают в поверхностные и подземные воды. Цель этой работы – проанализировать уровень загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова и поверхностных вод в моногородах Карагандинской области. Отбор почвенных образцов проводился согласно ГОСТ 17.4.4.02-84. При этом исследовано более 15 проб почвы, отобранных в определенных точках таких городов, как Темиртау, Балхаш и Шахтинск. Рассмотрены особенности распределения уровня загрязнения с 2020 по 2024 год. Анализ показал значительные превышения ПДК с учетом фона химических веществ в почве по таким показателям, как медь, цинк, свинец, кадмий и хром. Особенно высокие концентрации этих металлов обнаружены в г. Балкаше. Общее количество ингредиентов в поверхностных водах в моногородах Карагандинской области превышает ПДК, многие из них относятся к первому и второму классу опасности. Основные поллютанты – ртуть, медь, цинк, фенолы и нефтепродукты. Дана санитарно-химическая характеристика поверхностных вод рек Нура, Кара, Кенгир, Соқыр, Шерубайнура.

Ключевые слова: почва, поверхностные воды, загрязнители, тяжёлые металлы, ПДК, моногорода Карагандинской области.

Введение. Охрана окружающей среды в крупных промышленных центрах Республики Казахстан остается актуальной проблемой. Антропогенное воздействие на все земные оболочки с каждым годом увеличивается, вызывая необратимые процессы, которые усиливают деградацию экосистем различного уровня. Все это, в свою очередь, оказывает негативное воздействие на здоровье населения. Так, экологическое состояние самой крупной по территории области в РК – Карагандинской (428 тыс. км²) в значительной степени обусловлено именно антропогенными факторами. В области сосредоточено практически 100 % запасов марганцевых руд, 80% вольфрама, более 50% свинца, а также большие запасы редких и редкоземельных металлов, таких, как сурьма, висмут, никель, кобальт [1]. Основная часть черной, цветной и энергетической промышленности расположена в Центральном Казахстане, что приводит к ухудшению качества окружающей среды.

По данным проведенных исследований в почвах Карагандинской области наблюдались превышения ПДК, с учетом фона, по таким загрязнителям, как свинец и кадмий. При этом превышение свинца – 17,8% обнаружено в промышленных зонах, а кадмия – 4%, и загрязнение носило, как правило, точечный характер [2]. Наиболее загрязненная почва оказалась в районе Балхашского горно-металлургического комбината (БГМК). Здесь были выявлены высокие концентрации свинца – 12,7 ПДК, меди – 34,5 ПДК [3]. Свинец является наиболее агрессивным металлом с точки зрения реакционной способности по отношению к воде. Так, по данным [4], в артезианской воде близ города Жезказгана содержание свинца превышало норму в два раза (ПДК 0,03 мг/л), в открытых водоемах – в четыре раза. Помимо свинца и кадмия к химическим токсичным веществам, обнаруженным в почвах Карагандинской области, относятся хром, мышьяк, сурьма, таллий, бериллий [5].

Все эти элементы имеют тенденцию накапливаться в почвенных слоях, тем самым значительно ухудшая агрохимические и физико-химические свойства почвы. Структура почвы становится более плотной, что препятствует полноценной аэрации и водопроницаемости для корневой системы растений. Кроме того, избыточное накопление обозначенных веществ блокирует поступление других элементов (азота, фосфора), снижая доступность питательных веществ для растений. По данным исследования [6], высокие уровни свинца и кадмия в промышленных городах оказывают вредное воздействие на биологическую активность почвы, снижая её способность поддерживать растительность.

В связи с этим Карагандинскую область характеризуют как регион с высокими показателями заболеваемости и смертности населения [7]. По данным Министерства здравоохранения Республики Казахстан за 2023 год Карагандинская область занимает 3-е место по уровню смертности (9,44 на 1000 человек населения) после Северо-Казахстанской, Восточно-Казахстанской и Костанайской областей. Необходимо также отметить, что Карагандинская область занимает 8-е место из всех областей Казахстана по показателям смертности от злокачественных новообразований и 6-е место по смертности от болезней системы кровообращения за 2023 год, что составляет 188,62 на 100 тыс. человек. Довольно высокий уровень заболеваемости прослеживается уже длительное время на протяжении нескольких десятилетий (2003-2018 гг.) и имеет устойчивую динамику к росту, что в последнее время сильно беспокоит население [8].

Для создания более качественных условий проживания людей и снижения нагрузки на окружающую среду необходимо проводить мониторинг и давать объективную оценку сложившейся экологической ситуации. Только тогда может быть принято верное решение по урегулированию качественных и количественных показателей нагрузки на окружающую среду.

Цель работы – эколого-гигиеническая оценка загрязнения почвенного покрова и водных ресурсов моногородов Карагандинской области.

Основными задачами являются определение уровня загрязнения почвенного покрова и поверхностных вод Карагандинской области, а также среднего содержания основных загрязнителей и тяжелых металлов в почве и воде.

Материалы и методы исследования. Нами использован определенный комплекс стандартных методов – эколого-гигиенические, химические и статистические. При этом отбор проб почвенного покрова проводился согласно ГОСТ 17.4.4.02-84 «Отбор почв для химического анализа», где почвенные образцы отбирались на глубине 0-10 см конвертным методом смешанных образцов. Как правило, точки отбора располагались вдоль основных центральных автотрасс. Отбор поверхностных вод проводился конвертным или обычным методом с применением пластиковых тар согласно СТ РК ГОСТ Р 51592-2003. Аспирационный метод применялся в труднодоступных местах, не предназначенных для обычного забора воды, с помощью насоса.

Оценка и мониторинг за загрязнением почв тяжелыми металлами и поверхностных вод близ городов Балхаш, Темиртау, Шахтинск проводились на основании Национальных докладов о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов РК, ежегодных отчетов филиала РГП «Казгидромет» по Карагандинской области, информационных бюллетеней о состоянии окружающей среды Карагандинской области Министерства экологии и природных ресурсов РК.

В рамках исследования проанализированы концентрации тяжелых металлов — меди, хрома, цинка, свинца и кадмия в почвах с 2020 по 2024 год.

Выявлены загрязняющие ингредиенты поверхностных вод: хром, цинк, ртуть, кадмий, фенолы и нефтепродукты. Санитарно-гигиеническая оценка воды проводилась согласно «Санитарно-эпидемиологическим требованиям по охране поверхностных вод от загрязнения» № 506, от 2004 г. Анализы осуществлялись фотометрическим и атомно-адсорбционным методами, что позволило определить количество тяжелых металлов в воде и почвенных образцах в аккредитованной лаборатории ТОО «ЕcoPartnership».

С помощью программ MS Excel 2010 и STATISTICA 10 выполнены расчеты показателей по полученным данным.

Необходимо отметить резко континентальный климат Карагандинской области с холодной зимой и жарким летом. Такое сочетание влияет на формирование специфических характеристик почв, а также на их способность к регенерации и самоочищению. Поэтому при детальном анализе состояния почвенного покрова области, особенно содержания тяжелых металлов, необходимо учитывать и данное обстоятельство.

Результаты и их обсуждение. *Загрязнение почвенного покрова.* Приведем показатели основных загрязнителей почвенного покрова в моногородах Карагандинской области. На рисунке 1 показаны диаграммы средней концентрации тяжелых металлов в городах Балкаше и Темиртау с 2020 по 2024 год. Город Балкаш характеризуется самым высоким уровнем загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами – медь, хром, свинец, цинк и кадмий.

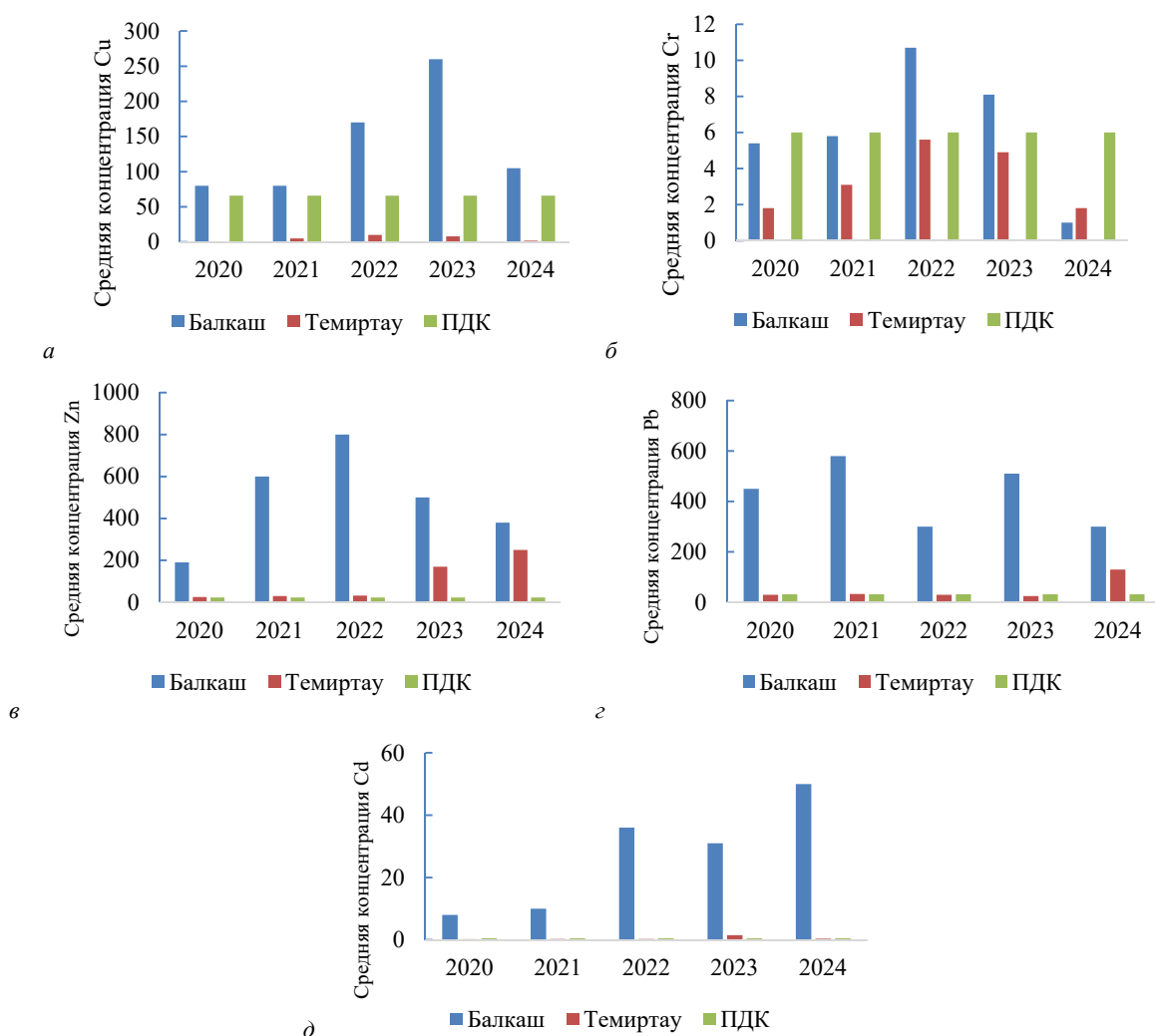


Рисунок 1 – Усредненные концентрации тяжелых металлов (Cu, Cr, Zn, Pb, Cd) в почвах на территориях городов Балкаш и Темиртау (2020-2024 гг.) [9]

Figure 1 – Average concentrations of heavy metals mg/kg (Cu, Cr, Zn, Pb, Cd) in soils in the territories of Balkhash and Temirtau in the period from 2020 to 2024 [9]

Из представленных диаграмм видно, что значительные колебания концентрации тяжелых металлов в Балкаше в разные годы сильно варьируют. Таким образом, самые высокие значения меди, более 250 мг/кг, были зарегистрированы в 2023 году, а более высокие концентрации хрома и цинка – в 2022 году. Концентрации свинца превышали средние значения в 2021 и 2023 годах, а средняя концентрация кадмия возрасла к 2024 году. Также в 2022-2023 годах наблюдается резкое увеличение выбросов или загрязняющих факторов. Такие колебания возможны по ряду причин: из-за климатических особенностей региона, техногенной нагрузки. С другой стороны, в Темиртау уровень загрязнения в основном остается в допустимых пределах, но к 2024 году было зарегистрировано увеличение концентрации свинца и цинка.

Для более детального анализа были составлены таблицы 1 и 2 среднегодового профицита ПДК, а также индекс загрязнения почв (ИЗП), позволяющий оценить общий уровень антропогенной нагрузки на территориях. Эти объединенные данные служат основой для определения приоритетных мер по экологическому восстановлению почвенного покрова с акцентом на наиболее токсичные элементы – кадмий и свинец.

Таблица 1 – Средние значения концентраций загрязняющих веществ в почвах г. Балкаша (превышение ПДК)

Table 1 – Average values of pollutant concentrations in soils of Balkhash (exceedance of MAC)

Год	Cu	Cr	Zn	Pb	Cd
2020	1,22*	0,89*	0,87*	14,1*	16,2*
2021	1,20*	0,96*	2,71*	18,1*	19,5*
2022	2,58*	1,79*	3,61*	9,19*	71,3*
2023	4,04*	1,34*	2,28*	15,9*	61,7*
2024	1,57*	0,15*	1,73*	9,17*	100,3*
<i>Примечание.</i> Здесь и в таблице 2 звездочка указывает во сколько раз имеется превышение.					

Из таблицы 1 можно понять, что в г. Балкаше сохраняются стабильно высокие уровни загрязнения по ряду тяжелых металлов. Особое внимание вызывает динамика содержания кадмия, концентрации которого в 2024 году превышали ПДК в 100,3 раза. Кроме того, концентрация свинца в течение этого периода поддерживается на очень высоком уровне, который в 9-18 раз превышает ПДК. Содержание меди и цинка в почвах повышаются периодически, особенно в 2022-2023 годах. Например, в 2023 году содержание меди превысило ПДК в 4,04 раза, а кадмия – в 61,7 раза, что свидетельствует о значительной техногенной нагрузке на почвенный покров. Так как кадмий является сопутствующим элементом переработки меди и полиметаллических руд, то выбросы пыли, попадающие в атмосферу во время обогащения и плавки руды, осаждаются в прилегающих районах. Кадмий, в свою очередь, обладает способностью накапливаться на поверхности почвы из-за слабой миграции в более глубокие слои.

Таблица 2 – Средние значения концентраций загрязняющих веществ в почве г. Темиртау (превышение ПДК)

Table 2 – Average values of pollutant concentrations in soils of Temirtau (exceedance of MAC)

Год	Cu	Cr	Zn	Pb	Cd
2020	0,03*	0,29*	0,10*	0,90*	0,94*
2021	0,05*	0,50*	0,11*	1,10*	0,80*
2022	0,14*	0,95*	0,13*	0,93*	1,34*
2023	0,12*	0,83*	0,75*	0,74*	1,94*
2024	0,04*	0,30*	1,10*	4,03*	1,48*

По данным таблицы 2, в Темиртау с 2020 по 2023 год концентрация большинства металлов в почве, за исключением кадмия и свинца, не превышала ПДК. В 2024 году наблюдался резкий рост концентраций свинца в 4,03 раза и цинка в 1,10 раза, что может указывать на местные источники загрязнения или изменения производственной нагрузки. В то же время показатели меди, хрома и цинка остаются на низком уровне и не вызывают серьезных экологических проблем.

В Балкаше уровень загрязнения, связанный с деятельностью БГМК, достаточно высок, а в Темиртау превышения имеют локальный и эпизодический характер, низкую интенсивность и масштабы. Результаты исследования говорят о необходимости разработки приоритетных мер экологической реабилитации в Балкаше и постоянного мониторинга в Темиртау.

Для наглядного представления уровня загрязненности почв тяжелыми металлами в городах Балкаше и Темиртау составлен график (рисунок 2), который показывает среднее содержания загрязнителей.

В течение периода исследования в почве были обнаружены такие тяжелые металлы – цинк, хром, свинец, медь и кадмий.

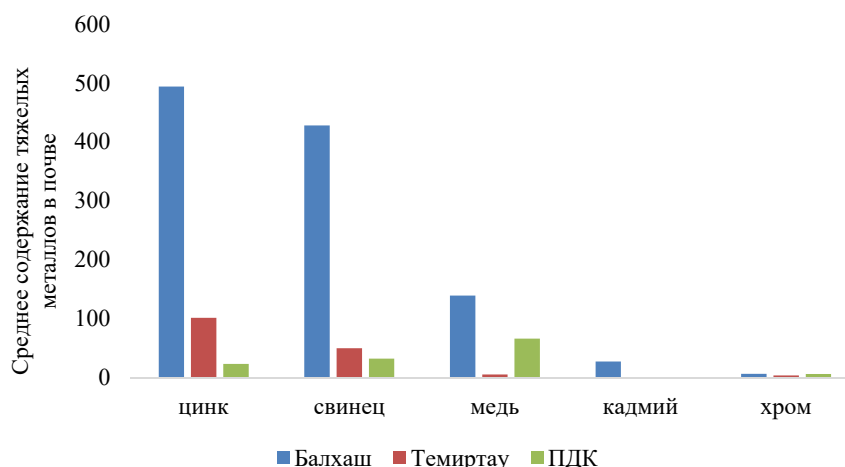


Рисунок 2 – Концентрация тяжелых металлов в почвах в городах Балкаше и Темиртау (2020-2024 гг.), мг/кг

Figure 2 – The concentration of heavy metals in soils in the cities of Balkhash and Temirtau (2020-2024), mg/kg

Из графика следует, что концентрация всех металлов в г. Балкаше достаточно высокая, особенно по содержанию свинца, цинка и меди, а в 2022-2024 годах наблюдались резкие скачки по ряду показателей:

кадмий – значительное повышение концентрации в 2022 году – 50 мг/кг;

цинк – резкий рост в 2022 году из-за выбросов, связанных с металлургической промышленностью;

медь – повышение концентрации в 2023 году – 260 мг/кг.

В Темиртау концентрации тяжелых металлов в почвах остаются относительно низкими и стабильными, но к 2024 году отмечалось увеличение по таким металлам, как свинец и цинк, что может указывать на рост техногенной нагрузки или изменение условий миграции загрязняющих веществ в почве.

Для более полного расчета проанализированы концентрации загрязнителей за декабрь и рассчитаны ранги, соответствующие средней концентрации каждого металла за указанный срок (таблицы 3-5) [10].

В результате исследований установлено, что в образцах, взятых в Балкаше, повышенное содержание таких металлов, как свинец, кадмий и медь, что можно объяснить близким расположением к БГМК. Индекс загрязнения почвы в регионе Балкаша колеблется от 4 до 7, что указывает на высокий уровень загрязнения. Этот факт требует принятия мер по улучшению состояния почвы с акцентом на снижение уровня содержания свинца и кадмия. ИЗП в Темиртау варьирует от 3 до 6, что также свидетельствует о достаточно высоком уровне загрязнения.

Для сравнения отобраны пробы почв в г. Шахтинске, где зафиксировано превышение ПДК свинца, кадмия и ртути из-за близости к предприятиям по добыче и переработке угля. Наибольшие опасения вызывает присутствие ртути как высокотоксичного элемента, который значительно снижает природный потенциал почвы. ИЗП для Шахтинска изменяется от 3 до 5, что указывает на высокий уровень загрязнения.

Таблица 3 – Средняя концентрация загрязняющих веществ в почве г. Балкаша

Table 3 – Average concentration of pollutants in the soil of Balkhash

Металл	Диапазон, мг/кг	Среднее значение, мг/кг	Ранг
Медь (Cu)	100-300	$(100+300)/2 = 200$	2
Цинк (Zn)	200-400	$(200+400)/2 = 300$	1
Свинец (Pb)	50-150	$(50+150)/2 = 100$	3
Кадмий (Cd)	1-5	$(1+5)/2 = 3$	4

Таблица 4 – Средняя концентрация загрязняющих веществ в почве г. Темиртау

Table 4 – Average concentration of pollutants in the soil of Temirtau

Металл	Диапазон, мг/кг	Среднее значение, мг/кг	Ранг
Железо (Fe)	До 10,000	$10,000/2 = 5,000$	1
Марганец (Mn)	500-1000	$(500+1000)/2 = 750$	2
Цинк (Zn)	150-300	$(150+300)/2 = 225$	3
Хром (Cr)	20-50	$(20+50)/2 = 35$	4

Таблица 5 – Средняя концентрация загрязняющих веществ в почве г. Шахтинска

Table 5 – Average concentration of pollutants in the soil of Shakhtinsk

Металл	Диапазон, мг/кг	Среднее значение, мг/кг	Ранг
Медь (Cu)	4500-10500	$(4500+10500)/2 = 7500$	1
Ртуть (Hg)	50-150	$(50+150)/2 = 100$	4
Свинец (Pb)	180-320	$(180+320)/2 = 250$	2
Кадмий (Cd)	120-280	$(120+280)/2 = 200$	3

Основываясь на расширенном анализе средней концентрации металлов в декабре 2024 года, можно сделать вывод, что в городе Балкаше отмечается самая высокая концентрация цинка в почвенном покрове (см. таблицу 3).

В Темиртау самое высокое среднее содержание железа, за ним следуют марганец, цинк и хром (см. таблицу 4). В Шахтинске наблюдаются самые высокие концентрации меди (см. таблицу 5). Это указывает на локальные и техногенные нагрузки, связанные с промышленной деятельностью в регионе.

Исследование включало оценку ИЗП, который учитывает наличие токсичных элементов выше ПДК и характеризует уровень антропогенного воздействия на почву.

Почвы всех трех изученных городов требуют комплексного подхода к снижению загрязнения тяжелыми металлами. Для этого необходимо:

уменьшить содержание тяжелых металлов в почве, в том числе путем известкования, реализовать меры биологической и химической стабилизации с применением фосфатных и органических удобрений, что будет способствовать снижению подвижности металлов;

использовать биосорбенты (глины, цеолиты, активированный уголь, биоуголь): они закрепят тяжелые металлы в верхних слоях почвы и уменьшат их доступность для растений, увеличат их миграцию в грунтовые воды;

применять фиторемедиации путем посадки растений, которые могут собирать и удалять из почвы тяжелые металлы (подсолнечник, горчица, люпин), а затем утилизация фиторемедиантов для уменьшения общей массы загрязняющих веществ;

после принятых мер нужно постоянно отслеживать состояние почвы и динамику изменения концентрации металлов.

Загрязнение поверхностных вод. Следующий этап исследования состоял в определении уровня загрязнения поверхностных вод Карагандинской области.

Такие загрязнители, как тяжелые металлы, сельскохозяйственные химикаты и промышленные сточные воды, могут проникать в системы питьевого водоснабжения. Это, в свою очередь, может привести к острым проблемам со здоровьем. Ключевой характеристикой воздействия химических веществ является их зачастую скрытый характер. Многие вредные вещества не вызывают немедленных симптомов, что может задержать распознавание и реагирование на них [11].

Необходимо отметить, что все реки Карагандинской области являются равнинными, в водном режиме которых прослеживается хорошо выраженное весеннее половодье с меженью в летний период, поэтому накопление поллютантов происходит в течение весеннего периода и аккумуляции в летний сезон. Основными водными источниками области являются:

реки Нура, Кара-Кенгир, Сокры, Шерубайнура;
водохранилища Самаркан и Кенгир;
озеро Балкаш.

В последние годы эти водоемы в контрольных створах классифицируются как умеренно загрязненные. В таблице 6 представлено качественное состояние водоемов Карагандинской области по Единой системе классификации качества поверхностных вод [9, 12].

Таблица 6 – Качество поверхностных вод Карагандинской области за 2024 г.

Table 6 – Quality of surface waters in Karaganda region for 2024

Водоем	Класс загрязненности	Загрязняющие вещества
Самарканское водохранилище	5 класс	Взвешенные вещества, нефтепродукты, медь, ртуть, железо
Река Нура	Выше 5 класса	Взвешенные вещества, фенолы, ртуть, нефтепродукты, нитриты
Река Сокры	Выше 5 класса	Марганец, аммоний-ион, азотсодержащие вещества, БПК
Шерубайнуринское водохранилище	2 класс	—
Река Шерубайнура	Выше 5 класса	Взвешенные вещества, марганец, нитриты, БПК
Озеро Балкаш	3 класс	Медь, цинк, нефтепродукты, фенолы, взвешенные вещества
Кенгирское водохранилище	2 класс	Нефтепродукты, фенолы
Река Кара-Кенгир	Выше 5 класса	Нефтепродукты, фенолы, цинк, марганец, аммоний ион

Согласно данным таблицы 6, Самарканское водохранилище имеет 5-й класс загрязненности. Предельно допустимые концентрации были зафиксированы по таким показателям, как нефтепродукты, медь, ртуть, железо [9]. Такие превышения обусловлены сезонностью поступления загрязнителей из верховий реки Нура, а также связаны с вторичным загрязнением из донных отложений вследствие деятельности производственных предприятий.

Река Нура имеет в некоторых створах уровень загрязнения, относящийся к 5-му классу, что указывает на высокую степень опасности. В воде присутствуют такие загрязняющие вещества, как фенол, ртуть, нефтепродукты, нитриты, взвешенные вещества. Наличие этих компонентов объясняется загрязнением водоема из Самарканского водохранилища, а также является следствием первичного и вторичного загрязнения. Примерами первичного загрязнения могут быть сбросы отходов производства, которые содержат различные химические вещества, нефтепродукты и тяжелые металлы, непосредственно в водоемы. Вторичное загрязнение связано с образованием новых загрязняющих веществ в результате химических и биологических процессов, где активное участие принимают первичные загрязнители, попадающие в воду. В результате образуются диоксины, хлорорганические соединения, наблюдается усиление бактериального загрязнения и т.д. Присутствие нитритов связано с деятельностью сельского хозяйства.

Уровень загрязнения реки Сокры также оценивается как высокий, на некоторых участках наблюдается повышенное загрязнение выше 5-го класса, возможно, вследствие слабой работы очистных сооружений на предприятиях, связанных с производством строительных и железобетонных изделий (ЖБИ Энергострой, KazBeton, СтройPoint и. т. д.). Превышения наблюдались по

азотсодержащим веществам, характерным для хозяйственных сточных вод, а также по биохимическому потреблению кислорода (БПК) [9].

Наиболее чистым водоемом области оказалось Шерубайнуринское водохранилище с показателем, относящимся ко второму классу соответствующей классификации чистых вод. Превышения предельно допустимой концентрации не обнаружено, что свидетельствует о высоком качестве водоема.

Одним из важнейших природных водоемов Карагандинской области является озеро Балкаш, класс загрязнения которого третий, что относится к умеренно загрязненной категории. В этом водоеме обнаружены медь, цинк, нефтепродукты и фенолы, что может быть вызвано несколькими факторами: техногенным загрязнением, нарушением гидрологического режима и антропогенной деятельностью.

Уровень загрязнения Кенгирского водохранилища относится ко второму классу, превышения зафиксированы по нефтепродуктам и фенолам. Такие виды загрязнений могут поступать с обогащенных предприятий, связанных с горнодобывающей и металлургической промышленностью (ТОО «Казахмыс»), и оказывать значительное влияние на качество воды.

Обсуждение. Согласно классификации вода реки Кара-Кенгир характеризуется как очень загрязненная. Здесь были обнаружены нефтепродукты, фенолы, цинк и медь.

Химические, физические и бактериальные характеристики воды определяют ее полезность для различных целей. Химический анализ поверхностных вод включает в себя определение концентраций неорганических веществ, pH и удельной электропроводности. Температура, цвет, мутность, запах и вкус оцениваются с помощью физического анализа. Бактериологический анализ обычно состоит из тестов для выявления присутствия микроорганизмов, образующих кишечную палочку.

Этот процесс включает систематический сбор данных, их анализ и интерпретацию для понимания концентрации загрязняющих веществ и их опасности для здоровья человека. Использование точных методов оценки может помочь в принятии регулирующих мер, информировании общественности и разработке эффективных стратегий восстановления.

Уникальной особенностью химического анализа является его способность обнаруживать широкий спектр загрязняющих веществ. Например, можно проводить тесты на нитраты, фосфаты и даже промышленные химикаты. К преимуществам относятся надежность и точность, которые необходимы для соблюдения нормативных требований.

Микробиологическое тестирование направлено на выявление и количественную оценку микроорганизмов в водоемах. Оно имеет жизненно важное значение в связи с потенциальной возможностью возникновения заболеваний, передаваемых через воду, которые могут быть вызваны бактериями группы кишечной палочки или патогенами. Особенность микробиологического тестирования заключается в его способности определять не только наличие вредных микроорганизмов, но и общее санитарное качество воды.

Физико-химические параметры водных объектов Карагандинской области по данным РГП «Казгидромет» приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Физико-химические параметры вод Карагандинской области [9]

Table 7 – Physicochemical parameters of waters in the Karaganda region [9]

Водоем	Температура, °C	Водородный показатель	Концентрация растворенного в воде кислорода, мг/дм ³	БПК ₅ , мг/дм ³	Прозрачность, см
Река Нура	0,2-23,6	7,20-7,94	6,71-12,01	1,09-2,34	20-26
Водоохранилище Самаркан	10,8-22,8	7,91-8,31	6,72-10,68	2,14-3,66	18-25
Река Соқыр	0,2-22	7,18	4,52	1,25	19
Река Шерубайнура	0,2-23	7,22	4,06	1,72	19
Озеро Балкаш	10,0-26,0	8,4-8,78	6,03-8,96	0,34-2,20	37-22
Кенгирское водохранилище	15,6-28,2	7,7-8,62	8,64-9,46	0,9-1,1	20-21
Река Кара-Кенгир	3,2-6,8	7,66-7,74	4,71-8,92	0,88-1,44	22-24

При изучении физико-химических параметров поверхностных вод в отбираемых пробах воды определяется ряд физико-химических показателей качества: температура воды, взвешенные вещества, прозрачность, растворенный кислород, водородный показатель, БПК.

Температурный режим оказывает влияние на растворимость кислорода, а также скорость химических реакций и активность биоты. Повышенная температура в летний период способствует понижению концентрации кислорода. По результатам анализа температура воды варьирует от 0 до 28 °С в зависимости от времени года.

По водородному показателю наблюдается незначительное превышение от нейтрального значения, равного 7, на реке Нура, Соқыр, Шерубайнура, Кара-Кенгир, отклонение – в водохранилище Самаркан, Кенгир и озере Балкаш. Отклонения от нормы могут быть связаны с геохимическими особенностями и следствием загрязнений.

Уровень концентрации растворенного в воде кислорода и биохимическое потребление кислорода (БПК₅) всех водоемов в пределах нормы. По прозрачности воды, характеризующей глубину проникновения света, наилучшие показатели у озера Балкаш, водохранилища Самаркан, рек Нура и Кара-Кенгир.

Качество воды в большинстве водоемов Карагандинской области находится в пределах третьего класса загрязненности [12]. Загрязнение воды в основном происходит за счет сбросов сточных вод от промышленных предприятий, а также вторичного загрязнения, вызванного накоплением загрязняющих веществ в донных отложениях. Вторичное загрязнение связано с образованием новых загрязняющих веществ в результате химических и биологических процессов, где активное участие принимают первичные загрязнители, попадающие в воду. В результате образуются диоксины, хлорорганические соединения, наблюдается усиление бактериального загрязнения и т. д.

В связи с этим необходимы постоянный контроль за сбросами сточных вод, а также восстановление экосистем водоемов, в том числе путем очистки донных отложений и улучшения работы очистных сооружений.

Представленные данные показывают влияние техногенной деятельности на качество водоемов Карагандинской области и необходимость ликвидации сбросов неочищенных сточных вод и реконструкции водоотводящих сетей.

Заключение. В г. Балкаше в почвенном покрове обнаружена самая высокая концентрация поллютантов: 494 мг/кг цинка, 428 мг/кг свинца, 27 мг/кг кадмия и 139 мг/кг меди.

Оценены диапазоны концентраций по каждому металлу и рассчитаны соответствующие ранги. Самый высокий диапазон в г. Балкаше показали медь – от 100-300 мг/кг, что соответствует второму рангу, и цинк – от 200-400 мг/кг, что относится к первому рангу. В Темиртау высокий диапазон показали железо – до 10 000 мг/кг, первый ранг, марганец – от 500-1000 мг/кг, второй ранг, и цинк – от 150-300 мг/кг, третий ранг. В Шахтинске в почвенном покрове обнаружены наибольшие концентрации меди, свинца, кадмия и ртути. Индекс почвенного загрязнения от 3 до 5, что говорит об умеренно высоком уровне загрязнения.

Индекс почвенного загрязнения (ИПЗ) в районе Балкаша составил от 4 до 7, что указывает на высокий уровень загрязнения, в Темиртау индекс варьируется от 3 до 6 – умеренно высокий уровень загрязнения.

Таким образом, во всех трех моногородах требуется комплексный подход в борьбе с загрязнением почв, включая биологическую и химическую стабилизацию загрязняющих веществ, использование сорбентов, а также фиторемедиацию.

Процесс био- и фиторемедиации включает в себя несколько этапов:

1. Оценку степени загрязнения территории, где определяется концентрация основных загрязнителей. Затем выбирают растения (фиторемедиация), которые устойчивы к тяжелым металлам и другим загрязнителям. Такие растения, как полынь и ива, подходят для долгосрочного восстановления почв г. Балкаша, а для почв г. Темиртау – тыква или масличная редька, которые эффективно накапливают кадмий и свинец.

2. Подготовка территории является следующим этапом, почве необходима определенная обработка, которая включает в себя аэрацию, внесение удобрений или, если понадобится, известкование.

3. Высаживание растений и мониторинг являются наиболее важным этапом, так как необходимо постоянно отслеживать рост и состояние растений, проводить анализ почвы для оценки эффективности снижения уровня загрязнения почвенного покрова. Далее необходимы уборка и утилизация растений, накопивших за этот период загрязняющие вещества.

4. Завершающий процесс включает в себя корректировку: если загрязнение достигло минимального уровня, то почвы относят к пригодным для использования.

Исследование загрязнения поверхностных вод показало, что в большинстве реки относятся к 3-му классу опасности, что определяет их как умеренно загрязненные.

Необходимо отметить, что, несмотря на умеренно загрязненную степень опасности, поверхностные воды Карагандинской области имеют в своем составе различные загрязнители. Так, р. Нура загрязнена фенолом, ртутью, нефтепродуктами, нитритами, а выше своего сброса – медью. Оз. Балкаш содержит довольно высокий уровень меди, цинка, фенола и нефтепродуктов. Источником такого высокого уровня загрязнения поверхностных вод Карагандинской области является с промышленное производство, а также интенсивное сельское хозяйство. Например, реки Шерубайнура, Сокур имеют высокую степень загрязнения азотсодержащими веществами, БПК и нитритами. Поэтому важность дальнейшего контроля за загрязнением почвенного и водного покрова Карагандинской области остается в приоритете.

Финансирование. Работа выполнена в рамках проекта АР № 23489358 «Разработка методики оценки устойчивости проектов в моногородах в контексте достижения Целей устойчивого развития» (НАО «Университет Нархоз»), финансируемого научным комитетом Министерства науки и высшего образования Республики Казахстана.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2020 год // Министерство экологии, геологии и природных ресурсов РК [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа URL: https://www.gov.kz/uploads/2022/1/21/195d4245b75123a2c2a6c3e3ed1ccb39_original.38998496.pdf
- [2] Обухов Ю. Д., Цешковская Е. А., Оралова А. Т., Алейников В. А., Цой Н. К. Оценка почв горнопромышленных районов на содержание тяжелых металлов (на примере Акмолинской и северной части Карагандинской области) // Труды университета. – 2023. – № 2(91). – С. 104-108.
- [3] Программа работ по разработке целевых показателей качества окружающей среды Карагандинской области ГУ «Управление природных ресурсов и регулирования природопользования Карагандинской области» ТОО «ЭКОЭКСПЕРТ».
- [4] Бөрібай Э. С., Молдағазыева Ж. Ы., Усубалиева С. Дж., Тыныбеков Б. М., Сүлейменова М. Ш. Оценка экологической обстановки промышленных территорий Карагандинской и Акмолинской областей // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1. – С. 70-80.
- [5] Сембаев Ж. Х., Хантурина Г. Р., Бактыбаева З. Б., Сулейманов Р. А., Валеев Т. К., Рахматуллин Н. Р. Загрязнение почвенного покрова горнорудных территорий Республик Казахстан и Башкортостан тяжелыми металлами // Медицина труда и экология человека. – 2019. – № 1. – С. 17-22.
- [6] Туkenova З. А., Алимжанова М. Б., Акылбекова Т. Н., Ашимулы К., Куандыкова А. Д. Экологическая оценка влияния тяжелых металлов на биологические свойства светло-каштановых почв юго-востока Казахстана // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 1. – С. 52-61.
- [7] Статистический сборник «Здоровье населения Республики Казахстан и деятельность организаций здравоохранения в 2023 году»: Министерство здравоохранения Республики Казахстан. – Астана, 2023. – <https://www.gov.kz/memleket/entities/dsm/documents/details/583047?lang=ru>
- [8] Нурмадиева Г. Т., Жетписбаев Б. А. Влияние экосистемы на здоровье человека в промышленно развитых регионах Казахстана // Наука и здравоохранение. – 2018. – Т. 20, № 4. – С. 107-132.
- [9] Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2020-2024 г. [Электронный ресурс]: Министерство охраны окружающей среды Республики Казахстан. РГП «Казгидромет». – Режим доступа URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayushchey-sredy>
- [10] Об утверждении критериев оценки экологической обстановки территорий (приказ и.о. министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан от 13 августа 2021 года, № 327. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 16 августа 2021 года № 23994).
- [11] Jessica Briffa, Emmanuel Sinagra, Renald Blundell. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans // Heliyon. – 2020. – № 6. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020315346>
- [12] Об утверждении единой системы классификации качества воды в водных объектах от 20.03.2024. – Режим доступа URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1600014513#z7>

REFERENCES

- [1] National report on the state of the environment and the use of natural resources of the Republic of Kazakhstan for 2020 // Ministry of Ecology, Geoecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan [Electronic resource]. 2020. URL: https://www.gov.kz/uploads/2022/1/21/195d4245b75123a2c2a2e3ed1ccb39_original.38998496.pdf (in Russ.).
- [2] Obukhov Yu. D., Tseshkovskaya E. A., Oralova A. T., Aleinikov V. A., Tsoi N. K. Assessment of soils of mining areas for heavy metal content (on the example of Akmola and northern parts of the Karaganda region) // Proceedings of the University. 2023. No. 2(91). P. 104-108 (in Russ.).
- [3] Work program for the development of target indicators of environmental quality in the Karaganda region State Institution "Department of Natural Resources and Nature Management Regulation of the Karaganda Region" LLP "ECOEXPERT" (in Russ.).
- [4] Boribay E. S., Moldagazyeva Zh. Y., Usabalieva S. J., Tynybekov B. M., Suleimenova M. Sh. Assessment of the environmental situation in industrial territories of the Karaganda and Akmola regions // Soil Science and Agrochemistry. 2020. No. 1. P. 70-80 (in Russ.).
- [5] Sembaev Zh. Kh., Khanturina G. R., Baktybaeva Z. B., Suleymanov R. A., Valeev T. K., Rakhmatullin N. R. Contamination of the soil cover of mining areas of the Republics of Kazakhstan and Bashkortostan with heavy metals // Occupational Medicine and Human Ecology. 2019. No. 1. P. 17-22 (in Russ.).
- [6] Tukenova Z. A., Alimzhanova M. B., Akyzbekova T. N., Ashimuly K., Kuandykova A. D. Ecological assessment of the influence of heavy metals on the biological properties of light chestnut soils in the southeast of Kazakhstan // Soil Science and Agrochemistry. 2022. No. 1. P. 52-61 (in Russ.).
- [7] Statistical collection "Health of the population of the Republic of Kazakhstan and the activities of health care organizations in 2023": Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Astana, 2023. <https://www.gov.kz/memleket/entities/dsm/documents/details/583047?lang=ru> (in Russ.).
- [8] Nurmadiyeva G. T., Zhetpisbayev B. A. The impact of the ecosystem on human health in industrially developed regions of Kazakhstan // Science and Healthcare. 2018. Vol. 20, No. 4. P. 107-132 (in Russ.).
- [9] Information bulletin on the state of the environment of the Republic of Kazakhstan for 2020-2024 [Electronic resource]: Ministry of Environmental Protection of the Republic of Kazakhstan. RSE Kazhydromet – Access mode: <https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayushchey-sredy> (in Russ.).
- [10] On approval of criteria for assessing the environmental situation of territories (Order of the Acting Minister of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan dated August 13, 2021. No. 327. Registered with the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan on August 16, 2021 No. 23994) (in Russ.).
- [11] Jessica Briffa, Emmanuel Sinagra, Renald Blundell. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans // Heliyon. 2020. No. 6. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020315346>
- [12] On approval of a unified system for classifying water quality in water bodies from 20.03.2024. Access mode URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1600014513#z7> (in Russ.).

Р. А. Сәлімбаева¹, А. Н. Дауылбаева^{*2}, Ж. Ы. Молдағазиева³, Ж. Ж. Есенқұлова⁴

¹ Э.ғ.к., доцент (Нархоз университеті, Алматы, Қазақстан; salimbaeva.rasima@narxoz.kz)

² *PhD., доцент (Нархоз университеті, Алматы, Қазақстан; almira.daulbayeva@narxoz.kz)

³ Х.ғ.к., профессор (Нархоз университеті, Алматы, Қазақстан; zhanar.moldagazieva@narxoz.kz)

⁴ Ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, профессор
(Нархоз университеті, Алматы, Қазақстан; zhaukhar.esenkulova@narxoz.kz)

ҚАРАҒАНДЫ ОБЛЫСЫ ТОПЫРАҚ ҚАБЫЛДАУЫ ЖӘНЕ СУ РЕСУРСЫНЫҢ ЛАСТАНУ ДЕҢГЕЙІН ТАЛДАУ

Аннотация. Қарағанды облысының аумағы Қазақстанның орталық бөлігінде орналасқан, мұнда кенді және минералды шикізатты қарқынды өндіру және өңдеу жүзеге асырылады, бұл топырақтың әртүрлі ластанушы заттармен, әсіресе ауыр металдармен ластануының жоғары деңгейіне әкеледі. Табиғи миграциялық процестер нәтижесінде топырақ құрамында болатын әртүрлі токсиканттар, әдетте, жер үсті және жер асты суларына түседі. Сондықтан бұл жұмыстың мақсаты Қарағанды облысының монокалаларындағы топырақ жамылғысы мен жер үсті суларының ауыр металдармен ластану деңгейін талдау болды. Топырақ сынамаларын іріктеу ГОСТ 17.4.4.02-84 бойынша жүргізілді, ал Теміртау, Балқаш және Шахтинск сияқты қалалардағы белгілі бір сынама алу орындарында 15-тен астам топырақ үлгілері зерттелді. 2020 жылдан 2024 жылға дейінгі кезеңде ластану деңгейінің таралу ерекшеліктерін зерттеу нәтижелері қарастырылды. Жүргізілген талдаудың бағасы топырақтағы фон, мг/кг химиялық заттардың құрамын ескере отырып, ШЖҚ-да айтарлықтай асып кетуді көрсетті, мыс, мырыш, қорғасын, кадмий және хром сияқты көрсеткіштер бойынша, әсіресе Балқаш қаласында осы металдардың жоғары концентрациясы анықталды. Қарағанды облысының монокалаларындағы жер үсті суларында болатын ингредиенттердің жалпы мөлшері ШРҚ-дан

асады, олардың көпшілігі бірінші және екінші қауіптілік кластарына жатады. Негізгі ластаушы заттар сынап, мыс, мырыш, фенолдар және мұнай өнімдері болды. Жер үсті суларының санитарлық-химиялық сипаттамасы берілген: Нұра, Қара, Кеңгір, Соқыр, Шерубайнұра өзендері.

Түйін сөздер: топырақ, жер үсті сулары, ластаушы заттар, ауыр металдар, ШПК, Қарағанды облысының моноқалалары.

R. A. Salimbayeva¹, A. N. Dauylbayeva^{*2}, Zh. Y. Moldagazyeva³, Zh. Zh. Yessenkulova⁴

¹Candidate of Economic Sciences, Associate Professor (Narxoz University, Almaty, Kazakhstan; salimbaeva.rasima@narxoz.kz)

^{2*}PhD., Associate Professor (Narxoz University, Almaty, Kazakhstan; almira.daulbayeva@narxoz.kz)

³Candidate of Chemical Sciences, Professor (Narxoz University, Almaty, Kazakhstan; zhanar.moldagazieva@narxoz.kz)

⁴Candidate of Agricultural Sciences, Professor (Narxoz University, Almaty, Kazakhstan; zhaukhar.esenkulova@narxoz.kz)

ANALYSIS OF SOIL AND WATER POLLUTION LEVELS IN KARAGANDA REGION

Abstract. The territory of the Karaganda region is located in the central part of Kazakhstan, where intensive mining and processing of ore and mineral raw materials takes place, which leads to a high level of soil pollution with various pollutants, especially heavy metals. Various toxicants contained in the soil as a result of natural migration processes, as a rule, end up in surface and groundwater. Therefore, the purpose of this work was to analyze the level of heavy metal pollution of the soil cover and surface waters in single-industry towns of the Karaganda region. Soil sampling was carried out in accordance with GOST 17.4.4.02-84, while more than 15 soil samples were studied, collected at certain sampling points in such cities as Temirtau, Balkhash and Shakhtinsk. The results of the study of the features of the distribution of the pollution level in the period from 2020 to 2024 are considered. The assessment of the conducted analysis showed significant excesses in the MAC taking into account the background, mg / kg of chemical substances in the soil, for such indicators as copper, zinc, lead, cadmium and chromium, especially high concentrations of these metals were found in the city of Balkhash. The total amount of ingredients present in surface waters in single-industry towns of the Karaganda region exceeds the MAC, many of which belong to the first and second hazard classes. The main pollutants were mercury, copper, zinc, phenols and oil products. The sanitary and chemical characteristics of surface waters are given: the Nura, Kara, Kengir, Sokyr, Sherubaynura rivers.

Keywords: soil, surface water, pollutants, heavy metals, MAC, single-industry towns of the Karaganda region.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-3-23-33.29>

FTAMP 87.35.29
ӘӨЖ 556

Г. З. Бижанова¹, М. М. Абдибаттаева², У. Ш. Мусина³,
Л. С. Курбанова^{*4}, Б. Х. Тусупова⁵

¹ Докторант (Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; *bgz2017@mail.ru*)

² Т.ғ.д., доцент (Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; *maral7676@mail.ru*)

³ Т.ғ.к., доцент (Satbayev University, Алматы, Қазақстан, *07061960@mail.ru*)

^{4*} Т.ғ.к., аға оқытушы (Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; *k_lau@mail.ru*)

⁵ Т.ғ.к., аға оқытушы (Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;
tussupova@yandex.ru)

ТАБИҒИ СОБРЕНТТЕР: СУДЫ ТАЗАРТУДЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ БАЛАМАСЫ

Аннотация. Су ресурстарына түсетін жүктеменің артуы және сарқынды сулардың сапасына қойылатын талаптардың күшеюі жағдайында оларды тазартудың экологиялық жағынан қауіпсіз әрі экономикалық жағынан тиімді әдістерін әзірлеу мен жетілдіруге ерекше назар аударылуда. Осы шолу мақаласында сарқынды сулардан әртүрлі ластаушы заттарды жою үшін табиғи сорбенттерді қолдану мүмкіндіктері қарастырылады. Сарқынды суларды тазартуда табиғи сорбенттерді қолдануға арналған ғылыми зерттеулерге талдау жүргізілді. Цеолиттер, бентонит, шунгит, диатомит және балшықтар сияқты табиғи материалдар мен олардың ластағыштармен әрекеттесу механизмдеріне қатысты заманауи зерттеулерге шолу жасалды. Зерттеудің әдістемелік негізі ретінде соңғы он жыл ішінде жарияланған отандық және шетелдік ғылыми еңбектердің талдауы алынды. Жүргізілген шолу негізінде сарқынды суларды тазарту процестерінде пайдалану үшін перспективалы табиғи сорбенттердің бірі ретінде Қазақстан кен орындарындағы диатомиттерді тереңдетіп зерттеудің орындылығы туралы қорытынды жасалды. Жүргізілген шолу экологиялық тұрғыдан қауіпсіз су тазарту технологиялары саласындағы ғылыми білімді кеңейтіп, қолданыстағы тазарту жүйелерінің тиімділігін арттыруға бағытталған жаңа шешімдерді әзірлеуге негіз бола алады.

Түйін сөздер: табиғи сорбенттер, сарқынды сулар, диатомит, экология.

Кіріспе. Қоршаған ортаның ластануы – жедел шешімдер мен тиімді технологияларды талап ететін ең өзекті жаһандық мәселелердің бірі болып қалуда. Сарқынды суларды тазартудың түрлі тиімді технологиялары жақсы нәтиже көрсетуде, алайда олар ресурстардың көп шығындалуымен және екінші реттік ластанудың пайда болуымен бірге жүреді.

Судың негізгі ластаушы көздері болып индустриализация, урбанизация, ауыл шаруашылығы қызметі, сондай-ақ басқа экологиялық және ғаламдық өзгерістер табылады. Су ресурстарына теріс әсер ететін бірнеше жүздеген органикалық ластаушы заттар анықталды.

Ластаушылар (органикалық және бейорганикалық) су ресурстарының эстетикалық құндылығын төмендетеді, эвтрофикацияны тудырады және тірі организмдер үшін мутагенді және канцерогенді потенциалға ие болып саналады.

Әрбір ел қоршаған ортаны қорғау мақсатында сарқынды суларды тазартудың табиғи технологияларына басымдылық беруі тиіс. Ластаушы заттардан сарқынды суларды тазартудың ең бір перспективті тәсілдердің бірі сорбенттерді қолдану болып саналады [1].

Сарқынды суларды тазартуға арналған сорбенттер – бұл судан ластаушы заттарды адсорбциялау арқылы сіңіріп немесе жоятын материалдар [2]. Оларды шығу тегі мен химиялық табиғатына байланысты бірнеше түрге бөлуге болады: табиғи сорбенттер, синтетикалық сорбенттер, биосорбенттер, наносорбенттер және композиттік сорбенттер. Бұл сорбенттердің әрқайсысының кеуектілік, химиялық тұрақтылық, қалпына келтірілу қабілеті мен құны сияқты өзіндік ерекшеліктері бар. Бұл қасиеттер олардың сарқынды судың түріне және қажетті тазарту нәтижесіне байланысты таңдалуына әсер етеді.

Табиғи сорбенттер – бұл табиғатта кездесетін, ластаушы заттарды адсорбциялау немесе абсорбциялау қабілеті бар заттар. Олар улы заттарды, органикалық қосылыстарды, ауыр метал-

дарды және басқа да ластаушы заттарды жоюда тиімді қолданылады. Табиғи сорбенттердің негізгі сипаттамаларына жоғары меншікті беткі аумақты қамтуы, кеуекті құрылым, экологиялық қауіпсіздік, сондай-ақ төмен баға мен қолжетімділік жатады. Табиғи сорбенттерді үш негізгі топқа жіктеуге болады: минералды (цеолиттер, бентониттер, саздар), органикалық (шымтезек, ағаш көмірі, өсімдік биомассасы), композиттік (табиғи компоненттер негізіндегі аралас материалдар).

Зерттеудің өзектілігі су ресурстарының ластануының артуымен байланысты, бұл тиімді және экологиялық қауіпсіз тазарту әдістерін әзірлеуді талап етеді. Табиғи сорбенттер сарқынды сулардан ластаушы заттарды жою үшін перспективті материалдар болып табылады, бұл олардың экологиялық тәжірибеде қолдануда маңызды орын алуына себеп болады.

Зерттеудің мақсаты – сарқынды суларды тазартуда сорбенттерді қолдану туралы заманауи әдебиеттерге талдау жасау.

Зерттеу нысаны – табиғи сорбенттер, ал зерттеу саласы – олардың судан ластаушы заттарды жою қабілеті.

Қолжетімді табиғи материалдарды, мысалы, саздарды, цеолиттерді, ағаш көмірін, шунгиттерді, бентонитті, диатомиттер мен шымтезекті қолдануға бағытталған зерттеулер, олардың экологиялық қауіпсіздігі мен ластаушы заттарды жоюдағы жоғары тиімділігі арқасында кеңінен тарайды.

Қоршаған ортаның ластануымен байланысты, қазіргі экологиялық мәселелер суды тиімді тазарту әдістерін қажет етеді. Осындай шешімдердің бірі – табиғи сорбенттерді пайдалану. Мұндай мәселелерді шешудің бірі – кеуекті құрылымы мен химиялық қасиеттерінің арқасында ластаушы заттарды өзіне тартып сіңіре алатын табиғи сорбенттерді қолдану болып табылады.

Қазақстан Республикасының су ресурстарын басқару жүйесін дамытудың 2024-2030 жылдарға арналған тұжырымдамасына сәйкес, елдегі жерүсті су нысандары тау-кен, металлургия және химия өнеркәсібі, ауыл шаруашылығы мен коммуналдық қызметтер тарапынан қарқынды түрде ластанып жатыр. Елде су бұру жүйелерінің қолжетімділігі бойынша айтарлықтай артта қалушылық байқалады: елді мекендердегі ағынды сулардың небәрі 29 %-ы ғана төгу алдында екінші реттік тазартудан өтеді, ал Ұлыбританияда бұл көрсеткіш 94 %-ды, Израиль мен Сингапурда 100 %-ды құрайды [3].

Зерттеу материалдары мен әдістері. Сарқынды суларды табиғи сорбенттерді қолдану арқылы тазартуға арналған зерттеудің материалдары мен әдістері материалдарды таңдауды, әртүрлі тазарту тәсілдерін қолдануды және олардың тиімділігін талдауды қамтиды [4]. Сонымен қатар, табиғи сорбенттерді қолданудың тиімділігі оларды тазарту құрылғыларының құрылымына да байланысты. Сорбциялық сүзгілер, ағынды сүзу модульдері және реакторлар сияқты әртүрлі инженерлік шешімдер сарқынды суларды тазартуда табиғи сорбенттерді толық пайдалану үшін қолдануға болады.

Тиісті зерттеулерді іздеу – табиғи сорбенттермен сарқынды суларды тазарту үшін қолдануға арналған өзекті еңбектерді анықтау мақсатында, отандық және халықаралық әдеби көздер, ғылыми журналдар, сондай-ақ Scopus, Web of Science, сондай-ақ ресми нормативтік құжаттар мен басқа да басылымдар арқылы жүргізілді. Бұл шолу соңғы 10 жылда жарияланған жұмыстарды талдай отырып, табиғи сорбенттерді қолдану бойынша жинақталған білімді жүйелеуге бағытталған.

Мақалада табиғи сорбенттердің кейбір топтары қарастырылып, олардың физика-химиялық қасиеттері, сорбциялық механизмі, құрылымдық ерекшеліктері мен қолдану аймақтары жүйеленген. Модификацияланған сорбенттердің тиімділігіне және олардың сорбциялық қасиеттерін арттыру әдістеріне назар аударылады.

Нәтижелер және оларды талқылау. Соңғы жиырма жылда сорбция әдісі ластаушы заттардың, микроорганизмдердің, бояғыштардың және ауыр металл иондарының жоғары концентрациясы бар өндірістік сарқынды суларды тазартуда ерекше маңызға ие болды.

Сорбенттерді таңдауда тек ластаушы заттардың мысалы, ауыр металдар, органикалық қосылыстар немесе радиоактивті элементтер сияқты түрлерін ғана емес, сонымен қатар сорбенттердің физика-химиялық қасиеттерін де ескеру қажет. Мұндай қасиеттерге кеуектілік, химиялық тұрақтылық, адсорбциялық сыйымдылық және қалпына келтірілу қабілеті жатады. Мысалы, металл иондарын жою үшін жоғары сорбциялық қабілеті бар цеолиттер, активтелген көмір және табиғи саздар жиі қолданылады. Ал органикалық заттар мен уытты қосылыстарды тазарту үшін синтетикалық полимерлер мен көміртекті сорбенттер кеңінен пайдаланылады.

Маңызды факторлардың бірі – сорбенттің құны, қолжетімділігі және оны бірнеше рет қайта пайдалану мүмкіндігі. Өртүрлі ортада сарқынды суларды тиімді тазартудың мүмкіндігін арттыру үшін, кей жағдайларда сорбенттердің адсорбциялық бетінің аумағын арттыру немесе химиялық әсерлерге төзімділігін жоғарлату мақсатында олар модификациялауға ұшырайды.

Сорбция – қатты материалдардың сұйық ортадан ластаушы заттарды сіңіру қабілетіне негізделген, сарқынды суларды тазарту барысында қолданылатын негізгі үдерістердің бірі. Бұл механизм судан ауыр металдарды, органикалық қосылыстарды және өзге де улы қоспаларды тиімді жоюға мүмкіндік береді.

1-кестеде кейбір сорбенттер түрлерінің сипаттамалары, олардың құрылымдық ерекшеліктері мен қолдану сипаттамалары келтірілген [5, 6].

1-кесте – Сорбенттердің түрлері

Table 1 – Types of sorbents

Сорбенттер	Құрылымы және сипаттамасы
	Цеолит – шөгінді немесе жанартаулық текті минералдар тобына жататын, 30-дан астам түрі бар табиғи қосылыстар. Олар натрий мен кальцийдің сулы алюмосиликаттары болып табылады және сыртқы көрінісімен ерекшеленеді – шамалы шыны тәрізді жылтырлығы бар өткір бұрышты түйіршіктер. Цеолиттердің ерекшелігі – олардың микроканалдар мен қуыстар жүйесінен тұратын торлы бірегей кристалдық құрылымға ие болуы. Осы құрылымның арқасында цеолиттер молекулалық елек сияқты жұмыс істейді
	Диатомит (кизельгур, инфузориялы жер, тау ұны) – кремний құрамды диатомды балдырлардың қазбалы қаңқаларынан түзілген шөгінді тау жынысы. Бұл материал жоғары кеуектілікке ие және негізінде аморфты кремний диоксиді ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) бар. Оның кристалдық торы микро- және макрокеуекті жүйесімен торланған, бұл оған үлкен меншікті беткі аумақ береді және диатомитті тиімді табиғи сорбентке айналдырады. Материалдың кеуекті әрі жеңіл құрылымы, сондай-ақ құрамында алюминий, кальций және темір сияқты элементтердің болуы, оны суды және ағынды суларды тазартуда жоғары сорбциялық және сүзу қабілетіне ие етеді
	Бентонит – күрделі құрамды минерал, оның негізгі компоненті болып монтмориллонит табылады, яғни алюмосиликат, химиялық формуласы $\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Оның кристалдық торында кремнийдің орнына алюминий, темір, мырыш, магний, кальций, натрий, калий және басқа да катиондармен изоморфты ауысулар мүмкін, бұл оның химиялық құрамының және қасиеттерінің әртүрлілігін айқындайды
	Шымтезек – органикалық заттардан, ылғалдан және минералдық қоспалардан тұратын күрделі полидисперсті көпкомпонентті жүйені құрайды. Шымтезектің органикалық құрамы негізінен гумин қышқылдарынан (массасының 40-50 %), битумдардан (1,12-17 %), суда еритін және оңай гидролизденетін қосылыстардан (10-60 %), целлюлозадан (2-10 %) және гидролизденбейтін қалдықтан, соның ішінде лигниннен (3-20 %) тұрады. Шымтезекке тән ерекшеліктің бірі, ол оның көлем бойынша 96-97 %-ға дейін жететін өте жоғары кеуектілігі, бұл қасиет оның сорбциялық қабілетін айқындайтын негізгі факторлардың бірі болып табылады
	Шунгит – көміртекке бай табиғи минерал, құрылымы аморфты немесе ұсақдисперсті болып келеді және түріне қарай құрамындағы көміртек мөлшері 20-дан 98 %-ға дейін өзгереді. Оның құрылымының негізін стехиометриялық емес көміртек құрайды, ол фуллерен тәрізді кластерлер, графит тәрізді қабаттар және нанокөмірдің фракциялар түрінде силикаттармен, карбонаттармен және сульфидтермен бірігіп кездеседі. Минерал адсорбциялық, катализикалық және бактерияға қарсы қасиеттерге ие, бұл оның наноөлшемді кеуектілігімен, жоғары меншікті беткі аумағымен және оттек құрамды функционалдық топтарының болуымен байланысты. Шунгиттің ерекше құрылымының арқасында, оны әртүрлі салаларда – суды тазартудан бастап, функционалды наноматериалдар мен электрохимиялық жүйелерді жасауға дейін қолдануға мүмкіндік береді

Әртүрлі табиғи материалдардың сорбциялық қасиеттері отандық және шетелдік ғалымдар тарапынан белсенді түрде зерттелуде. Бірқатар сорбенттер судан және сарқынды сулардан әртүрлі ластаушы заттарды жою қабілетін бағалау мақсатында зерттелген.

Авторлар [7, 8] өз зерттеулерінде бентониттің сорбциялық қасиеттерін талдап, оның кадмий иондарын тиімді сіңіре алатынын көрсетті, сонымен қатар термиялық активтендірілген сорбенттердің тиімділігін растайды. Бұл деректер бентонит пен цеолиттің табиғи және модификацияланған түрлерінің сарқынды суларды тазартудағы жоғары әлеуетін дәлелдейді.

Сол сияқты цеолит те ағынды суларды тазартуға арналған көпфункционалы материал болып табылады, ол фосфорды, ауыр металдарды және алты валентті хромды жою үшін қолданылады. Бұл – активация мен модификациядан өткен жоғары сапалы табиғи цеолит, бұл дегеніміз оның адсорбциялық және ион алмасу қасиеттерін едәуір арттырады. Үлкен меншікті беткі аумағы мен жоғары адсорбциялық қабілетінің арқасында цеолит суды әртүрлі ластаушы заттардан тиімді тазартады.

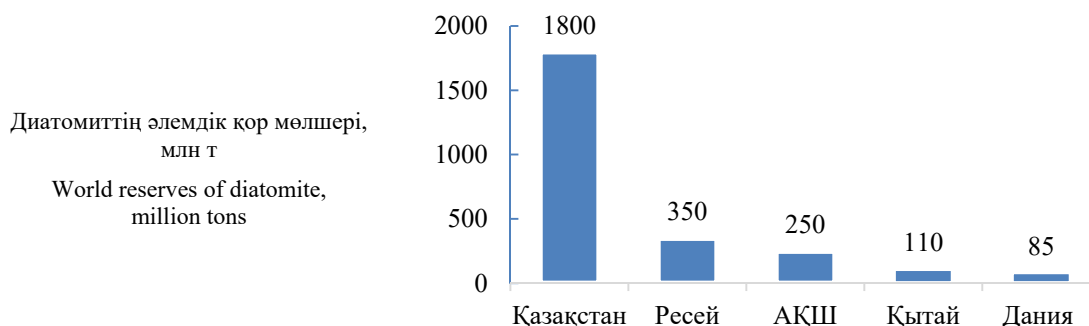
Авторлар [9] табиғи цеолит пен оның полиэтиленполиаминмен және эпоксидті шайырмен модификацияланған түрлерінің Pb^{2+} иондарын сіңіру қабілетін зерттеп, сорбция процесінің оңтайлы рН мәндерін анықтады. Модификацияланған сорбенттер Шанханай кен орнының (Алматы облысы, Кербұлақ ауданы, Сарыөзек қаласы) табиғи цеолиті негізінде дайындалды және оларды өндірістік сарқынды суларды тазартуда тиімді қолдануға болатыны дәлелденді. Ауыр металдармен ластанған суларды тазарту үшін табиғи цеолитті зерттеп, оны 57%-дық азот қышқылымен химиялық белсендендіру және термиялық өңдеу арқылы модификациялау сорбциялық қасиеттерін едәуір жақсартатынын [10] көрсеткен. Осылайша, табиғи цеолиттерді химиялық және физика-химиялық әдістермен модификациялау олардың ауыр металл иондарын сіңіру қабілетін едәуір жақсартатынын көрсетеді.

Зерттеулер нәтижелері шунгит негізіндегі материалдардың сарқынды суларды тиімді тазартуда жоғары потенциалы бар екенін көрсетеді. Автор [11] өз жұмысында жүргізген тәжірибелерде шунгитті-цеолитті фильтр арқылы тазартылған сарқынды сулардың сапасы айтарлықтай жақсарған: иіс, түс, лайлылық және құрамындағы темір, хлоридтер, аммоний иондары сынды көрсеткіштер нормативтер деңгейіне дейін төмендеген. Бұл шунгиттің сарқынды суды кешенді тазартудағы тиімділігін айғақтайды. Мұндай нәтижелерді Мусина У. Ш. [12] өз жұмысында растады, оның зерттеулері шунгиттің мұнаймен, шахталық және жаңбырлы ағын сулардан ауыр металл иондарын (мыс, мырыш, қорғасын, магний, титан) жоғары дәрежеде жою қабілетін көрсеткен. Сонымен қатар, шунгиттің микробиологиялық ластануға да түрліше әсер ететіні анықталған. Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ ғалымдары [13] Көксу кен орнынан алынған шунгиттің механика-химиялық белсендірілген үлгілерінің элементтік құрамын зерттеп, белсендіру нәтижесінде кремний, алюминий және темір мөлшерінің артуы, ал көміртек үлесінің төмендеуі сорбциялық қасиеттердің күшеюіне себеп болатынын көрсеткен. Осы деректердің барлығы шунгиттің табиғи сорбент ретінде қолданылу мүмкіндігінің кең екенін дәлелдейді.

Калмаханова М. [14] Павлодар кен орнынан алынған сазды модификациялау арқылы ауыр металл иондарын, фенолдар мен белгілі бояғыштарды тиімді түрде сіңіре алатын жоғары тиімді сорбент әзірлеп, оның тазарту қабілетін дәлелдеді. Зерттеулерде [15] Ақжар кен орнынан алынған табиғи саздардың сорбциялық қасиеттері зерттеліп, Fe^{2+} және Zn^{2+} иондарымен модификацияланған үлгілердің $Ni(II)$ иондарын модельді ерітінділерден жою тиімділігі қарастырылды. Сонымен қатар, Пимнева Л. А. [16] табиғи сазды минералдардың (каолин және монтмориллонит) және олардың модификацияланған формаларының марганец иондарына қатысты сорбциялық белсенділігін зерттеп, әсіресе ОН-формасының жоғары алмасу сыйымдылығы мен селективтілікке ие екенін көрсетті. Бұл зерттеулер табиғи сазды материалдарды әртүрлі химиялық модификациялау арқылы олардың сорбциялық қасиеттерін едәуір арттыруға болатынын және оларды ауыр металл иондарымен ластанған суларды тазарту үшін тиімді қолдануға мүмкіндік бар екенін дәлелдейді.

Соңғы жылдары зерттеушілер сарқынды сулардан ластаушы заттарды жоюға арналған жаңа, неғұрлым тиімді сорбент материалдарын әзірлеуге ерекше қызығушылық танытуда. Осы бағыттағы келешегі зор сорбенттердің бірі – диатомит болып табылады. Ол – жеңіл, кеуекті, кремнийге бай биогенді тау жынысы. Диатомиттің жоғары дамыған меншікті беті мен бірегей құрылымы оның сорбциялық қасиеттерін өте жоғары етеді.

Диатомит (кизельгур) – бұл әлемнің шамамен 20 елінде кен орындары табылған маңызды табиғи ресурс. Барланған қорлардың бағалауы бойынша, ең ірі көлем Қазақстанда шоғырланған – шамамен 1800 млн тоннаға дейін. Одан кейінгі орындарда Ресей – 350 млн тоннаға дейін, АҚШ – шамамен 250 млн тонна, Қытай – 110 млн тонна және Дания – 85 млн тоннаға дейін [17].



Жоғарыда көрсетілгендей, Қазақстан диатомиттің айтарлықтай ресурстарына ие. Атап айтқанда, Ембі қаласының оңтүстік-шығысында, теміржол желісіне жақын жерде орналасқан Өтесай кен орны бар, оның аумағы шамамен 100 км² [18]. Сонымен қатар, Ақтөбе облысында Жалпақ және Қырғыз диатомит кен орындары орналасқан.

Химиялық талдау деректері бойынша [19], Өтесай, Жалпақ және Қырғыз диатомит кен орындарының негізгі құрамдас бөлігі – кремний диоксиді (SiO₂), оның мөлшері 77,36–86,52% аралығында. Аз мөлшерде алюминий оксиді (Al₂O₃) – 6,58-9,91%, темір оксиді (Fe₂O₃) – 3,21-3,99% шамасында кездеседі.

Қазақстандағы диатомит кен орындарының химиялық құрамы 2-кестеде көрсетілген.

2-кесте – Қазақстан кен орындарындағы диатомиттің химиялық және элементтік құрамы, %

Table 2 – Chemical and elemental composition of diatomite from Kazakhstan deposits, %

Қосылыстар	Өтесай	Жалпақ	Қырғыз
SiO ₂	79,92	86,52	77,36
Al ₂ O ₃	9,91	6,58	9,91
Fe ₂ O ₃	3,79	3,21	3,99
K ₂ O	1,39	1,43	1,57
MgO	1,55	0,790	2,05
CaO	0,757	0,238	0,218
TiO ₂	0,659	0,445	0,786
Na ₂ O	0,485	0,215	0,990
SO ₃	0,0227	0,354	0,618
P ₂ O ₅	0,0171	0,0576	0,0689
V ₂ O ₅	0,0458	0,0294	0,0543
Cl	1,33	–	2,23

Ғалымдардың [20] пікірінше, диатомиттің жоғары өткізгіштігі (20-50 мДарси), дисперстілігі, үлкен меншікті беткі аумақтылығы (шамамен 30 м²/г), суды жақсы ұстау қабілеті, төмен көлемдік тығыздығы және жылу өткізгіштігі – оны әртүрлі технологиялық процестерде, соның ішінде су ортасынан ластағыштарды сорбциялау үшін кеңінен қолдануға мүмкіндік береді. Бұл материалдың негізгі сипаттамалары 3-кестеде көрсетілген.

Диатомиттің қолданылуы мен өнеркәсіпте кең таралуы оның физикалық және химиялық қасиеттерінің жиынтығымен түсіндіріледі (3-кесте). Аталған сипаттамалар диатомитті түрлі өнеркәсіп салаларында тиімді пайдалануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, оның қасиеттері қолданылатын өңдеу әдістері мен көзделген мақсаттарға байланысты өзгеріп отыруы мүмкін.

Диатомит кеңінен әртүрлі технологиялық үдерістерде, әсіресе тамақ, фармацевтика және химия өнеркәсібінде қолданылады, өйткені оның тамаша фильтрациялық және сорбциялық қасиеттері бар [21]. Оның жоғары кеуектілігі мен дамыған арнайы беткі бетінің арқасында ұсақ бөлшектерді, ақуыздарды, қоспаларды және басқа ластаушыларды сұйық орталардан тиімді түрде жоюға мүмкіндік береді, бұл материалды сапалы және қауіпсіз өнімдерді өндіруде алмастырылмайтындай етеді.

3-кесте – Диатомиттің қасиеттері

Table 3 – Properties of diatomite

Диатомиттің қасиеттері	Сипаттамасы
Өте кеуекті, микроскопиялық тесіктер мен қуыстар жүйесін қамтиды	Бұл қасиет диатомиттен сұйықтықтар мен газдарды тиімді сүзуге мүмкіндік беретін тамаша сүзгі материалын жасайды. Сонымен қатар, кеуектілігі оны сорбент материалы ретінде пайдалануға ықпал етеді
Диатомитке күрделі құрылымды панцирлерінің арқасында үлкен беткей алаңды береді, бұл оның сорбциялық қабілетін арттырады	Үлкен беткей алаңы диатомиттің сорбциялық қабілетін арттырады, бұл оны су тазалау, ластаушы заттарды адсорбциялау және катализаторлар үшін тасымалдаушы ретінде тиімді етеді
Сіңіру қабілеті	Диатомит жоғары сіңіру қабілетіне ие, бұл оны төгінділер мен сұйықтықтарды сіңіру маңызды рөл атқаратын фильтрация үдерістерінде тиімді пайдалануға мүмкіндік береді
Тығыздылығы төмен	Тығыздылығы төмен диатомитті құрылыс саласында жеңіл толтырғыш ретінде және жеңіл бетон компоненті ретінде қолдануға мүмкіндік береді
Абразивті қасиеттерге ие	Кейбір құрамдарда диатомит тіс пастасы, полирольдер мен бетке арналған скрабтар сияқты өнімдерде жұмсақ абразив ретінде қолданылады
Жылуды оқшаулау қасиетіне ие	Бұл қасиет диатомитті оқшаулау материалдарында, өрт қауіпсіздігін қамтамасыз етуде және отқа төзімді материалдар өндірісінде қолдануға мүмкіндік береді
Химиялық тұрақты	Бұл тұрақтылық диатомитті агрессивті сұйықтықтарды сүзуде, сондай-ақ әртүрлі химиялық процестерде қолдануға мүмкіндік береді
Биологиялық инертті	Диатомиттің инертті табиғаты оны тамақ өнімдерін өңдеу, фармацевтика және косметика сияқты салаларда қолдануға қауіпсіз етеді
Негізінен кремний оксидінен тұрады	Кремний оксидінің жоғары мөлшері диатомиттің қаттылығы мен беріктігін арттырады. Бұл сондай-ақ оның сүзу және адсорбциялық қасиеттерінің маңызды факторы болып табылады
Төмен үйкеліс қасиеттерін көрсете алады	Бұл қасиет кейбір өнеркәсіп салаларында, соның ішінде тайғаққа қарсы жабындар мен материалдар өндірісінде компонент ретінде қолдану үшін маңызды
Әдетте рН тұрақты	Диатомиттің рН деңгейінің тұрақтылығы, әсіресе суды тазарту процестерінде, белгілі бір рН деңгейін ұстап тұру маңызды болған кезде, оның тиімділігін арттырады

Ғалымдардың атап өтуінше, диатомит су ортасынан ауыр металдар, мұнай өнімдері, бояғыштар және органикалық заттар сияқты әртүрлі ластаушыларды тиімді сіңіру қабілетіне ие. Жүргізілген талдауға сүйенсек, диатомит кадмий иондарының сорбциясына қабілетті екені анықталды, ал термиялық белсенділік қышқылдық белсенділікпен салыстырғанда тұрақтырақ нәтижелер береді, себебі қышқыл ортада Cd^{2+} иондарының қозғалысы жоғары болады және рН деңгейі артқанда аз қозғалатын формалар түзіледі. Дегенмен, белсендіру әдісіне қарамастан, «адсорбент-адсорбтив» жүйесінде тепе-теңдік бір сағат ішінде орнамайды, бұл сорбциялық үдерістің баяу сипатын көрсетеді. Сонымен қатар, термиялық өңделген және табиғи диатомит зерттелген кадмий концентрациялары (0,00001–0,001 моль/л) шамасына ұқсас сорбциялық қасиеттерді көрсетеді, бұл олардың ауыр металдармен ластанған суларды тазалау жүйелерінде төмен деңгейдегі ластануды жою үшін қолданылатынын көрсетеді [22].

Мурзалиева С. К. және оның әріптестері табиғи минералдарды, соның ішінде цеолитті, диатомитті және вермикулитті, сарқынды суларды тазарту үшін сорбент ретінде пайдалану мәселесіне арналған зерттеулер жүргізді. Эксперименттер барысында табиғи сорбенттердің сарқынды суларды тазартуда жоғары тиімділік көрсететіні анықталды, ал олардың сорбциялық сыйымдылығы модификациялау арқылы айтарлықтай артылды. Жұмыстың нәтижелері бұл материалдардың сарқынды суларды тазарту үшін перспективті екенін және экологиялық қауіпсіз су тазарту технологияларында тиімді қолданылатынын растайды [23].

Кизельгур, диатомиттің әртүрлілігі, табиғи инсектицид ретінде қолданылады, ол зиянкестерге дегидраттаушы әсерін тигізеді. Ауыл шаруашылығында диатомит топырақтың құрылымын жақсартуға, суды ұстап қалу қасиетін арттыруға және өсімдіктерге қажетті микроэлементтермен қамтамасыз етуге көмектесетін тыңайтқыш ретінде пайдаланылады. Сонымен қатар, диатомит негізінде тиімді табиғи азықтық қоспалар жасалуда [24], бұл органикалық мал шаруашылығы мен егіншілік дамуына ықпал етеді.

Автордың [25] зерттеу жұмысында (Ульянов облысындағы Инзенск кен орны) диатомит пен керамзит қиыршық тастың салыстырмалы талдауы жүргізілді. Зерттеуде диатомиттің бөлшек мөлшері 0,8–2,0 мм, ал тығыздығы 670 кг/м³ құмға тең болған. Алынған нәтижелер диатомиттің жоғары беріктік қасиетіне ие екенін көрсетті.

Автордың [26] зерттеуінде Эль-Файюм аймағынан алынған табиғи диатомиттің су ерітінділерінен ауыр металл иондарын кетірудегі тиімділігі жан-жақты зерттеліп, талданған. Мерзімді тәжірибелер барысында адсорбент мөлшерінің, әсер ету уақытының және ортаның рН көрсеткішінің әсері зерттелді. Зерттеу нәтижелері бойынша, диатомит мөлшерін 0,5-тен 2 г/л-ге дейін арттыру металл иондарын кетіру тиімділігін арттыру анықталған.

Гумарова Ж. М. және оның әріптестері жүргізген зерттеуде Ақтөбе кен орнынан алынған табиғи және модификацияланған диатомиттің Орал қаласының су құбырындағы суды тазартудағы сорбциялық қасиеттері зерттелген. Диатомитті тұз қышқылымен өңдеу, оның физика-химиялық қасиеттерін айтарлықтай жақсартты: меншікті беткі аумағы 2,5 есе, ал кеуектілік көлемі үш еседен астам артты. Табиғи және белсендірілген диатомитте судың лайлылығын, түсін, қаттылығын, перманганаттық тотығуын, сондай-ақ темір мен мыс иондарының мөлшерін тиімді төмендеткен. Осылайша, белсендірілген диатомит суды кешенді тазартуға арналған болашағы зор, әрі қолжетімді сорбент ретінде танылып, судың органолептикалық қасиеттерін жақсартуға ғана емес, сондай-ақ улы иондардың концентрациясын санитарлық-нормативтік деңгейге дейін төмендетуге қабілетті екені анықталды [27].

Ғалымдар [28] жүргізген зерттеуде Батыс Қазақстандағы Өтесай кен орнының табиғи диатомитінің морфологиялық, минералогиялық және сорбциялық сипаттамалары жерасты суларын тазартуда қолдану мақсатында жан-жақты талданды. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, диатомитті 450 °C температурада термиялық түрлендіру, әсіресе оны белсендірілген көмірмен үйлестіре қолдану материалдың сорбциялық қасиеттерін едәуір жақсартады. Нәтижесінде, судағы хлоридтер, сульфаттар және жалпы тұздылық мөлшері 35–37% төмендеген.

Талқылау. Табиғи сорбенттерді қолдану ең ұтымды шешім болып табылады, өйткені оларды пайдалану қоршаған ортаға теріс әсер етпейді. Қалдық сорбент толық жиналмай қалған жағдайда да, ол уақыт өте келе табиғи түрде ыдырап, экологиялық тепе-теңдікті бұзбайды [29].

Теориялық негіздер жеткілікті түрде әзірленгеніне қарамастан, диатомитті сарқынды суларды тазарту технологияларында практикалық қолдануға қатысты мәселелер әлі де ашық күйінде қалып отыр.

Жұмыстың келесі кезеңдерінде Қазақстан кен орындарының диатомитінің адсорбциялық сипаттамаларын жан-жақты зерттеу жүргізу жоспарланып отыр, ол сарқынды суларды тазарту технологияларында қолдану арқылы әртүрлі ластаушы заттарды жою тиімділігін бағалауға және оны су тазарту мен су айналымы жүйелерінде тәжірибелік қолдану перспективаларын анықтауға бағытталған.

Нәтижелерді талқылау барысында табиғи сорбенттердің қолжетімділігі, өзіндік құнының төмендігі және экологиялық қауіпсіздігі сияқты артықшылықтары анықталды. Алайда, оларды қолдану синтетикалық баламалармен салыстырғанда механикалық беріктігінің және сорбция жылдамдығының төмен болуына байланысты шектелуі мүмкін. Сондықтан диатомит сияқты табиғи сорбенттерді және оларды модификациялау арқылы оңтайлы қасиеттерге қол жеткізу перспективалық бағыт болып табылады.

Табиғи сорбенттер, соның ішінде диатомиттің, ағынды сулардың ластаушы заттарын тиімді түрде жоюға қабілетті. Диатомиттің жоғары кеуектілігі мен адсорбциялық қабілеті оны экологиялық таза және қолжетімді сорбент ретінде ерекшелендіреді. Табиғи сорбенттерді пайдалану ағынды суларды тазартудың перспективалық бағыты болып саналады.

Қорытынды. Бұл шолу мақаласы табиғи сорбенттерді сарқынды суларды тазарту үдерісінде қолдануға қатысты заманауи ғылыми деректерді жүйелеп, жинақтауға бағытталды.

Жүргізілген талдау цеолит, бентонит, шунгит, диатомит және түрлі балшықтар сияқты табиғи сорбенттердің ауыр металдар, органикалық қосылыстар мен бояғыштар сияқты әртүрлі ластағыштарды тиімді жою қабілетіне ие екенін көрсетті. Осылайша, шолу табиғи сорбенттерді экологиялық қауіпсіз әрі экономикалық тұрғыдан қолжетімді су тазарту технологияларының болашағы зор бағыты ретінде пайдаланудың орынды екендігін дәлелдеді. Алынған нәтижелер бұл

материалдарды әртүрлі жағдайларда мен салаларда қолдану мүмкіндіктері жөніндегі ғылыми түсініктерді кеңейтеді.

Болашақ зерттеу кезеңінде Қазақстандағы кен орындарынан алынған диатомиттің адсорбциялық қасиеттерін тереңірек зерттеу орынды. Бұл зерттеулер диатомитті ағынды суларды тазарту технологияларында практикалық тұрғыда қолдану мүмкіндігін бағалауға бағытталуы тиіс. Сонымен қатар, әртүрлі ластағыштарды жою тиімділігін анықтауға және диатомитті су тазарту мен су айналымы жүйелерінде пайдалану әлеуетін айқындауға ерекше назар аудару қажет.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Samonin V. V., Spiridonova E. A., Zotov A. S. et al. Chemical Structure, Porous Morphology, and Sorption Properties of Adsorbents Produced from Organic Technogenic Substrates (A Review) // Russian Journal of General Chemistry. – 2021. – Vol. 91. – P. 1546-1565. <https://doi.org/10.1134/S107036322108017X>
- [2] Беленова С. В., Вигдорович В. И., Шель Н. В., Цыганкова Л. Е. Сорбционная способность природных сорбентов // Вестник российских университетов. Математика. – 2015. – № 2. – С. 388-396. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sorbtsionnaya-sposobnost-prirodnih-sorbentov>
- [3] Қазақстан Республикасы Үкіметі. «Қазақстан Республикасының су ресурстарын басқару жүйесін дамытудың 2024–2030 жылдарға арналған тұжырымдамасын бекіту туралы» 2024 жылғы 5 ақпандағы № 66 қаулысына өзгеріс енгізу туралы [2024 жылғы 28 тамыздағы № 695 қаулы]. «Әділет» ақпараттық-құқықтық жүйесі. – 2024. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2400000066>
- [4] Адизова Ш. Т., Амонов М. Р. Изучение эффективности сорбентов для очистки сточных вод // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. – 2024. – № 7(121). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/17752>
- [5] Yan W. et al. Our journey in zeolite science // Microporous and Mesoporous Materials. – 2023. – Vol. 358. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2022.112368>
- [6] Ubaskina Y. A., Korosteleva Y. A. Investigation of the possibility of practical use of diatomite for wastewater treatment // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. – 2017. – No. 7. – P. 92-96. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5940f0199950b7.10091901
- [7] Монголхан Р. Өндірістік ағынды суларды тазалау үшін сорбенттер дайындау // Қазақстан-Британ техникалық университетінің хабаршысы. – 2019. – Т. 16, № 2. – Б. 22-29. https://vestnik.kbtu.edu.kz/jour/article/view/112?locale=ru_RU
- [8] Коваль М. Г. Способы очистки промышленных сточных вод природными сорбентами // Химическая технология и техника: материалы 85 Науч.-техн. конференции профес.-препод. состава, научн. сотрудников и аспирантов (с международным участием). – Минск: БГТУ, 2021. 1-13 февраля. – С. 206-208. <https://elib.belstu.by/handle/123456789/41696>
- [9] Камбарова Э. А., Гавриленко М. А., Бектенов Н. А. Модифицированные полиэтиленполиамином и эпоксидной смолой цеолиты для извлечения ионов свинца из сточных вод // Известия Томского политехнического университета. – 2021. – Т. 332, № 1. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/1/2994>
- [10] Сейтжанова М. А., Досжанов Е. О., Кульдеев Е. И., Мансуров З. А., Тажу К., Танирбергенова С. К., Канжаркан Е., Тажкенова Г. К. Влияние термической обработки на сорбционные характеристики цеолита, применяемого в процессе очистки воды // Горение и плазмохимия. – 2023. – Т. 21, № 3. – С. 173-179. [https://doi.org/10.18321/cpc21\(3\)173-179](https://doi.org/10.18321/cpc21(3)173-179)
- [11] Тремасова А. М., Ларина Ю. В. Шунгит и цеолит для обезвреживания сточных вод // Ученые записки КГАВМ им. Н. Э. Баумана. – 2020. – № 3. – С. 257-261. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/shungit-i-tseolit-dlya-obezvrezhivaniya-stochnyh-vod>
- [12] Мусина У. Ш. Экологические свойства сланцевого шунгита при очистке сточных вод различного техногенного происхождения // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №. 2-2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=21572>
- [13] Байгулбаева М. М., Онгарбаев Е. К., Жамболова А. Б., Жумахан К. Исследование влияния механохимической активации на элементный состав шунгитовых пород // Инженерный журнал Satbayev University. – 2021. – Т. 143, № 2. – С. 224-228. <https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.i2.29>
- [14] Serikbayeva A. M., Roman F. F., Diaz de Tuesta J. L., Gomes H. T. Preparation and physico-chemical characterization of organically modified clays with grafted dmsa and teoa // Series chemistry and technology. – 2023. – Vol. 1, No. 454. – P. 115-128. DOI: 10.32014/2023.2518-1491.152
- [15] Мадимарова Г. Б., Цой И. Г., Амантайқызы А., Масалимова Б. К. Адсорбенты на основе глин Жамбылской области для очистки сточных вод // Евразийский союз ученых. – 2019. – №. 2. – С. 58-63. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/adsorbenty-na-osnove-glin-zhambylskoy-oblasti-dlya-ochistki-stochnyh-vod>
- [16] Пимнева Л. А. Использование природных глин в качестве сорбентов для очистки природных и сточных вод // Успехи современного естествознания. – 2023. – № 7. – С. 103-108. DOI: <https://doi.org/10.17513/use.38078>
- [17] Zhalgasbaikyzy A., Nazhipkyzy M., Nurgain A., Zhaparova A. A., Mansurov Z. A. Diatomite: a natural occurring bioinspired nanomaterial with complex-shaped and its application // Institute of Combustion Problems. – 2018. – Vol. 16, No. 2. – P. 86-89. <https://cpc-journal.kz/index.php/cpcj/article/view/194>
- [18] Қазақстан Республикасы Үкіметі. Қазақстан Республикасының геология саласын дамытудың 2023-2027 жылдарға арналған тұжырымдамасын бекіту туралы: Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2022 жылғы 30 желтоқсандағы № 1127 қаулысы. – Қазақстан Республикасы нормативтік құқықтық актілерінің ақпараттық-құқықтық жүйесі «Әділет». – 2022. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2200001127>

- [19] Смирнов П. В., Жакипбаев Б. Е., Староселец Д. А., Дерягина О. И., Баталин Г. А., Гареев Б. И., Вергунов А. В. Диатомиты и опоки месторождений Западного Казахстана: литология, структурно-текстуальные параметры, потенциал использования // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334, № 7. – С. 187-201. DOI <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/7/4046>
- [20] Убаськина Ю. А., Арсентьев И. В., Фетюхина Е. Г., Коростелева Ю. А., Адаев Т. И. Исследование минералогического состава диатомита для его безопасной добычи и применения в промышленности // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2016. – №. 1. – С. 128-132. URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/29943/view>
- [21] Агейкина О. В., Голянская С. А., Качалова Г. С. Сорбционная очистка промышленных сточных вод диатомитом от ионов цинка // Успехи современного естествознания. – 2024. – № 4. – С. 71-78; DOI: <https://doi.org/10.17513/use.38251>
- [22] Борисков Д. Е., Ефремова С. Ю., Комарова Н. А. Изучение адсорбции ионов кадмия из растворов на природном и модифицированных диатомитах // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. – 2023. – Т. 23, вып. 1. – С. 70-76. DOI: 10.18500/1816-9775-2023-23-1-70-76, EDN: AOVKKS
- [23] Myrzaliyeva S. K., Bagasharova J. T., Akilbekova Sh. K., Serikbaev P. Natural mineral raw materials as granular filtering materials in industrial and waste water treatment // Complex Use of Mineral Resources. – 2025. – №. 332(1). – P. 70-78. <https://doi.org/10.31643/2025/6445.06>
- [24] Улитко В. Е., Пыхтина Л. А., Десятков О. А. и др. Биодобавки нового поколения в системе оптимизации питания и реализации биоресурсного потенциала животных // Ульяновский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина. – Ульяновск, 2015. – 512 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25459592>
- [25] Strelkov A. K., Bykova P. G., Gridneva M. A. Filtration materials of natural origin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 962, No. 2. – 022038 p. DOI: 10.1088/1757-899X/962/2/022038
- [26] ElSayed E. E. Natural diatomite as an effective adsorbent for heavy metals in water and wastewater treatment (a batch study) // Water Science. – 2018. – Vol. 32, issue 1. – P. 32-43. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2018.02.001>
- [27] Gumarova Zh. M., Sungatkyzy S., Sharafiyeva Zh. R., Bulekova A. A., Uxikbayeva M. K. Using the sorption properties of diatomite from the Aktobe deposit in improving the quality of drinking water in Western Kazakhstan // E3S Web of Conf. – 2024. – Vol. 539. – 539 p. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453901007>
- [28] Satayeva S., Montayeva N., Montayev S. et al. Development of Modified Sorbents Based on Diatomite in Western Kazakhstan for Groundwater Desalination. – 2024. PREPRINT (Version 1) available at Research Square <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4557821/v1>
- [29] Меркотун И. Н., Соколова Е. В., Магомедов Р. А., Филимонов А. А., Даржания А. Ю. Применение сорбентов природного происхождения // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 4(47). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-sorbentov-prirodnogo-proishozhdeniya>

REFERENCES

- [1] Samonin V. V., Spiridonova E. A., Zotov A. S. et al. Chemical Structure, Porous Morphology, and Sorption Properties of Adsorbents Produced from Organic Technogenic Substrates (A Review) // Russian Journal of General Chemistry. 2021. Vol. 91. P. 1546-1565. <https://doi.org/10.1134/S107036322108017X>
- [2] Belenova S. V., Vigdorovich V. I., Shel N. V., Tsygankova L. E. Sorption capacity of natural sorbents // Bulletin of Russian Universities. Mathematics. 2015. No. 2. P. 388-396. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sorbtsionnaya-sposobnost-prirodnih-sorbentov> (in Russ.).
- [3] Government of the Republic of Kazakhstan. On Amendments to the Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated February 5, 2024 No. 66 “On Approval of the Concept for the Development of the Water Resources Management System of the Republic of Kazakhstan for 2024-2030” [Resolution No. 695 dated August 28, 2024]. “Adilet” Information and Legal System. 2024. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2400000066> (in Kaz.).
- [4] Adizova Sh. T., Amonov M. R. Studying the effectiveness of sorbents for purification wastewater // Universum: Chemistry and Biology. Electronic Scientific Journal. 2024. No. 7(121). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/17752> (in Russ.).
- [5] Yan W. et al. Our journey in zeolite science // Microporous and Mesoporous Materials. 2023. Vol. 358. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2022.112368>
- [6] Ubaskina Y. A., Korosteleva Y. A. Investigation of the possibility of practical use of diatomite for wastewater treatment // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2017. No. 7. P. 92-96. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5940f0199950b7.10091901
- [7] Mongolkhan R. Production of sorbents for industrial wastewater treatment // Herald of the Kazakh-British technical university. 2019. Vol. 16, No. 2. P. 22-29. https://vestnik.kbtu.edu.kz/jour/article/view/112?locale=ru_RU (in Kaz.).
- [8] Koval' M. G. Methods of Industrial Wastewater Treatment Using Natural Sorbents // Chemical Technology and Engineering: Proceedings of the 85th Scientific and Technical Conference of Faculty Members, Researchers, and Postgraduate Students (with international participation). Minsk: BSTU, 2021. February 1-13. P. 206-208. <https://elib.belstu.by/handle/123456789/41696> (in Russ.).
- [9] Kambarova E. A., Gavrilenko M. A., Bektenov N. A. Zeolites Modified with Polyethylenepolyamine and Epoxy Resin for the Removal of Lead Ions from Wastewater // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2021. Vol. 332, No. 1. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/1/2994> (in Russ.).

- [10] Seitzhanova M. A., Doszhanov Ye. O., Kuldeyev Ye. I., Mansurov Z. A., Tazhu K., Tanirbergenova S. K., Kanzhar-kan Ye., Tazhkenova G.K. The effect of heat treatment on the sorption characteristics of zeolite used in the process of water purification // Combustion and Plasma Chemistry. 2023. Vol. 21, No. 3. P. 173-179. [https://doi.org/10.18321/cpc21\(3\)173-179](https://doi.org/10.18321/cpc21(3)173-179) (in Russ.).
- [11] Tremasova A. M., Larina Yu. V. Shungite and zeolite for wastewater treatment // Scientific Notes of the Bauman State University of Aviation and Space Technology. 2020. No. 3. P. 257-261. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/shungit-i-tseolit-dlya-obezvrezhivaniya-stochnyh-vod> (in Russ.).
- [12] Musina U. Sh. Ecological properties of shale shungite in the treatment of wastewater of various technogenic origin // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern Problems of Science and Education]. 2015. No. 2-2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=21572> (in Russ.).
- [13] Baigulbaeva M., Ongarbayev, Y., Zhambolova, A., & Zhumakhan, K. Study of the influence of mechanochemical activation on the elemental composition of shungite rocks // Engineering Journal of Satbayev University. 2021. Vol. 143, No. 2. P. 224-228. <https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.i2.29> (in Russ.).
- [14] Serikbayeva A. M., Roman F. F., Diaz de Tuesta J. L., Gomes H. T. Preparation and physico-chemical characterization of organically modified clays with grafted dmsa and teoa // Series chemistry and technology. 2023. Vol. 1, No. 454. P. 115-128. DOI: 10.32014/2023.2518-1491.152
- [15] Madimarova G. B., Coj I. G., Amantajkyzy A., Masalimova B. K. Adsorbents based on clays from the Zhambyl region for wastewater treatment // Eurasian Union of Scientists. 2019. No. 2-2 P. 58-63. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/adsorbenty-na-osnove-glin-zhambylskoy-oblasti-dlya-ochistki-stochnyh-vod> (in Russ.).
- [16] Pimneva L.A. Use of natural clays as sorbents for natural and wastewater treatment // Advances in modern natural science. 2023. No. 7. P. 103-108. DOI: <https://doi.org/10.17513/use.38078> (in Russ.).
- [17] Zhalgasbaikyzy A., Nazhipkyzy M., Nurgain A., Zhaparova A. A., Mansurov Z. A. Diatomite: a natural occurring bioinspired nanomaterial with complex-shaped and its application // Institute of Combustion Problems. 2018. Vol. 16, No. 2. P. 86-89. <https://cpc-journal.kz/index.php/cpcj/article/view/194>
- [18] Government of the Republic of Kazakhstan. On Approval of the Concept for the Development of the Geological Sector of the Republic of Kazakhstan for 2023-2027: Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan No. 1127 dated December 30, 2022. – “Adilet” Information and Legal System of Regulatory Legal Acts of the Republic of Kazakhstan. 2022. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2200001127> (In Kaz.).
- [19] Smirnov P. V., Zhakipbaev B. E., Staroselets D. A., Deryagina O. I., Batalin G. A., Gareev B. I., Vergunov A. V. Diatomites and opoka from western kazakhstan deposits: litho geochemistry, structural and textural parameters, potential of use // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2023. Vol. 334, No. 7. P. 187-201. DOI: <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/7/4046> (in Russ.).
- [20] Ubas'kina Yu. A., Arsent'ev I. V., Fetyuhina E. G., Korosteleva Y., Adaev T. Study of mineralogical composition of diatomite for its safe mining and industrial usage // Bulletin of Belgorod State Technological University named after. 2016. No. 1. P. 128-132. URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/29943/view> (in Russ.).
- [21] Ageikina O. V., Golyanskaya S. A., Kachalova G. S. Sorption purification of industrial wastewater by diatomite from zinc ions // Advances in Modern Natural Sciences. 2024. No. 4. P. 71-78. DOI: <https://doi.org/10.17513/use.38251> (in Russ.).
- [22] Boriskov D. E., Efremova S. Y., Komarova N. A. Study of adsorption of cadmium ions from solutions on natural and modified diatomites // Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology. 2023. Vol. 23, iss. 1. P. 70-76. DOI: 10.18500/1816-9775-2023-23-1-70-76, EDN: AOVKKS (in Russ.).
- [23] Myrzalieva S. K., Bagasharova J. T., Akilbekova Sh. K., Serikbaev P. Natural mineral raw materials as granular filtering materials in industrial and waste water treatment // Complex Use of Mineral Resources. 2025. Vol. 332(1). P. 70-78. <https://doi.org/10.31643/2025/6445.06>
- [24] Ulit'ko V.E., Pyhtina L.A., Desyatov O.A. et al. Next-Generation Feed Additives in the System of Nutritional Optimization and Realization of the Bioresource Potential of Animals // Monograph. P.A. Stolypin Ulyanovsk State Agrarian University. 2015. 512 p. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25459592> (in Russ.).
- [25] Strelkov A. K., Bykova P. G., Gridneva M. A. Filtration materials of natural origin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 962. No. 2. 022038 p. DOI: 10.1088/1757-899X/962/2/022038
- [26] ElSayed E. E. Natural diatomite as an effective adsorbent for heavy metals in water and wastewater treatment (a batch study) // Water Science. 2018. Vol. 32, issue 1. P. 32-43. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2018.02.001>
- [27] Gumarova Zh. M., Sungatkyzy S., Sharafiyeva Zh. R., Bulekova A. A. Uxikbayeva M. K. Using the sorption properties of diatomite from the Aktobe deposit in improving the quality of drinking water in Western Kazakhstan // E3S Web of Conf. 2024. Vol. 539. 539 p. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453901007>
- [28] Satayeva S., Montayeva N., Montayev S. et al. Development of Modified Sorbents Based on Diatomite in Western Kazakhstan for Groundwater Desalination. 2024. PREPRINT (Version 1) available at Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4557821/v1>
- [29] Merkotun I. N., Sokolova E. V., Magomedov R. A., Filimonov A. A., Darzhaniya A. Yu. Application of Natural-Origin Sorbents // Don Engineering Bulletin. 2017. No. 4(47). <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-sorbentov-prirodno-go-proishozhdeniya> (in Russ.).

Г. З. Бижанова¹, М. М. Абдибаттаева², У. Ш. Мусина³,
Л. С. Курбанова^{*4}, Б. Х. Тусупова⁵

¹ Докторант (Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
Алматы, Казахстан; *bgz2017@mail.ru*)

² Д.т.н., доцент (Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
Алматы, Казахстан; *maral7676@mail.ru*)

³ К.т.н., доцент (Satbayev University, Алматы, Казахстан; *07061960@mail.ru*)

^{4*} К.т.н., и.о.доцента (Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
Алматы, Казахстан; *k_lau@mail.ru*)

⁵ К.т.н., старший преподаватель (Казахский национальный университет им. аль-Фараби,
Алматы, Казахстан; *tussupova@yandex.ru*)

ПРИРОДНЫЕ СОРБЕНТЫ: ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АЛЬТЕРНАТИВА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Аннотация. В условиях растущей нагрузки на водные ресурсы и повышения требований к качеству сточных вод особое внимание уделяется разработке и совершенствованию экологически безопасных и экономически обоснованных методов их очистки. Рассматриваются возможности применения природных сорбентов для удаления различных загрязняющих веществ из сточных вод. Проведен анализ научных исследований, посвящённых использованию природных сорбентов для очистки сточных вод. Представлен обзор современных исследований, природных материалов, таких, как цеолиты, бентонит, шунгит, диатомит и глины, и их взаимодействия с загрязнителями. Методологической основой послужил анализ отечественных и зарубежных научных публикаций последних десяти лет. Отмечены высокая адсорбционная способность природных сорбентов и потенциал диатомита казахстанских месторождений для дальнейшего применения в очистке сточных вод. Обзор расширяет научные знания в области экологически безопасных технологий водоочистки и может служить основой для разработки новых решений, направленных на повышение эффективности систем очистки.

Ключевые слова: природные сорбенты, сточная вода, диатомит, экология.

G. Z. Bizhanova¹, M. M. Abdibattaeva², U. Sh. Musina³,
L. S. Kurbanova^{*4}, B. Kh. Tusupova⁵

¹ Doctoral student (Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan; *bgz2017@mail.ru*)

² Doctor of Technical Sciences, Associate Professor (Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan; *maral7676@mail.ru*)

³ Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (Satbayev University,
Almaty, Kazakhstan; *07061960@mail.ru*)

^{4*} Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan; *k_lau@mail.ru*)

⁵ Candidate of Technical Sciences, senior lecturer (Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan; *tussupova@yandex.ru*)

NATURAL SORBENTS: AN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY ALTERNATIVE FOR WATER TREATMENT

Abstract. In the context of increasing pressure on water resources and increasing requirements for wastewater quality, special attention is paid to the development and improvement of environmentally friendly and economically sound methods for their purification. This review article discusses the possibilities of using natural sorbents to remove various pollutants from wastewater. An analysis of scientific studies devoted to the use of natural sorbents for wastewater treatment is carried out. An overview of modern studies on natural materials such as zeolites, bentonite, shungite, diatomite and clays and their interaction with pollutants is presented. The methodological basis is the analysis of domestic and foreign scientific publications of the last ten years. The high adsorption capacity of natural sorbents and the potential of diatomite from Kazakhstan deposits for further use in wastewater treatment are noted. The conducted review expands scientific knowledge in the field of environmentally friendly water treatment technologies and can serve as a basis for the development of new solutions aimed at improving the efficiency of existing treatment systems.

Keywords: natural sorbents, waste water, diatomite, ecology.

Гидрология и водное хозяйство

Гидрология және су шаруашылығы

Hydrology and water management

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-3-34-41.30>

IRSTI 38.61.31

UDC 551.4:556.3:550.837.82

V. A. Smolyar¹, D. K. Adenova^{*2}, Ye. Zh. Murtazin³, T. A. Rakhimov⁴

¹ Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Researcher («Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U. M. Akhmedsafin» LLP, Almaty, Kazakhstan; v_smolyar@mail.ru)

^{2*} PhD, Leading Researcher («Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U. M. Akhmedsafin» LLP, Almaty, Kazakhstan; adenovadinara@gmail.com)

³ Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Deputy Director for Science («Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U. M. Akhmedsafin» LLP, Almaty, Kazakhstan; yemurtazin@list.ru)

⁴ PhD, Head of the Laboratory of Regional Hydrogeology and Geoecology («Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U. M. Akhmedsafin» LLP, Almaty, Kazakhstan; t-rakhimov@mail.ru)

FORECAST OF POTENTIAL CHANGES IN EXPLOITABLE GROUNDWATER RESERVES UNDER THE INFLUENCE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC PROCESSES AT DEPOSITS EXPLORED FOR IRRIGATION

Abstract. The article analyzes the direction of anthropogenic changes in hydrogeological conditions, it is revealed that groundwater in Kazakhstan is not threatened by the depletion of its reserves in the process of their exploitation. No groundwater pollution has been established in the deposits explored for land irrigation in the territories of South and East Kazakhstan. Changes in the hydrodynamic regime at deposits confined to river valleys, cones of removal, and foothill plains were noted. The degree of groundwater reserves availability in the mentioned deposits at the expense of their formation sources was assessed in order to determine the reliability of operation under the influence of natural and anthropogenic processes, and the coefficient of groundwater reserves availability for each deposit was determined.

Keywords: operating reserves, groundwater deposits, land irrigation.

Introduction. In the modern period, a complex problem is the assessment of the impact of possible climatic changes and anthropogenic processes on the formation of natural and forecast resources and operational reserves of fresh and slightly brackish groundwater in deposits explored for irrigation. Taking into account the diversity of natural and hydrogeological conditions of Kazakhstan, changes in the value of natural resources, and in some cases natural reserves, can lead to both positive and negative consequences [1, 2].

Global warming predicted in recent years could also cause significant climate change that could result in impressive impacts to regional surface and groundwater resources [3-5]. At the same time, many researchers note that global warming [6-8], if it occurs, does not necessarily mean a one-step warming. Possible climate changes are expected to be heterogeneous across landscapes. Along with warming in some regions, there may be significant cooling in others. Not everything is unambiguous with temperature cycles either. The currently observed warming is believed to be occurring against the background of a global long-term cycle of significant cooling.

The above-mentioned problems of climate change are also very important for hydrogeologists when considering the peculiarities of influence of possible climatic changes on the formation of groundwater resources. This is natural, as the main source of groundwater formation is precipitation. Consequently, scientifically based forecasts of changes in precipitation and river runoff in relation to possible climatic changes, i.e. climate models, are needed. Such climatic models should be the basis for projected changes in hydrogeological and, above all, hydrodynamic conditions. Based on this, given any increase or decrease in the norm of atmospheric precipitation and river runoff, it is quite easy to predict the change of groundwater flow in one or another direction, i.e. the natural resources of the upper aquifers.

It should be noted that the contribution of precipitation changes to the predicted changes in groundwater levels and discharges is only 10-30%. In addition, climatological forecasts do not provide quantitative insights into the intra-annual distribution of precipitation and evaporation. Thus, the planned climate change scenarios under any assessment will not lead to any significant changes in the estimated values of natural and predicted exploitable resources [1].

In the process of research on the impact of anthropization processes on the underground hydrosphere, the trend of anthropogenic changes in hydrogeological conditions was revealed mainly in two directions.

The first is a change in the hydrogeodynamic regime of groundwater causing a decrease in the level and depletion of groundwater reserves or an increase in the level causing the formation of technogenic waterlogging of territories [1, 2, 9]. Analysis of the current state of exploitation of groundwater deposits on the territory of Kazakhstan has shown that groundwater use of explored deposits occurs in insignificant quantities. Of the total amount of explored groundwater reserves, less than 20% is utilized during this period. There are very few groundwater deposits in Kazakhstan whose reserves would be used more than 40-50%. Consequently, groundwaters of Kazakhstan are not threatened by the depletion of their reserves in the process of their exploitation.

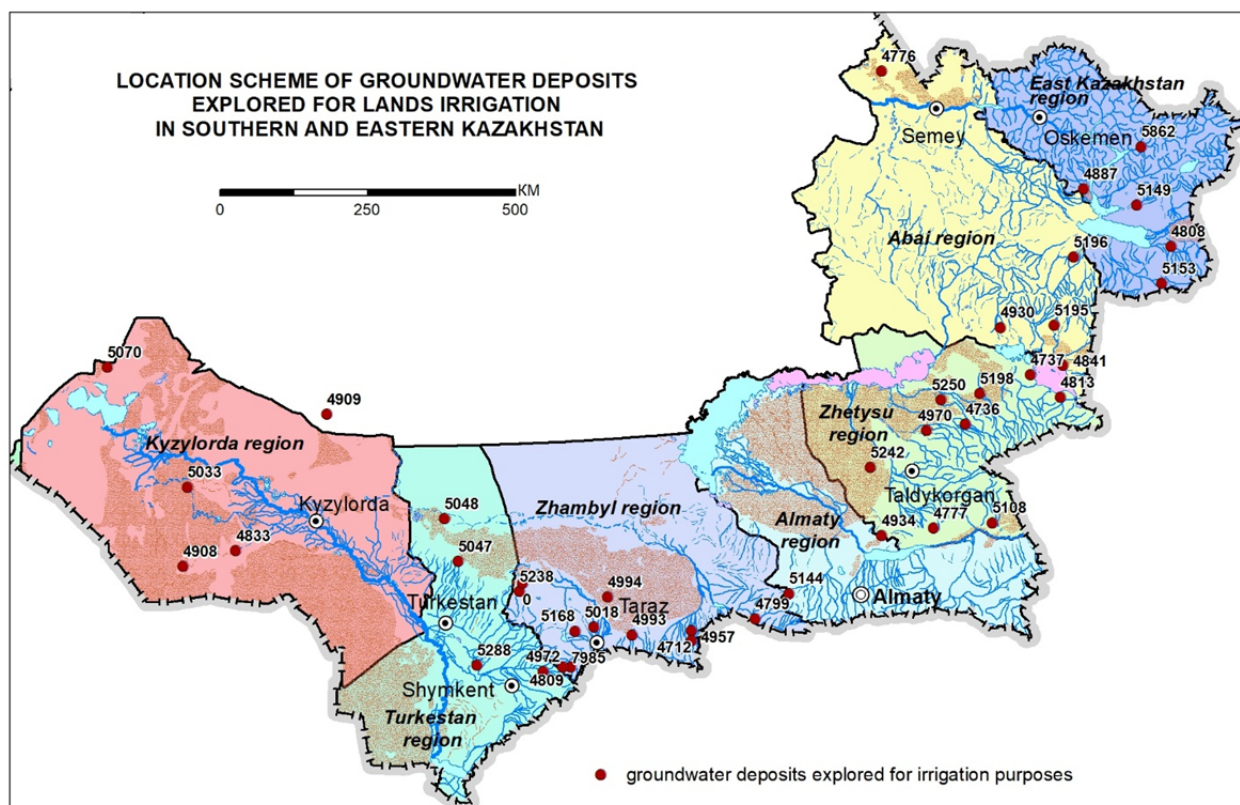
The second is hydrogeochemical changes in groundwater caused by contamination of the latter with gas, liquid and solid wastes from transportation, industry, agriculture, energy and life support facilities. Such changes can capture both significant changes and be local in nature. Pollution of fresh groundwater is of particular concern. Freshwater is a limited and vulnerable resource. It is difficult to overemphasize the significance of pollution of another environment that provides humans with the ability to survive, which could be compared to water pollution. At the same time, field studies have not established groundwater contamination in deposits explored for irrigation in the territories of South and East Kazakhstan. There are no sources of possible groundwater contamination in the vicinity of these deposits [10].

In future, under significant increase of regular irrigation area and intensive exploitation of groundwater deposits explored for irrigation, the following changes are possible: decrease of their natural (capacity) reserves; redistribution of main sources of supply, i.e., decrease of the role of infiltration of atmospheric precipitation due to increase of depth of level occurrence; filtration of surface (river) water will be carried out mainly in winter period only in rivers with permanent flow; increase of surface water filtration on irrigation fields and from irrigation and main canals as a result of increase of their areas and length of canals).

Materials and Methods. Conducted in 2023-2024, field studies within South Kazakhstan (Almaty, Zhetysay, Zhambyl, Kyzylorda and Turkestan regions) and East Kazakhstan (Abai and East Kazakhstan regions) have not revealed clearly expressed trends in the influence of climatic changes on groundwater resources in general, as well as on exploitable reserves of specific deposits explored for land irrigation. Some changes in the hydrodynamic regime (5-15 m lowering of the level) at such deposits, confined to river valleys, outflow cones, foothill plains, are related to the low-water period, which to some extent affected precipitation and surface water resources. Location of deposits of groundwater explored for irrigation within the territory of South and East Kazakhstan is reflected in figure.

Thus, under changes in hydrogeological and hydrodynamic conditions, the value of natural (capacitive) reserves may change, which is caused by a decrease in the thickness of aquifers. Natural (renewable) resources under groundwater exploitation for irrigation may be redistributed, filtration from rivers will decrease, filtration from irrigation systems and irrigation massifs will increase.

In these cases, it is important to assess the extent to which the exploitable groundwater reserves of the deposits in question are secured from the sources of their formation: natural resources, natural reserves, elastic reserves in the case of the use of pressurized groundwater and the impossibility of reliably determining natural groundwater resources.



Location scheme of groundwater deposits explored for lands irrigation in Southern and Eastern Kazakhstan

For the study area, the analysis of groundwater storage capacity at each deposit explored for irrigation was carried out to determine the possible impact of groundwater level reduction by 5-15 m on the size of groundwater storage capacity. Earlier, in the process of hydrogeological exploration works on specific deposits of groundwater explored for irrigation of lands, the assessment of the availability of exploitable groundwater reserves was carried out taking into account the genetic type of the deposit and lithology of water-bearing rocks, general hydrogeological and natural conditions.

Results. In order to assess the availability of operational groundwater reserves in deposits explored for irrigation, for each deposit, taking into account its genetic type, lithology of water-bearing rocks, general hydrogeological and natural conditions, natural reserves, natural resources, elastic reserves for pressure water, and in some deposits the groundwater recharge is due to precipitation were determined [11, 12].

Natural reserves represent the mass (volume) of groundwater contained in the considered element of the underground hydrosphere (reservoir, reservoir section, reservoir system, etc.). In turn, they are subdivided into the so-called *capacitive* reserves, determined by the amount of water that is extracted during drainage of the reservoir, and *elastic* reserves, which are formed when the piezometric level (reservoir pressure) of pressurized groundwater decreases due to water expansion and compaction of the mineral skeleton of the reservoir.

Capacitated natural reserves were determined by the formula:

$$V_e = FH\mu, \quad (1)$$

where V_e – natural (capacitive) reserves, m^3 ; F – area in the contour of the reduced radius of influence, m^2 ; H – weighted average thickness of the aquifer, m ; μ – specific water yield of water-bearing rocks.

The value of elastic natural pressure water reserves is determined by the formula:

$$V_e = \mu FH_{wa}, \quad (2)$$

where V_e – elastic groundwater reserves, m^3 ; μ – elastic water yield; F – area of aquifer distribution, m^2 ; H_{wa} – weighted average head above the overlying layer, m .

Water withdrawal availability at the deposit due to natural reserves development without taking into account replenishment was determined by the formula:

$$Q_r = \frac{a \cdot V_r}{t}, \quad (3)$$

where Q_r – water withdrawal due to natural reserves development, m³/day; V_r – value of natural reserves, m³, a – extraction coefficient (taken from 0.3 to 0.5); t – water intake operation period, days.

A natural resource is a fed inflow or outflow of groundwater. Natural resources of an aquifer within a certain area of distribution are characterized by the amount of its supply in undisturbed balance-hydrodynamic conditions (infiltration of atmospheric precipitation, overflow from adjacent aquifers, filtration from their surface watercourses and reservoirs).

Natural resources are formed under the influence of numerous natural factors: climatic characteristics, conditions of aquifer occurrence, composition and thickness of aeration zone rocks, capacity and permeability of water-bearing sediments, boundary conditions of the deposit, etc.

Natural resources were determined by the following methods:

– By groundwater flow rate, using Darcy's formula:

$$Q_e = km \cdot J \cdot B \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

where J – the average slope of the groundwater flow; km – average water permeability of the reservoir, m²/day; B – length of the design profile, m; α – angle of flow meeting with the design section (if any).

– Due to infiltration of atmospheric precipitation in some cases were determined by the formula:

$$Q_{pi} = \frac{F \cdot h \cdot 1000}{t}, \quad (5)$$

where Q_{pi} – value of infiltration of atmospheric precipitation, m³/s; h – precipitation layer, mm; F – area of aquifer supply, km²; t – the time of the greatest infiltration of precipitation, s.

To assess the availability of exploitable reserves for groundwater deposits explored for land irrigation within the territories of South, West and East Kazakhstan, the coefficient of availability of exploitable groundwater reserves $K_{availability}$ was used, which is the ratio of the total value of natural reserves and natural resources $Q_{availability}$ to the value of exploitable groundwater reserves explored for land irrigation $Q_{exploitable}$ at each groundwater deposit ($K_{availability} = Q_{availability} / Q_{exploitable}$).

All calculations made on availability of operational groundwater reserves explored for land irrigation were summarized in Table.

Analysis of the table shows that the coefficient of availability of operational groundwater reserves ($K_{availability}$) varies depending on hydrogeological conditions within significant limits and characterizes the resource potential of a particular groundwater deposit. The larger the value of the coefficient of availability of operational groundwater reserves, the more reliable are the resource components of a given groundwater deposit (GWD).

Discussion. In Almaty region, the $K_{availability}$ value varies from 1.12 (Karadala GWD) to 4.17 (Yuzhno-Kopinskoe GWD). In general, all fields of the region are reliably provided with natural resources and reserves, but at Karkarala GWD there is no possibility of reserves increase in the process of exploitation.

In the Zhetysu region, the $K_{availability}$ value ranges from 1.26 (Aksu GWD) to 3.83 (Karatal GWD). All deposits are reliably supplied with natural resources and reserves; there is no possibility of increasing exploitable reserves in the Aksu GWD.

The $K_{availability}$ value in the deposits of Zhambyl region ranges from 1.23 (Biylikol GWD) to 18.8 (Yuzhno-Kopinskoe GWD). In principle, all explored exploitable groundwater reserves at all fields are reliably secured, but there is no significant exploitable potential for increasing reserves at Biylikol GWD.

In Kyzylorda region the $K_{availability}$ value at groundwater fields is within 2.56-6.10 and only at Tolagai GWD it sharply increased up to 60. This indicates that the Tolagai GWD has significant groundwater resources and, if necessary, this can be proved by reassessment of exploitable reserves. Exploitable groundwater reserves of the region are reliably provided at all fields.

In Turkestan region at groundwater deposits, the $K_{availability}$ value ranges from 1.33 to 5.56. Exploitable reserves of all fields are secured.

Availability of exploitable groundwater reserves in deposits (ERG)

Administrative region. Cadastre GWD code	Name of GWD	Geological index of aquifer (complex)	Mineralization, g/l
1	2	3	4
Almaty	South Kazakhstan		
4849	Issyk-Turgen	apQ	0.1-0.7
4878	Karadala	N ₂ K	0.2-0.7
4881	Karoi	apQ _I	0.1-0.3
5056	Talgar	apQ	0.2-0.4
5089	Uzun-Agach	apQ _{I-II}	0.1-0.9
5112	Chilik	apQ	0.2-0.7
5144	Yuzhno-Kopinskoe	apQ _I / N ₁	0.2-0.9
Total GWD and reserves	7		
Zhetysay			
4736	Aksu	apQ _{I-II}	0.1-0.5
4737	Alakol	apQ-alQ _{I-II}	0.2-0.4
5250	Baskan	apQ	0.2-0.8
4777	Bashi	dp Q _I -ap Q _{II}	0.1-0.8
4813	Djungar	Q _{I-II}	0.2-0.4
5242	Karatal	Q _I / N ₂	0.8-0.9
4934	Kerbulak	Q _{I-II} / N ₂	0.5-0.8
4970	Molaly	aQ _{I-II} -apQ _{I-II}	0.4-0.7
5108	Khorgos	apQ _{I-II} -aQ	0.2-0.3
5198	Shilikta	apQ _{I-II}	0.2-0.6
Total GWD and reserves	10		
Zhambyl			
5238	Akzhar	P ₁ - P ₂	0.4-0.6
4712	Aspara	Q _I apQ _{II-III-N}	0.2-0.4
5168	Biylikol	aQ _{III-N2}	0.3-0.7
4799	Georgievskoye-Talapy	aQ _{III-IV}	0.3-0.5
4809	Zhualyn	apQ _{II-III}	0.2-0.5
4957	Merken	apQ _{II-III}	0.1-0.2
4993	Podgornenskoye	apQ _{II-III}	0.2-0.8
4994	Predpeskovoe	aQ-N ₂	0.3-0.8
4944	Lugovskoye	apQ _{II-III}	0.2-0.8
5018	Talas-Assin (North)	apQ _{III-IV} - N ₂	0.4-0.7
5144	Yuzhno-Kopinskoe	apQ _I - N ₁	0.2-0.9
7985	Shakpakata	C ₁	0.3-0.5
Total GWD and reserves	12		
Kyzylorda			
4833	Zhanadarya	K	1.0-2.0
4908	Kuvandarya	K ₂	1.3-1.4
4909	Kyzylkum	K ₂	1.6-2.0
5033	Sarybulak	K ₂	1.5-3.0
5070	Tolagai	P ₂	0.5-1.0
Total GWD and reserves	5		
Turkestan			
5288	Bugun	Q _{II} - N ₂	0.6-2.0
4972	Michurinskoe	apQ _{II-III}	0.5
5048	Suzak	N ₂ -P ₂ ¹⁻² , K ₂	0.3-1.8
5047	Suykbulak-Intymak	K ₂	0.5
Total GWD and reserves	4		
East Kazakhstan	East Kazakhstan		
4808	Dairov	aQ _{II} N ₂ -Q ₁	0.2-0.7
5149	Kalgutin	apQ	0.2-0.8
4887	Kuludzhun	apQ	0.2-0.8
5862	Narym	aQ _{II-III}	0.2-0.4
5153	Chilikta	apQ _{II} .N ₂ -Q ₁	0.2-0.3
Total GWD and reserves	5		
Abai			
4776	Balapanovskoye	aQ _{II-III} N ₂ -Q ₁ , P ₂₋₃	0.2-0.6
4841	Zharbulak	apQ _I , apQ _{II-III}	0.1-0.5
4930	Karakol	aQ-apQ	0.4-1.0
5195	Katynsu	aQ-apQ _{I-IV}	0.2-0.5
5196	Kurailin	aQ-apQ _{I-IV}	0.3-0.8
Total GWD and reserves	5		

explored for land irrigation in South and East Kazakhstan

ERGW value for irrigation			Availability of ERGW		The total value of ERGW availability, $Q_{availability}, m^3/s$	Coefficient of ERGW availability $K_{availability} = Q_{availability}/Q_{exploitable}$
thous. m^3/day	$km^3/year$	m^3/s	with natural reserves, m^3/s	with natural resources, m^3/s		
5	6	7	8	9	10	11
South Kazakhstan						
583.2	0.2128	6.75	4.83	10.64	15.47	2.29
776.1	0.2832	8.9826	6.7	3.358	10.058	1.12
12.9	0.0047	0.1493	0.09	0.47	0.56	3.75
288.72	0.1053	3.3416	3.44	10.49	13.93	4.17
257	0.0938	2.9745	2.69	3.46	6.15	2.06
1341	0.4894	15.5208	14.27	14.61	28.88	1.86
73	0.0266	0.8449	1.4	2.3	3.7	4.37
3331.92	1.2158	38.5637				
1497.5	0.5465	17.3321	2.8	19.06	21.86	1.261
864.7	0.3156	10.0081	3.79	22.66	26.45	2.64
259.2	0.0946	3.0	1.32	4.88	6.2	2.06
116.6	0.0425	1.3495	0.63	3.7	4.33	3.21
802.6	0.2929	9.2893	2.3	10.75	13.05	1.40
311	0.1135	3.5995	11.5	2.3	13.8	3.83
140.2	0.0511	1.6226	1.92	1.5	3.42	2.11
457.7	0.167	5.2874	2.3	5.8	8.1	1.53
2643.9	0.965	30.6006	16.7	28.2	44.9	1.47
755.1	0.2756	8.7395	3.5	10.564	14.064	1.61
7848.5	2.8643	90.8286				
43.2	0.0157	0.5	0.67	0.378	1.048	2.09
129.6	0.0473	1.5	2.2	7.97	10.17	6.78
293.7	0.1072	3.3993	3.12	1.07	4.19	1.23
46.6	0.017	0.5393	0.190	0.647	0.837	1.55
292.1	0.1066	3.3807	0.083	7.5	7.583	2.24
116.7	0.0425	1.3506	2.6	8.28	10.88	8.05
330	0.1204	3.8194	0.07	5.8	5.87	1.54
294.9	0.1076	3.4131	4.8	3.17	7.97	2.33
500	0.1825	5.7870	13.4	8.4	21.8	3.76
228.1	0.0832	2.64	6.97	4.6	11.57	4.38
18.3	0.0066	0.2118	1.7	2.13	3.83	18.08
0.740	0.00027	0.00856	0.01	0.020	0.03	3.50
1 793.94	0.6543	20.7627				
21.6	0.0078	0.25	0.7	0.18	0.88	3.52
72.5	0.0264	0.8391	1.724	0.17	1.894	2.56
71.5	0.026	0.8275	3.92	0.26	4.18	5.05
21.1	0.0077	0.2442	1.3	0.19	1.49	6.10
4.8	0.0017	0.0555	2.65	0.69	3.34	60.0
191.5	0.0696	2.2163				
302.4	0.1103	3.5	1.94	2.72	4.66	1.33
42.9	0.0156	0.4965	0.8	1.75	2.55	5.13
138.6	0.0505	1.6041	3.7	4.316	8.016	4.99
23.3	0.0085	0.2696	0.8	0.7	1.5	5.56
507.2	0.1849	5.8702				
East Kazakhstan						
667.3	0.2435	7.7233	0.5	10.2	10.7	1.38
45	0.0164	0.5208	0.3	1.8	2.1	4.03
136.7	0.0498	1.5821	0.08	2.7	2.8	1.77
85.7	0.0312	0.9918	0.089	1.00	1.089	1.09
139.1	0.0505	1.6099	0.4	3.22	3.62	2.25
1073.8	0.3914	12.4279				
85.794	0.0313	0.9929	0.3	0.942	1.242	1.25
1071.3	0.391	12.3993	19.3	3.8	23.1	1.86
216	0.0788	2.5	1.2	2.07	3.27	1.30
483.8	0.1765	5.5995	1.9	6.5	8.4	1.5
380.12	0.1387	4.3995	1.22	6.68	7.9	1.79
2237.01	0.8163	25.8912				

The $K_{availability}$ value in the fields of East Kazakhstan region ranges from 1.0 (Narym GWD) to 4.03 (Kalgutin GWD). Exploitable reserves are secured. There is no prospect of possible increase of groundwater reserves in the Kalgutin GWD.

In the Abai region, the $K_{availability}$ value at the fields varies insignificantly: from 1.25 to 1.86. Exploitable reserves are secured, but there are no significant prospects for their increase in the future.

Conclusion. The analysis of the results of the completed study allowed us to draw the following conclusions:

- the trend of anthropogenic changes in hydrogeological conditions occurs mainly in changes in the hydrogeodynamic regime of groundwater and hydrogeochemical state of groundwater;
- groundwater contamination has not been established by field studies at deposits explored for irrigation;
- some changes in the hydrodynamic regime (5-15 m lowering of the level) at deposits confined to river valleys, outflow cones, foothill plains, are related to the low-water period;
- if hydrogeological and hydrogeochemical conditions can be changed, the value of natural (capacity) reserves may change due to a decrease in the thickness of aquifers. In these cases, it is important to assess the extent to which the exploitable groundwater reserves of the deposits in question are secured from the sources of their formation;
- to assess the availability of exploitable reserves for groundwater deposits explored for land irrigation, the coefficient of availability of exploitable groundwater reserves $K_{availability}$ was used, which is the ratio of the total value of natural reserves and natural resources to the value of exploitable groundwater reserves explored for land irrigation $Q_{exploitable}$;
- on all groundwater deposits explored for land irrigation in the regions of South and East Kazakhstan, operational reserves are fully secured with natural resources and reserves;
- climatic changes in the groundwater level regime of individual deposits, due to low water years, will not significantly affect the values of exploitable reserves of groundwater deposits explored for irrigation.
- the conducted studies allow for a timely assessment of possible changes in the sources of formation of operational reserves of groundwater and to determine the most rational mode of exploitation of a groundwater deposit explored for irrigation of lands, allowing for continuous exploitation of groundwater during the growing season.

Financing. This research is funded by the Committee for Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant No. BR 21882211).

REFERENCES

- [1] Smolyar V. A. Forecast of changes in groundwater resources under the influence of climatic factors. Geology and protection of the subsoil. Almaty: KazGEO, 2017. No. 4. P. 60-66 (in Russ.).
- [2] Zverev V. P. Underground waters of the Earth's crust and geologic processes. M.: Scientific World, 2007. 256 p. (in Russ.).
- [3] Samir Ait M'Barek, Yassine Bouslihim, Aicha Rochdi, Abdelhalim Miftah, Mohamed Beroho. The combined impact of climate change scenarios and land use changes on water resources in a semi-arid watershed. Scientific African 25, 2024, e02319 <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02319>
- [4] Jamshid Jalali, Nishan Bhattacharai, Jillian Greene, Tao Liu, Oskar Marko, Mirjana Radulović, Molly Sears, Sean A. Woznicki. Climate change threatens water resources for major field crops in the Serbian Danube River Basin by the mid-21st century // Journal of Hydrology: Regional Studies 59, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025>
- [5] Parisa-Sadat Ashofteh, Mahdiah Kalhori, Vijay P. Singh. Water resources management considering groundwater instability affected by climate change scenarios // Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C 135, 2024, 103606 <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103606>
- [6] Fatemeh Rastegaripour, Abolfazl Tavassoli, Mahdi Babaeian, Jesús Fernández-Gálvez, Andrés Caballero-Calvo. Assessing the impacts of climate change on water resource management and crop patterns in Eastern Iran. Agricultural Water Management 295, 2024, 108774 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108774>
- [7] Amanda Carneiro Marques, Carlos Eduardo Veras, Daniel Andrés Rodríguez. Assessment of water policies contributions for sustainable water resources management under climate change scenarios // Journal of Hydrology. 608, 2022, 127690 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127690>
- [8] Robel Tilaye Geressu, Christian Siderius, Seshagiri Rao Kolusu, Japhet Kashaigili, Martin C. Todd, Declan Conway, Julien J. Harou. Evaluating the sensitivity of robust water resource interventions to climate change scenarios // Climate Risk Management. 37 2022, 100442 <https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100442>
- [9] Smolyar V. A. Influence of changes in the hydrogeodynamic regime of groundwater on the environment // Geology and protection of the subsoil. Almaty.: KazGEO, 2017. No. 1(62). P. 54-62 (in Russ.).
- [10] Absametov M. K., Murtazin E. Zh., Mukhamedzhanov M. A. et al. Rational use and protection of groundwater of the Republic of Kazakhstan under conditions of climatic and anthropogenic changes. Almaty, 2020. 280 p. (in Russ.).

[11] Borevsky B. V., Drobnokhod N. I., Yazvin L. S. Estimation of groundwater reserves. K.: Vyshchy shk. Head Publishing House, 1989. 407 p. (in Russ.).

[12] Shtengelov R. S. Formation and estimation of operational reserves of fresh groundwater. M.: Subsoil, 1988. 231 p. (in Russ.).

В. А. Смоляр¹, Д. К. Аденова^{*2}, Е. Ж. Муртазин³, Т. А. Рахимов⁴

¹ Геология-минералогия ғылымдарының докторы, бас ғылыми қызметкер («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; v_smolyar@mail.ru)

^{2*} PhD, жетекші ғылыми қызметкер («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; adenovadinara@gmail.com)

³ Геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, директордың ғылым жөніндегі орынбасары («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; ye_murtazin@list.ru)

⁴ PhD, аймақтық гидрогеология және геоэкология зертханасының меңгерушісі («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; t-rakhimov@mail.ru)

СУАРУ ҮШІН БАРЛАНҒАН ЖЕРЛЕРДЕ, ЖЕРАСТЫ СУ КЕНОРЫНДАРЫНДАҒЫ ТАБИҒИ ЖӘНЕ ТЕХНОГЕНДІК ПРОЦЕСТЕРДІҢ ӘСЕРІНЕН ЭКСПЛУАТАЦИЯЛЫҚ ҚОРЛАРЫНЫҢ ӨЗГЕРУ МҮМКІНДІГІНІҢ БОЛЖАМЫ

Аннотация. Мақалада гидрогеологиялық жағдайдағы антропогендік өзгерістердің бағытына талдау жасалып, Қазақстанның жерасты суларына оларды пайдалану кезінде олардың қорларының сарқылу қаупі болмайтыны анықталды. Оңтүстік және Шығыс Қазақстан аумақтарындағы жерлерді суару үшін барланған кен орындарында жерасты суларының ластануы анықталған емес. Гидродинамикалық режимнің өзгерістері өзен аңғарларында, аллювийлік желдеткіштерде және тау етегіндегі жазықтарда орналасқан кен орындарында байқалды. Табиғи және техногендік процестердің әсерінен пайдалану сенімділігін анықтау мақсатында аталған кен орындары бойынша жерасты суларының пайдалану қорларымен олардың пайда болу көздері бойынша қамтамасыз етілу дәрежесіне бағалау жүргізілді, әрбір кен орны бойынша жерасты суларының пайдалану қорымен қамтамасыз ету коэффициенті анықталды.

Түйін сөздер: пайдаланылатын қорлар, жерасты суларының кен орындары, жерді суару.

В. А. Смоляр¹, Д. К. Аденова^{*2}, Е. Ж. Муртазин³, Т. А. Рахимов⁴

¹ Доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; v_smolyar@mail.ru)

^{2*} PhD, ведущий научный сотрудник (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; adenovadinara@gmail.com)

³ К. г.-м. н., заместитель директора по науке (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; ye_murtazin@list.ru)

⁴ PhD, заведующий лабораторией региональной гидрогеологии и геоэкологии (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; t-rakhimov@mail.ru)

ПРОГНОЗ ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВЕЛИЧИНЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД, РАЗВЕДАННЫХ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ

Аннотация. Приведен анализ направленности антропогенных изменений гидрогеологических условий. Выявлено, что подземным водам Казахстана не угрожает истощение их запасов в процессе эксплуатации. Не установлено загрязнение подземных вод на месторождениях, разведанных для орошения земель в Южном и Восточном Казахстане. Отмечены изменения гидродинамического режима на месторождениях, приуроченных к долинам рек, конусам выноса, предгорным равнинам. Произведена оценка степени обеспеченности эксплуатационных запасов подземных вод на указанных месторождениях за счет источников их формирования с целью определения надежности эксплуатации под воздействием природных и техногенных процессов. Определен коэффициент обеспеченности эксплуатационных запасов подземных вод для каждого месторождения.

Ключевые слова: эксплуатационные запасы, месторождения подземных вод, орошение земель.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-3-42-57.31>

МРНТИ 50.47

УДК 62-52

М. А. Ли¹, Т. К. Иманалиев², Е. С. Тургынбеков^{*3}, Т. Т. Ибраев⁴, Н. Н. Балгабаев⁵

¹ К.т.н., руководитель лаборатории «управление спросом на воду»

(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; limarina76@mail.ru)

² Заведующий отделом «управление водными ресурсами» (ТОО «Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства», Тараз, Казахстан; tonimontana_777@mail.ru)

^{3*} PhD докторант, старший преподаватель кафедры «автоматика и телекоммуникация» (Таразский университет им. М. Х. Дулати, Тараз, Казахстан; Bosik_90@mail.ru)

⁴ К.т.н., ведущий научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; kiwr-t@mail.ru)

⁵ Д.с.-х.н., и.о. генерального директора (ТОО «Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства», Тараз, Казахстан; balgabayev@mail.kz)

СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОДАЧИ ВОДЫ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ С МАЛЫМИ РАСХОДАМИ

Аннотация. Повышение эффективности управления водными ресурсами и эксплуатации оросительных каналов напрямую связано с автоматизацией контроля, учета и распределения воды на них, что является ключевым приоритетом в данной сфере. Проблема обеспечения водой для орошения в зонах с недостаточным естественным увлажнением обостряется из-за отсутствия должной эксплуатации оросительных сетей, особенно каналов с малыми расходами. С целью создания автоматизированной системы управления водораспределением на оросительных каналах с малыми расходами разработаны алгоритмы управления гидротехническим затвором. Предложено внедрение ПИД-регулятора, который обеспечивает автоматическое управление открытием и закрытием затвора на основании данных о расходе воды, поступающих от расходомера.

Ключевые слова: автоматизация, алгоритм, затвор гидротехнический, канал оросительный, расход, регулирование, управление.

Введение. Эффективность мелиорации земель во многом определяется состоянием оросительных систем. Современные системы требуют четкого и оперативного управления процессами распределения воды не только на магистральных каналах, но и по каналам межхозяйственной и внутрихозяйственной сети. Отсутствие автоматизированных систем водораспределения на них влечет за собой нарушение планового водопотребления и рост непроизводительных потерь. Автоматизация управления водораспределением позволит создать условия для устойчивого, равноправного вододеления и оперативного контроля для обеспечения потребителей водой в нужные сроки и в необходимом количестве.

Известные ученые, включая Я. В. Бочкарева, М. З. Ганкина, Ю. Г. Иваненко, А. Л. Ильмера, О. П. Кисарова, П. И. Коваленко, В. И. Коржова, Э. Э. Маковского, М. Ф. Натальчука, Е. Е. Овчарова, В. И. Ольгаренко, В. Н. Щедрина и многих других, внесли значительный вклад в совершенствование и оптимизацию водораспределения на оросительных системах. Их исследования охватывают широкий спектр вопросов – от теоретического обоснования необходимости создания оросительных систем до разработки и внедрения передовых технологий управления водораспределением, основанных на автоматизации и телемеханизации, с целью рационального распределения и комплексного использования водных ресурсов.

Необходимость в таких разработках в настоящее время подтверждается множеством научных работ, которые посвящены автоматизированным технологиям управления водными ресурсами на оросительных каналах. Представленные материалы демонстрируют разнообразие рассматриваемых вопросов, связанных с автоматизацией оросительных систем с различными сетями каналов и гидросооружениями, а также их режимами работы и методами автоматизации водораспределения и контроля водопотребления [1–11].

Ученые Киргизии предлагают адаптировать автоматизированные системы водораспределения к специфике своей страны. Ключевым элементом их подхода является разработанный ими метод непосредственного отбора воды. Реализация этих схем осуществляется с помощью гидроавтоматики, в частности водовыпусков-стабилизаторов, которые гарантируют подачу воды в отводы с погрешностью не более $\pm 5\%$ от расчетного расхода [12].

Исследователи из Китая разработали инновационную систему управления водосбережением, основанную на искусственном интеллекте. Эта технология с учетом текущих потребностей и возможностей управления водными ресурсами страны сочетает ПИД-регулирование с передовыми алгоритмами. Такая комплексная технология успешно внедрена в Китае, продемонстрировав значительную экономию воды [13].

Постоянное совершенствование технологий и создание новых разработок в сфере автоматизации процесса управления водными ресурсами на оросительных системах являются ключевым фактором для успешного развития мелиоративной науки и практики. В текущих условиях ограниченности водных ресурсов особую актуальность приобретают задачи разработки систем регулирования расхода воды, обеспечивающих сбалансированное водораспределение посредством автоматизированных систем управления.

Материалы и методы исследования. В рамках текущего научно-исследовательского проекта осуществляется разработка автоматизированной модели гидротехнического затвора для эксплуатации на оросительных каналах с малыми значениями расхода.

Автоматический гидротехнический затвор с водосливным устройством представляет собой инновационный комплекс, предназначенный для точного регулирования, измерения и автоматического управления подачей воды в оросительные каналы. Конструкция включает щитовое затворное устройство, прямоугольный водосливной лоток, треугольный (V-образный) водослив и панель управления с GSM-связью (рисунок 1).

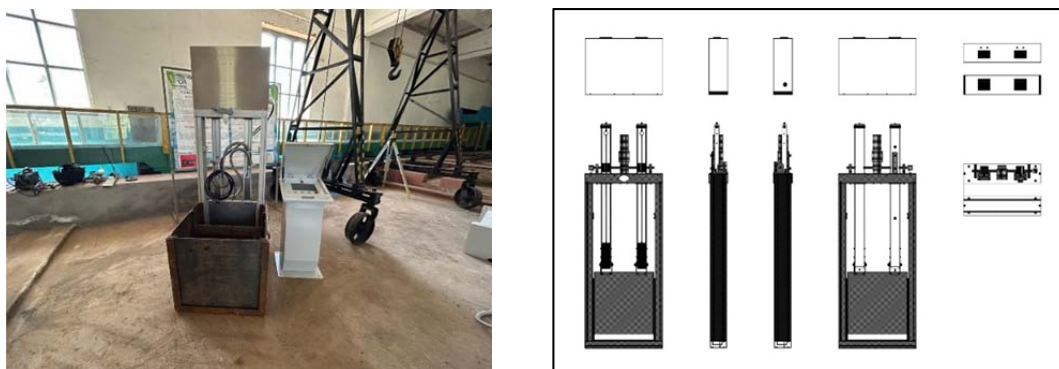


Рисунок 1 – Автоматизированная модель гидротехнического затвора с панелью управления

Figure 1 – Automated model of hydraulic gate with control panel

При выполнении научной работы был применен набор взаимосвязанных методов, обеспечивающих разработку, реализацию и проверку работоспособности автоматизированной системы регулирования расхода воды на оросительных каналах с малыми расходами.

Аналитический метод использовался для расчёта гидравлических характеристик открытого канала, определения соотношений между уровнем воды и расходом, а также для выбора параметров ПИД-регулятора на основе классических уравнений регулирования. Кроме того, с его помощью проведён анализ применимости методов измерения и управления в условиях низких дебитов и нестабильных гидравлических режимов.

Инженерный метод был использован при проектировании архитектуры системы управления, включая разработку функциональных и электрических схем. На основании требований к системе подобраны компоненты: контроллер Siemens S7-1200, исполнительные механизмы, датчики уровня, конечные выключатели, модули ввода/вывода и элементы автономного питания.

Математическое моделирование применялось при разработке и верификации алгоритмов управления в среде программирования TIA Portal. Построены блоки масштабирования аналогового

сигнала, реализованы логические схемы управления затвором и создана структура ПИД-регулятора с параметрической настройкой. Осуществлено моделирование типовых эксплуатационных режимов системы, включая сценарии перегрузки, ошибки измерений и резкого изменения расхода.

Программно-инженерный метод заключался в реализации прикладного программного обеспечения контроллера, где с использованием инструментария TIA Portal созданы модули обработки сигналов, ПИД-регулирования, интерфейса оператора (HMI), а также блоки диагностики и управления аварийными ситуациями.

Экспериментальный метод был задействован на этапе функционального тестирования разработанной программы на лабораторной установке, имитирующей условия эксплуатации на реальном оросительном канале. Проверялись корректность масштабирования аналогового сигнала, устойчивость работы ПИД-регулятора, реакция системы на изменение уставок, поведение в аварийных режимах.

Комплексное применение указанных методов позволило обеспечить всестороннюю проработку технических и программных решений, а также их адаптацию к условиям эксплуатации оросительных сетей с малыми расходами воды.

В рамках проекта реализованы технические решения, соответствующие современным требованиям к надёжности, энергоэффективности и адаптируемости к условиям сельскохозяйственной эксплуатации.

Разработанная функциональная схема системы управления автоматизированного гидрозатвора содержит графические обозначения всех применяемых элементов электроавтоматики (рисунок 2).

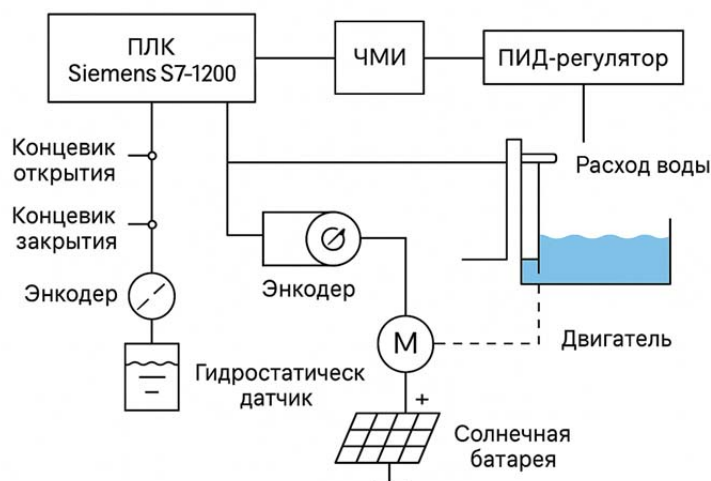


Рисунок 2 – Функциональная схема системы управления автоматизированным гидрозатвором

Figure 2 – Functional diagram of the control system of the automated water shutter

Особенность решения заключается в том, что в качестве измерительного элемента использован гидростатический датчик, фиксирующий уровень воды в канале. Таким образом, расход определяется косвенным способом через преобразование уровня воды в оценочное значение расхода по известным гидравлическим зависимостям.

Подобные датчики традиционно используются в задачах мониторинга уровня, однако в предлагаемом проекте реализована методика косвенного измерения расхода воды на основе уровня с последующим пересчётом в значение расхода через программный модуль масштабирования. Это решение позволяет отказаться от использования дорогостоящих расходомеров и адаптировать систему к условиям малых расходов и нестабильного гидравлического режима. В отличие от типовых решений, ориентированных на прямое измерение расхода, эта система обеспечивает высокую точность при минимальной стоимости оборудования и повышенной надёжности в полевых условиях.

Для управления затвором был выбран контроллер Siemens S7-1200, который зарекомендовал себя как надёжное и удобное решение для задач промышленной автоматизации (рисунок 3).

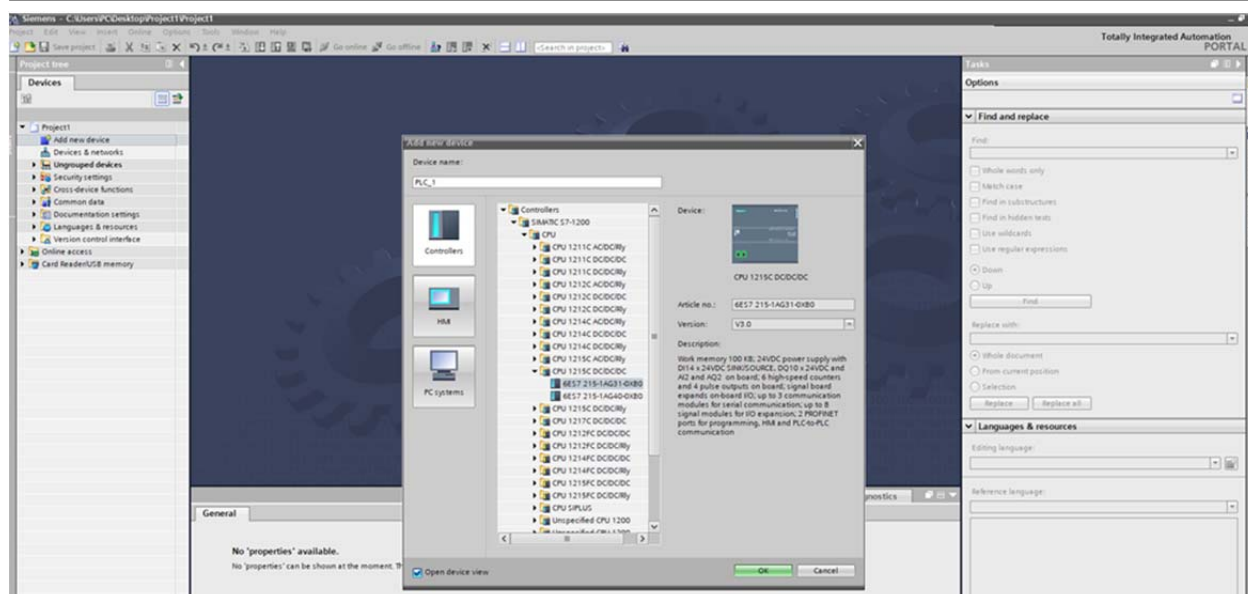


Рисунок 3 – Разработка проекта и подбор контроллеров

Figure 3 – Design development and controller selection

Контроллер Siemens S7-1200 обладает рядом технологических и эксплуатационных преимуществ. В ходе проектирования рассмотрены альтернативные варианты, включая контроллеры Arduino, Delta (серия DVP-SX2) и PLCnext AXC F 2152. Анализ показал, что только Siemens S7-1200 обеспечивает оптимальное сочетание таких параметров, как:

- наличие встроенных блоков ПИД-регулирования (PID_3Step и PID_Compact), не требующих стороннего программного обеспечения;
- поддержка аналоговых и цифровых модулей ввода/вывода;
- промышленное исполнение, устойчивость к перепадам напряжения и внешним воздействиям;
- развитая программная среда TIA Portal с возможностью моделирования, отладки и визуализации процессов;
- наличие сертифицированной технической поддержки и широкого сообщества разработчиков.

Выбор контроллера базировался на требованиях к автономной работе, энергонезависимости, совместимости с солнечным питанием и минимальной сложности обслуживания в условиях ограниченной инфраструктуры.

На рисунке 4 представлена визуализация сравнительного анализа контроллеров в виде тепловой карты. Чем выше оценка (от 1 до 5), тем лучше контроллер соответствует требованиям по каждому параметру. Siemens S7-1200 выделяется как наиболее сбалансированный по всем критериям.

Выбранная для реализации проекта серия программно-логистических контроллеров (ПЛК) S7-1200 идеально подходит для решения задач по автоматизации управления водными ресурсами. Среди ее преимуществ можно выделить небольшие размеры, доступную цену и широкий набор команд. Контроллер S7-1200 и программные средства, работающие на базе Windows, гарантируют адаптируемость решений по управлению водными ресурсами. Кроме того, этот контроллер способен обрабатывать как аналоговые, так и дискретные сигналы, поэтому является предпочтительным вариантом для автоматизации процесса управления расходами воды при помощи расходомера (рисунок 5).

Программирование контроллера осуществляется с помощью программного обеспечения TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal), которое позволяет создавать гибкие и эффективные алгоритмы управления. Программное обеспечение, включающее разработку проекта для контроллера и устройств распределённого ввода-вывода, настройку интерфейса взаимодействия человека и машины, параметризацию сетевых элементов и модулей коммуникации, отладку

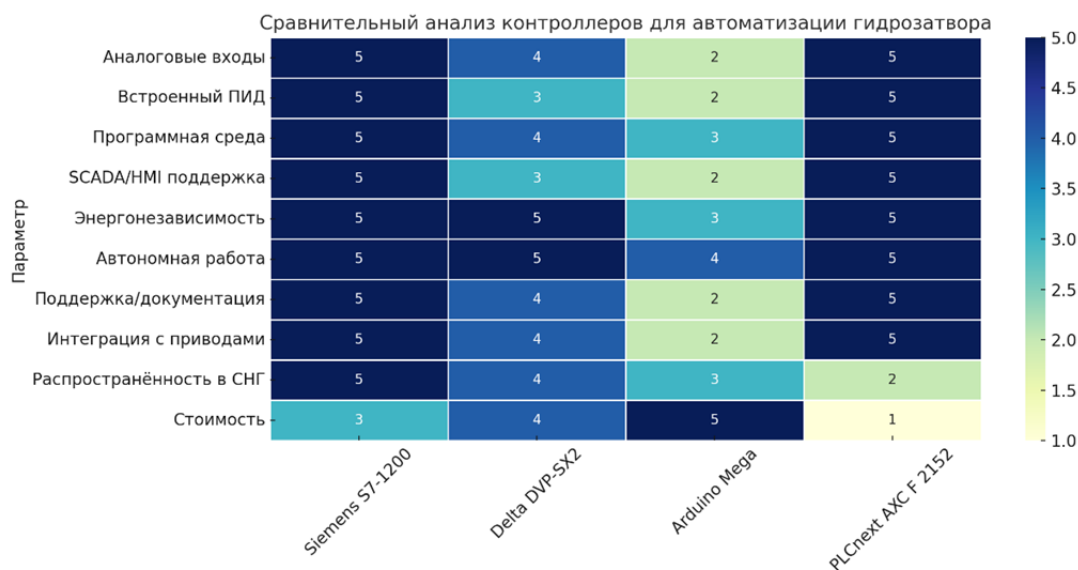


Рисунок 4 – Визуальное сравнение технических характеристик контроллеров для систем управления расходом воды
Figure 4 - Visual comparison of technical characteristics of controllers for water flow control systems

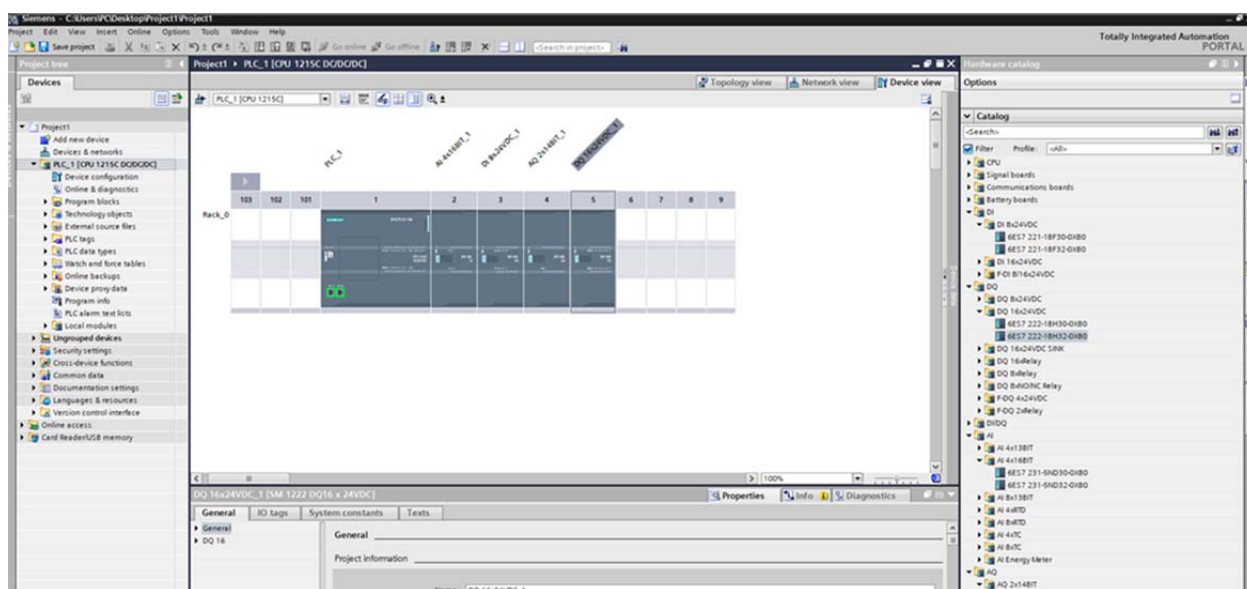


Рисунок 5 – Аналоговые и дискретные модули
Figure 5 – Analogue and discrete modules

управляющих алгоритмов, а также пусконаладку приводов, обладает единой структурой и унифицированным пользовательским интерфейсом. Это ускоряет не только рабочий процесс, но и способствует созданию прозрачных решений, обслуживанию и диагностике которых легко обучиться.

Во главу угла продукта TIA Portal поставлена простота использования продукта (Usability). Принципиально новый пользовательский интерфейс призван облегчить работу с платформой, а его унификация и стандартизация упрощают работу с разнообразным оборудованием. Это новое слово в разработке программного обеспечения. Основной упор сделан на наглядность, интуитивную понятность и отсутствие многократно вложенных структур.

Одной из ключевых задач, которую предстояло решить, было масштабирование (преобразование) аналогового сигнала, поступающего от расходомера, в реальные значения расхода воды (рисунок 6).

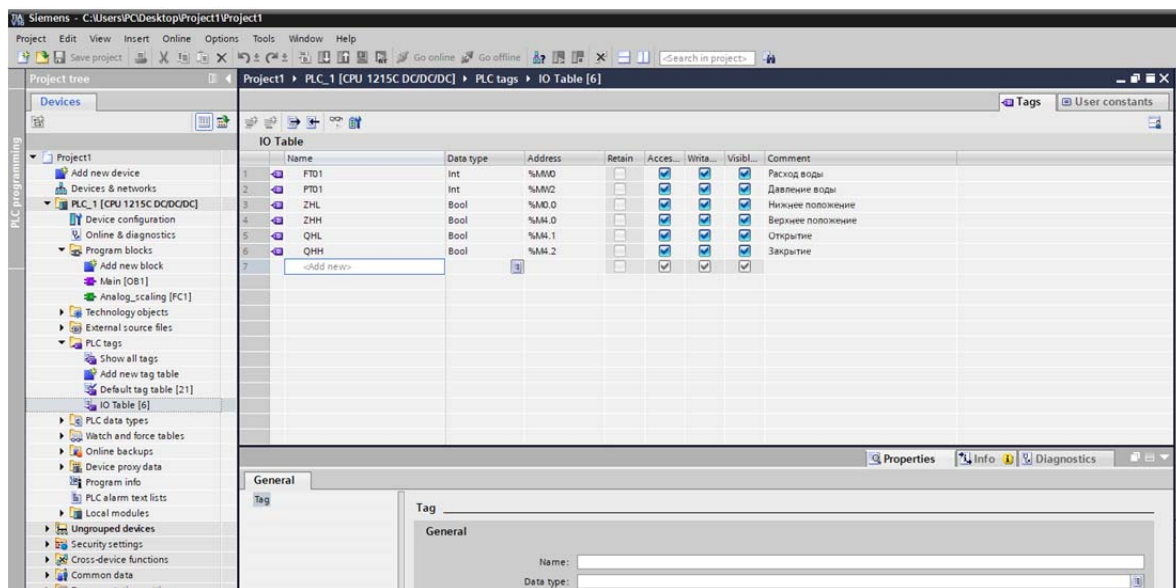


Рисунок 6 – Добавление используемых сигналов

Figure 6 – Adding the used signals

Расходомер, используемый в системе, работает на основе аналогового сигнала, который варьируется от 4 до 20 мА. Для корректной работы системы управления необходимо было преобразовать этот сигнал в физические единицы, которые соответствуют реальному расходу воды. Для этого разработан специальный программный блок в TIA Portal, который выполняет функцию масштабирования сигнала.

Программирование процесса масштабирования включает использование математической формулы, которая позволяет преобразовать аналоговый сигнал в значение расхода воды (рисунок 7).

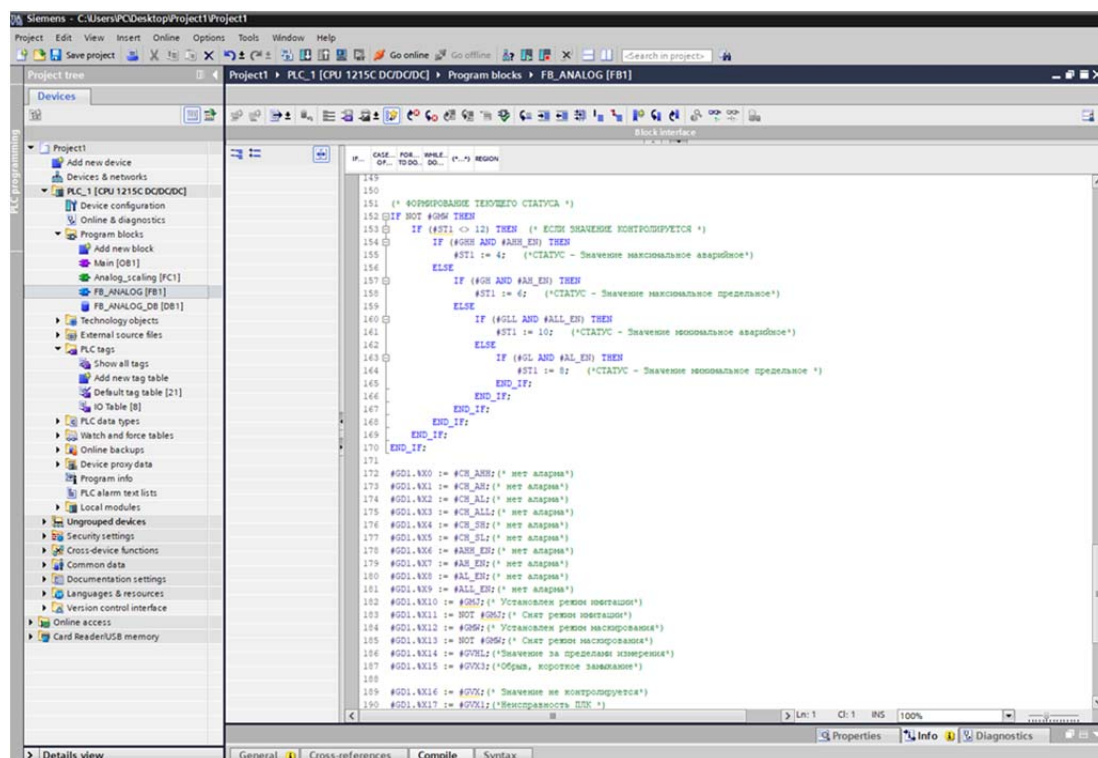


Рисунок 7 – Разработка блока масштабирования аналогового сигнала

Figure 7 – Development of analogue signal scaling block

Аналоговый сигнал от датчиков уровня и расходомеров 4–20 мА требует преобразования в физические единицы измерения для дальнейшего применения в алгоритмах регулирования. Преобразование осуществляется с использованием стандартной линейной формулы масштабирования, общепринятой в системах автоматизации:

$$Q = \left(\frac{(V_{\text{аналог}} - V_{\min}) \cdot (Q_{\max} - Q_{\min})}{(V_{\max} - V_{\min}) + Q_{\min}} \right), \quad (1)$$

где $V_{\text{аналог}}$ – текущее значение аналогового сигнала, полученного от расходомера; $V_{\min}$ и $V_{\max}$ – минимальные и максимальные значения сигнала (в данном случае 4 и 20 мА соответственно); $Q_{\min}$ и $Q_{\max}$ – минимальные и максимальные значения расхода воды, которые устанавливаются в зависимости от характеристик оросительной системы.

Эта формула описана в руководствах по промышленным контроллерам и применяется в широком спектре задач. В рамках проекта разработан программный блок масштабирования, реализованный в среде TIA Portal. Он допускает параметризацию границ, фильтрацию шумов, диагностику обрыва/перегрузки сигнала и прямую интеграцию с блоками ПИД-регуляции.

Применение формулы (1) позволяет корректно преобразовать сигнал и учитывать его при управлении затвором. Для реализации данного функционала в TIA Portal был создан блок, отвечающий за масштабирование. В этом блоке аналоговый сигнал, поступающий от расходомера, преобразуется в величину, соответствующую реальному расходу воды. Программирование этого блока требует предельной точности, так как ошибки в параметрах системы напрямую влияют на регулирование затвора и могут привести к его неправильной работе.

Управление затвором осуществляется на основе специализированного алгоритма, принимающего во внимание текущий расход воды, заданные пользователем пределы (минимальный и максимальный), а также ряд дополнительных условий. При превышении установленных лимитов расхода затвор автоматически закрывается, предотвращая перерасход, в случае недостаточного расхода затвор открывается, увеличивая подачу. Этот алгоритм обеспечивает точное регулирование расхода воды и способствует оптимизации использования водных ресурсов в ирригационных системах.

Главной задачей была разработка алгоритмов управления затвором. Для достижения этой цели был внедрен ПИД-регулятор, который обеспечивает автоматическое управление открыванием и закрыванием затвора на основании данных о расходе воды, поступающей от расходомера.

Использование ПИД-регуляторов в задачах автоматизации является широко распространённым подходом, однако в контексте работы с низкодебитными оросительными каналами возникают специфические требования:

- значительная инерционность отклика системы;
- наличие турбулентных и стохастических колебаний уровня;
- задержки сигнала и слабая динамика регулирования;
- необходимость трёхпозиционного управления приводом (вперёд/назад/стоп).

Для реализации ПИД-регулятора использовалась инструкция PID_3Step в среде программирования TIA Portal. Этот регулятор был выбран за его способность эффективно управлять системами с интегрирующим поведением, что особенно важно для управления гидротехническими затворами и клапанами. Инструкция PID_3Step позволяет управлять клапаном по аналоговому сигналу, корректируя его положение в зависимости от изменений параметров потока воды (рисунок 8).

Описание ПИД-алгоритма и его реализация. Алгоритм ПИД-регулятора PID_3Step основан на классической схеме ПИД-регулирования, где используются три составляющие: пропорциональная (P), интегральная (I) и дифференциальная (D) (рисунок 9) [15].

При этом мы должны учитывать свои условия проекта: типы сигналов, промежуток между открытием и закрытием гидротехнического затвора, корректировку переменных. Это обеспечивает точную реакцию системы на изменения параметров потока воды.

Для расчета ПИД-регулятора в структурированной (взвешенной) форме используют следующее уравнение [15]:

$$\Delta y = K_p \cdot s \cdot \left[(b \cdot w - x) + \frac{1}{T_i \cdot s} (w - x) + \frac{T_D \cdot s}{a \cdot T_D \cdot s + 1} (c \cdot w - x) \right], \quad (2)$$

где Δ_y – выходное значение ПИД-алгоритма; K_p – пропорциональный коэффициент усиления; s – оператор Лапласа; b – взвешивание пропорционального воздействия; w – уставка; x – значение процесса; T_I – интегральное время действия; a – коэффициент производной задержки ($T_I = a \times T_D$); T_D – время производного действия; c – весовой коэффициент производного действия.

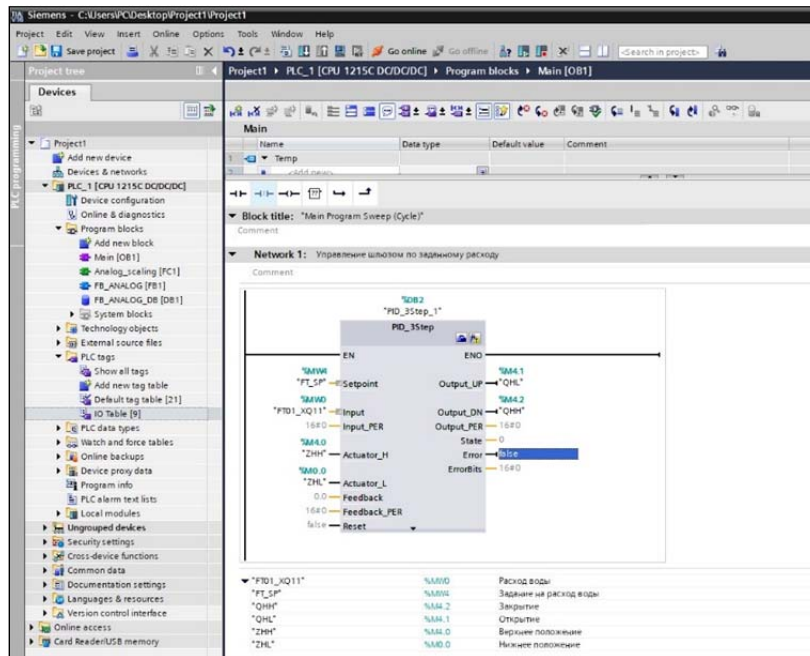


Рисунок 8 – Блок управления затвором

Figure 8 – Shutter control unit

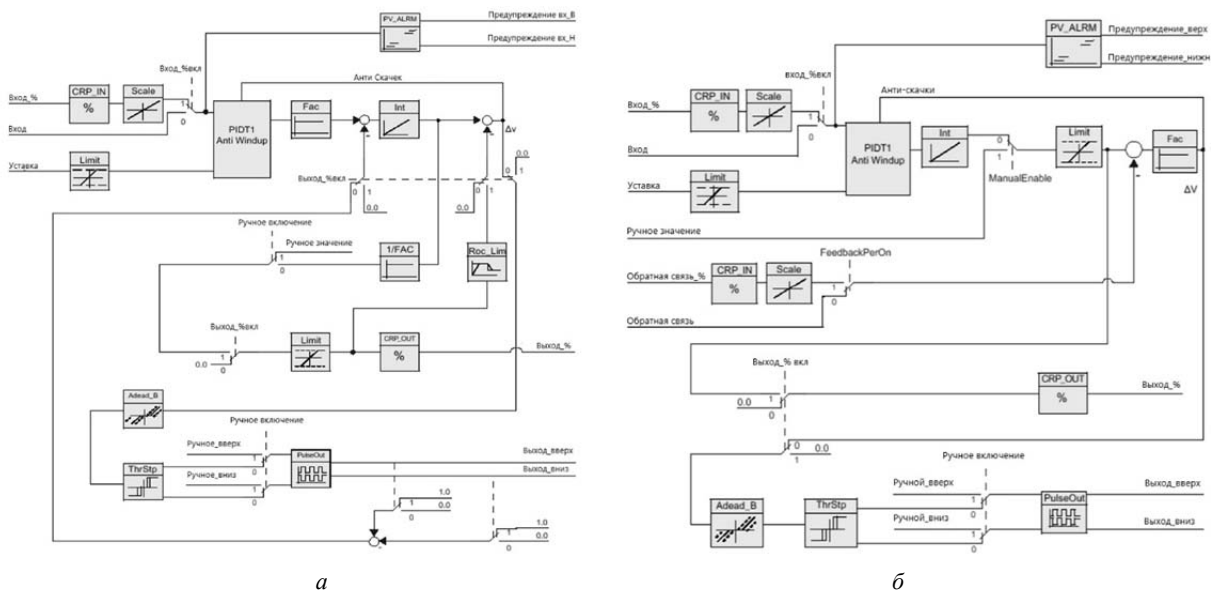


Рисунок 9 – Блок-схема по положению [15]: а – без обратной связи; б – с обратной связью

Figure 9 – Block diagram by position [15]: a – without feedback; b – with feedback

Уравнение для расчета выходного значения регулятора выглядит следующим образом [15]:

$$u(t) = K_p \cdot \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \right), \quad (3)$$

где $u(t)$ – управляющее воздействие, устанавливающее степень открытия затвора; $e(t)$ – ошибка, определяемая как разница между заданным и текущим значением расхода воды; K_p – коэффициент пропорциональной составляющей; T_i – время интегрирования, влияющее на накопление ошибки; T_d – время дифференцирования, учитывающее скорость изменения ошибки.

Методика настройки ПИД-регулятора для системы автоматического регулирования расхода воды в оросительных каналах. Настройка ПИД-регулятора является одним из ключевых этапов внедрения систем автоматического управления расходом воды в оросительных каналах. Представлена подробная методика настройки регулятора, включая теоретическое обоснование, выбор коэффициентов, поэтапную настройку, а также примеры применения. Цель настройки – достижение устойчивой, точной и адаптивной работы системы в условиях изменяющихся параметров среды и расхода воды.

Основу управления составляет ПИД-регулятор, формирующий управляющее воздействие на основе пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих ошибки регулирования. Ошибка $e(t)$ определяется как разность между уставкой и текущим значением расхода. Регулирующее воздействие $u(t)$ рассчитывается по формуле

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int e(t) dt + K_p \cdot T_d \cdot \frac{de(t)}{dt}, \quad (4)$$

где K_p – коэффициент пропорционального усиления; T_i – интегральное время; T_d – дифференциальное время.

Каждый из параметров влияет на поведение системы: K_p отвечает за амплитуду отклика, T_i – за устранение статической ошибки, а T_d – за предиктивное поведение и подавление колебаний.

Этапы настройки ПИД-регулятора. Настройка начинается с подготовки системы: проверяется подключение датчиков, корректность масштабирования сигналов и вводятся начальные уставки. Далее реализуются три последовательных этапа настройки:

1. Предварительная настройка. Задаются базовые коэффициенты K_p , T_i , T_d . Обычно берут $K_p=2$, $T_i=10$ с, $T_d=2$ с.

2. Тонкая настройка. Производится в условиях работы системы. При недостаточной точности или колебаниях вносятся корректировки.

3. Верификация. Выполняется проверка поведения системы в типичных эксплуатационных сценариях, включая сброс уставки, аварийное отключение и пр.

Каждый этап сопровождается логированием отклика системы и при необходимости переходом в безопасный режим.

Рассмотрим ситуацию, при которой заданное значение расхода воды составляет $w(t)=100$ м³/ч, а фактически измеренный расход – $x(t)=90$ м³/ч. Таким образом, ошибка регулирования определяется как

$$e(t) = w(t) - x(t) = 100 - 90 = 10 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Если предположить, что параметры ПИД-регулятора заданы следующим образом: $K_p=2$ – пропорциональный коэффициент; $T_i=10$ с – интегральное время; $T_d=2$ с – дифференциальное время.

Найдем каждую из составляющих управляющего воздействия $u(t)$:

1. Пропорциональная составляющая (P):

$$P = K_p \cdot e(t) = 2 \cdot 10 = 20.$$

2. Интегральная составляющая (I):

допустим, ошибка сохранялась на уровне 10 м³/ч в течение 10 с:

$$I = \frac{K_p}{T_i} \int e(t) dt = \frac{2}{10} \cdot (10 \cdot 10) = 20.$$

3. Дифференциальная составляющая (D):

предположим, скорость изменения ошибки 2 м³/ч в 1 с:

$$D = K_p \cdot T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} = 2 \cdot 2 \cdot 1 = 4.$$

Итоговое управляющее воздействие будет равно

$$u(t) = P + I + D = 20 + 20 + 4 = 44.$$

Это значение $u(t)$ подаётся на исполнительный механизм и определяет, насколько сильно следует изменить положение затвора для достижения желаемого расхода.

Допустим, заданный расход воды составляет $100 \text{ м}^3/\text{ч}$, а фактический измеренный – $90 \text{ м}^3/\text{ч}$. Тогда ошибка регулирования равна

$$e(t) = 100 - 90 = 10 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

При параметрах $K_p=2$, $T_i=10 \text{ с}$, $T_d=2 \text{ с}$ получим:

$$P = 2 \cdot 10 = 20;$$

$$I \approx (2/10) \cdot \int 10 dt \approx 20 \text{ (за условные } 10 \text{ с)};$$

$$D \approx 2 \cdot (d10/dt) \approx 4 \text{ (при изменении расхода } 2 \text{ м}^3/\text{ч за } 1 \text{ с)};$$

$u(t) = 20 + 20 + 4 = 44$ – итоговое значение управляющего воздействия, направленного на привод заслонки.

Настройка ПИД-регулятора является итеративным и чувствительным к параметрам процесса этапом. Представленная методика предусматривает пошаговый подход, позволяющий обеспечить высокую точность регулирования расхода воды, устойчивость работы и быструю адаптацию к внешним возмущениям. Полученные результаты могут служить основой для масштабирования системы на другие объекты мелиоративной инфраструктуры. Будущие исследования будут направлены на интеграцию искусственного интеллекта и предиктивных моделей в процесс настройки.

Особенности настройки в реальных условиях. Реальные условия эксплуатации оросительных каналов характеризуются рядом факторов, которые необходимо учитывать при внедрении ПИД-регулирования:

- наличие гидравлических колебаний и турбулентностей потока;
- инерционность механических исполнительных устройств;
- вариативность параметров окружающей среды (температура, загрязнение воды);
- непостоянство энергетического снабжения (особенно в автономных системах с солнечными панелями).

Настройка регулятора должна учитывать не только идеальные условия моделирования, но и практическую ограниченность возможностей датчиков, привода и вычислительной мощности ПЛК.

Пропорциональный коэффициент (K_p) определяет, насколько быстро система будет реагировать на отклонение от уставки. Однако слишком высокое значение может привести к перерегулированию, что в условиях водоснабжения чревато перерасходом ресурса или механическими нагрузками на заслонку.

Интегральное время (T_i) определяет, с какой скоростью будет накапливаться ошибка. Это важно для устранения постоянного смещения между заданным и реальным расходом. Если T_i слишком мало – возможна неустойчивость; слишком большое – система будет долго реагировать.

Дифференциальное время (T_d) используется для упреждения изменений. Оно полезно при быстрых колебаниях потока, но может вызывать чувствительность к шумам. В системах с высокоинерционным откликом T_d может быть снижено до минимума или вообще отключено.

Практический алгоритм настройки. Настройка производится итерационно. Один из проверенных методов – Ziegler-Nichols, адаптированный под характеристики систем водораспределения:

1. Выставить T_i и T_d в бесконечность (или отключить I и D части).
2. Увеличивать K_p до тех пор, пока система не начнёт осциллировать (установить предельный K_p).
3. Записать критический коэффициент усиления $K_{кр}$ и период колебаний $T_{кр}$.

Этот метод даёт хорошие стартовые значения, которые затем уточняются эмпирически. При необходимости можно применять более «мягкие» методы, например метод Кона-Коэна или программную автонастройку, реализуемую в современных ПЛК (в частности, Siemens S7-1200 поддерживает адаптивную настройку PID_Compact).

Настройка и реализация в TIA Portal. В среде TIA Portal доступны два способа реализации ПИД-регуляторов:

- PID_Compact – удобный модуль для большинства задач, позволяет задать лимиты, фильтрацию и автонастройку;
- PID_3Step используется для управления электроприводами, имеющими три дискретных состояния (вперёд, назад, стоп), подходит для управления заслонками.

Процесс настройки включает:

- создание блока PID;
- привязку аналоговых сигналов к входам (уставка, измеренное значение);
- задание коэффициентов;
- симуляцию и ввод в эксплуатацию.

При реализации алгоритмов управления в среде TIA Portal разработан блок программы, отвечающий за настройку ПИД-регулятора. Этот блок включает функции настройки параметров K_p , T_i и T_d , а также логику управления затвором в зависимости от показаний расходомера (рисунок 10).

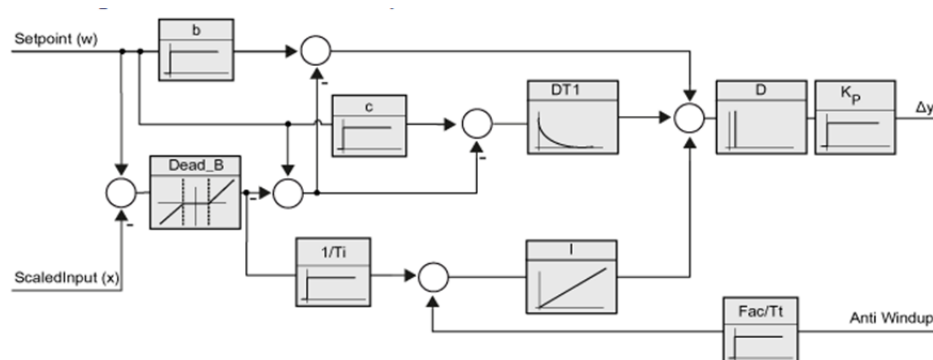


Рисунок 10 – Блок-схема ПИД T1 с антивинтажом [15]

Figure 10 – Block diagram of PID T1 with anti-vintage [15]

Программа управления предусматривает несколько режимов: автоматический, ручной, предварительная и тонкая настройка, а также функции диагностики и обработки ошибок. В случае выхода параметров за допустимые пределы система переводится в безопасный режим с закрытием затвора.

Разработанная архитектура имеет модульную структуру и может быть масштабирована под различные конфигурации оросительных систем. С учетом простоты оборудования и программной реализации, это решение может быть применено в условиях ограниченного финансирования, особенно в сельскохозяйственных регионах, где отсутствует доступ к высокотехнологичным системам управления.

Обработка сбоев и обеспечение надёжности. Одним из важнейших требований к оросительным системам является устойчивость к аварийным режимам. ПИД-регулятор должен быть снабжён следующими защитами:

- переход в неактивный режим при потере сигнала от датчиков;
- ограничение скорости изменения управляющего сигнала;
- ограничение диапазона регулирования;
- диагностика запаздывания сигнала или «зависания» значения;
- автоматическое закрытие заслонки при разряде аккумулятора ниже критического.

Все эти элементы могут быть реализованы в логике ПЛК и прописаны как условия на выход ПИД-регулятора или отдельные логические блоки.

Результаты. Большинство оросительных систем позволяет регулировать водный поток лишь в ограниченном технологическом диапазоне. Это обусловлено тем, что они не оснащены средствами для точного регулирования водораспределения, что приводит к длительному установившемуся режиму распределения воды потребителям.

Разработка алгоритмов была ориентирована на создание автоматизированной системы управления затвором, которая обеспечивала бы подачу заданных расходов и поддержание требуемых уровней воды, заданной поливной нормы с минимальным ее отклонением и равномерность полива. Для этого алгоритмы учитывают не только текущее значение расхода воды, но и динамику изменения этого параметра во времени. Это позволяет избежать резких изменений положения затвора и обеспечивать более стабильную работу системы.

Алгоритмы управления затвором. В основе разработанных алгоритмов лежит принцип динамического управления, при котором затвор открывается или закрывается в зависимости от текущего расхода воды и заданных условий.

Примерный порядок работы алгоритмов:

1. Получение данных о текущем расходе воды от расходомера.
2. Масштабирование аналогового сигнала для приведения его к физическим единицам.
3. Расчет ошибки $e(t)$ как разницы между заданным и текущим расходом.
4. Применение ПИД-алгоритма для вычисления корректирующего воздействия $u(t)$.
5. Управление затвором в зависимости от рассчитанного значения $u(t)$.
6. Мониторинг работы системы и передача данных оператору для контроля.

Пример расчета. Предположим, что текущий расход воды составляет $90 \text{ м}^3/\text{ч}$, а заданное значение – $100 \text{ м}^3/\text{ч}$. Тогда ошибка $e(t)$ равна

$$e(t) = 100 - 90 = 10 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для этого случая коэффициенты ПИД-регулятора установлены следующим образом: $K_p=2$, $T_i=5 \text{ с}$, $T_d=1 \text{ с}$. Тогда пропорциональная составляющая P будет равна

$$P = 2 \cdot 10 = 20.$$

Интегральная составляющая за 5 с :

$$I = \frac{2}{5} \cdot \int_0^5 10 d\tau = 20.$$

Дифференциальная составляющая при скорости изменения расхода $2 \text{ м}^3/\text{ч}$ за 1 с :

$$D = 2 \cdot 1 \cdot 2 = 4.$$

Тогда итоговое значение $u(t)$ будет

$$u(t) = 20 + 20 + 4 = 44.$$

Это значение используется для управления затвором, увеличивая его открытие для достижения заданного расхода.

Написанные алгоритмы уже готовы к интеграции в реальную систему управления затвором с дальнейшим тестированием их в реальных условиях для проверки работоспособности и возможности внесения необходимых корректировок.

Разработанная автоматизированная система предназначена для регулирования расхода воды в оросительных каналах с малыми дебитами, обеспечивает высокую точность поддержания заданных гидравлических параметров. Система спроектирована как энергонезависимая и полностью автономная, что позволяет её эффективно применять в условиях удалённости от централизованных энергосетей.

В качестве источника питания используется фотоэлектрическая солнечная панель, подключённая к контроллеру заряда, который обеспечивает стабильное зарядение аккумулятора постоянного тока номинальным напряжением 24 В . Аккумулятор, в свою очередь, питает все элементы системы, включая программируемый логический контроллер (ПЛК), измерительные датчики, исполнительные механизмы и панель оператора (HMI). Контроль за уровнем заряда и общим энергопотреблением осуществляется посредством соответствующих аналоговых каналов ПЛК.

Центральным управляющим элементом системы является контроллер Siemens S7-1200, программируемый в среде TIA Portal. Контроллер принимает входные сигналы от измерительных

устройств, обрабатывает их и на основании встроенного алгоритма ПИД-регулирования формирует управляющие команды, направленные на исполнительный привод, регулирующий положение гидротехнического затвора.

Измерительная подсистема включает в себя следующие элементы:

1. Гидростатический датчик, установленный вблизи водозабора, передаёт в ПЛК аналоговый сигнал (4–20 мА), соответствующий уровню воды. На основе уровня, согласно известным гидравлическим соотношениям, производится расчет текущего расхода.

2. Энкодер, установленный на приводе затвора, генерирует аналоговый сигнал, определяющий положение заслонки в процентах от полного открытия.

3. Концевые выключатели, дискретные устройства, фиксируют граничные положения затвора – полностью открытое и полностью закрытое. Эти сигналы используются для обеспечения безопасного функционирования системы.

4. Энергометр позволяет вести мониторинг общего энергопотребления и оценки эффективности автономного энергоснабжения.

Оператор взаимодействует с системой через сенсорную панель НМІ, посредством которой задаются уставки (например, желаемый расход воды в м³/ч), отображаются текущие параметры (уровень воды, положение заслонки, состояние аккумулятора), а также производится выбор режима работы: автоматический, ручной, диагностический или режим настройки.

После ввода уставки контроллер производит сравнение её с текущим значением расхода, определяет величину отклонения и запускает алгоритм ПИД-регулирования. Управляющее воздействие рассчитывается на основании пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих, после чего формируется команда на открытие или закрытие затвора через исполнительный привод. Направление вращения двигателя контролируется дискретными выходами ПЛК через соответствующие реле или контакторы. Реальное положение заслонки уточняется по сигналу энкодера, а при достижении крайних положений работа двигателя блокируется срабатыванием концевых выключателей.

Обсуждение. Автоматизированная система представляет собой интегрированное решение, объединяющее современные методы измерения, обработки данных и регулирования, при этом сохраняет простоту архитектуры и низкую энергоёмкость. Это делает её особенно эффективной для использования в сельскохозяйственных регионах, испытывающих дефицит водных ресурсов и ограниченный доступ к технической инфраструктуре.

Масштабирование реализовано через линейную интерполяцию с учетом характеристик канала и допустимых диапазонов измерения. Управляющее воздействие формируется на основе ПИД-регулятора, реализованного с помощью инструкции PID_3Step. Такая структура управления обеспечивает плавное и устойчивое регулирование положения затвора. Параметры ПИД-регулятора подбираются с учетом инерционности системы и необходимости исключения резких колебаний уровня воды.

Для более гибкой настройки и управления затвором были предусмотрены следующие режимы работы регулятора, которые закладываются в алгоритмы управления:

- неактивный режим – система управления затвором отключена, что позволяет проводить техническое обслуживание или конфигурацию системы без активного вмешательства в работу затвора;

- предварительная настройка – используется для начальной калибровки регулятора, когда требуется задать базовые параметры управления для достижения стабильной работы системы;

- тонкая настройка – более детализированная настройка параметров регулятора после первичной настройки для повышения точности и эффективности управления затвором;

- автоматический режим – основной режим работы ПИД-регулятора, при котором система автоматически корректирует положение затвора в зависимости от текущих значений расхода воды и заданных параметров;

- ручной режим – позволяет оператору вручную управлять положением затвора для проведения испытаний или корректировок;

- мониторинг ошибки и диагностика – предназначены для отслеживания ошибок в работе системы и подачи соответствующих сигналов оператору в случае возникновения проблем.

Закключение. Для точного и эффективного управления водными ресурсами в оросительных каналах необходима автоматизация процесса регулирования расхода воды. Ключевым элементом такой автоматизации является разработка алгоритмов управления затворами на основе ПИД-регулятора.

На текущем этапе разработки системы управления гидротехническим затвором достигнуты существенные результаты, в том числе разработан и успешно протестирован блок масштабирования аналогового сигнала. Этот блок позволяет с высокой точностью определять расход воды, что критически важно для оптимального управления. В перспективе планируется добавление новых функций и улучшений, направленных на повышение эффективности использования водных ресурсов и автоматизацию процессов водораспределения.

Разработанная система управления гидротехническим затвором предназначена для автоматизации оросительных каналов, что позволит более эффективно оптимизировать водопользование в сельском хозяйстве. Планируемое расширение возможностей системы включает в себя использование дополнительных датчиков и более сложных алгоритмов управления, что позволит сделать процесс управления водными ресурсами еще более точным и эффективным.

Финансирование. Научно-исследовательские работы выполнены при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP23488125).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бочкарев В. Я., Бочкарев Я. В. Автоматизация водораспределения на каналах оросительных систем равнинной зоны методом непосредственного отбора расходов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2013. – № 1(09). – С. 32-41.
- [2] Овчинников А. С., Киселёва Р. З., Мелихов К. М., Киселёв А. А. Автоматические регуляторы для оснащения гидротехнических сооружений при орошении риса // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2022. – № 1(65). – С. 342-351. – <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-01-33>
- [3] Пахомов А. А., Колобанова Н. А. Автоматизированное управление процессом водоподачи с использованием гидравлических средств регулирования // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2013. – № 4(12). – С. 168-178.
- [4] Эргашев С. Ф., Рустамов У. С., Абдурахмонов С. М., Кулдашов О. Х. Автоматизированная система управления водными ресурсами на основе элементов компьютерной автоматики // Автоматика и программная инженерия. – 2020. – № 3(33). – С. 11-15.
- [5] Anand Santosh, Nath Adithya, Jayan Aparna & Brunda I. B., Brunda.I. B., Vidyashree C. C. // Automatic Water Management System. Conference: Proceedings of the First International Conference on Advanced Scientific Innovation in Science, Engineering and Technology, ICASSET 2020, 16-17 May 2020, Chennai, India. – <https://doi.org/10.4108/eai.16-5-2020.2303936>
- [6] Majid A., Jamaaluddin, Wiguna A., Setiawan H., Fariha A. Development of an Automatic Water Flow Sensor System Using ESP32 for Efficient Water Control // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 1242(2023). – P. 1-9. – <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1242/1/012016>
- [7] Naika Ramesha Water management in rural communities: a step towards achieving sustainability By 2030 // Sustainable Water Resources Management. – August 2022. – No. 8(4). – <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00702-4>
- [8] Nakib Arman Mohammad, Barua Badhon Aqua flow master: intelligent liquid flow control and monitoring system // International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science. – June 2024. – No. 6(4). – P. 2582-5208. – <https://doi.org/10.56726/IRJMETSS53697>
- [9] Patil Smita, Tasgaonkar Pankaj, Sonawane D. N., Deshpande Amruta. Development of a System for Low Flow Control with a Proportional Solenoid Valve // Conference: 2024 5th International Conference on Circuits, Control, Communication and Computing (I4C). – October 2024. – <https://doi.org/10.1109/I4C62240.2024.10748531>
- [10] Shatabdi Basu, Afaq Ahmed, Hitarth Pareek, Dr. Pradeep Kumar Sharma Autonomous Water Flow Control And Monitoring System // Conference: 2022 Interdisciplinary Research in Technology and Management (IRTM) February 2022. – <https://doi.org/10.1109/IRTM54583.2022.9791534>
- [11] Senthilkumar R., Santhoshkumar L., Ayyappan M., Amarnath M., Jayanthi P. (2025). An Automatic Motor Control System for Smart Irrigation // Computing Technologies for Sustainable Development. IRCCTSD 2024. Communications in Computer and Information Science. Springer, Cham. – Vol. 2360. – P. 112-121. – <https://doi.org/10.1007/978-3-031-82389-310>
- [12] Биленко В. А., Иванова Н. И., Фролова Г. П., Аскаралиев Б. О. Автоматизация водораспределения в низовом звене оросительных систем предгорной зоны способом непосредственного отбора // Природообустройство. – 2009. – Вып. 1. – С. 62-67.
- [13] Liu F., Yu X., Tang J. Water-saving control system based on multiple intelligent algorithms. Auton. // Intell. Syst. – 4, 13 (2024). – <https://doi.org/10.1007/s43684-024-00068-8>.
- [14] SIMATIC S7-1200, S7-1500 PID-регулятор / Руководство пользователя. – 2016. – 523 с.
- [15] Siemens. SiePortal [Электрон. ресурс]. – 2014. – URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/109054417?c=45381018379&lc=ru-KZ> (дата обращения 2025.04.30).

REFERENCES

- [1] Bochkarev V. Ya., Bochkarev Ya. V. Automation of water distribution on canals of irrigation systems in the flat zone by the method of direct selection of flows // Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2013. No. 1 (09). P. 32-41 (in Russ.).
- [2] Ovchinnikov A. S., Kiseleva R. Z., Melikhov K. M., Kiselev A. A. Automatic regulators for equipping hydraulic structures for rice irrigation // News of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2022. No. 1(65). P. 342-351. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-01-33> (in Russ.).
- [3] Pakhomov A. A., Kolobanova N. A. Automated control of the water supply process using hydraulic control means // Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2013. No. 4(12). P. 168-178 (in Russ.).
- [4] Ergashev S.F., Rustamov U.S., Abdurakhmanov S.M., Kuldashov O.Kh. Automated water resources management system based on computer automation elements // Automation and software engineering. 2020. No. 3(33). P. 11-15 (in Russ.).
- [5] Anand Santosh, Nath Adithya, Jayan Aparna & Brunda I.B., Vidyashree C. C. // Automatic Water Management System. Conference: Proceedings of the First International Conference on Advanced Scientific Innovation in Science, Engineering and Technology, ICASSET 2020, 16-17 May 2020, Chennai, India. <https://doi.org/10.4108/eai.16-5-2020.2303936>
- [6] Majid A., Jamaaluddin, Wiguna A., Setiawan H., Fariyah A. Development of an Automatic Water Flow Sensor System Using ESP32 for Efficient Water Control // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 1242(2023). P. 1-9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1242/1/012016>
- [7] Naika Ramesha Water management in rural communities: a step towards achieving sustainability By 2030 // Sustainable Water Resources Management. August 2022. No. 8(4). <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00702-4>
- [8] Nakib Arman Mohammad, Barua Badhon Aqua flow master: intelligent liquid flow control and monitoring system // International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science. June 2024. No. 6(4). P. 2582-5208. <https://doi.org/10.56726/IRJMETSS53697>
- [9] Patil Smita, Tasgaonkar Pankaj, Sonawane D. N., Deshpande Amruta Development of a System for Low Flow Control with a Proportional Solenoid Valve // Conference: 2024 5th International Conference on Circuits, Control, Communication and Computing (I4C). October 2024. <https://doi.org/10.1109/I4C62240.2024.10748531>
- [10] Shatabdi Basu, Afaq Ahmed, Hitarth Pareek, Dr. Pradeep Kumar Sharma Autonomous Water Flow Control And Monitoring System // Conference: 2022 Interdisciplinary Research in Technology and Management (IRTM) February 2022. <https://doi.org/10.1109/IRTM54583.2022.9791534>
- [11] Senthilkumar R., Santhoshkumar L., Ayyappan M., Amarnath M., Jayanthi P. (2025). An Automatic Motor Control System for Smart Irrigation // Computing Technologies for Sustainable Development. IRCCTSD 2024. Communications in Computer and Information Science. Springer, Cham. Vol. 2360. P. 112-121. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-82389-310>
- [12] Bilenko V. A., Ivanova N. I., Frolova G. P., Askaraliev B. O. Automation of water distribution in the lower link of irrigation systems in the foothill zone by the method of direct selection // Nature management. 2009. Issue 1. P. 62-67 (in Russ.).
- [13] Liu F., Yu X., Tang J. Water-saving control system based on multiple intelligent algorithms. Auton // Intell. Syst. 4, 13 (2024). <https://doi.org/10.1007/s43684-024-00068-8>
- [14] SIMATIC S7-1200, S7-1500 PID controller / User's Guide. 2016. 523 p.
- [15] Siemens. SiePortal [Electronic resource]. 2014. URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/109054417?c=45381018379&lc=ru-KZ> (date of access 2025.04.30).

М. А. Ли¹, Т. Қ. Иманалиев², Е. С. Тұрғынбеков^{*3}, Т. Т. Ибраев⁴, Н. Н. Балғабаяев⁵

¹ Т.ғ.к., «Суға сұранысты басқару» зертханасының басшысы

(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; limarina76@mail.ru)

² «Су ресурстарын басқару» бөлімінің меңгерушісі («Қазақ су шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Тараз, Қазақстан; tonimontana_777@mail.ru)

^{3*} PhD докторанты, «Автоматика және телекоммуникация» кафедрасының аға оқытушысы (М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан; Bosik_90@mail.ru)

⁴ Т.ғ.к., жетекші ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; kiwr-t@mail.ru)

⁵ Бас директорының м.а. («Қазақ су шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Тараз, Қазақстан; balgabayev@mail.kz)

ТӨМЕН АҒЫМДЫ СУАРУ КАНАЛДАРЫНДА СУ АҒЫМЫН БАСҚАРУДЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ

Аннотация. Су ресурстарын басқарудың және суару каналдарын пайдаланудың тиімділігін арттыру оларға суды бақылауды, есепке алуды және бөлуді автоматтандырумен тікелей байланысты, бұл осы саладағы түйінді басымдық болып табылады. Табиғи ылғалдануы жеткіліксіз аймақтарда суару үшін сумен қамтамасыз ету проблемасы, әсіресе шығыны аз каналдарда суару желілерін тиісінше пайдаланудың болмауынан шиеленісе түседі. Аз шығынмен суару каналдарында су бөлуді басқарудың автоматтандырылған

жүйесін құру мақсатында гидротехникалық бекітпені басқару алгоритмдері әзірленді. Шығын өлшегіштен түсетін су шығыны туралы деректер негізінде қақпақты ашу мен жабуды автоматты басқаруды қамтамасыз ететін пропорционалды-интегралды-саралаушы реттегішті енгізу ұсынылды.

Түйін сөздер: автоматтандыру, алгоритм, гидротехникалық қақпақ, суару арнасы, шығыс, реттеу, басқару.

M. A. Li¹, T. K. Imanaliyev², Ye. S. Turgynbekov^{*3}, T. T. Ibrayev⁴, N. N. Balgabayev⁵

¹ Candidate of Technical Sciences, Head of the Water Demand Management Laboratory
(Institute of Geography and Water Security JSC, Almaty, Kazakhstan; *limarina76@mail.ru*)

² Head of Water Resources Management Department (Kazakh Research Institute of Water Management LLP,
Taraz, Kazakhstan; *tonimontana_777@mail.ru*)

^{3*} PhD doctoral student, senior lecturer at the Department of Automation and Telecommunications
(Taraz University named after M.Kh. Dulati, Taraz, Kazakhstan; *Bosik_90@mail.ru*)

⁴ PhD, Leading Researcher (Institute of Geography and Water Security JSC, Almaty, Kazakhstan; *kiwr-t@mail.ru*;

⁵ Acting General Director (Kazakh Research Institute of Water Management LLP,
Taraz, Kazakhstan; *balgabayev@mail.kz*)

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED WATER FLOW CONTROL SYSTEM FOR LOW-DISCHARGE IRRIGATION CANALS

Abstract. Improving the efficiency of water management and the operation of irrigation canals is directly related to the automation of control, accounting and distribution of water on them, which is a key priority in this area. The problem of providing water for irrigation in areas with insufficient natural moisture is aggravated by the lack of proper operation of irrigation networks, especially on channels with low flow rates. In order to create an automated water distribution control system on irrigation channels with low flow rates, algorithms for controlling a hydraulic gate have been developed. It is proposed to implement a PID controller that provides automatic control of the opening and closing of the shutter based on water flow data from the flowmeter.

Keywords: automation, algorithm, hydraulic gate, irrigation channel, flow rate, regulation, control.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-3-58-68.32>

МРНТИ 10.53.22

УДК 556.3

И. К. Рахметов^{*1}, Ә. Т. Токтар², А. А. Нургазиева³

¹ *PhD студент, научный сотрудник (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; issaraqmet@gmail.com)

² Научный сотрудник (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; aliya.toktar@gmail.com)

³ Младший научный сотрудник (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; asel-nurgazieva@mail.ru)

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА, РАЗВЕДАННЫХ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ

Аннотация. Цель исследования – научное обоснование и геоинформационное обеспечение управленческих решений по освоению и охране месторождений подземных вод (МПВ) Восточного Казахстана, разведанных для орошения. Проведены полевые гидрогеохимические исследования, лабораторный анализ проб и ГИС-картографирование. Разработана геоинформационно-аналитическая подсистема, составлены карты использования и оценен ресурсный потенциал подземных вод. Установлены пригодность вод для орошения (минерализация < 1 г/л) и возможность использования на площади до 54,74 тыс. га. Выявлен высокий потенциал устойчивого водопользования при низком уровне текущей эксплуатации. Результаты подтверждены межлабораторными испытаниями и переоценкой архивных данных с учетом современных условий. Подтверждено природное происхождение вод без загрязнения, что открывает перспективы для их использования в целях орошения.

Ключевые слова: Восточный Казахстан, орошение, оценка состояния, гидрогеология, экология, изменение климата.

Введение. Обеспечение всеобщего доступа к водным ресурсам, а также их рациональное использование входят в число приоритетных задач глобальной повестки устойчивого развития. Эта цель закреплена в Цели 6 Повестки дня ООН на период до 2030 года [1]. Однако нехватка пресных поверхностных вод заставляет страны всё активнее обращаться к использованию подземных вод как альтернативного источника. За последние 25-30 лет в мире пробурено свыше 300 миллионов скважин для добычи подземных вод [2], а их совокупный годовой отбор на 2017 год составил 959 км³ (или более 30 000 м³/с). При этом почти 69% этих объемов приходится на Азию. Восемь из десяти крупнейших потребителей подземных вод находятся на этом континенте – Индия, Китай, Пакистан, Иран, Индонезия, Бангладеш, Саудовская Аравия и Турция – на них приходится 75% мирового забора. В сельском хозяйстве Азии 76% добываемых объемов используется для регулярного орошения.

Интегрированное управление водными ресурсами, объединяющее использование поверхностных и подземных источников, позволяет значительно повысить устойчивость водоснабжения в условиях климатических колебаний. Эксперты подчеркивают важность комбинированных подходов: использование поверхностных вод в периоды изобилия и привлечение подземных источников в засушливые сезоны способствуют повышению водной и продовольственной безопасности.

В Казахстане, согласно данным Комитета водного хозяйства Министерства водных ресурсов и ирригации Республики Казахстан, годовой объем отбора подземных вод в последние годы составляет 1,02-1,08 км³, что эквивалентно лишь 3,7-5% от общего объема водозабора по республике. Это означает, что используется только около 7% эксплуатационных запасов [16]. На нужды сельского хозяйства приходится 0,15-0,21 км³/год (8–15% от общего объема), из которых на регулярное орошение направляется менее 0,02 км³/год. Таким образом, значительный ресурсный

потенциал подземных вод остается невостребованным, особенно в аграрном секторе, что заметно контрастирует с практикой ряда стран Европы и Азии [4, 5]. Между тем общий объем подземных вод, пригодных для орошения в Казахстане, оценивается в 7,76 км³/год [6].

Для выработки обоснованной политики в области устойчивого водопользования необходимы дополнительные исследования, направленные на изучение обеспеченности территорий страны пресными подземными водами. Особое внимание следует уделить вопросам рационального использования и воспроизводства ресурсов, в первую очередь в контексте хозяйственно-питьевого водоснабжения [7, 8].

Актуальность результатов исследований тесно связана с обеспечением водной безопасности Казахстана в маловодные годы при сопутствующих трансграничных угрозах по снижению доступных поверхностных водных ресурсов. В Послании Главы государства К.-Ж. К. Токаева народу Казахстана «Справедливое государство. Единая нация. Благополучное общество» от 01 сентября 2022 г. заявлено: «Серьезным барьером для устойчивого экономического развития страны является нехватка водных ресурсов. В текущих реалиях эта тема переходит в разряд вопросов национальной безопасности».

Методы исследования. Методы и методика проведения работ представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Методика исследования МПВ Восточного Казахстана

Figure 1 – Methodology for studying the groundwater deposits of East Kazakhstan

Оценка современного состояния подземных вод выполнена на основе полевых региональных гидрогеологических и химико-аналитических исследований. Отбор проб производился в соответствии с ГОСТ ISO 5667-11-2013 «Качество воды. Часть 11. Отбор проб. Руководство по отбору проб подземных вод» [9], ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб» [10], ГОСТ 28168-89 «Почвы. Отбор проб» [11].

При оценке качественных характеристик пресных подземных вод применены аналитические, статистические и лабораторные гидрогеологические и гидрохимические методы исследований. Достоверность полученных результатов подтверждается ежегодным участием в межлабораторных сличительных исследованиях, проводимых сертифицированным провайдером [12].

Дополнительно для пространственного анализа и визуализации данных были применены геоинформационно-аналитические методы [12], что позволило более точно определить закономерности распределения качественных характеристик подземных вод на исследуемой территории.

Для создания тематических карт осуществляются выборка необходимых сведений, классификация данных, выполнение расчетов, оформление карт и анализ результатов. Принятие управленческих решений в области использования и охраны МПВ потребует большого объема особым образом структурированных данных. Это возможно осуществить только в рамках Государственной информационно-аналитической системы (ГИАС).

Структура ГИАС эксплуатационных запасов МПВ, разведанных для ОРЗ, создана с учетом потребностей в гидрогеологической информации для нужд сельского хозяйства, а также наличия картографических данных и возможностей используемой геоинформационной системы (далее – ГИС). Система создана в ArcGIS [13].

Вся представленная в ГИАС информация содержится в базах семантических и графических данных и базе документов. Следует отметить, что со всеми графическими объектами, представленными на слоях карт графической базы данных, связана содержательная информация из таблиц базы семантических данных. Все карты, составляющие систему, выполнены в единой географической проекции и на единой картографической основе, включающей систематизированную совокупность данных о территории (гидрографическая сеть, населенные пункты, почвенная зональность и др.).

В настоящее время для орошения земель в основном используются поверхностные воды, а МПВ можно считать резервом орошаемого земледелия. Поэтому наряду с информацией о МПВ, разведанных для ОРЗ, система содержит сведения о расположении орошаемых массивов, в том числе планируемых. Она включает данные об эксплуатационных запасах и прогнозных ресурсах подземных вод, заборе подземных вод в соответствии с их целевым назначением, ресурсах поверхностных вод.

Необходимо подчеркнуть, что большое значение для планирования использования подземных вод для орошения земель имеют результаты проведенных исследований. В качестве архивных данных в информационной системе представлена карта гидрогеологического районирования Казахстана по условиям орошения земель подземными водами [14].

ГИАС включает данные о параметрах МПВ, эксплуатационных запасах подземных вод определенного целевого назначения, а также сведения, связанные с использованием воды, – схемы размещения существующих и перспективных для орошения территорий, графики забора подземных вод для орошения земель, данные о заборе подземных вод административных областей и др.

В 2024 г. ГИАС пополнена сведениями по МПВ, разведанными для ОРЗ, по 2 областям Восточного Казахстана (Абайской и Восточно-Казахстанской). Карты размещения и сводные таблицы МПВ, разведанных для ОРЗ, по каждой административной области и каждому ВХБ представлены на рисунке 2.

Расчетами предусмотрен водоотбор на месторождениях подземных вод в течение 50-летнего срока эксплуатации только для территорий с перспективными для орошения площадями. Поскольку условия формирования и гидрогеодинамическая обстановка перспективных водоносных горизонтов и комплексов несколько отличаются друг от друга, оценка прогнозных ресурсов для каждого водоносного комплекса (горизонта) проводилась отдельно, в соответствии с установленными граничными условиями. Общее понижение уровня воды на любом водозаборе с учетом его взаимодействия с другими складывается из понижения уровня воды в самом водозаборе и величины срезов, вызываемых эксплуатацией других водозаборов. Для расчета водозаборов, состоящих из большого числа скважин, использовался метод, при котором группа взаимодействующих скважин представляется в виде обобщенной системы. Большое число скважин заменялось одним условным водозабором по системе «большого колодца». В данном случае влияние взаимодействующих скважин оценивается суммарно не только в удаленных от водозабора точках, но и на участках расположения самих скважин.

Общее понижение уровня воды в водозаборе определялось по формуле

$$S = S_{B3} + S_{СКВ},$$

где S_{B3} – понижение уровня, обусловленное взаимодействием обобщенной системы, м; $S_{СКВ}$ – дополнительное понижение уровня воды в самой скважине.

На карту современного состояния и перспектив использования подземных вод для орошения земель Восточного Казахстана нанесены площади, для орошения которых могут использоваться подземные воды разведанных месторождений с утвержденными эксплуатационными запасами (рисунок 3).

Карты использования подземных вод различного назначения, в том числе для орошения земель административных областей Восточного Казахстана, включают диаграммы водоотбора и эксплуатационных запасов подземных вод.

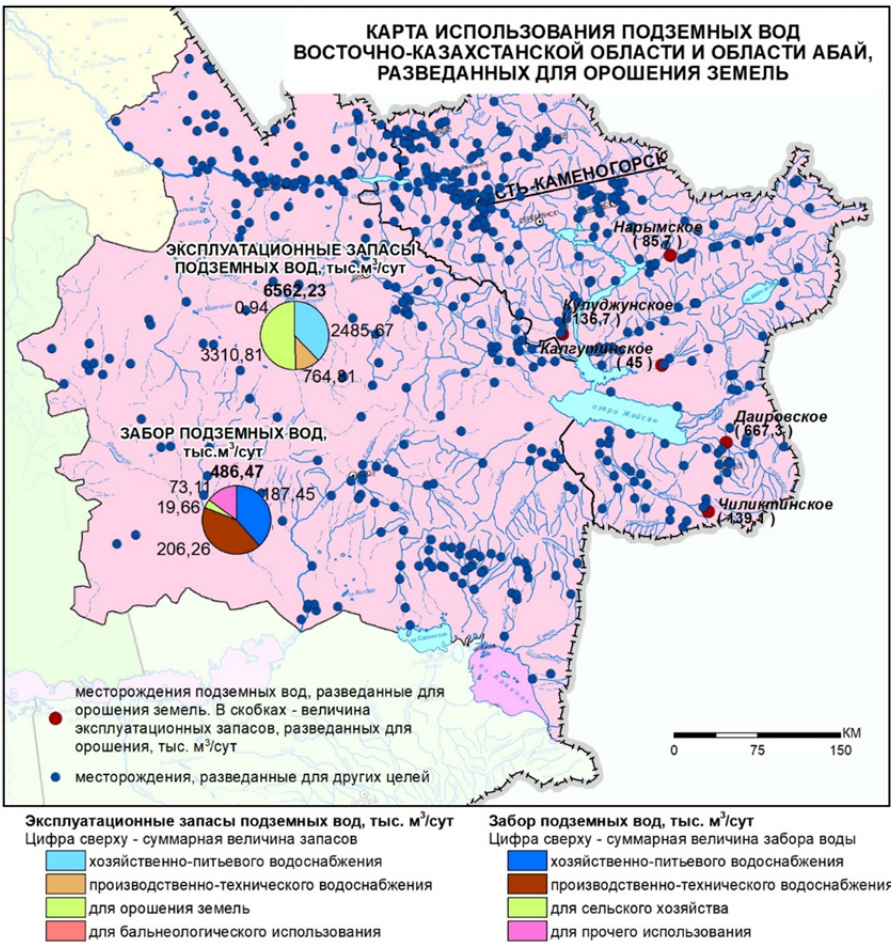


Рисунок 2 – Карта использования подземных вод Восточно-Казахстанской и Абайской областей, разведанных для орошения земель

Figure 2 – Map of groundwater use in the East Kazakhstan region and Abay, explored for land irrigation



Рисунок 3 – Карта фактического материала

Figure 3 – Map of the actual material



а



б

Рисунок 4 – Скважина Кулуджунского МПВ и отбор почвенных проб (а); точки отбора проб Восточно-Казахстанской области (б)

Figure 4 – Well of Kuludzhun groundwater deposit and soil sampling (a) and sampling points of East Kazakhstan region (b)

Суммарные эксплуатационные запасы месторождений подземных вод, разведанных для орошения - 1073,8 тыс.м³/сут (0,392 км³/год)

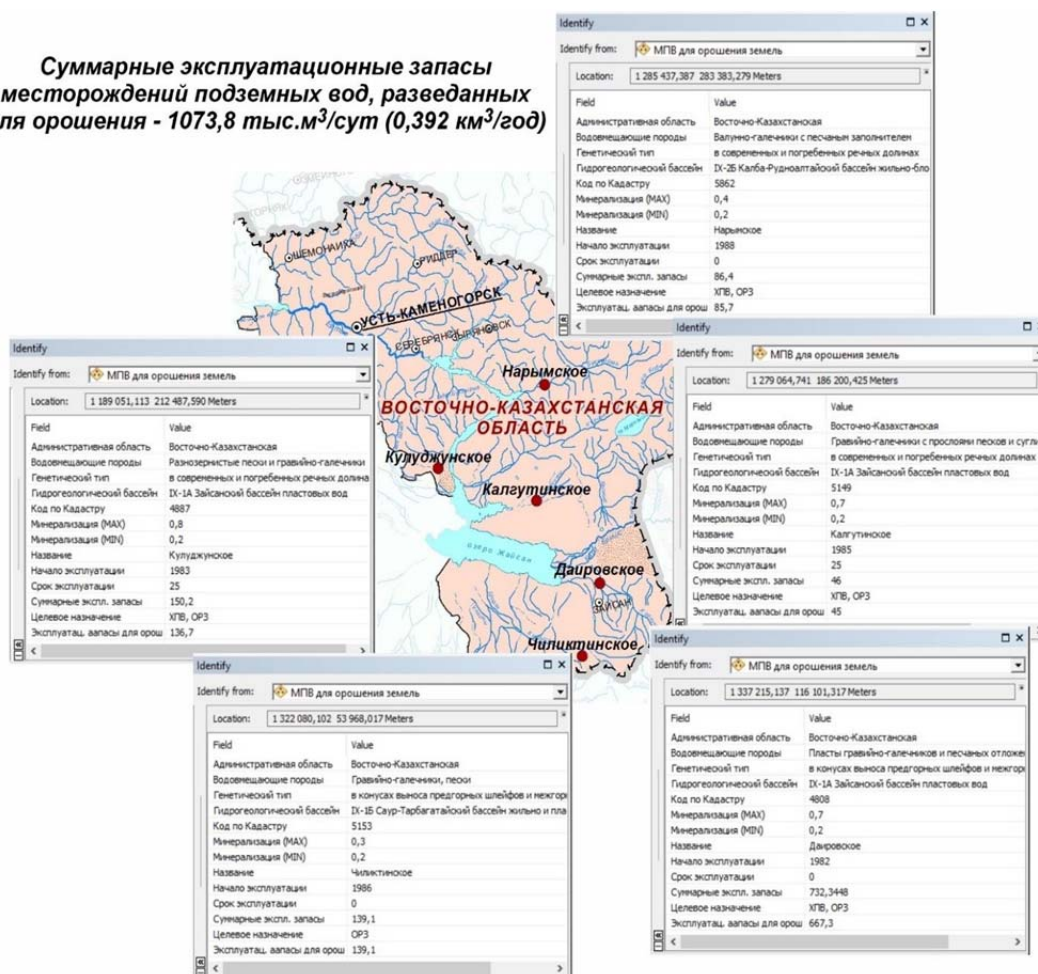


Рисунок 5 – Карта МПВ Восточно-Казахстанской области, разведанных для ОРЗ

Figure 5 – Map of the East Kazakhstan region groundwater deposits explored for irrigation purposes

Следует отметить, что подземные воды Восточного Казахстана практически не используются для орошения, несмотря на наличие разведанных эксплуатационных запасов.

Карты размещения площадей орошения административных областей Восточного Казахстана отображают массивы существующего и перспективного орошения подземными и поверхностными водами. Важную роль при оценке ресурсного потенциала подземных вод играют региональные прогнозные эксплуатационные ресурсы, которые позволяют судить о потенциальной обеспеченности регионов страны подземными водами различного целевого назначения, а также о перспективности тех или иных территорий для поисков и разведки их месторождений. Оценка прогнозных ресурсов территории исследований проведена в различные годы.

Обработка результатов геохимических опробований выполнена с помощью программного комплекса AquaChem 11, разработанного Waterloo Hydrogeologic (Канада) для графического отображения в виде диаграмм Пайпера, которые показывают основной анионно-катионный состав подземных вод, и диаграмм Дурова, отображающих содержание основных макрокомпонентов в составе подземных вод и соотношение величины минерализации и значений pH (рисунок 6).

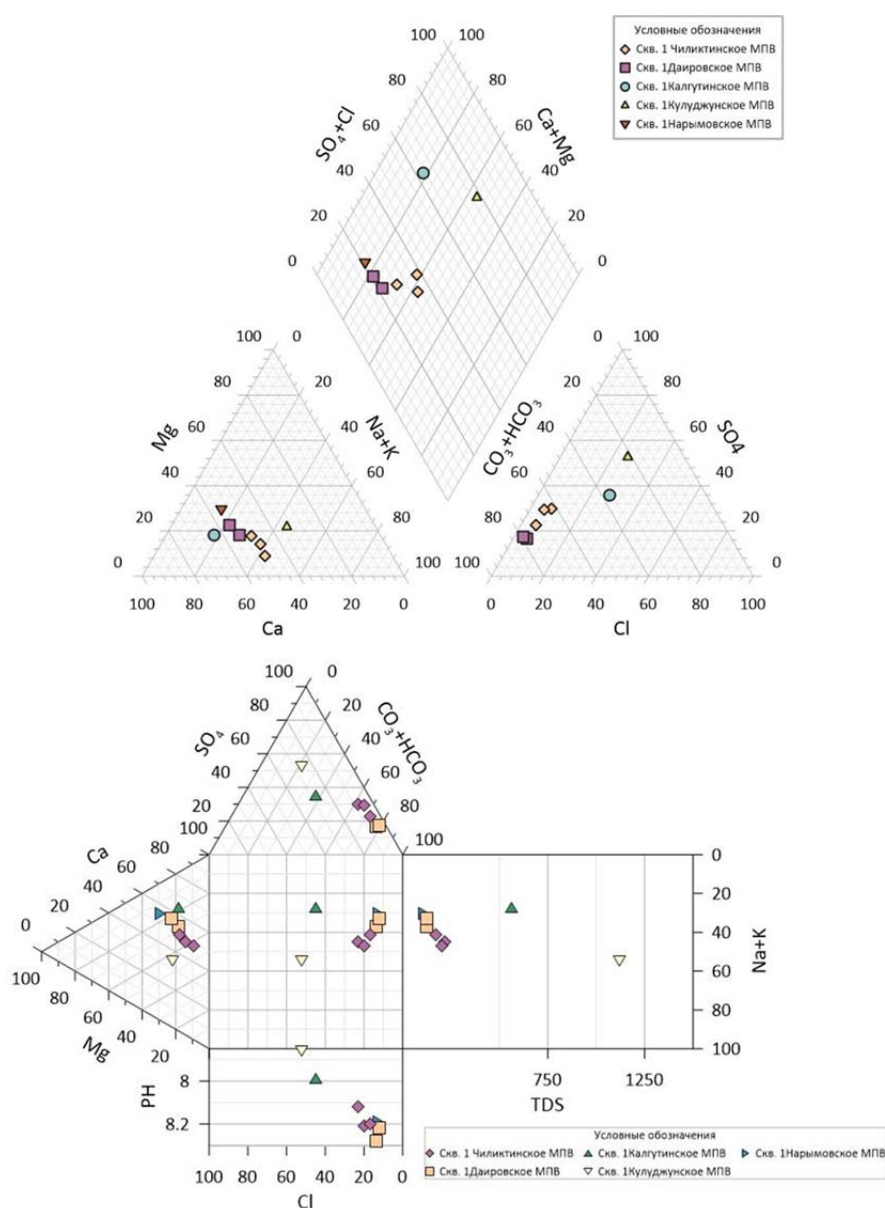


Рисунок 6 – Диаграммы химического состава подземных вод МПВ для ОРЗ Восточно-Казахстанской области

Figure 6 – Diagrams of the chemical composition of groundwater groundwater deposits for irrigation purposes, East Kazakhstan region

В целом воды классифицируются как пресные или слабоминерализованные, но с локальными зонами повышенной минерализации. Пробы воды, отобранные с Чиликтинского, Нарымовского и Даировского МПВ, характеризуются гидрокарбонатно-кальциевым типом воды, что указывает на относительно короткий промежуток циркуляции подземных вод. Анализ проб воды, отобранных с Калугинского и Кулуджунского МПВ, демонстрирует повышенное содержание ионов натрия и хлоридов, что может свидетельствовать о возможном участии более древних или глубинных водоносных горизонтов или преобладании процессов испарения.

Подземные воды, разведанные для ОРЗ, относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу, выявленные ионные аномалии могут указывать на гидрохимическую неоднородность и возможное влияние глубинных или эволюционных процессов.

Современное состояние подземных вод в Восточном Казахстане оценено с применением полевых, лабораторных и геоинформационно-аналитических методов [12], с соблюдением нормативных требований к отбору проб [9-11] и подтверждением достоверности данных через межлабораторные исследования [12]. Полученные данные систематизированы в ГИАС, отражающей эксплуатационные запасы, ресурсы и потенциал использования подземных вод для нужд орошаемого земледелия.

Таблица 1 – Площади орошения, обеспеченные эксплуатационными запасами месторождений подземных вод, разведанных для орошения земель

Table 1 – Irrigation areas provided with operational reserves of groundwater deposits explored for irrigation of lands

МПВ	Геол. индекс водго горизонта	Минерализация, г/л		Величина ЭЗ МПВ для ОРЗ	Обеспеченность ЭЗ МПВ, м ³ /с		Суммарная величина обеспеченности ЭЗ МПВ, Q _{обес} , м ³ /с	Коэффициент обеспеченности ЭЗ МПВ, K _{обес} = Q _{обес} /Q	
Даировское	a Q _{II}	0,2-0,7	667,3	0,244	7,72	0,50	10,20	10,70	1,38
	N ₂ -Q _I								
Калугинское	ар Q	0,2-0,8	45,0	0,016	0,52	0,30	1,80	2,10	4,03
Кулуджунское	ар Q	0,2-0,8	136,7	0,050	1,58	0,08	2,70	2,8	1,77
Нарымское	aQ _{II-III}	0,2-0,4	85,7	0,031	0,99	0,09	1,00	1,09	1,09
Чиликтинское	арQ _{II} -	0,2-0,3	139,1	0,051	1,61	0,40	3,22	3,62	2,25
	N ₂ -Q _I								
Итого МПВ и запасов	5		1073,8	0,391	12,43				

Представленные в таблице 1 данные отражают количественную оценку обеспеченности эксплуатационных запасов подземных вод для пяти месторождений. Показатель «обеспеченность ЭЗ» (Q₂, м³/с) характеризует устойчивый дебит скважин при заданной вероятности обеспеченности и может рассматриваться как оперативно доступный ресурс. Величина «суммарной обеспеченности» (Q_{обес}, м³/с) представляет собой агрегированное значение, полученное путём суммирования индивидуальных дебитов в пределах месторождения, и используется для оценки совокупной водоотдачи эксплуатационного участка. Коэффициент обеспеченности (K_{обес} = Q_{обес} / Q₃), в свою очередь, служит индикатором степени соответствия расчётных ресурсов проектным значениям эксплуатационных запасов (Q₃).

Из таблицы 1 видно, что обеспеченность варьирует по месторождениям, достигая наибольших значений на Даировском МПВ (Q_{обес}=10,20 м³/с, K_{обес}=1,38), что связано с более высокими запасами и эксплуатационными возможностями. В то же время для Калугинского МПВ, несмотря на низкую величину эксплуатационных запасов, отмечается высокий коэффициент обеспеченности (K_{обес}=4,03), что указывает на значительный эксплуатационный потенциал при малых утверждённых запасах.

Важный вклад в изучение региональных прогнозных ресурсов подземных вод Казахстана внесла работа «Обобщение и анализ гидрогеологических материалов с целью оценки запасов подземных вод речных долин Казахстана» [15].

Таблица 2 – Распределение прогнозных ресурсов подземных вод по регионам и административным областям

Table 2 – Distribution of predicted groundwater resources by regions and administrative areas of the research area

Регион, область	Площадь, тыс. км ²	Прогнозные ресурсы подземных вод по минерализации, г/л						Модуль, л/с на 1 км ²	
		до 1,0			до 3,0			Минерализация воды, г/л	
		тыс. м ³ /сут	м ³ /с	км ³ /год	тыс. м ³ /сут	м ³ /с	км ³ /год	до 1,0	до 3,0
Всего по Республике Казахстан	2723,0	110 789,20	1282,3	40,44	155 732,20	1802,50	56,84	0,47	0,66
Западный Казахстан	736,24	7 178,8	83,1	2,62	14 412,9	166,8	5,26	0,11	0,23
Южный Казахстан	710,47	65 781,3	761,4	24,01	92 301,7	1068,3	33,69	1,07	1,50
Алматинская	105,26	17 160,8	198,6	6,26	20 234,4	234,2	7,39	1,89	2,22
Жетісу	118,65	21 963,3	254,2	8,02	27 294,2	315,9	9,96	2,14	2,66
Жамбылская	144,26	14 933,0	172,8	5,45	22 480,8	260,2	8,21	1,20	1,80
Северный Казахстан	564,97	14 625,0	169,3	5,34	19 928,5	230,7	7,27	0,30	0,41
Центральный Казахстан	427,98	7 904,1	91,5	2,88	11 877,2	137,5	4,34	0,21	0,32
Карагандинская	239,04	6 475,8	75,0	2,36	7 801,4	90,3	2,85	0,31	0,38
Улытауская	188,94	1 428,3	16,5	0,52	4 075,8	47,2	1,49	0,09	0,25
Восточный Казахстан	283,30	15 300,0	177,1	5,58	17 211,9	199,2	6,28	0,63	0,70
Восточно-Казахстанская	97,80	9 680,7	112,1	3,53	9 779,6	113,2	3,57	1,15	1,16
Абай	185,50	5 619,3	65,0	2,05	7 432,3	86,0	2,71	0,35	0,46

В данной работе прежде всего была проведена типизация речных долин. Выделены долины: I – с постоянным речным стоком, с активной связью подземных вод с рекой; II – с постоянным речным стоком, но с затрудненной связью подземных вод с рекой; III – с периодическим стоком; IV – с отсутствием речного стока или гидравлической связи подземных вод с рекой. Каждый из выделенных типов речных долин имеет различные источники формирования эксплуатационных ресурсов.

Оценка прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод с составлением Карты прогнозных эксплуатационных ресурсов в масштабе 1:200 000 по территории Восточно-Казахстанской области проведена в 1987 г. путем обобщения и анализа значительного фактического материала. Ресурсы подземных вод подсчитаны на бесконечный срок эксплуатации, т.е. источниками формирования эксплуатационных ресурсов являются только естественные ресурсы. Прогнозные ресурсы по долинам рек Ертис, Уба, Буктырма оценены по линейному модулю, который определен по данным разведочных работ на опорных участках. Прогнозные ресурсы бассейнов основных рек оценены по площадному модулю, который, в свою очередь, определен по данным водоотлива. Их общая величина составила 2515,6 тыс. м³/сут (29,1 м³/с, или 0,92 км³/год).

Обсуждение. Потенциальная возможность использования подземных вод для орошения на перспективу обоснована величинами прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод. Результаты оценки прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод на современный период приведены в таблице 2.

Основные ресурсы пресных подземных вод Восточного Казахстана с минерализацией до 1 г/л составляют 13,8% от общего количества находящиеся в республике (см. таблицу 2: по ВКО – 177,1 м³/с из 1282,3 м³/с по РК). Естественные (возобновляемые) ресурсы представляют степень обеспеченности того или иного региона ресурсами подземных вод, позволяют установить соотношение ресурсов подземных и поверхностных вод и роль подземного стока в общем водном

балансе, что в целом имеет важное значение при составлении схем комплексного использования и охраны водных ресурсов и гидрогеологическом обосновании водохозяйственных балансов.

Естественные, антропогенные и естественно-антропогенные возобновляемые ресурсы подземных вод определяются величиной их суммарного питания, которая обусловлена инфильтрацией атмосферных осадков, оросительных и поверхностных вод, фильтрацией из естественных и искусственных поверхностных водных объектов, а также притоком подземных вод со смежных территорий. Возобновляемые ресурсы подземных вод являются показателем восполнения ресурсов подземных вод, отражающим их основную особенность как возобновляемого полезного ископаемого, и характеризуют верхний предел возможного отбора подземных вод за многолетний период без их истощения.

Заключение. В результате исследований 2024 года оценено современное состояние месторождений подземных вод Восточного Казахстана, разведанных для орошения. Исследования не выявили четко выраженной тенденции изменения запасов подземных вод под влиянием климатических факторов. Антропогенное воздействие минимально, так как эксплуатация разведанных месторождений для орошения практически не ведется.

На основании расчетов проектных площадей орошения за счет подземных вод в Восточном Казахстане выявлено, что потенциально можно орошать дополнительно 54,74 тыс. га земель за счет ресурсов подземных вод. Однако текущее использование подземных вод для орошения остается крайне низким.

Финансирование. Работа поддержана грантовым финансированием проекта BR 21882211 «Ресурсы подземных вод как основной резерв устойчивого орошаемого земледелия Казахстана».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] United Nations. The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the Invisible Visible. – UNESCO, Paris. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2022/en> (дата обращения: 06.11.2023).
- [2] Margat J., van der Gun J. Groundwater around the World: A Geographic Synopsis. – CRC Press/Balkema, 2013. – 372 p. <https://doi.org/10.1201/b13977.ngwa.org+7SCIRP+7ResearchGate+7>
- [3] Taylor R. G., Scanlon B. R., Döll P., Rodell M., van Beek R., Wada Y., Longuevergne L., Leblanc M., Famiglietti J.S., Edmunds M., Konikow L., Green T. R., Chen J., Taniguchi M., Bierkens M. F. P., MacDonald A., Fan Y., Maxwell R. M., Yechieli Y., Gurdak J.J., Allen D. M., Shamsudduha M., Hiscock K., Yeh P. J.-F., Holman I., Treidel H. Ground water and climate change. // Nature Climate Change. – 2013. – Vol. 3, No. 4. – P. 322-329. <https://doi.org/10.1038/nclimate1744>. Princeton University+1Публикации Геологической службы США+1.
- [4] Смоляр В. А., Буров Б. В., Веселов В. В. Водные ресурсы Казахстана (поверхностные и подземные воды, современное состояние). – Алматы: Ғылым, 2002. – 596 с.
- [5] Калмыкова Н. В., Шапиро С. М. Сырдарьинский артезианский бассейн. – Алма-Ата: Ғылым, 1992. – 200 с.
- [6] Смоляр В. А., Буров Б. В., Мустафаев С. Т. Ресурсы подземных вод Республики Казахстан // Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. – Алматы, 2012. – Т. VIII. – 632 с.
- [7] Абсаметов М. К., Мухамеджанов М. А., Сыдыков Ж. С., Муртазин Е. Ж. Подземные воды Казахстана – стратегический ресурс водной безопасности страны. – Алматы, 2017. – 220 с.
- [8] Рациональное использование и охрана подземных вод Республики Казахстан в условиях климатических и антропогенных изменений / Под ред. проф. Абсаметова М. К. – Алматы, 2020. – 280 с.
- [9] ГОСТ ISO 5667-11-2013. Качество воды. Часть 11. Отбор проб. Руководство по отбору проб подземных вод (ISO 5667-11:2009, IDT).
- [10] ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб.
- [11] ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб.
- [12] Малышев Н. А. Гидрогеология. – М.: Недра, 2004. – 228 с.
- [13] Environmental Systems Research Institute (ESRI). ArcGIS Pro Documentation. – URL: <https://pro.arcgis.com>.
- [14] Джакелов А. К. и др. Гидрогеологическое районирование Казахстана по условиям орошения земель подземными водами. – Алма-Ата, 1983.
- [15] Шорина С. В., Сычев К. И. Обобщение и анализ гидрогеологических материалов с целью оценки запасов подземных вод речных долин Казахстана. – Алма-Ата, 1972 г.
- [16] Постановление Правительства Республики Казахстан от 5 февраля 2024 года № 66. «Об утверждении Концепции развития системы управления водными ресурсами Республики Казахстан на 2024-2030 годы». – 57 с.

REFERENCES

- [1] United Nations. The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the Invisible Visible. UNESCO, Paris. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2022/en> (accessed 06.11.2023).
- [2] Margat J., van der Gun J. Groundwater around the World: A Geographic Synopsis. – CRC Press/Balkema, 2013. 372 p. <https://doi.org/10.1201/b13977.ngwa.org+7SCIRP+7ResearchGate+7>
- [3] Taylor R. G., Scanlon B. R., Döll P., Rodell M., van Beek R., Wada Y., Longuevergne L., Leblanc M., Famiglietti J.S., Edmunds M., Konikow L., Green T.R., Chen J., Taniguchi M., Bierkens M.F.P., MacDonald A., Fan Y., Maxwell R.M., Yechieli Y., Gurdak J.J., Allen D.M., Shamsudduha M., Hiscock K., Yeh P.J.-F., Holman I., Treidel H. Ground water and climate change. // Nature Climate Change. 2013. Vol. 3, No. 4. P. 322-329. <https://doi.org/10.1038/nclimate1744>. Princeton University+1 Publications of the US Geological Survey+1.
- [4] Smolyar V. A., Burov B. V., Veselov V. V. Water resources of Kazakhstan (surface and groundwater, current state). Almaty: Gylym, 2002. 596 p. (in Russ.).
- [5] Kalmykova N. V., Shapiro S. M. Syr Darya artesian basin. Alma-Ata: Gylym, 1992. 200 p. (in Russ.).
- [6] Smolyar V. A., Burov B. V., Mustafayev S.T. Groundwater resources of the Republic of Kazakhstan // Water resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management. Almaty, 2012. Vol. VIII. 632 p. (in Russ.).
- [7] Absametov M. K., Mukhamedzhanov M. A., Sydykov Zh. S., Murtazin E. Zh. Groundwater of Kazakhstan – a strategic resource for the country's water security. Almaty, 2017. 220 p. (in Russ.).
- [8] Rational use and protection of groundwater of the Republic of Kazakhstan in the context of climatic and anthropogenic changes / Edited by prof. Absametov M. K. Almaty, 2020. 280 p. (in Russ.).
- [9] GOST ISO 5667-11-2013. Water quality. Part 11. Sampling. Guidelines for groundwater sampling (ISO 5667-11:2009, IDT) (in Russ.).
- [10] GOST 31861-2012. Water. General requirements for sampling (in Russ.).
- [11] GOST 28168-89. Soils. Sampling (in Russ.).
- [12] Malyshev N. A. Hydrogeology. M.: Nedra, 2004 (in Russ.).
- [13] Environmental Systems Research Institute (ESRI). ArcGIS Pro Documentation. URL: <https://pro.arcgis.com>
- [14] Dzhakelov A.K. et al. Hydrogeological zoning of Kazakhstan according to the conditions of irrigation of lands with groundwater. Alma-Ata, 1983 (in Russ.).
- [15] Shorina S.V., Sychev K.I. Generalization and analysis of hydrogeological materials for the purpose of assessing groundwater reserves of river valleys of Kazakhstan. Alma-Ata, 1972 (in Russ.).
- [16] On approval of the Concept for the development of the water resources management system of the Republic of Kazakhstan for 2024-2030 Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated February 5, 2024, No. 66. 57 p. (in Russ.).

И. К. Рахметов^{*1}, Ә. Т. Токтар², А. А. Нұрғазиева³

¹ *PhD докторанты, ғылыми қызметкер («У. М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы қ., Қазақстан; issaraqmet@gmail.com)

² Аға ғылыми қызметкер («У. М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; aliya.toktar@gmail.com)

³ Кіші ғылыми қызметкер («У. М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; asel-nurgazieva@mail.ru)

ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ СУЛАНДЫРУ ҮШІН ЗЕРТТЕЛГЕН ЖЕР АСТЫ СУЛАРЫНЫҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫН БАҒАЛАУ

Аннотация. Зерттеудің мақсаты Шығыс Қазақстандағы жер асты су көздерін дамыту және қорғау, суару үшін мәліметтерді сақтау бойынша басқару шешімдерін ғылыми негіздеу және геоақпараттық қамтамасыз ету болып табылады. Аймақтық гидрогеохимиялық зерттеулер, сынамаларды зертханалық талдау және ГАЖ картасын жасау жүргізілді. Жер асты суларының болжалды ресурстық әлеуетін және карталарды пайдалануды құрайтын геоақпараттық және аналитикалық ішкі жүйе әзірленді. Суаруға арналған судың пайызы (минералдануы < 1 г/л) және 54,74 мың шаршы метрге дейінгі аумақта пайдалану мүмкіндігі. га құрылды. Қазіргі заманғы пайдалану деңгейі төмен суды пайдаланудың жоғары әлеуеті анықталды. Нәтижелер зертханааралық сынақтар мен заманауи жағдайларды ескере отырып, мұрағат деректерін қайта бағалау арқылы расталды. Сулардың ластанбаған табиғи тану расталды, бұл оларды суаруға пайдалану мүмкіндігін ашады.

Түйін сөздер: Шығыс Қазақстан, суармалау, жағдайды бағалау, гидрогеология, экология, климаттың өзгеруі

I. K. Rakhmetov^{*1}, A. T. Toktar², A. A. Nurgazieva³

¹ *PhD candidate, Research associate (LLP «Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Geoecology»,
Almaty, Kazakhstan; issaraqmet@gmail.com)

² Senior Researcher (LLP «Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Geoecology»,
Almaty, Kazakhstan; aliya.toktar@gmail.com)

³ Junior Researcher (LLP «Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Geoecology»,
Almaty, Kazakhstan; asel-nurgazieva@mail.ru)

ASSESSMENT OF THE CURRENT STATE OF GROUNDWATER RESOURCES IN EAST KAZAKHSTAN EXPLORED FOR IRRIGATION

Abstract. The aim of the study is to provide scientific substantiation and geoinformation support for management decisions on the development and protection of groundwater deposits in Eastern Kazakhstan explored for irrigation. Field hydrogeochemical studies, laboratory analysis of samples and GIS mapping were conducted. A geoinformation and analytical subsystem was developed, maps of use were compiled and the resource potential of groundwater was assessed. The suitability of water for irrigation (mineralization < 1 g / l) and the possibility of use on an area of up to 54.74 thousand hectares were established. A high potential for sustainable water use with a low level of current operation was revealed. The results were confirmed by interlaboratory tests and re-evaluation of archival data taking into account modern conditions. The natural origin of water without pollution was confirmed, which opens up prospects for their use for irrigation.

Keywords: East Kazakhstan, irrigation, status assessment, hydrogeology, ecology, climate change.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-3-69-77.33>

МРНТИ 70.03.21; 70.94.15

УДК 556.5.04

А. Ж. Достоева¹, Л. М. Биримбаева², А. Р. Загидуллина^{*3}

¹ Научный сотрудник лаборатории экстремальных гидрологических явлений
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; aigerim.dostaeva@gmail.com)

² PhD докторант, научный сотрудник лаборатории экстремальных гидрологических явлений
(КазНУ им. аль-Фараби, АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; birimbayeva_l@mail.ru)

^{3*} Научный сотрудник лаборатории экстремальных гидрологических явлений
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; zagidullina_a_88@mail.ru)

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ РЕЧНОГО СТОКА СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

Аннотация. Исследованы закономерности территориального распределения речного стока Северного Казахстана, в частности бассейнов рек Тобыл и Есиль. Регион характеризуется большим количеством малых рек и временных водотоков, которые имеют непродолжительный период наблюдений, недостаточный для гидрологических расчетов. Однако малые реки являются наиболее чувствительными и уязвимыми при современных климатических изменениях и возрастающей антропогенной нагрузке, поэтому определение их нормы стока и других гидрологических характеристик является важной и в то же время весьма сложной задачей. Для определения нормы стока слабоизученных и неизученных рек исследуемого района получены графики региональных зависимостей модуля среднего годового стока от площади водосбора $M_0=f(F)$ для шести гидрологически однородных районов. Зависимости характеризуются приемлемой степенью корреляции от 0,60 до 0,94, что позволяет рекомендовать их для оценки нормы годового стока слабоизученных и неизученных рек Северного Казахстана, а также для построения карт изолиний стока.

Ключевые слова: речной сток, река Тобыл, река Есиль, гидрологически однородный район, региональные зависимости.

Введение. В настоящее время основные исследования речного стока, его режима, многолетних колебаний, количественных и качественных изменений проводятся преимущественно на средних и крупных реках, тогда как изучение стока малых рек и временных водотоков, ввиду отсутствия достаточной гидрологической информации, развито слабо. В Казахстане насчитывается 17 736 рек с протяженностью более 10 км для равнинных территорий и более 5 км для горных районов [1]. Из них постоянный мониторинг в настоящее время ведется всего лишь на 377 гидрологических пунктах наблюдений (329 речных, 38 озерных, 10 морских) [2]. По количеству и плотности пунктов наблюдений гидрологическая сеть Республики Казахстан не отвечает рекомендациям Всемирной метеорологической организации (ВМО) и требованиям гидрологического мониторинга [3, 4]. Общее количество гидрологических постов, когда-либо действовавших на водотоках Казахстана, включает порядка 1800. Однако в подавляющем большинстве ряды пунктов наблюдений за стоком неполные, содержат пропуски. Зачастую на малых реках и временных водотоках наблюдения за стоком проводились лишь в течение нескольких лет или в весенний период [5, 7]. Например, в Жайык-Каспийском водохозяйственном бассейне половина гидропостов имеет количество лет наблюдений не более 10, треть – не более 5 [8]. В этих условиях, когда сведения о режиме реки представлены всего двумя-тремя годами наблюдений или вовсе отсутствуют, встает вопрос о расчете нормы стока слабоизученных и неизученных рек.

Определение нормы стока при недостаточности или отсутствии данных наблюдений является одной из наиболее сложных задач в практике гидрологических расчетов. Наиболее распространенным способом определения среднего годового стока при отсутствии наблюдений является географическая интерполяция между значениями нормы стока в бассейнах изученных рек. Применяются методы гидрологической аналогии, осреднения в однородном районе, построение

региональных зависимостей стоковых характеристик от основных физико-географических факторов водосборов, построение карт изолиний стока [5, 6, 8, 9].

Весьма хорошие результаты оценки нормы стока слабоизученных и неизученных рек показывают региональные зависимости годового стока от основных стокоформирующих факторов (площадь водосбора, средневзвешенный уклон водотока, гидрографическая длина водотоков, средняя высота водосбора) [5, 6, 8, 10]. В горных районах, где зональность указанных факторов нарушается, распространен метод расчета стока, основанный на зависимости водности рек от средневзвешенной высоты водосбора $M_0=f(H_{cp})$ [5]. Зависимость стока от площади водосбора $M_0=f(F)$ широко используется для условий равнинного Казахстана [6]. Указанный метод был рекомендован в [11] для расчета нормы стока неизученных рек Карагандинской области с площадью водосбора более 3000 км². В равнинных засушливых районах зоны недостаточного увлажнения величина модуля стока рек уменьшается с увеличением площади водосбора. Это связано с наличием бессточных площадей, что приводит к снижению удельной величины стока по мере роста общей площади водосбора. Поэтому при разработке методики расчета стока малых рек и временных водотоков зоны недостаточного увлажнения основное внимание уделяется выявлению изменения (редукции) стока по площади [12].

Типичными для равнинного Казахстана являются реки его северной части, к которой относятся Тобыл, Есиль и их притоки. Данные реки имеют преимущественно снеговое питание, поэтому основной их сток проходит в период весеннего снеготаяния, доля которого может достигать 80-100 % (казахстанский тип рек) [5, 6]. Длительность непосредственных наблюдений составляет непродолжительный период, который недостаточен для гидрологических расчетов. Целью работы является выявление региональных (районных) зависимостей стока выбранных рек от площади их водосбора $M_0=f(F)$ для дальнейшего определения стока слабоизученных и неизученных рек территории.

Материалы и методы. Исходными данными послужили многолетние ряды наблюдений за стоком рек Северного Казахстана, а именно реки бассейнов Тобыл и Есиль за 1974-2022 гг., отражающие современную фазу водности рек и учитывающие нестационарность климата в регионе. Также использовались данные о расположении гидропостов и площади их водосборов, опубликованные в справочных изданиях «Многолетние данные о режиме поверхностных вод суши» (МДС), «Ежегодные данные о режиме поверхностных вод суши» (ЕДС), подготавливаемые и публикуемые УГМС КазССР до 1992 года (Том 6 – Казахская ССР, Выпуски 4-6, 8-9 – “Бассейны Карского моря (западная часть)”), затем РГП «Казгидромет» (Выпуск 1 – “Бассейны рек Иртыш, Ишим, Тобол”) [11, 13-20]. Восстановление пропусков в наблюдениях, а также продление рядов проводились методом гидрологической аналогии согласно работе СНиП 2.01.14-83 [21].

Для определения нормы стока неизученных рек выбран метод построения региональных зависимостей стоковых характеристик от основных физико-географических факторов, указанный в методических рекомендациях ГГИ [22] и в своде правил СП 33-101-2003 [23].

Региональные зависимости выявляются эмпирическим способом в каждом гидрологически однородном районе (регионе). Используются данные о годовом стоке и площади водосбора изученных рек, преобразованные в логарифмы. Логарифмирование позволяет перевести степенную зависимость стока от площади в линейную, тем самым упрощает построение и анализ кривых. Кроме того, логарифмирование снижает диапазон значений больших площадей, что сокращает разброс точек.

Результаты. Анализ условий формирования стока в бассейнах рек Тобыл и Есиль показывает, что относительная водность малых водотоков, как правило, выше по сравнению со стоком средних рек. Указанное явление представляет собой следствие несколько больших снегозапасов, а также меньших потерь талых вод на поверхностное задержание и фильтрацию на водосборах малых водотоков. Поэтому применение зависимости модуля стока в бассейнах рек Тобыл и Есиль от площади водосбора $M_0=f(F)$ вполне обоснованно.

Для построения региональных зависимостей обработаны данные 50-ти гидропостов (ГП) на реках Северного Казахстана: 18 ГП в бассейне р. Тобыл, 32 ГП в бассейне р. Есиль. По данным о среднегодовых значениях стока за период 1974-2022 гг. и сведениях о площадях водосбора изученных рек были рассчитаны логарифмы модуля стока и площадей водосбора. Результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Модули годового стока от площади водосбора в бассейнах рек Тобыл и Есиль

Table 1 – Annual runoff modules from the catchment area in the Tobyl and Esil river basins

Река – пост	F, км ²	q, л/с · км ²	3000/F	IgF	Igq
Бассейн реки Тобыл					
Тобыл – с. Аккарга (свх. им. Дзержинского)	2820	0,57	1,06	3,45	-0,24
Тобыл – с. Гришенка (Грипенский)	13100	0,48	0,23	4,12	-0,32
Желькуар – с. Мариинское	1940	0,74	1,55	3,29	-0,13
Желькуар – пос. Чайковский	2210	1,89	1,36	3,34	0,28
Тобыл – с. Придорожное	15200	0,42	0,20	4,18	-0,38
Тобыл – пос. Новоильиновка	15800	0,57	0,19	4,20	-0,25
Айет – с. Варваринка	9020	0,59	0,33	3,96	-0,23
Камысты Айет – с. Маслоковцы (свх. им. Свердлова)	2950	0,63	1,02	3,47	-0,20
Карасу – свх. "Кайранкульский (Максут)"	483	0,48	6,21	2,68	-0,32
Тобыл – с. Каратомарское (Каратомары, нижний бьеф плотины)	27200	0,50	0,11	4,43	-0,30
Тобыл – с. Сергиевка (Сергеевка, нижний бьеф плотины)	27600	0,40	0,11	4,44	-0,40
Тобыл – г. Костанай	28000	0,50	0,11	4,45	-0,30
Тобыл – с. Милютинка	49500	0,19	0,06	4,69	-0,72
Уй (Тобыл) – с. Уйское	36752	0,39	0,08	4,57	-0,41
Уй – г. Троицк	15100	0,69	0,20	4,18	-0,16
Тогызак – ст. Тогузак (Веринская), у ж-д. моста	5970	0,40	0,50	3,78	-0,40
Обаган – с. Аксуат (Ак-Суат)	17200	0,17	0,17	4,24	-0,78
Обаган – в 5 км ниже устья р. Карангалык	18000	0,05	0,17	4,26	-1,26
Бассейн реки Есиль					
Есиль – с. Ударное (клх. Передовик)	202	1,53	14,85	2,31	0,19
Есиль – с. Тургеневка	3240	1,52	0,93	3,51	0,18
Есиль – с. Волгодоновка	5400	1,07	0,56	3,73	0,03
Есиль – г. Астана	7400	0,76	0,41	3,87	-0,12
Есиль – с. Державинское	76000	0,63	0,04	4,88	-0,20
Есиль – с. Каменный карьер	86200	0,55	0,03	4,94	-0,26
Есиль – с. Западное	90000	0,88	0,03	4,95	-0,05
Есиль – с. Марьевка	108000	0,55	0,03	5,03	-0,26
Есиль – г. Сергеевка (ГЭС)	109000	0,65	0,03	5,04	-0,18
Есиль – г. Петропавловск	118000	0,64	0,03	5,07	-0,19
Есиль – с. Долматово	142000	0,50	0,02	5,15	-0,30
Шортанды – с. Шортанды	251	2,11		2,40	0,32
Моелды – с. Николаевка	492	2,11		2,69	0,33
Колутон – пос. Октябрьский	3460	0,39	0,87	3,54	-0,41
Колутон – с. Колутон (ст. Колутон)	16500	0,49	0,18	4,22	-0,31
Баксук – с. Вознесенка	1380	0,53		3,14	-0,28
Аршалы – пос. Буденновка	2880	0,73		3,46	-0,14
Жабай – с. Балкашино	922	1,79		2,96	0,25
Жабай – г. Атбасар	8530	1,36	0,35	3,93	0,13
Жиландинка – с. Макеевка	2680	1,41		3,43	0,15
Акканбурлук – с. Привольное	910	0,97		2,96	-0,01
Акканбурлук – с. Григорьевка	6520	1,10	0,46	3,81	0,04
Бабык-Бурлук – с. Рухловка	1320	1,46		3,12	0,16
Мукур – с. Мукур	644	0,70		2,81	-0,16
Иманбурлук – с. Орловка	1260	0,65		3,10	-0,19
Иманбурлук – с. Соколовка	4070	0,85	0,74	3,61	-0,07
Селеты – Ильинское	12500	0,78	0,24	4,10	-0,11
Селеты – Приречное	1670	0,89	1,80	3,22	-0,05
Селеты – Изобильный	14600	0,58	0,21	4,16	-0,24
Шаглинка – Павловка	1750	1,02	1,71	3,24	0,01
Шаглинка – Северное (5040)	5040	0,27	0,60	3,70	-0,56
Карасу – Павловка	627	0,93	4,78	2,80	-0,03

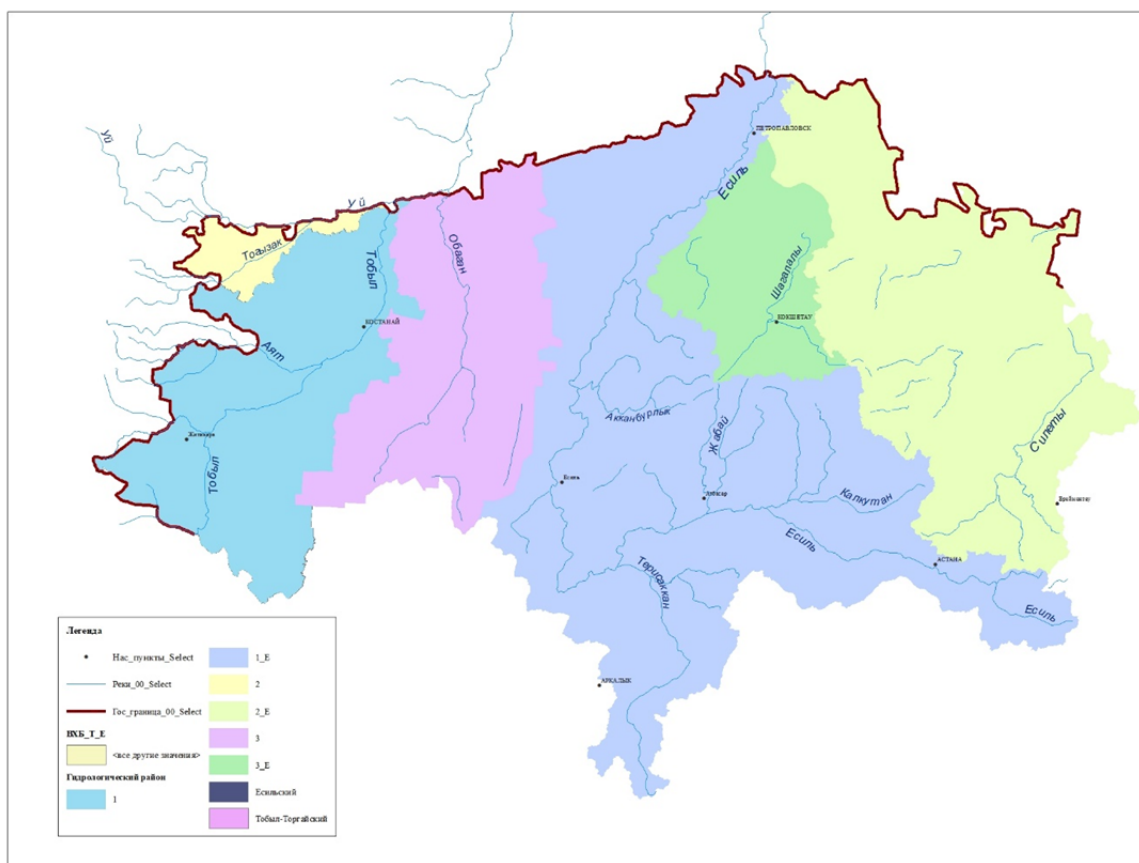


Рисунок 1 – Схематическая карта гидрологически однородных районов Северного Казахстана

Figure 1 – Schematic map of hydrologically homogeneous regions of Northern Kazakhstan

Полученные значения $\lg F$ и $\lg M_0$ являются координатами точек (гидропостов изученных рек). На общем графике некоторые гидропосты были разделены или объединены в гидрологически однородные районы по признакам сходства орографических и климатических особенностей расположения водосбора, его площади и условий формирования стока (рисунок 1). По точкам, принадлежащим одному району, проведены линии тренда – региональные зависимости $M_0=f(F)$ (рисунок 2).

Бассейн р. Тобыл был разделен на три гидрологических района. К I гидрологическому району отнесены бассейны рек Уй и Тогузак. Собственно р. Тобыл, а также бассейны рек Аят и Сынташты составляют II гидрологический район. Бассейны малых рек степной части бассейна р. Тобыл отнесены к III гидрологическому району. Зависимости $M_0=f(F)$ по всем трем гидрологическим районам характеризуются достаточно высоким коэффициентом корреляции от 0,75 до 0,82. На рисунке 2 представлены кривые региональных зависимостей бассейна р. Тобыл, в таблице 2 даны сведения о них.

Бассейн р. Есиль поделен на три гидрологических района. IV гидрологический район включает в себя бассейны рек Жабай и собственно р. Есиль. К V гидрологическому району относятся бассейны рек Колутон, Баксук, Аршалы, Шаглинка, Карасу. VI гидрологический район составляют бассейны рек Шортанды, Акканбурлук, Иманбурлук, Бабыкбурлук, Селеты. Зависимости $M_0=f(F)$ по IV и VI гидрологическим районам характеризуются высоким коэффициентом корреляции 0,82 и 0,94. Для V гидрологического района коэффициент корреляции равняется 0,60. На рисунке 2 представлены кривые региональных зависимостей бассейна р. Есиль, в таблице 2 даны сведения о них.

С использованием полученных региональных зависимостей были сняты значения модуля стока для слабоизученных рек, данные наблюдения за стоком которых имеются от нескольких месяцев до 3 лет. Для малых рек степной части бассейна р. Тобыл – Шили, Карангылык, Карасу, Теректы и др. использовался график III района, в бассейне р. Есиль для рек Камысакты, Сага, Кыздынкарасу и др. – график V района.

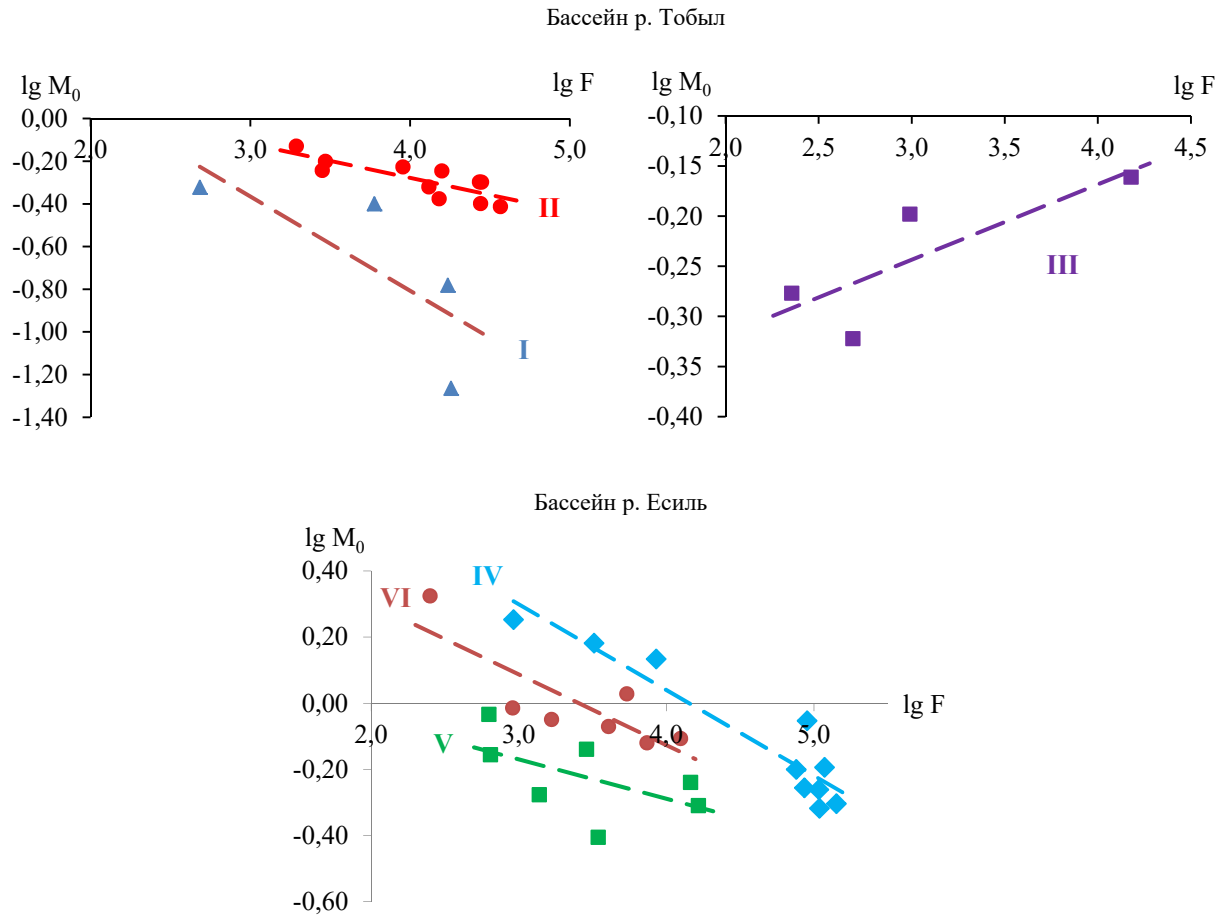
Рисунок 2 – Районные зависимости $M_0=f(F)$ в бассейне рек Тобыл и ЕсильFigure 2 – Regional dependencies $M_0=f(F)$ in the Tobyl and Esil river basins

Таблица 2 – Сведения о региональных зависимостях стока по гидрологическим районам бассейнов рек Тобыл и Есиль

Table 2 – Information on regional dependencies of runoff by hydrological regions of the Tobyl and Esil river basins

Гидрологический район	Реки	Водохозяйственный участок	Коэффициент корреляции R
Бассейн реки Тобыл			
I	Уй, Тогузак	07.01.12.04	0,75
II	Аят, Сынташты, Тобыл	07.01.12.01, 07.01.12.02, 07.01.12.03	0,82
III	Малые реки степной части бассейна р. Тобыл	07.01.12.05	0,81
Бассейн реки Есиль			
IV	Жабай, Есиль	04.01.06.01, 04.01.06.02, 04.01.06.03, 04.01.06.04, 04.01.06.05	0,94
V	Колутон, Баксук, Аршалы, Шаггинка, Карасу	04.02.00.01	0,60
VI	Шортанды, Акканбурлук, Иманбурлук, Бабыкбурлук, Селеты	04.02.00.02, 04.02.00.03	0,82

Узнав площадь водосбора и преобразовав ее в логарифм, снимаем с соответствующего графика региональной зависимости логарифм модуля стока, после чего переводим в норму стока. К примеру, р. Шили в створе с. Федосеевка имеет площадь водосбора 191 км², ее логарифм (lg F) равняется 2,28. По III графику это значение соответствует логарифму модуля стока (lg M₀) равному -0,05. Переводим логарифм модуля в расход и получаем норму стока реки Шили, равную 0,17 м³/с. Аналогичным способом были определены нормы стока остальных слабоизученных рек исследуемых бассейнов (таблица 3).

Таблица 3 – Рассчитанные нормы стока для слабоизученных рек в бассейнах рек Тобыл и Есиль

Table 3 – Calculated flow rates for poorly studied rivers in basins of the Tobyl and Yesil rivers

Река – Пост	F, км ²	lg F	lg M ₀	M ₀ , л/с км ²	Q, м ³ /с
Бассейн р. Тобыл					
Шили – с. Федосеевка	191	2,28	-0,05	0,89	0,17
Карангылык – с. Сосна	823	2,92	-0,33	0,47	0,39
Карасу – с. Карасу	1390	3,14	-0,43	0,37	0,52
Теректы – ферма Красный Октябрь	1360	3,13	-0,42	0,38	0,51
Лог Карасу – с. Королевка	625	2,80	-0,28	0,53	0,33
Бассейн р. Есиль					
Камысакты – с. Яснова	1800	3,26	-0,20	0,63	1,14
Сага – с. Пикет	1410	3,15	-0,19	0,65	0,92
Карасу – с. Карасу	1200	3,08	-0,18	0,66	0,79
Кыздынкарасу – 2 ферма клх Прожектор	706	2,85	-0,15	0,71	0,50

Обсуждение. Оценка особенностей распределения стока по территории Северного Казахстана по данным непосредственных наблюдений в опорных пунктах затруднена из-за их малого количества и неравномерности размещения. Рельеф водосборов играет весьма существенную роль в формировании стока, причем с его влиянием связаны не только условия снегонакопления, но в значительной мере и размеры потерь талых вод в пределах речного бассейна. В непосредственной связи с характером рельефа, в частности с высотой, находятся степень развития гидрографической сети на водосборе и уклоны его поверхности. В бассейнах рек Тобыл и Есиль изменение модуля стока по длине реки связано, при прочих равных условиях, с изменением рельефа водосбора. В качестве характеристики рельефа, отражающей его влияние на сток, принята площадь водосбора. Зависимость среднего многолетнего модуля годового стока от площади водосбора на рассматриваемой обширной территории выражается шестью графиками, представляющими региональные (районные) зависимости в каждом гидрологическом районе.

Схожие зависимости для исследуемых бассейнов были получены в монографиях «Ресурсы поверхностных вод» 1960-х годов [11, 13-16] и более современных работах казахстанских ученых [5, 12] 2010-х годов. Однако ввиду улучшения гидрологической изученности территории и накопленной информации за последние десятилетия, учитывающей происходящие климатические изменения и антропогенную нагрузку, возникла необходимость уточнения региональных зависимостей.

Полученные в работе зависимости $M_0=f(F)$ характеризуются приемлемой степенью корреляции от 0,60 до 0,94, что позволяет рекомендовать их для оценки нормы годового стока слабоизученных и неизученных рек, а также они могут использоваться для построения карт изолиний стока. Однако для неизученных рек сначала необходимо определить площадь водосбора по топографическим картам крупного масштаба. Далее определение нормы стока проводится описанным способом.

Следует отметить, что использование данной методики ГГИ [23] распространено в СНГ, однако в исследованиях зарубежных коллег не встречается.

Заключение. Проведенное исследование позволило выявить пространственные закономерности распределения речного стока Северного Казахстана. В бассейнах рек Тобыл и Есиль

выделено 6 гидрологически однородных района, в которых установлены региональные зависимости модуля стока от площади водосбора $M_0=f(F)$.

Полученные зависимости рекомендуются для определения нормы стока слабоизученных и неизученных рек Северного Казахстана, которые, как правило, относятся к малым рекам – наиболее уязвимыми при интенсивном хозяйственном освоении. Для нижнего течения больших рек, где сток интенсивно теряется, региональные зависимости дают лишь грубо приближенные значения нормы.

Результаты работы могут использоваться для гидрологических расчетов и планирования водопользования в условиях нарастающего дефицита водных ресурсов, что особенно важно для устойчивого развития региона.

Финансирование. Исследование проводилось в рамках программы BR23791322 НТП «Научно-техническое обеспечение сохранения, воспроизводства и эффективного распределения водных ресурсов для обеспечения водной безопасности РК» по мероприятию 1 «Оценка и прогноз наличия ежегодно возобновляемых поверхностных водных ресурсов по годам различной водообеспеченности по всем водохозяйственным бассейнам Республики Казахстан».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Алимкулов С. К., Мырзахметов А. Б. Гидрографическая сеть Республики Казахстан // Исследования, результаты. – 2023. – № 4(100). – С. 247-257.
- [2] База данных для открытого использования результатов наблюдений на гидрологических станциях РГП «Казгидромет»: <https://www.kazhydromet.kz/ru/gidrologiya/o-gidrologii> (дата обращения 22.04.25).
- [3] Sairov S., Alimbayeva D., Serikbay N., Yeltay A., Tillakarim T. Calculation of the minimum number of hydrological observation stations of the hydrometeorological service network in the Republic of Kazakhstan // Hydrometeorology and ecology. – 2024. – No. 1. – P. 39-46.
- [4] Медеу А. Р., Әлімқұлов С. К., Махмудова Л. К., Баспакова Г. Р. Гидрологиялық бақылау жүйесінің қазіргі жағдайы // География және су ресурстары. – 2024. – № 3. – Б. 14-20.
- [5] Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Том VII. Ресурсы речного стока Казахстана. Книга 1. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод Западного, Северного, Центрального и Восточного Казахстана / Под ред. Гальперина Р. И. – Алматы, 2012. – 684 с.
- [6] Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Том VII. Ресурсы речного стока Казахстана. Книга 1. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод юга и юго-востока Казахстана. – Алматы, 2012. – 360 с.
- [7] Алимкулов С. К., Турсунова А. А., Давлетгалиев С. К., Сапарова А. А. Ресурсы речного стока Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2018. – № 3. – С. 80-93.
- [8] Загидуллина А. Р., Достаева А. Ж., Сайлаубек А. М., Альжанов О. М. Жайық-Каспий су шаруашылығы алабының өзен ағынды ресурстарының аумақтық таралу заңдылықтары // Л. Н. Гумилев атындағы ЕҰУ-нің хабаршысы. Химия. География. Экология сериясы, – 2025. – № 2(151). – Б. 183-196. – DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2025-151-2-183-196>
- [9] Алимкулов С. К., Турсунова А. А., Сапарова А. А., Загидуллина А. Р., Кулебаев К. М. Закономерности территориального распределения ресурсов речного стока юга и юго-востока Казахстана в современных условиях развития географической среды // Вопросы географии и геоэкологии. – 2016. – № 1. – С. 23-30.
- [10] Ушаков М. В. Формулы для расчета годового стока неизученных рек Примагандья // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). Природная среда. – 2019. – № 2(51). – С. 73-76.
- [11] Ресурсы поверхностных вод СССР. Карагандинская область. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – Т. 13, вып. 1. – 482 с.
- [12] Молдахметов М. М., Махмудова С. К. Бақылау деректері жоқ болған жағдайда Қазақстан Республикасы аумағында Тобыл өзені алабының қалыпты жылдық ағындысын бағалау // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2010. – № 2(31). – С. 76-79.
- [13] Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Акмолинская область Казахской ССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – Вып. 1. – 789 с.
- [14] Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Кустанайская область. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – Т. 2. – 615 с.
- [15] Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Павлодарская область Казахской ССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – Вып. IV. – 576 с.
- [16] Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1963-1970 гг.). Алтай, Западная Сибирь и Северный Казахстан. Верхний Иртыш, Верхний Ишим, Верхний Тобол. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – Т. 15, вып. 2. – 384 с.
- [17] Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1971-1975 и весь период наблюдений). Бассейны Иртыша, Ишима, Тобола. – Л.: Гидрометеиздат. 1980. – Т. 15, вып. 2 – 294 с.
- [18] Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Казахская ССР. Бассейны Иртыша, Ишима, Тобола. 1976-1980 гг. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – Т. V, вып. 1. – 468 с.

- [19] Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши (1981-1990 гг.). Бассейн рек Иртыш, Ишим, Тобол (верхнее течение). – Алматы, 2002. – Кн. 1, ч. 1, вып. 1. – 384 с.
- [20] Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши (1991-2000 гг.). Бассейн рек Иртыш, Ишим, Тобол (верхнее течение). – Алматы, 2004. – Кн. 1, ч. 1, вып. 1. – 191 с.
- [21] СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 1983. – 36 с.
- [22] Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. – Санкт-Петербург: Нестор-История, 2009. – 66 с.
- [23] Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Издание официальное. – М.: Госстрой России, 2004. – 73 с.

REFERENCES

- [1] Alimkulov S. K., Myrzakhmetov A. B. Hydrographic network of the Republic of Kazakhstan // Research, results. 2023. No. 4(100). P. 247-257 (in Russ.).
- [2] Database for open use of observation results at hydrological stations of the Kazhydromet RSE: <https://www.kazhydromet.kz/ru/gidrologiya/o-gidrologii> (accessed on 22 April 2025) (in Russ.).
- [3] Sairov S., Alimbayeva D., Serikbay N., Yeltay A., Tillakarim T. Calculation of the minimum number of hydrological observation stations of the hydrometeorological service network in the Republic of Kazakhstan // Hydrometeorology and ecology. 2024. No. 1. P. 39-46.
- [4] Medeu A. R., Alimkulov S. K., Makhmudova L. K., Baspakova G. R. Current state of the hydrological monitoring system // Geography and water resources. 2024. No. 3. P. 14-20 (in Kaz.).
- [5] Water resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management. Volume VII. River flow resources of Kazakhstan. Book 1. Renewable resources of surface waters of Western, Northern, Central and Eastern Kazakhstan / Edited by Galperin R. I. JSC 'National Scientific and Technical Holding 'Parasat' Institute of Geography. Almaty, 2012. 684 p (in Russ.).
- [6] Water resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management. Volume VII. River flow resources of Kazakhstan. Book 2. Renewable resources of surface waters of South and Southeast Kazakhstan. Almaty, 2012. 360 p. (in Russ.).
- [7] Alimkulov S. K., Tursunova A. A., Davletgaliev S. K., Saparova A. A. River flow resources of Kazakhstan // Hydrometeorology and Ecology. 2018. No. 3. P. 80-93 (in Russ.).
- [8] Zagidullina A. R., Dostaeva A. Zh., Sailaubek A. M., Alzhanov O. M. The current state of the resources of the Zhayik-Caspian Sea basin // L. N. Gumilev's EU-ni'n khabarshy. Chemistry. Geography. Ecology series, 2025. No. 2(151). P. 183-196. DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2025-151-2-183-196> (in Kaz.).
- [9] Alimkulov S. K., Tursunova A. A., Saparova A. A., Zagidullina A. R., Kulebaev K. M. Patterns of territorial distribution of river flow resources in southern and south-eastern Kazakhstan in the current conditions of geographical environment development // Issues of Geography and Geoecology. 2016. No. 1. P. 23-30 (in Russ.).
- [10] Ushakov M. V. Formulas for calculating the annual flow of unexplored rivers in Primagadanya // Society. Environment. Development (Terra Humana). Natural Environment. 2019. No. 2(51). P. 73-76 (in Russ.).
- [11] Surface water resources of the USSR. Karaganda Region. L.: Hydrometeoizdat. 1966. Vol. 13, issue 1. 482 p. (in Russ.).
- [12] Moldakhmetov M. M., Makhmudova S. K. In the absence of reliable data, it is necessary to assess the actual state of the environment in the Republic of Kazakhstan // KazNU Bulletin. Geography series. 2010. No. 2(31). P. 76-79 (in Russ.).
- [13] Surface water resources in areas of virgin and fallow land development. Akmola Region of the Kazakh SSR. L.: Hydrometeoizdat, 1959. Issue 1. 789 p. (in Russ.).
- [14] Surface water resources in areas of virgin and fallow land development. Kustanai Region. L.: Hydrometeoizdat, 1959. Vol. 2. 615 p. (in Russ.).
- [15] Surface water resources in areas of virgin and fallow land development. Pavlodar Region of the Kazakh SSR. L.: Hydrometeoizdat, 1959. Vol. IV. 576 p. (in Russ.).
- [16] Surface water resources of the USSR. Main hydrological characteristics (for 1963-1970). Altai, Western Siberia and Northern Kazakhstan. Upper Irtysh, Upper Ishim, Upper Tobol. L.: Hydrometeoizdat, 1977. Vol. 15, issue 2. 384 p. (in Russ.).
- [17] Surface water resources of the USSR. Main Hydrological Characteristics (for 1971-1975 and the entire observation period). Irtysh, Ishim, and Tobol Basins. L.: Gidrometeoizdat. 1980. Vol. 15, issue 2 294 p. (in Russ.).
- [18] State water cadastre. Long-term data on the regime and resources of surface waters on land. Kazakh SSR. Irtysh, Ishim, Tobol basins. 1976-1980. L.: Hydrometeoizdat, 1987. Vol. V, issue 1. 468 p. (in Russ.).
- [19] State water cadastre. Long-term data on the regime and resources of surface waters on land (1981-1990). Irtysh, Ishim, and Tobol River Basins (upper reaches). Almaty, 2002. Book 1, part 1, issue 1. 384 p. (in Russ.).
- [20] State water cadastre. Long-term data on the regime and resources of surface waters on land (1991-2000). Irtysh, Ishim, Tobol (upper reaches) river basin. Almaty, 2004. Book 1, part 1, issue 1. 191 p. (in Russ.).
- [21] СНиП 2.01.14-83. Determination of design hydrological characteristics. Moscow: Stroiizdat, 1983. 36 p. (in Russ.).
- [22] Methodological recommendations for determining design hydrological characteristics in the absence of hydrometric observation data. Saint-Petersburg: Nestor-Istoriya, 2009. 66 p. (in Russ.).
- [23] Code of rules SP 33-101-2003. Determination of basic design hydrological characteristics. Official publication. Moscow: Gosstroy of Russia, 2004. 73 p. (in Russ.).

А. Ж. Достоева¹, Л. М. Биримбаева², А. Р. Загидуллина^{*3}

¹ Экстремалды гидрологиялық құбылыстар зертханасының ғылыми қызметкері
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; aigerim.dostaeva@gmail.com)

² PhD-докторант, Экстремалды гидрологиялық құбылыстар зертханасының ғылыми қызметкері
(әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан;
birimbayeva_l@mail.ru)

^{3*} Экстремалды гидрологиялық құбылыстар зертханасының ғылыми қызметкері
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; zagidullina_a_88@mail.ru)

СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАННЫҢ ӨЗЕН АҒЫНЫНЫҢ АЙМАҚТЫҚ ТӘУЕЛДІЛІКТЕРІ

Аннотация. Бұл жұмыста Солтүстік Қазақстандағы, атап айтқанда Тобыл және Есіл өзендерінің алаптарындағы өзен ағынының аумақтық таралу заңдылықтары зерттелді. Аталған өңірдің гидрологиялық зерттелуі көптеген шағын өзендер мен уақытша су ағындарының болуымен сипатталады. Бұл су ағындары бойынша бақылау мерзімі қысқа болғандықтан, гидрологиялық есептеулер жүргізуге жеткіліксіз. Алайда, қазіргі климаттың өзгеруі мен антропогендік жүктеменің артуы жағдайында шағын өзендер ең сезімтал әрі осал су нысандары болып табылады. Сондықтан олардың ағын нормасын және басқа да гидрологиялық сипаттамаларын анықтау маңызды әрі күрделі мәселе болып табылады. Зерттеліп отырған өңірдегі аз зерттелген және мүлде зерттелмеген өзендердің ағын нормасын анықтау үшін алты гидрологиялық жағынан біртекті ауданға арналған орташа жылдық ағын модулінің су жинау алаңына тәуелділік графиктері $M_0 = f(F)$ түрінде өңірлік байланыстар алынды. Алынған тәуелділіктердің корреляция дәрежесі 0,60 пен 0,94 аралығында болып, бұл оларды Солтүстік Қазақстандағы аз зерттелген және зерттелмеген өзендердің жылдық ағын нормасын бағалау үшін, сондай-ақ ағын изосызықтарының карталарын жасау үшін қолдануға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: су ағындысы, Тобыл өзені, Есіл өзені, гидрологиялық біртекті аудан, аймақтық тәуелділіктер.

A. Zh. Dostayeva¹, L. M. Birimbayeva², A. R. Zagidullina^{*3}

¹ Researcher at the Laboratory of Extreme Hydrological Events
(JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan; aigerim.dostaeva@gmail.com)

² PhD student, Researcher at the Laboratory of Extreme Hydrological Events (Al-Farabi Kazakh National University, JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan; birimbayeva_l@mail.ru)

^{3*} Researcher at the Laboratory of Extreme Hydrological Events
(JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan; zagidullina_a_88@mail.ru)

REGIONAL DEPENDENCIES OF RIVER RUNOFF IN NORTHERN KAZAKHSTAN

Abstract. This paper studies the patterns of river runoff distribution in Northern Kazakhstan, specifically in the Tobol and Esil river basins. Hydrological research in this region is characterised by a large number of small rivers and temporary watercourses, which have a short observation period that is insufficient for hydrological calculations. However, small rivers are the most sensitive and vulnerable to modern climate change and increasing anthropogenic pressure, so determining their flow rates and other hydrological characteristics is an important and, at the same time, very difficult task. To determine the normal flow of poorly studied and unstudied rivers in the study area, graphs of regional dependencies of the average annual flow module on the catchment area $M_0 = f(F)$ were obtained for six hydrologically homogeneous areas. The obtained dependencies are characterised by an acceptable degree of correlation in the range from 0.60 to 0.94, which allows them to be recommended for estimating the annual flow rate of poorly studied and unstudied rivers in Northern Kazakhstan, as well as for constructing flow isoline maps.

Keywords: river runoff, Tobyl river, Esil river, hydrologically homogeneous area, regional dependencies.

Гидрохимия и качество воды

Гидрохимия және судың сапасы

Hydrochemistry and water quality

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-3-78-90.34>

МРНТИ 38.61.17

УДК 55.556

М. К. Абсаметов^{*1}, А. Ж. Жакибаева², К. Е. Кошпанова³,
Е. Ж. Муртазин⁴, Д. К. Аденова⁵

¹ *Д.г.-м.н., профессор, академик НАН РК, директор (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; mabsametov@mail.ru)

² Младший научный сотрудник лаборатории ресурсов подземных вод (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; zhakibaeva8@gmail.com)

³ Младший научный сотрудник лаборатории химико-аналитических исследований (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; kalamkas.koshpanova@mail.ru)

⁴ К.г.-м.н., заместитель директора по науке (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; ye_murtazin@list.ru)

⁵ PhD, старший научный сотрудник лаборатории моделирования гидродинамических и геоэкологических процессов (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; dinara1982_82@mail.ru)

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЙ СТОК ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА И ЕГО РОЛЬ В РАЗВИТИИ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Аннотация. Подземные воды являются основным агентом геохимических обменов между гидросферой и литосферой. Для количественной оценки гидрогеохимического стока выделены 14 районов, относящихся к бассейнам четырех крупных внутренних водоемов, определена величина химического выноса подземными и поверхностными водами, а также привнос солей атмосферными осадками. На территории исследований в связи с ограниченным распространением поверхностного стока подземные воды являются основным механизмом в перераспределении вещества в земной коре. Наряду с процессом движения гравитационных вод, заключенных в горных породах верхней части земной коры от областей питания к местам дренирования, происходит миграция химических элементов, поступающих в подземную воду в результате различных физико-химических и биологических процессов, происходящих в системе «горная порода-вода».

Ключевые слова: Центральное-Казахстанский гидрогеологический регион, подземный сток, химический состав подземных вод, химический вынос, показатель подземной химической денудации, денудационный метр.

Введение. В Докладе ООН о состоянии водных ресурсов мира за 2022 год «Groundwater: Making the invisible visible» представлены актуальные проблемы и возможности, связанные с развитием и управлением подземными водами, которые рассматриваются как природный ресурс, практическую ценность которых обеспечивают главным образом возобновляемые ресурсы и, в более исключительных случаях, невозобновляемые ресурсы (естественные запасы), которые могут эксплуатироваться и истощаться [1, 2]. Подземные воды являются не только компонентом гидрологического цикла, они также участвуют в нескольких других циклах. В геохимическом цикле они играют важную роль как «жизненная сила Земли», поскольку являются основным агентом геохимических обменов между гидросферой и литосферой [3, 4]. Подземные воды играют активную роль во внутренней гидродинамике земной коры, перераспределяя давления (напоры) и

транспортируя вещество, участвующее в механической и геохимической эволюции недр. Состав и структура недр оказывают сильное влияние на подземные воды, их распространение, движение и химический состав, а также на их взаимодействие на поверхности или вблизи нее в форме питания и разгрузки и взаимосвязей с поверхностными водами.

Подземные воды играют решающую роль в геохимических обменах между земными водами и литосферой. Это связано с их, как правило, длительным временем пребывания под землей и обычно очень большой поверхностью контакта между водой и твердой матрицей под поверхностью земли [5]. Подземные воды отвечают за растворение и гидролиз – особенно в почвах и в ненасыщенной зоне между почвой и незамкнутыми водоносными горизонтами – и также занимаются последующим переносом и осаждением растворенных веществ. Эти процессы отражаются в концентрации растворенных твердых веществ и их изменении внутри каждого водоносного горизонта, на разных глубинах, на всем пути движения подземных вод. Поэтому эти процессы оставляют свои следы на качестве подземных вод как ресурса [6].

Взаимодействие подземных вод с различными генетическими типами горных пород находится в сложной динамической связи, в процессе которой происходят разрушение горных пород путем физико-химического выветривания и последующий перенос продуктов разрушения. Начиная от разрушения горных пород до образования новых осадочных отложений системе свойственно неравновесное состояние, приводящее к изменению состава как самих подземных вод, так и минерального вещества горных пород. Состав химических элементов в подземных водах дает возможность подойти к количественной оценке таких геологических процессов, как химическое выветривание, денудация, изменение минерального вещества горных пород, засоление почв, формирование и разрушение месторождений полезных ископаемых. Особый интерес представляет зона гипергенеза, где можно проследить полный цикл водообмена от областей питания к местам дренирования [7-10].

Наиболее важной представляется верхняя гидродинамическая зона, называемая зоной активного или свободного (интенсивного) водообмена [11]. Подземный сток формируется в зоне дренирования земной коры как компонент гидрологического цикла круговорота воды в природе, обусловленный гидравлическим потенциалом рельефа земной поверхности и структурно-гидрогеологическими особенностями этой зоны

Территория исследований расположена в Карагандинской, Улытау и Абай областях Центрального Казахстана (рисунок 1) и относится к Центрально-Казахстанскому гидрогеологическому региону консолидированных горноскладчатых сооружений, в которых формируются трещинные, трещинно-карстовые и трещинно-жильные безнапорные воды. В наложенных структурах выявляются напорные трещинно-пластовые воды. Безнапорные поровые воды связаны с речными долинами [12].

Рисунок 1 –
Обзорная карта районов исследования
Figure 1 –
Overview map of the study areas



Территория исследований отнесена к классу «С» (коричневый) гидрогеологической обстановки по карте «Ресурсы подземных вод мира» [13]. Преобладают области только с местными и неглубокими водоносными горизонтами. Этот класс включает аллювиальные водоносные горизонты и водоносные зоны трещиноватости выветрелых скальных пород с низкой интенсивностью питания подземных вод – менее 20 мм/год.

Территория исследований представляет собой провинцию «Центрально-Казахстанская складчатая область» (25.01) в составе глобального региона подземных вод «Бассейны Центральной Азии» (25) согласно терминологии Международного центра оценки ресурсов подземных вод (IGRAC) [14].

Обзор гидрогеологических особенностей территории. На основе ландшафтно-геоморфологических и структурно-тектонических особенностей в аридных условиях выделено 14 гидрогеологических районов, относящихся к бассейнам четырех крупных внутренних водоемов (рисунок 2) [15].

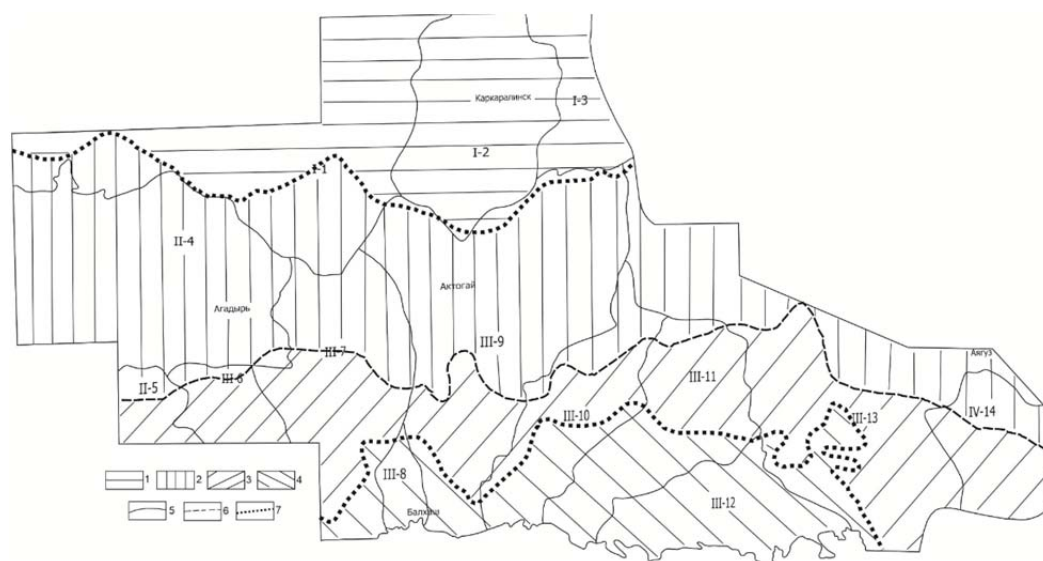


Рисунок 2 – Карта гидрогеологического районирования Северного Прибалкашья.

Гидрогеологические районы: I – бассейн оз. Тенгиз (1 – Нура, 2 – Талды, 3 – Тундык); II – бассейн Арала (4 – Сарысу, 5 – Атасу); бассейн оз. Балкаш (6 – Мойынты, 7 – Жамши, 8 – междуречье Жамши-Токрау, 9 – Токрау, 10 – Кентерлау, 11 – Ащюзек, 12 – междуречье Ащюзек-Баканас, 13 – Баканас-Аягуз). Ландшафтные зоны и подзоны: 1, 2 – сухие степи: 1 – с темно-каштановыми почвами, 2 – со светло-каштановыми почвами; 3, 4 – пустынные степи и пустыни: 3 – с бурыми почвами, 4 – с серо-бурными почвами. Границы между: 5 – гидрогеологическими районами, 6 – ландшафтными зонами, 7 – ландшафтными подзонами

Figure 2 – Map of hydrogeological zoning of Northern Pribalkhashye.

Legend: Hydrogeological regions: I – Tengiz Lake basin (1 – Nura, 2 – Taldy, 3 – Tundyk); II – Aral Sea basin (4 – Sarysu, 5 – Atasu); Lake Balkhash basin (6 – Mointy, 7 – Zhamshi, 8 – Zhamshi-Tokrau interfluve, 9 – Tokrau, 10 – Kenterlau, 11 – Ashiozek, 12 – Ashiozek-Bakanas interfluve, 13 – Bakanas-Ayaguz). Landscape zones and subzones: 1, 2 – dry steppes; 1 – with dark chestnut soils, 2 – with light chestnut soils; 3, 4 – desert steppes and deserts: 3 – with brown soils, 4 – with grey-brown soils. Boundaries between: 5 – hydrogeological regions, 6 – landscape zones, 7 – landscape subzones

I. Бассейн озера Тенгиз включает 3 района – Нуринский (I.1), Талдыкский (I.2), Туындыкский (I.3) (см. рисунок 2). Большая часть территории представлена низкогорьем, мелкосопочником и расчлененными слабонаклонными аккумулятивными равнинами. Общий уклон поверхности рельефа с юга на север.

Теплый и сухой климат континентального типа определяет территорию как зону сухих степей с темно-каштановыми почвами. Растительность представлена в основном полынью, ковылем и кокпеком, а в местах выхода подземных вод – густым сочным разнотравьем. В пределах горных массивов встречаются хвойные деревья.

Подземные воды формируются под влиянием современных физико-географических условий. Южная часть, где преобладает низкогорный рельеф, сложенный хорошо обнаженными трещи-

новатыми интрузивными и эффузивными породами, является региональной областью питания и формирование подземных вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков как зимне-весеннего, так и летнего периодов. Мелкосопочная и равнинная части, сложенные эффузивно-осадочными образованиями, перекрытыми рыхлыми кайнозойскими отложениями, служат областью транзита и разгрузки подземных вод, движущихся с юга на север [16].

Роль атмосферных осадков в питании подземных вод невелика, а в речных долинах определяющей является инфильтрация поверхностного стока. Разгрузка их происходит путем родникового стока, испарения, транспирации растениями и выклинивания в плёсы и запрудные озера. Значительно распространены здесь трещинные воды с активным водообменом, что обуславливает их низкую минерализацию. При этом в формировании химического состава трещинных вод областей питания играют существенную роль атмосферный привнос солей, вещественный состав покровных рыхлых отложений и водовмещающих пород.

Всего в районе по генетическому признаку выделяются три гидрогеохимических группы: а) гидрокарбонатные кальциево-натриевые (местами натриевые) воды I и II типов, развитые, главным образом, в наиболее высоких частях территории, где основными формирующимися факторами их химического состава выступает состав атмосферных осадков и водовмещающих пород; б) сульфатно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые воды II типа, слагают низкогорную и мелкосопочную части района, на их химический состав значительное влияние оказывает состояние покровных отложений зоны аэрации, обогащенных сульфат-ионами; в) сульфатные натриево-кальциевые воды II типа, ограниченно распространенные и связанные с палеозойскими образованиями, обогащенными сульфидными минералами.

II. Бассейн Арала охватывает два района: Сарысуский (II.4) и Атасуйский (II.5) (см. рисунок 2). В орографическом отношении территория представлена низкогорьем, мелкосопочником и цокольной равниной. Низкогорье развито на водоразделах рек Жаксысарысу-Шерубайнура и Жамансарысу-Атасу. Мелкосопочный рельеф расположен в северо-западной и юго-восточной части с абсолютными отметками 650-880. Слабовсхолмленная цокольная равнина тяготеет к долинам рек Сарысу и Атасу, отметки которой снижаются с востока на запад.

В строении районов участвует комплекс пород весьма широкого стратиграфического диапазона, начиная от протерозоя до современного отдела четвертичной системы [17]. Преобладают осадочно-вулканогенные образования палеозоя, слагающие мелкосопочные и низкогорные части территории и рыхлые мезозой-кайнозойские отложения, выполняющие межгорные равнины и речные долины. Значительно развиты в пределах низкогорий метаморфические кембрий-протерозойские и интрузивные палеозойские породы. В скальных образованиях водоносной является верхняя трещиноватая зона мощностью не более 25-40 м, где питание подземных вод происходит путем инфильтрации атмосферных осадков, главным образом зимне-весеннего периода, составляющих около 30% их годовой суммы. Осадки теплого периода почти полностью расходуются на испарение и транспирацию, за исключением ливневых продолжительных дождей, влага которых частично просачивается в водоносные горизонты.

К зоне преимущественно речного питания подземных вод относятся долины рек и мелкосопочные склоны на эпигенетических участках, где русла современных рек проложены по скальным породам. Их питание здесь происходит в весеннее время за счет инфильтрации поверхностного стока в период половодья и в меньшей степени за счет атмосферных осадков по площади распространения водоносного горизонта.

Подземные воды в областях с интенсивным водообменом имеют в основном гидрокарбонатный кальциевый состав и минерализацию, не превышающую 1 г/л. По мере движения вод от областей питания происходит рост их минерализации и изменение состава от гидрокарбонатного к сульфатному. Эта закономерность нередко нарушается из-за неравнозначных ландшафтно-геохимических условий районов. В частности, на участках с засоленными почвами на небольших расстояниях от обнаженных площадей минерализация подземных вод увеличивается в несколько раз и соответственно они преобразуются в основном в сторону роста содержания ионов хлора и натрия.

III. Бассейн озера Балкаш включает 8 районов: Мойынтинский (III.6), Жамшийский (III.7), Жамши-Токрауский (III.8), Токрауский (III.9), Кентерлауский (III.10), Ашиозекский (III.1), Ашиозек-Баканасский (III.12), Баканас-Аягузский (III.13) (см. рисунок 2). Северная часть территории

представляет собой область питания подземных вод и представлена низкорельефом. По мере продвижения их к области разгрузки (оз. Балкаш) происходит смена орографических единиц в мелкосопочник, а затем в цокольные и частично аккумулятивные равнины.

В геологическом строении района главным образом участвуют вулканогенно-осадочные образования палеозоя и прорывающие их крупные гранитные массивы. В меньшей мере присутствуют рыхлые кайнозойские осадки, слагающие межсочные депрессии и речные долины.

Изменение климатических условий районов в субмеридиональном направлении с севера на юг определяет и смену ландшафтных зон. Северная часть представлена зоной сухих степей со светло-каштановыми почвами, а на юге – зоной пустынных степей и пустынь с бурыми и серо-бурими пустынно-степными почвами. Растительный покров разрежен и представлен полынью, солянками, эфемерами, редко ковылью на севере районов и зарослями камыша по побережью оз. Балкаш.

Анализ гидродинамических условий территории позволяет выделить две зоны, соответствующие определенным поверхностям дренирования подземных вод [17]. Зона основного питания трещинных вод охватывает более возвышенные низкорельефные и мелкосопочные сооружения южного склона Балкаш-Ертисского водораздела. Высокое гипсометрическое положение при значительном расчленении рельефа, хорошая обнаженность интенсивно трещиноватых пород, повышенное количество атмосферных осадков создают здесь благоприятные условия для питания подземных вод. При этом решающая роль в их питании принадлежит атмосферным осадкам зимне-весеннего периода, составляющим в общегодовом балансе атмосферной влаги около 40%.

Зона транзита трещинных и грунтовых вод занимает пространства мелкосопочника и аккумулятивных равнин. Питание здесь осуществляется только на участках местных водоразделов и в основном за счет транзита региональных потоков, сформированных в зонах питания. Подземный сток осуществляется как по верхней, наиболее трещиноватой части водоносных комплексов в виде довольно равномерно распределенного потока, так и по зонам крупных региональных тектонических разломов. Концентрируются подземные потоки в долинах рек, особенно глубоко врезаемых в палеозойское ложе, где дренируются подземные воды нескольких водоносных горизонтов и дополнительно поглощается поверхностный сток, образуя мощные региональные потоки, движущиеся в сторону их региональной области разгрузки (оз. Балкаш).

Формирование химического состава подземных вод районов тесно связано с гидродинамическими условиями с особенностями их питания, транзита и разгрузки. В зонах питания, обеспеченных постоянным поверхностным стоком, образуются слабоминерализованные (до 1 г/л) воды гидрокарбонатного, гидрокарбонатно-сульфатного натриево-кальциевого состава. Химический состав подземных вод в зонах транзита определяется составом атмосферных осадков, процессами выщелачивания и растворения компонентов из водовмещающих пород и покровных отложений [18]. В зависимости от них минерализация их изменяется от 1 до 10 г/л, а их состав от гидрокарбонатно-сульфатного до хлоридного кальциево-натриевого и натриевого. За пределами воздействия паводкового стока подземные воды долин рек имеют повышенную минерализацию (до 20 г/л) с преобладанием сульфатного натриевого до хлоридного-натриевого состава. Минерализация увеличивается главным образом в результате испарения с неглубоко залегающих подземных вод и процессов смешения с водами, прошедшими начальную стадию метаморфизации на первых этапах формирования потоков.

IV. Бассейн озера Сасыкколь включает Тансыкский район (IV.14) (см. рисунок 2), в пределах которого преобладает денудационная цокольная равнина, сменяющаяся на отдельных участках аккумулятивной, а на севере переходящая в мелкосопочник и низкорельеф. Общий уклон местности направлен на юг в сторону оз. Сасыкколь. Распологается район в зоне сухих степей со светло-каштановыми почвами, и большая часть территории находится в зоне пустынных степей с бурыми почвами.

Формирование подземных вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и паводковых вод реки Тансык. Главными областями питания являются ядра антиклиналей, возвышающиеся на фоне равнин, откуда и происходит подземный сток в сторону понижения рельефа. Разгружаются подземные воды в заболоченные участки и мелкие озера, а также расходуются на испарения и транспирацию. Некоторую роль при этом, вероятно, играет подземный отток в оз. Сасыкколь.

Пестрый химический состав подземных вод обусловлен сложными физико-химическими процессами, происходящими при взаимодействии с водовмещающими и перекрывающими породами испарительной концентрации, а также при смешении вод различного состава. По мере удаления от областей питания минерализация подземных вод от 0,3 возрастает до 3-6 г/л с преимущественным сульфатным и хлоридным натриевым составом. Воды с минерализацией свыше 10 г/л хлоридного натриевого состава имеют локальное распространение и отмечаются на небольших участках с солончаковым или солонцовым типом засоления почв.

Материалы и методы исследований. Для количественной оценки гидрогеохимического стока для выделенных 14 районов определена величина химического выноса подземными и поверхностными водами, а также привнос солей атмосферными осадками на двадцатые годы текущего столетия на основе данных национальной гидрометеорологической службы и разведочных гидрогеологических работ.

Атмосферные осадки являются основным природным фактором, который обуславливает развитие процессов выветривания горных пород и седиментогенеза. Это те первичные водные растворы, которые взаимодействуют с горными породами и почвами и образуют поверхностный и подземный сток. Территория исследований находится в аридных условиях, при которых большее количество осадков, выпадающих в летнее время (не менее 40-70% от годовых), расходуется на испарение. В связи с этим при расчетах атмосферной составляющей химического стока выполнено расчленение на осадки прохладного периода осень-зима-весна и летнего периода. Регулярные режимные наблюдения за количественными и качественными показателями атмосферных осадков на сети стационарных метеостанций (Балкаш, Жезказган, Караганда) ведутся специалистами национальной гидрометеорологической службы (РГП «Казгидромет»). Состав зимних и летних осадков различается. Снеготалая вода с минерализацией 18-153 мг/л, в ионном составе преобладают гидрокарбонаты, сульфаты и кальций. В ионном составе дождевой воды преобладают сульфаты, гидрокарбонаты, кальций и натрий, минерализация ее 21-421 мг/л. Дальнейшие расчеты проведены по усредненному составу осадков прохладного и летнего периода с учетом площади оцениваемого района и среднесуточного количества осадков за расчетный период.

Речной сток играет решающую роль в развитии геологических процессов, особенно связанных с современным седиментогенезом [19]. Большинство рек региона не имеет круглогодичного стока, в их годовом режиме выделяются три фазы: весеннее половодье, во время которого проходит в среднем 70-90% годового стока; летне-осенняя межень с устойчивыми малыми расходами до 5-10% годового стока; период ледостава – зимней межени – со стоком 2-3%. Химический состав речных вод формируется в результате влияния атмосферных осадков, временных поверхностных водотоков и подземных вод. В меженьный период реки питаются за счет подземных вод, поэтому в дальнейших расчетах, составляющих гидрогеохимический сток, они отнесены к подземным водам. Собственно поверхностная составляющая химического выноса определяется величиной паводкового стока. По химическому составу эти воды занимают промежуточное положение между атмосферными осадками и речными водами в период летней межени и связаны с ландшафтами и геоструктурным положением водосборного бассейна [20].

На территории исследований в связи с ограниченным распространением поверхностного стока подземные воды являются основным механизмом в перераспределении вещества в земной коре. Наряду с процессом движения гравитационных вод, заключенных в горных породах верхней части земной коры, от областей питания к местам дренирования происходит миграция химических элементов, поступающих в подземную воду в результате различных физико-химических и биологических процессов, происходящих в системе «горная порода-вода». При определении гидрогеологического стока использована величина модуля подземного стока, установленного при гидрогеологической съемке и разведке подземных вод. Для определения химической составляющей выноса использован средний состав подземных вод водоносных комплексов по основным районам.

Для оценки суммарного химического выноса элементов использовано уравнение [21]:

$$Q_{\text{сум}} = Q_{\text{атм}} + Q_{\text{пов}} + Q_{\text{подз}} - Q_{\text{ак}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{сум}}$ – суммарный химический вынос; $Q_{\text{атм}}$ – атмосферная составляющая химического выноса; $Q_{\text{пов}}$ – химический вынос поверхностными водами; $Q_{\text{подз}}$ – химический вынос подземными водами; $Q_{\text{ак}}$ – аккумуляция солей из атмосферных осадков летнего периода.

При взаимодействии вода-порода происходят не только изменение минералогического и химического состава пород, но и мобилизация вещества, приводящего к механическому и химическому выветриванию. Эти два процесса тесно связаны между собой. Так, изверженные и сильно метаморфизованные породы слабо подвержены механической эрозии до тех пор, пока они не ослаблены химическим выветриванием. Показатель подземной химической денудации определяется по формуле:

$$h = \frac{M_{п.х.с.}}{\delta \tau}, \quad (2)$$

где h – показатель подземной химической денудации, мм/1000 лет; $M_{п.х.с.}$ – модуль подземного химического стока, г/с км²; δ – средняя плотность горных пород в верхней части земной коры; τ – время 1000 лет [21]. Поскольку химической денудации в регионе подвержены главным образом коренные породы, то принята плотность пород 2,5 г/см³.

Тем самым химическая денудация определяется величиной выноса подземными водами химических элементов из водовмещающих пород. Однако химический состав подземных вод складывается: из солей, принесенных атмосферными осадками, элементов, выщелоченных из вмещающих пород и почв, а также ионов, синтезированных из воды и углекислого газа. В связи с этим важно выделить отдельные составляющие выноса в зависимости от генетической особенности химического состава подземных вод, то есть установить величину литогенной составляющей химического выноса. Подробная методика выделения каждой из составляющих химического выноса подземными водами изложена в работе С.Л. Шварцева [10].

Результаты и их обсуждение. Проведенные расчеты показывают значительную дифференциацию модуля химического выноса по районам и его тесную связь с ландшафтными условиями и литологическим составом пород. Наибольшие значения химического выноса (23,1-25 т/год км²) характерны для карбонатных отложений средне-верхнего карбона и верхнего девона, нижнего карбона в пределах низкогорной части района 1 и в мелкосопочниках районов 11 и 12.

Несколько меньшими, а по долинам крупных рек (Токрау, Аягуз) даже большими значениями модуля химического выноса характеризуются мезозой-кайнозойские отложения. Как уже отмечалось, реки являются дрёнами, по которым происходит основной сток подземных вод, и величина химического выноса составляет по ним 15,7-30 т/год. При этом рост выноса растворенных соединений в долинах рек наблюдается с севера на юг, по мере относительного уменьшения подземного стока и при значительном его увеличении незначительно превышают выносы кальция с карбонатных пород верхнего девона и нижнего карбона района 9 (2,5 г/(с·км²)).

Для Центрально-Казахстанской части Балкашского сегмента проведены расчеты химического выноса подземными водами по бассейнам стока. В бассейне Карского моря – районы 1, 2, 3, расположенных преимущественно в низкогорьях при относительно высоких значениях модуля подземного стока и небольшой минерализации, выносятся 293,8 тыс.т/год растворенных веществ. При том химический вынос гидрокарбоната составляет 35,5 тыс. т/год, сульфата – 86,5 тыс.т/год, хлора – 49,1 тыс. т/год, натрия – 58,6 тыс. т/год, кальция 37,5 тыс. т/год, магния – 13,1 тыс. т/год и модуль подземного химического выноса для всего бассейна равен 0,29 г/(с·км²).

Суммарный вынос подземными водами из районов 4 и 5 в бассейн Аральского моря составляет 181,7 тыс.т/год растворенных веществ. Относительное преобладание выноса сульфат-иона (96 620 т/год) подземными водами объясняется как распространением сульфатных солей перекрывающих отложений, так и окислением и выщелачиванием сульфидных минералов, имеющих широкое распространение практически во всех породах районов.

В бассейн озера Балкаш в исследуемом регионе входит территория с площадью 88 300 км². При этом основной подземный сток (более 70%) формируется в долинах рек Токрау, Баканас и Аягуз, имеющих площадь 40 400 км², и выносятся 498,5 тыс. т/год растворенных веществ, что составляет 53% от выноса по бассейну. Основными ионными составляющими подземного химического выноса с бассейна являются, тыс. т/год: гидрокарбонат – 59,4; сульфат – 402,2; хлор – 146,1; натрий – 195,5; кальций – 99,5; магний – 37,7. Среднее значение модуля подземного химического выноса бассейна равно 0,34 г/(с·км²).

На вынос подземными водами в условиях континентального засоления огромное влияние оказывают соли атмосферного происхождения, которые были учтены при определении роли

химического выноса в развитии экзогенных процессов. Подземные воды обогащаются ионами хлора преимущественно только за счет засоленных горных пород и почв. Значит источником хлоридных солей являются не горные породы, а атмосферные осадки, формирующие соли в течение всего периода существования засушливых условий в данном регионе. Поэтому практически весь хлоридный состав подземных вод формируется за счет атмосферных осадков, и по его величине можно определить соотношения между атмосферными составляющими химического выноса подземными водами различных ландшафтных зон. Так, среднее содержание хлора в подземных водах зоны сухих степей с темно-каштановыми почвами составляет 54,5 мг/л, в светло-каштановых почвах – 92,2 мг/л, в зоне пустынных степей и пустынь с бурыми почвами – 292,2 мг/л и серо-бурими почвами 967,7 мг/л. Значит по мере увеличения испарительной концентрации значения атмосферной составляющей химического выноса подземными водами растут. Например, относительно зоны сухих степей с темно-каштановыми почвами в светло-каштановых почвах выше в 1,6 раза, в бурых – в 5,1 раза и в серо-бурых – в 16,8 раза. Теперь, зная литогенную составляющую для сухих степей с темно-каштановыми почвами (23%), определяем ее и для других ландшафтных зон.

Величина химической денудации за счет выноса растворенных соединений подземными водами в регионе изменяется от 0,03 (денудационная равнина в зоне пустынь) до 0,9 мм/1000 лет (среднегорье сухих степей), то есть в 30 раз, что связано с ландшафтными условиями и высотной зональностью (таблица 1).

Таблица 1 – Величина денудации при химическом выносе элементов подземными водами по основным ландшафтным зонам региона

Table 1 – The magnitude of denudation during chemical removal of elements by groundwater in the main landscape zones of the region

Ландшафтная Зона	Тип почв	Номер расчетного района	Величина литогенной составляющей подземного химического выноса, тыс. т/год	Величина денудации, мм/1000 лет	Денудационный метр, млн лет
Сухие степи	Темно- каштановые	1	39,3	0,9	1,1
		2	18	0,7	1,4
		3	6,8	0,7	1,4
	Светло- каштановые	4	24,1	0,6	1,7
		9	26,9	0,5	2
		13	44,8	0,9	1,1
Пустынные степи и пустыни	Бурые пустынно- степные	5	0,6	0,1	10
		6	0,9	0,1	10
		7	5,6	0,1	10
		10	6,5	0,3	3,3
		11	3,9	0,1	10
		14	2,4	0,1	10
	Серо-бурые	8	0,1	0,03	33
		12	1,2	0,06	17

В условиях, когда подземный сток закономерно возрастает с юга на север с увеличением абсолютных отметок местности и количества атмосферных осадков, мы не наблюдаем последовательного роста химической денудации с увеличением модуля стока. В частности, максимальные значения денудации установлены в среднегорной части сухих степей с темно-каштановыми почвами (0,9 мм/1000 лет), а также в более аридных условиях низкогорных районов сухих степей со светло-каштановыми почвами (0,9 мм/1000 лет) при времени, необходимом для снижения земной поверхности на 1 м, 1,1 млн лет (денудационный метр). И это вполне закономерно, так как степень обогащения подземных вод химическими элементами наряду с величиной подземного стока определяется и временем взаимодействия воды с вмещающими породами.

Таким образом, наибольшие значения химической денудации характерны для низкогорных и среднегорных частей региона, где отмечается и хорошая проницаемость пород. В равнинных частях на юге исследуемой территории мы наблюдаем высокую степень засоленности пород, что свидетельствует о минимальных величинах химической денудации (менее 0,03 мм/1000 лет), а также аккумуляции солей в отдельных депрессиях. Химическая денудация в мелкосопочниках изменяется от 0,1 до 0,3 мм/1000 лет и занимает промежуточное положение в значениях денудаций горных районов и равнин.

Интенсивность развития денудационных процессов во многом определяется и выносом химических элементов поверхностными водами паводкового периода. Однако из-за кратковременности взаимодействия паводковых вод с горными породами химический состав их формируется за счет состава атмосферных осадков, выноса продуктов испарительной концентрации и выветривания. Поэтому мы при расчете величины денудации учитывали количество выносимых реками взвешенных частиц и продуктов химического выветривания с вычетом атмосферной составляющей (таблица 2).

Таблица 2 – Величина денудации при выносе веществ подземными и поверхностными водами по бассейнам морей и внутренних водоемов

Table 2 – The magnitude of denudation during the removal of substances by ground and surface waters in sea basins and inland water bodies

Бассейн	Составляющая выноса	Площадь водосбора, тыс. км ²	Величина денудации за счет растворенных и взвешенных частиц, мм/1000 лет	Денудационный метр, млн лет
Озеро Тенгиз	Поверхностная	30,2	0,05	20
	Подземная	32,5	0,8	1,2
	Суммарная	32,5	0,81	1,2
Аральское море	Поверхностная	6,0	0,06	17
	Подземная	15,7	0,6	1,7
	Суммарная	15,7	0,63	1,6
Озеро Балкаш	Поверхностная	43,2	1,1	0,9
	Подземная	82,3	0,4	2,5
	Суммарная	82,3	0,78	1,3
Озеро Сасыкколь	Поверхностная	0,54	0,3	3,3
	Подземная	6	0,1	10
	Суммарная	6	0,2	5
В целом по региону	Поверхностная	79,9	0,4	2,5
	Подземная	136,5	0,5	2
	Суммарная	136,5	0,7	1,4

Относительно невысокие значения денудации при выносе паводковыми водами в бассейны Карского и Аральского морей (0,05-0,06 мм/1000 лет) связаны с тем, что сток рек Тундык, Тансык, Нура, Сарысу в основном зарегулирован мелкими плотинами (см. таблицу 2).

Величина денудации за счет суммарного выноса подземными и поверхностными водами по бассейнам морей и внутренних водоемов примерно одинаковая (0,6-0,8 мм/1000 лет) и денудационный метр изменяется от 1,2 до 1,3 млн лет (см. таблицу 2). Лишь в бассейне оз. Сасыкколь он составляет 0,2 мм/1000 лет, что объясняется небольшим подземным и поверхностным стоком.

Обсуждение. В целом по региону показатель денудации земной поверхности под действием выноса поверхностными водами – 0,4 мм/1000 лет, подземными водами – 0,5 мм/1000 лет и за счет суммарного выноса – 0,7 мм/1000 лет. Величина денудационного метра составляет 2,5; 2 и 1,4 млн лет по поверхностным, подземным и суммарным выносам химических элементов из региона.

Вынос подземными водами химических элементов из горных пород является основным показателем современного химического разрушения последних. Как мы убедились, интенсивность этого процесса во многом определяется литологическим составом водовмещающих пород, а также количеством воды и времени взаимодействия в системе «вода-порода-газ».

И тенденция развития процесса следующая: при объеме воды в системе 8,14% кальций составляет 68,5%, доломиты – 12,5% и кварц – 0,4%. В дальнейшем при увеличении воды в системе в 4 раза количество минералов в твердой фазе сокращается в 2,5 раза, и уже при достижении объема воды 48,53% содержание твердой фазы в системе уменьшается быстрее (7-8 раз), чем рост объема воды в системе (1,4 раза). Значит при объеме воды, примерно равном объему породы, происходят наиболее интенсивные процессы перехода химических элементов из твердой фазы в жидкую.

В более сложной форме происходит растворение алюмосиликатных пород, характеризующихся инконгруэнтным растворением. В этом случае химические элементы породы под действием воды разделяются на элементы, перешедшие в раствор, и элементы, вошедшие в кристаллическую решетку вторичных минералов. При рассмотрении данного типа растворения большой интерес представляют изменения процентного соотношения первичных и вторичных минералов внутри самой твердой фазы, которую мы попробуем осветить на примере взаимодействия воды с граносиенитами в открытой системе.

Таким образом, при объеме воды в системе 7,65% первичные минералы составляют 66,8%, вторичные – 17%. При увеличении воды в системе до 48,7% количество первичных минералов уже составляет 0,19%, а вторичных – 0,28%, то есть в твердой фазе системы начинают преобладать вторичные минералы и этот процесс может быть завершён полным образованием первичных минералов во вторичные. При этом раствор обогащается катионной составляющей (Na, K, Ca, Mg и др.) и силикатными соединениями, темп перехода этих элементов в раствор отстает в 7 раз от величины образования вторичных минералов. Величину этого отставания мы определяем как отношение весовых процентов образованных вторичных минералов к весовым процентам растворенных компонентов при объеме воды в системе 49%. Отсюда вытекает, что скорость химического выветривания на много опережает скорость химической денудации. Следовательно, химическое выветривание готовит субстрат для механической эрозии меньше скорости химического выветривания, формирует кору выветривания (Шварцев, 1978).

Аналогично были рассчитаны соотношения выноса и накопления химических элементов в продуктах выветривания для различных горных пород: сиенита – 7,3; гранодиотрита – 6,9; диорита – 6,2; пироксенита – 5; перидотита – 0,75 и габбро – 0,4. Прежде всего, отметим, что рассматриваемое соотношение колеблется от 0,4 до 7,3. При этом чем выше растворимость минералов породы, тем меньше это соотношение, а в ультраосновных породах выносятся не только все подвижные катионы, но и подавляющая часть кремния, что приводит к концентрированию гидрооксидов железа в продуктах выветривания.

Заключение. На основе приведенных соотношений можно рассчитать полный объем разрушаемых водой горных пород и скорость химического выветривания. Так как ультраосновные породы в регионе имеют ограниченное распространение, а преобладают породы кислого, щелочного и среднего состава, то величина соотношения выноса и накопления химических элементов принята для всего региона равной семи, и объем выветренных пород в зоне сухих степей составляет 12,8 т/год·км², а в пустынных степях и пустынях – 3 т/год·км².

Соотношение величин выноса и накопления элементов в продуктах выветривания в сравнении со значениями, рассчитанными С. Л. Шварцевым [10] для степей с умеренным климатом, в среднем составляют 9. Совпадение цифр вполне удовлетворительное. Некоторые расхождения значениях объясняются различной методикой расчетов.

Положительный стороной примененного метода являются:

1) рассматривается целостная система без отрыва ее составляющих (газовой, жидкой и твердой фаз);

2) прослеживаются изменения всех элементов как жидкой, таак и твердой фазы без ограничения на их количество;

3) можно изменять параметры твердой, жидкой и газовой фазы; недостатком используемого метода является то, что отслеживается конечная стадия развития системы, то есть когда она уже пришла к равновесию без промежуточных данных.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан (BR25193273 “Региональная оценка и картирование подземного стока как основа для уточнения прогнозных ресурсов подземных вод в условиях дефицита поверхностных водных ресурсов”).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible. – UNESCO, Paris.
- [2] Non-renewable groundwater resources. A guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers // IHP-VI, Series on Groundwater. No. 10. – UNESCO. 2006. – 104 c.
- [3] Zektser I. S., Everett L. G. (eds.), 2004. Groundwater resources of the world and their use // UNESCO, IHP-VI. Series on Groundwater. – No 6. – Paris, UNESCO. – 346 c.
- [4] Margat J., J. van der Gun. Groundwater around the World // CRC Press/Balkema. International Standard Book Number – 13: 978-0-203-77214-0 (eBook – PDF). 2013. – 372 p.
- [5] Basharat U., Zhang W., Abbasi A., Mahroof S., Han C., Khan S. H., Li S. Integrated assessment of groundwater hydrogeochemistry and quality using multivariate statistical analysis, self-organizing maps, and water quality indices in District Bagh, AJK, Pakistan // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 301, 2025. – <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118515>
- [6] Шварцев С.Л., Пинеcker Е.В., Перельман А.И. и др. Основы гидрогеологии. Гидрогеохимия. – Новосибирск, 1982. – 284 с.
- [7] Зверев В. П. Роль подземных вод в миграции химических элементов. – М.: Недра, 1982. – 184 с.
- [8] Перельман А. И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. – М.: Недра, 1972. – 298 с.
- [9] Пинеcker Е. В. Проблемы региональной гидрогеохимии. Закономерности распространения и формирования подземных вод. – М.: Недра, 1977. – 196 с.
- [10] Шварцев С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М.: Недра, 1978. – 287 с.
- [11] Åberg A. K., Korkka-Niemi K., Åberg S. C., Rautio A. Application of 3D hydrogeochemistry and particle tracking in detecting groundwater flow patterns within an aapa mire–outwash plain system in a boreal environment at a mining development site // *Applied Geochemistry*. – 2025. – Vol. 186. – <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2025.106360>
- [12] Рациональное использование и охрана подземных вод Республики Казахстан в условиях климатических и антропогенных изменений / Под. ред. Абсаметова М. К. – Алматы, 2020. – 280 с.
- [13] Атлас гидрогеологических карт Республики Казахстан. – Алматы: Ин-т гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина, 2022. – 83 с.
- [14] UNESCO, CGMW, IAH, IAEA & BGR, 2008 // Groundwater Resources of the World, 1: 25 M (WHYMAP). UNESCO & BGR, Paris, Hannover.
- [15] IGRAC, 2009. Map of Global Groundwater Regions (revised 29 April 2009, after the original version of 2004).
- [16] Абсаметов М. К. Геохимия подземных вод Балхашского сегмента земной коры Центрального Казахстана. – Алматы: НИЦ «Ғылым», 2002. – 252 с.
- [17] Mischke S., Zhang C.J., Plessen B. Lake Balkhash (Kazakhstan): Recent human impact and natural variability in the last 2900 years // *J Great Lakes Res* 46:267–276/, 2020. – <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.01.008>
- [18] Zhang A., Wilson D., Ptacek C.J., Blowes D.W. Reactive transport modelling of tailings hydrogeochemistry under a composite cover // *J. Contam. Hydrol.* 2024. 261. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2023.104290>
- [19] Burri E., Pettitta M. Runoff drainage, groundwater exploitation and irrigation with underground channels in Cappadocia: Meskendir Valley case-study // *J. Cult. Herit.* 2005, 6, 191-197.
- [20] Chen J., Fan P., Zhang F., Tan T., Fang N., Wu Z., Li Zh., Liu Y. Distribution mechanisms of soil surface erosion and underground leakage in karst areas of China: A systematic, quantitative review // *CATENA*. – 2024. – Vol. 246. – <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108466>
- [21] Зекцер И. С., Джамалов Р. Г., Месхетели А. В. Подземный водообмен суши и моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 207 с.

REFERENCES

- [1] The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible. UNESCO, Paris.
- [2] Non-renewable groundwater resources. A guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers. IHP-VI, Series on Groundwater. No. 10. UNESCO. 2006. 104 p.
- [3] Zektser I.S., Everett L.G. (eds.), 2004. Groundwater resources of the world and their use // UNESCO, IHP-VI. Series on Groundwater. No 6. Paris, UNESCO. 346 p.
- [4] Margat J., J. van der Gun. Groundwater around the World // CRC Press/Balkema. 372 p. International Standard Book Number. 13: 978-0-203-77214-0 (eBook – PDF). 2013.
- [5] Basharat U., Zhang W., Abbasi A., Mahroof S., Han C., Khan S. H., Li S. Integrated assessment of groundwater hydrogeochemistry and quality using multivariate statistical analysis, self-organizing maps, and water quality indices in District Bagh, AJK, Pakistan // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 301, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118515>
- [6] Shvartsev S. L., Pinecker E.V., Perelman A.I. et al. Novosibirsk Fundamentals of Hydrogeology. Hydrogeochemistry, 1982. 284 p. (in Russ.).

- [7] Zverev V. P. The Role of Groundwater in Atmospheric Elements. Moscow: Nedra, 1982. 184 p (in Russ.).
- [8] Perelman A. I. Elements of Geochemistry in the Study of Hypergenesis. Moscow: Nedra, 1972. 298 p (in Russ.).
- [9] Pinekker E. V. Problems of Regional Hydrogeochemistry. Patterns of Distribution and Formation of Groundwater. Moscow: Nedra, 1977. 196 p. (in Russ.).
- [10] Shvartsev S. L. Hydrogeochemistry of the Hypergenesis Zone. Moscow: Nedra, 1978. 287 p. (in Russ.).
- [11] Åberg A. K., Korkka-Niemi K., Åberg S. C., Rautio A. Application of 3D hydrogeochemistry and particle tracking in detecting groundwater flow patterns within an aapa mire–outwash plain system in a boreal environment at a mining development site // *Applied Geochemistry*. 2025. Vol. 186. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2025.106360>
- [12] Rational Use and Protection of Groundwater in the Republic of Kazakhstan in the Context of Climate and Anthropogenic Change / Ed. Absametov M. K. Almaty, 2020. 280 p. (in Russ.).
- [13] Atlas of Hydrogeological Maps of the Republic of Kazakhstan. Almaty: Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U. M. Akhmedsafin, 2022. 83 p. (in Russ.).
- [14] UNESCO, CGMW, IAH, IAEA & BGR, 2008 // Groundwater Resources of the World, 1:25 M (WHYMAP). UNESCO and BGR, Paris, Hannover.
- [15] IGRAC, 2009. Map of Global Groundwater Regions (revised on 29 April 2009 after the initial version of 2004).
- [16] Absametov M. K. Geochemistry of groundwater of the Balkhash segment of the earth's crust of Central Kazakhstan. Almaty: NIC "Gylym", 2002. 252 p. (in Russ.).
- [17] Mischke S., Zhang C.J., Plessen B. Lake Balkhash (Kazakhstan): Recent human impact and natural variability in the last 2900 years // *J Great Lakes Res* 46:267–276/, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.01.008>
- [18] Zhang A., Wilson D., Ptacek C.J., Blowes D.W. Reactive transport modelling of tailings hydrogeochemistry under a composite cover // *J. Contam. Hydrol.* 2024, 261, <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2023.104290>
- [19] Burri E., Petitta M. Runoff drainage, groundwater exploitation and irrigation with underground channels in Cappadocia: Meskendir Valley case-study // *J. Cult. Herit.* 2005, 6, 191\197.
- [20] Chen J., Fan P., Zhang F., Tan T., Fang N., Wu Z., Li Zh., Liu Y. Distribution mechanisms of soil surface erosion and underground leakage in karst areas of China: A systematic, quantitative review // *CATENA*. 2024. Vol. 246. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108466>
- [21] Zektser I. S., Dzhamalov R. G., Meskheteli A.V. Underground water exchange of land and sea. L.: Gidrometeoizdat, 1984. 207 p. (in Russ.).

**М. К. Абсаметов^{*1}, А. Ж. Жакибаева², К. Е. Кошпанова³,
Е. Ж. Муртазин⁴, Д. К. Аденова⁵**

¹ *Геология және минералогия ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының академигі, директор («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; mabsametov@mail.ru)

² Жер асты сулары ресурстары зертханасының кіші ғылыми қызметкері («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; zhakibaeva8@gmail.com)

³ Химиялық-аналитикалық зерттеулер зертханасының кіші ғылыми қызметкері («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; kalamkas.koshpanova@mail.ru)

⁴ Геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, директордың ғылым жөніндегі орынбасары («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; ye_murtazin@list.ru)

⁵ PhD, гидродинамикалық және геоэкологиялық процестерді модельдеу зертханасының аға ғылыми қызметкері («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан; dinara1982_82@mail.ru)

ОРТАЛЫҚ ҚАЗАҚСТАННЫҢ ГИДРОГЕОХИМИЯЛЫҚ АҒЫНЫ ЖӘНЕ ЭКЗОГЕНДЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІҢ ДАМУЫНДАҒЫ РӨЛІ

Аннотация. Гидросфера мен литосфера арасындағы геохимиялық алмасуда жер асты сулары үлкен рөл атқарады. Гидрогеохимиялық ағынды суларды сандық бағалау үшін төрт ірі ішкі су объектілерінің бассейндеріне жататын 14 учаске анықталды, жер асты және жер үсті суларымен химиялық тазарту мөлшері, сондай-ақ атмосфералық жауын-шашынмен тұздардың енуі анықталды. Зерттелетін ауданда жер үсті ағындарының шектеулі таралуына байланысты жер асты сулары жер қыртысындағы заттардың қайта бөлінуінің негізгі механизмі болып табылады. Жер қыртысының жоғарғы бөлігіндегі тау жыныстары құрамындағы гравитациялық сулардың коректену аймақтарынан дренаждық жерлерге жылжу процесімен қатар тау-су жүйесінде жүретін әртүрлі физика-химиялық және биологиялық процестердің нәтижесінде жер асты суларына түсетін химиялық элементтердің миграциясы жүреді.

Түйін сөздер: Орталық Қазақстан гидрогеологиялық ауданы, жер асты ағыны, жер асты суларының химиялық құрамы, химиялық жою, жер асты химиялық денудация көрсеткіші, денудациялық өлшегіш.

**M. K. Absametov^{*1}, A. Zh. Zhakibaeva², K. Ye. Koshpanova³,
Ye. Zh. Murtazin⁴, D. K. Adenova⁵**

^{1*} Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Director (LLP "Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience", Almaty, Kazakhstan; mabsametov@mail.ru)

² Junior Researcher, Laboratory of Groundwater Resources (LLP "Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience", Almaty, Kazakhstan; zhakibaeva8@gmail.com)

³ Junior Researcher, Laboratory of Chemical-Analytical Research (LLP "Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience", Almaty, Kazakhstan; kalamkas.koshpanova@mail.ru)

⁴ Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Deputy Director of Science (LLP "Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience", Almaty, Kazakhstan; ye_murtazin@list.ru)

⁵ PhD, Senior Researcher, Laboratory of Modeling of Hydrodynamic and Geoecological Processes (LLP "Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience", Almaty, Kazakhstan; dinara1982_82@mail.ru)

HYDROGEOCHEMICAL RUNOFF IN THE CENTRAL KAZAKHSTAN AND ITS ROLE IN THE DEVELOPMENT OF EXOGENOUS PROCESSES

Abstract. Groundwater plays a major role in geochemical exchanges between the hydrosphere and the lithosphere. For quantitative assessment of hydrogeochemical runoff, 14 areas related to the basins of four large inland water bodies were identified, the amount of chemical removal by groundwater and surface water, as well as the introduction of salts by atmospheric precipitation were determined. In the study area, due to the limited distribution of surface runoff, groundwater is the main mechanism in the redistribution of matter in the earth's crust. Along with the process of movement of gravitational waters contained in the rocks of the upper part of the earth's crust from the areas of nutrition to the places of drainage, there is a migration of chemical elements entering the groundwater as a result of various physicochemical and biological processes occurring in the rock-water system.

Keywords: Central Kazakhstan hydrogeological region, underground runoff, chemical composition of groundwater, chemical subtraction, underground chemical denudation index, denudation rate.

Климатология и метеорология

Климатология және метеорология

Climatology and meteorology

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-3-91-104.35>

МРНТИ 39.23.15
УДК 551.583

Ж. К. Наурызбаева^{1*}, Г. Е. Монкаева², М. А. Жунисова³,
Н. Е. Рахматулла⁴, Г. А. Еркинова⁵, Ж. Х. Кенжина⁶

^{1*} PhD руководитель лаборатории региональных климатических изменений
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Қазақстан; naurozbaeva.zhanar@mail.ru)

² Научный сотрудник лаборатории региональных климатических изменений
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Қазақстан; gulsara.monkayeva@mail.ru)

³ Научный сотрудник лаборатории региональных климатических изменений
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Қазақстан; makpal80@mail.ru)

⁴ Младший научный сотрудник лаборатории региональных климатических изменений
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Қазақстан; nurkanat.rakhmatulla@mail.ru)

⁵ Ведущий инженер лаборатории региональных климатических изменений
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Қазақстан; yerkinova.gaukhar@mail.ru)

⁶ Ведущий инженер лаборатории региональных климатических изменений
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Қазақстан; kenzhina03@mail.ru)

ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ПРИКАСПИЙСКОМ РЕГИОНЕ ПО КЛИМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ BCC-CSM1-2 НА ПЕРСПЕКТИВУ

Аннотация. Проведена оценка изменения температуры воздуха и атмосферных осадков в Прикаспийском регионе с использованием климатической модели BCC-CSM1-2 и климатических сценариев SSP4.5 и SSP8.5. Исследование охватывает период с 1961 по 2024 год. Выявлены существенные повышения температуры воздуха и изменения режима осадков. Среднегодовая температура растёт с положительными аномалиями, отмечающимися с 1976 года. Станции, расположенные в степных и пустынных зонах (Тушибек и Бейнеу), регистрируют особенно резкий рост с 2010-х годов. Результаты китайской климатической модели показывают, что к концу XXI века по сценарию SSP4.5 температура воздуха зимой может увеличиться на +6-+8 °С в континентальных районах и на +3-+4 °С на побережье, а летом – на +6-+7 °С. По жёсткому сценарию SSP8.5 к концу века температура может повыситься на +7-+8 °С зимой и на +9-+10 °С летом. Ожидаются также и изменения в режиме осадков до конца столетия уменьшение как зимних, так и летних осадков. Наибольшее сокращение зимних осадков ожидается на северо-западе региона (53–60% в Актобе и Уральске). Летом в засушливых районах (Бейнеу, Шалкар, Тушибек) прогнозируется значительное уменьшение осадков, достигающее 60–71%, что может усугубить риски для инфраструктуры и сельского хозяйства. Для адаптации региона к этим изменениям необходимы комплексные меры, включая модернизацию систем водоснабжения, внедрение технологий "умного" земледелия, агролесомелиорацию и восстановление лесов.

Ключевые слова: Жайык-Каспийский водохозяйственный бассейн, изменение климата, климатические сценарии, модель BCC-CSM1-2, температура воздуха, атмосферные осадки.

Введение. В условиях ускоряющихся климатических изменений особенно актуальным становится изучение климатических сценариев, которые применяются для определения уязвимости территорий и планирования устойчивого развития [1, 2]. Прикаспийский регион является

стратегически важным как с точки зрения политики, экономики, энергетики, логистики, так и экологии, рекреации. Кроме того, продолжительное падение уровня Каспийского моря в последние десятилетия вызывает беспокойство. По данным наблюдения за 2024 год, уровень моря снизился на 130 см по сравнению с 2005 годом. Прогнозы на перспективу весьма неутешительны, ожидается дальнейшее снижение уровня моря до -32 м по Балтийской системе и более. В целом Западный Казахстан – один из регионов, где повышение температуры воздуха наиболее существенно, средние темпы увеличения достигают 0,37–0,64 °C каждые 10 лет. Наблюдается рост повторяемости дней с температурой выше +35 °C, вегетационный период удлиняется. Национальной гидрометеорологической службой на западе Казахстана фиксируются повышение частоты и интенсивности опасных метеорологических явлений, таких, как засухи, волны жары. Что касается выпадения осадков, то они отличаются большой переменчивостью. Хотя в некоторые годы в западных регионах наблюдается избыток осадков, но в целом для региона характерны уменьшение количества осадков летом и осенью и повышенная засушливость. Это усугубляет и без того резко континентальный и засушливый климат [3]. Таким образом, определение потенциальных изменений климата в будущем и выработка рекомендательных мер по адаптации к ним региона становятся стратегически важными [1,4].

Целью исследования являются оценка изменения термического режима и режима осадков Прикаспийского региона с применением климатических сценариев-прогнозов с последующей выработкой рекомендательных мер для учета в национальном адаптационном плане, а также определение причинно-следственных связей этих изменений.

Существует шесть основных фаз CMIP: CMIP1 (1995-1996) – первая попытка сравнения климатических моделей. CMIP2 (1997-2001) – анализ моделей с учетом концентрации CO₂. CMIP3 (2005-2007) – использовался в Четвёртом докладе МГЭИК (IPCC AR4), применялись сценарии SRES. CMIP4 (неофициальный этап, начало 2010-х годов) – переходный период к CMIP5 (2011-2013) – использовались сценарии RCP (Representative Concentration Pathways), которые легли в основу Пятого доклада IPCC (AR5). CMIP6 (2016 г. – настоящее время) – включает сценарии SSP (Shared Socioeconomic Pathways) и используется в Шестом докладе IPCC (AR6, 2021) [5,6]. Важно отметить, что существуют неопределенности в моделях, которые могут давать погрешности при расчетах, особенно в локациях со сложными орографическими условиями. Но за последние десятилетия предприняты огромные усилия по улучшению производительности моделей для особых регионов и аспектов климатической системы [7].

Каждый новый этап CMIP включает усовершенствованные модели, более детальные физические процессы и новые сценарии развития климата. Оценки последствий антропогенного изменения климата основаны на прогнозах климатических моделей. Неопределенности в этих моделях часто были ограничивающим фактором, особенно в локальных масштабах. Эффективность моделей CMIP5 при моделировании 20-летних экстремальных температур и осадков сопоставима с эффективностью ансамбля CMIP3 [8]. CMIP5 по сравнению со CMIP3 включает в себя более полные модели и более широкий набор экспериментов, адресованных большому разнообразию научных проблем. В проекте CMIP5 дана лучшая документация по моделям и условиям эксперимента и сформирована новая стратегия, которая делает результаты более доступными для исследователей. Так, если в проекте CMIP3 рассматривалось 12 экспериментов с моделями, то в CMIP5 таких экспериментов уже 35, и их перечень дан, например, в работе [8]. В проекте CMIP5 вместо известных сценариев SRES (B1, A1B, A2), соответствующих концентрации CO₂, представлены новые сценарии RCP (Representative Concentration Pathway), связанные со стабилизацией общего антропогенного воздействия к 2100 году на разных уровнях: SSP2-4.5, SSP5-8.5. Сценарии климатических изменений основаны на социально-экономических путях развития (Shared Socioeconomic Pathways, SSP) и сценариях выбросов (Representative Concentration Pathways, RCP). Для Казахстана наиболее часто используются следующие сценарии: 1) SSP2-4.5 (RCP 4.5) или его еще называют умеренным сценарием, при котором выбросы стабилизируются во второй половине XXI века, а температура увеличится на 2,5–3°C; 2) SSP5-8.5 (RCP 8.5) – жесткий сценарий, при котором выбросы продолжают расти, приводя к потеплению более чем на 4°C [8].

CMIP6 использует новую систему сценариев SSP (Shared Socioeconomic Pathways), которые сочетаются с RCP (Representative Concentration Pathways) для оценки будущего изменения климата [9]. Основные сценарии CMIP6: 1) SSP1-1.9 – строгие меры по снижению выбросов, цель –

удержание потепления ниже 1,5 °C; 2) SSP1-2.6 – устойчивый путь с умеренным сокращением выбросов; 3) SSP2-4.5 – средний социально-экономический рост с умеренными мерами по контролю выбросов; 4) SSP3-7.0 – высокий уровень выбросов при глобальных экономических и политических конфликтах; 5) SSP5-8.5 – сценарий с высоким уровнем потребления ископаемого топлива и максимальными выбросами. Основные усовершенствования в СМIP6 по сравнению с СМIP5 – это более детализированные сценарии выбросов, в СМIP5 использовались RCP-сценарии (Representative Concentration Pathways), а в СМIP6 применяются SSP-сценарии (Shared Socio-economic Pathways), которые включают социально-экономические факторы наряду с выбросами парниковых газов [10].

Материалы и методы исследования. Для оценки климатических изменений региона привлечены данные метеорологических станций Уральск, Актобе, Атырау, Шалкар, Форт-Шевченко, Тущибек и Бейнеу, которые климатически репрезентативны для Западного Казахстана [11] (рисунок 1). Период исследования 1961-2024 гг.

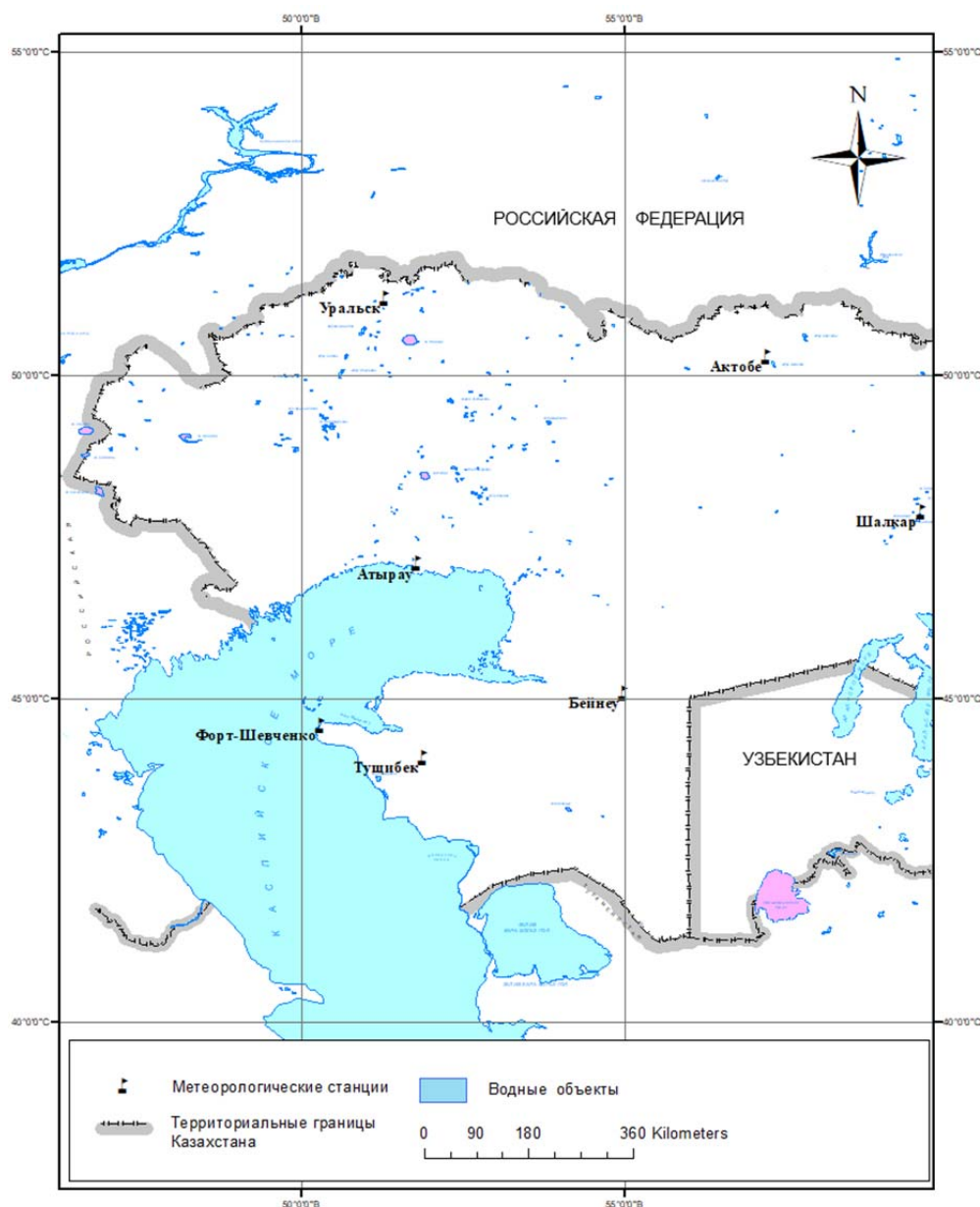


Рисунок 1 – Карта-схема Западного Казахстана

Figure 1 – Map of the West Kazakhstan

Для формирования качественной базы данных проведены статистические расчеты и критические проверки на однородность данных, которые приняты в климатической практике. При оценке однородности эмпирических рядов метеорологических параметров использованы критерии Стьюдента, Фишера, Калмыкова-Грabbса. В соответствии с принятой в настоящее время международной практикой при проверке однородности метеорологических рядов наблюдений признано наиболее целесообразным использовать комбинированный статистический подход для оценки однородности рядов [12-15]. Существенность вклада трендовой составляющей в общую дисперсию временного ряда температуры воздуха оценивалась с помощью коэффициента детерминации (D). Тренд считался значимым, если коэффициент детерминации превышал 5%. Для оценки будущих значений метеорологических параметров использованы климатические модели, разработанные МГЭИК, взятые из базы данных Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) [16].

Использовались рекомендованные МГЭИК периоды: 1) 2021–2040 гг. (среднесрочный прогноз) – позволяет оценить ближайшие изменения климата, имеющие практическую значимость для адаптации; 2) 2041–2060 гг. (долгосрочный прогноз) – подходит для анализа устойчивых трендов и оценки сценариев изменения климата; 3) 2080–2100 гг. (конец XXI века) – используется для стратегического планирования и оценки сценариев глобального потепления [12]. Общее количество моделей, которые применяются в CMIP6, более 30, для исследуемой территории отобраны наиболее подходящие, которые отличаются высокой детализацией и отражают региональные климатические условия страны. Одной из таких моделей является модель Китайского метеорологического агентства BCC-CSM1-2 с разрешением 100 км ($1,1^\circ \times 1,1^\circ$), основанная на глобальной модели циркуляции атмосферы и океана, включающая данные спутниковых наблюдений атмосферного давления, осадков и парниковых газов [17].

В работе рассматривались некоторые месяцы середины сезонов в связи с тем, что именно в эти месяцы в основном происходят изменения в барико-циркуляционных процессах, а также смена условий меридионального и зональных процессов в верхних слоях тропосферы, которые наиболее сильно влияют на приповерхностные климатические условия [18].

Результаты. На всех станциях исследуемого региона отмечается увеличение не только среднегодовой температуры воздуха, но и сезонных значений, но важно проанализировать именно ее аномалии, так как аномалии показывают изменения относительно определенного выбранного периода. По утверждению ВМО стандартные 30-летние базовые периоды должны обновляться каждые десять лет, чтобы лучше отражать меняющийся климат и его влияние на ежедневные погодные условия. Всемирной метеорологической организацией было рекомендовано использовать период 1991-2020 гг. Для исторического сравнения и мониторинга изменения климата ВМО рекомендует продолжить использовать период 1961-1990 гг. как базовый для расчета и отслеживания глобальных климатических аномалий относительно современного периода [19,20].

Аномалия температуры воздуха за базовый и современный периоды показывает, что основная тенденция увеличения температуры воздуха сохраняется на всех станциях Западного Казахстана. Четко прослеживается тенденция увеличения в аномалиях среднегодовой температуры воздуха в базовом периоде 1961-1990 гг., согласно которому положительная аномалия отмечается с 1976 г., прирост температуры составляет до $1,8^\circ\text{C}$. На многих станциях начало положительных аномалий начинается с 1976 г. в историческом базовом периоде (1961-1990 гг.), а в современном базовом периоде (1991-2020 гг.) увеличение температуры после 2000 г. В целом за базовый период максимальная аномалия отмечается на станции Атырау и составляет $2,6^\circ\text{C}$, что является показательным значением и позволяет сделать вывод об увеличении влияния западного переноса и частых выходов Черноморских циклонов, теплых воздушных масс с территории Кавказа, Черного моря. Станции, расположенные в степной и пустынной зонах (Тушибек и Бейнеу), фиксируют стремительный рост температуры с 2010-х годов. Воздействие орографических условий оказывает усиливающий эффект.

Имеются два типа климатических изменений, которые отражают разные физические механизмы, действующие в климатической системе Земли: монотонные изменения в виде тренда или цикла и ступенчатые изменения. Трендовые или циклические изменения имеют место в слабо инерционной или равновесной системе, которая быстро откликается на внешние воздействия. Механизм ступенчатых изменений или триггерный механизм характеризует неравновесную

систему, которая может компенсировать внешние воздействия и сопротивляться им до тех пор, пока эти воздействия не превышают порогового значения, после чего система быстро переходит на новый, обычно также квазистационарный, уровень. Таким образом, рассчитаны годы перехода одного квазистационарного периода временного ряда к другому, с определением средних температур воздуха. При этом каждый квазистационарный период проверен на однородность с применением статистических методов, критериев Фишера, Стьюдента [12-15].

Согласно результатам расчета (рисунок 2) зимой на всех станциях год перехода отмечен как 1999, а летом – 2006 год.

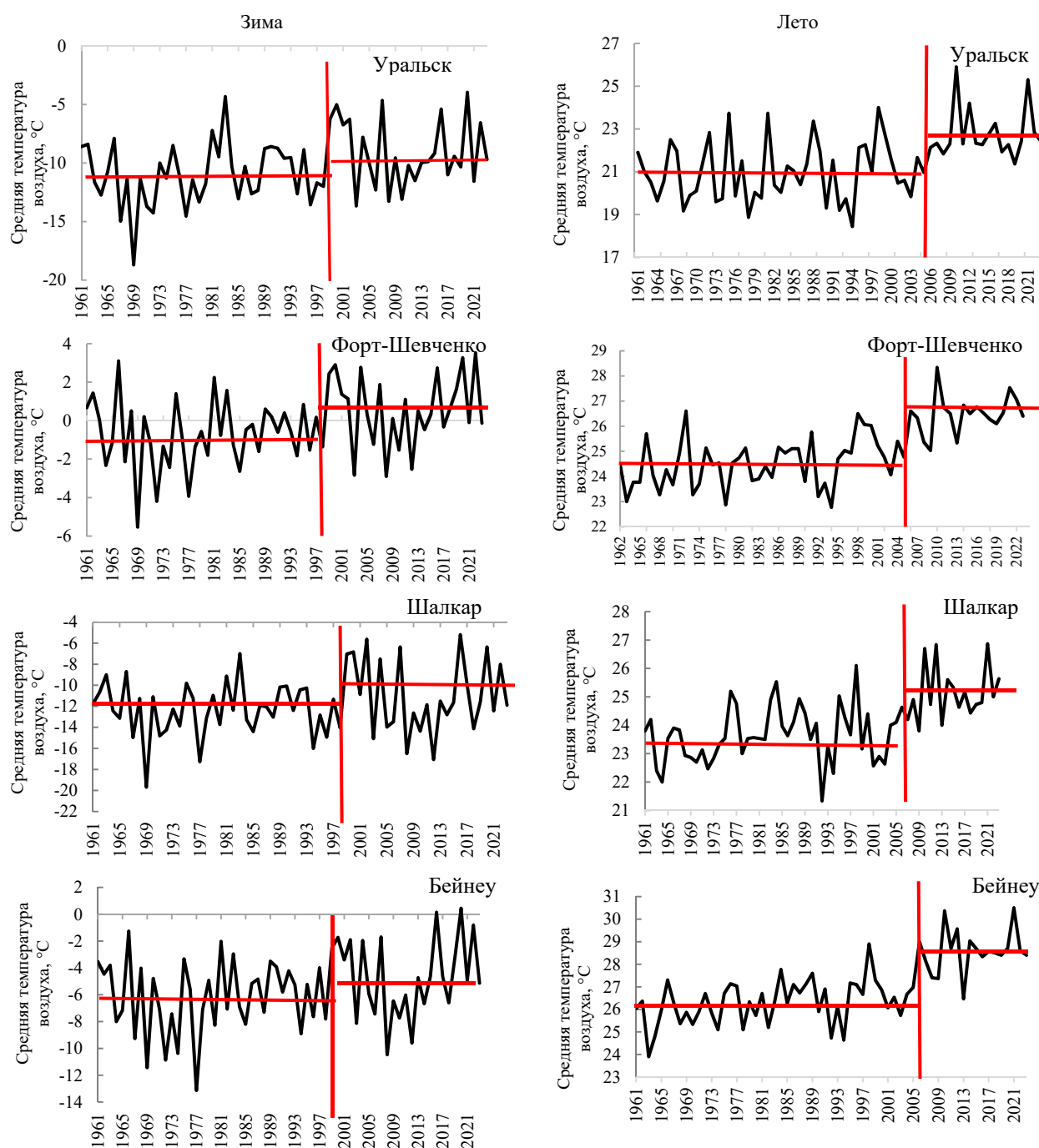


Рисунок 2 – Временной ход среднегодовых температур воздуха с переходом из одного квазистационарного периода в другой

Figure 2 – Time series of average annual air temperatures with transition from one quasi-stationary period to another

На станциях Западного Казахстана зимой год перехода в 1999 году, среднее превышение зимней температуры воздуха составило 1,6 °C, с максимальным значением 2 °C на станциях Уральск и Атырау. Летом превышение составило в среднем за сезон 1,9 °C, а максимально в Атырау и Бейнеу – 2,3 °C. В целом увеличение средней температуры воздуха за сезон 1,6-2,3 °C для исследуемого региона существенно, что может сказываться на водных ресурсах, сельском хозяйстве и экономике. Начиная с 2006 года летом рост температуры составляет около 2 °C по сравнению с прошлым веком.

Режим осадков Западного региона отличается большим разнообразием и в большей степени зависит от нескольких факторов, не только от барико-циркуляционных процессов, но и от орографии местности, подстилающей поверхности, локальных особенностей [21, 22]. Для более детального анализа необходимо провести исследование не годовых сумм осадков, а сезонных. Сезонные изменения могут дать ясное понимание характера климатических изменений. Наиболее показательны оказались зимние и летние осадки. Зимние осадки меньше по сумме в начале текущего столетия, наибольшее количество отмечено в 80-90-х годах прошлого столетия. Летние осадки практически по минимальным значениям схожи в количественном плане с зимними, меньше нормы их выпадает в последние годы. К примеру, станция Форт-Шевченко, несмотря на то, что она расположена на побережье Каспийского моря, претерпевает сокращение выпадения осадков за летний период. Если за базовый период в среднем за год выпадало 146 мм осадков, то за современный – 125 мм. А при рассмотрении летних осадков уменьшение составило от 34,6 до 26,5 мм. На других станциях также наблюдается сокращение летних осадков до 10 мм в сравнении с двумя периодами.

В особенности уменьшение наблюдается в пустынных зонах, менее 20 мм выпадает в среднем за лето, что еще раз подтверждает воздействие выходов теплых воздушных масс с территории Ирана, Каспийских циклонов. Циклоны приносят непродолжительные осадки. Теплый сектор циклонов отличается особо прогретыми воздушными массами [2, 20].

Таким образом, для Западного региона характерны тенденции увеличения средних температур воздуха и уменьшения осадков в летний период с частыми оттепелями в зимнее время.

Важно также рассмотреть, как изменяются температура воздуха и сумма атмосферных осадков зимой и летом, ведь именно вклад одного определенного периода может оказывать существенный корректив в годовом ходе.

В таблице 1 даны результаты расчета статистических характеристик температуры воздуха и осадков по сезонам относительно базового периода. Наибольшее стандартное отклонение (σ) зимней температуры воздуха наблюдается в Бейнеу (2,89 °C) и Уральске (2,79 °C), а наименьшее – в Тущибеке (1,9 °C) и Форт-Шевченко (1,91 °C). Северная часть исследуемого региона в зимний период подвержена вторжениям воздушных масс с северо-запада и севера, в суровые зимние периоды отрог Сибирского антициклона может достигать западной части Казахстана. Прибрежные станции отличаются более незначительными колебаниями температуры зимой в силу влияния самого моря. В среднем σ составляет около 2–2,5 °C, что говорит о заметной, но не экстремальной изменчивости температуры. Стоит отметить, что основной вклад в зимний период вносит декабрь, который в последние десятилетия значительно теплый, снежный покров устанавливается довольно поздно в сравнении с серединой прошлого века.

Летом значения не столь велики: максимум в Уральске (1,36 °C/ 10 лет), минимум в Форт-Шевченко (0,83 °C/10лет) и Шалкаре (0,85 °C/10лет).

Параметр a^2 (скорость изменения температуры) зимой показывает, что динамика изменения температур наиболее выражена в Атырау (0,62°C/10 лет) и Уральске (0,42°C/10лет), что связано с глобальным изменением климата, а на прибрежных станциях может быть связано с влиянием моря. Наименьшее значение наблюдается в Актобе (0,25°C/10лет) и Шалкаре (0,26°C/10лет), где температурные изменения происходят более плавно. Летом максимальные значения a^2 отмечаются в Атырау (0,88°C/10лет) и Бейнеу (0,81°C/10лет), минимальные характерны для Шалкара (0,56°C/10лет).

Рост среднегодовой температуры в холодное полугодие в Западном Казахстане за последние двадцать лет обусловлен ослаблением Сибирского антициклона и частыми вторжениями теплых воздушных масс с юго-запада и со Средиземноморья. Кроме того, выходы теплых воздушных масс с территории Ирана способствуют возникновению оттепелей в Прикаспийском регионе.

Таблица 1 – Статистические характеристики, рассчитанные относительно 1961-1990 гг.
по температуре воздуха и осадкам зимой и летом

Table 1 – Statistical characteristics calculated relative to 1961–1990 for air temperature in winter and summer

№ п/п	Станция	Температура, °С		Осадки, мм		Температура, °С		Осадки, мм	
		Зима				Лето			
		σ	a^2	σ	a^2	σ	a^2	σ	a^2
1	Уральск	2,79	0,42	32,41	-1,8	1,36	0,68	37,93	-13,42
2	Атырау	2,46	0,62	12,95	2,94	0,96	0,88	33,08	-9,38
3	Форт-Шевченко	1,91	0,39	14,07	1,2	0,83	0,72	28,92	-3,82
4	Бейнеу	2,89	0,39	11,78	-0,24	0,89	0,81	32,13	-4,97
5	Тушибек	1,9	0,37	12,82	0,9	0,94	0,66	30,05	-0,44
6	Актобе	2,62	0,25	27,45	0,1	0,91	0,62	40,21	-2,28
7	Шалкар	2,59	0,26	14,87	-0,8	0,85	0,56	26,48	-3,16
Примечание. σ – стандартное отклонение, a^2 – наклон линии тренда (скорость изменения).									

Атмосферные осадки также претерпели некоторые изменения. Так, скорость изменения осадков зимой наибольшая в Атырау и достигает 2,94 мм на каждые 10 лет, в Форт-Шевченко – 1,2 мм/10 лет. Для остальных станций значения близки к нулю, что указывает на более равномерное распределение. Летом наибольшая скорость изменения осадков наблюдается в Уральске (-13,42 мм/10 лет), а также в Атырау (-9,38 мм/10 лет), что отражает резкие перепады количества осадков год от года.

Наибольшее среднеквадратическое отклонение осадков наблюдается в Уральске (32,41 мм) и Актобе (27,45 мм), что связано с активным прохождением циклонов в северной части региона. Минимальные значения в Бейнеу (11,78 мм) и Тушибеке (12,82 мм), где климат более сухой и осадков выпадает мало. Самое высокое стандартное отклонение зафиксировано в Актобе (40,21 мм) и Уральске (37,93 мм), что указывает на большие межгодовые различия летних осадков. Минимальная изменчивость отмечается в Шалкаре (26,48 мм) и Форт-Шевченко (28,92 мм), где осадков мало и их количество меняется не столь резко. В среднем σ летом выше, чем зимой, что объясняется неравномерностью летних ливней и их локальным характером.

Таким образом, север региона более подвержен колебаниям зимних осадков, а южные и прикаспийские районы более устойчивы.

Динамика пространственно-временного распределения метеопараметров показывает изменения климата в исследуемом регионе. Согласно поставленной цели необходима оценка ожидаемых изменений этих параметров для выработки рекомендательных мер.

Таким образом, на основе существующих климатических моделей и их адаптации к местным условиям проведено калибрование будущих значений средней температуры воздуха и количества осадков в регионе. При сравнении модельных данных с фактическими наблюдаемыми выявлены систематические погрешности модельных значений температуры воздуха и атмосферных осадков, которые связаны с недоучетом азональных факторов и региональных особенностей Прикаспийского региона. Вполне естественно, что эти погрешности будут проявляться и в сценарных оценках. Поэтому необходимо корректировать сценарные средние температуры воздуха и вводить как систематическую, так и градиентную поправки, как предложено и реализовано в работе [17]. Также стоит отметить, что в данном исследовании для более точного оценивания периоды на перспективу были поделены по 20-летиям, которые рекомендованы МГЭИК [5, 23].

По результатам моделирования BCC-CSM1 во всех сценариях наблюдается устойчивая положительная аномалия температуры к концу XXI века (таблица 2). При сравнении с базовым периодом 1961–1990 гг. рост более выраженный, чем в 1991–2020 гг.

Таблица 2 – Ожидаемое изменение температуры воздуха, рассчитанное относительно 1961-1990 гг. по сценарию BCC-CSM1 SSP4.5

Table 2 – Expected change in air temperature calculated relative to 1961-1990 according to the BCC-CSM1 SSP4.5

Станция	Январь			Апрель			Июль			Октябрь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Уральск	3,6	3,9	6,7	0,7	0,3	2,0	5,4	5,7	6,8	4,3	3,8	3,9
Актобе	4,1	4,1	7,2	0,1	0,4	2,4	4,8	5,2	6,2	4,5	3,9	4,5
Шалкар	4,9	5,0	8,1	0,0	0,3	1,9	4,4	5,0	6,1	4,0	3,4	4,4
Форт-Шевченко	1,4	1,5	3,9	-0,4	0,0	0,9	-0,7	0,0	0,6	0,2	-0,7	0,1
Тушибек	2,9	3,2	5,5	0,7	1,3	2,4	3,7	4,2	5,2	3,7	2,7	3,4
Атырау	3,9	4,1	6,6	-0,1	-0,1	1,3	3,7	4,1	5,0	4,0	3,2	3,7
Бейнеу	4,0	4,1	6,7	0,3	0,6	2,0	3,3	3,9	4,8	4,3	3,3	4,3

Примечание. Здесь и в таблице 3: 1 – 2041-2060 гг.; 2 – 2061-2080 гг.; 3 – 2081-2100 гг.

Таблица 3 – Ожидаемое изменение температуры воздуха, рассчитанное относительно 1961-1990 гг. по сценарию BCC-CSM1 SSP8.5

Table 3 – Expected change in air temperature calculated relative to 1961-1990 according to the BCC-CSM1 SSP8.5

Станция	Январь			Апрель			Июль			Октябрь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Уральск	5,4	7,3	7,8	2,8	3,1	4,7	5,4	5,7	6,8	4,3	3,8	3,9
Актобе	4,1	5,3	6,3	1,8	2,4	3,8	6,9	9,1	9,4	3,5	5,1	5,5
Шалкар	6,2	7,3	8,3	3,0	3,3	4,6	6,0	8,5	9,0	3,9	5,7	6,2
Форт-Шевченко	3,0	3,8	3,8	1,5	2,0	2,7	0,6	2,0	2,8	-0,3	1,3	1,9
Тушибек	4,7	5,2	5,1	3,2	3,6	4,5	4,9	7,0	7,8	3,2	4,8	5,6
Атырау	5,7	6,6	6,7	2,3	2,8	3,9	5,3	7,1	7,8	3,7	5,3	5,8
Бейнеу	0,0	0,5	0,5	3,1	3,1	4,5	7,0	9,2	9,8	0,3	2,2	2,8

Согласно таблицам 2 и 3 в период с 2041 по 2060 г. будет наблюдаться умеренное потепление: +1,5-+3 °C (SSP4.5) и +3-+5 °C (SSP8.5). Это стадия, где климат ещё «отыгрывает инерцию» накопленных выбросов конца XX – начала XXI в. В период 2061–2080 гг. ожидается ускорение темпов роста значений: по SSP4.5 аномалии достигают +4-+5 °C летом, по SSP8.5 – уже +6-+8 °C. В этот период возможно ощутимое усиление климатической положительной обратной связи (таяние снежного/ледового покрова, снижение значений альбедо, усиление испаряемости с водных объектов и пр.). К третьему периоду текущего столетия будут ярко выраженные изменения: +5-+7 °C (SSP4.5) и +8-+10 °C (SSP8.5). Это связано с кумулятивным эффектом парниковых газов и истощением компенсаторных возможностей экосистем.

На рисунках 3 и 4 в качестве примера представлены карты распределения ожидаемого изменения среднегодовой температуры воздуха за период 2081–2100 гг. – для января и июля.

Относительно 1961–1990 к 2081–2100 гг. по сценарию 4.5 ожидается рост температуры: зимой (январь) – на +6-+8 °C в континентальных районах (Уральск, Актобе, Шалкар), меньше – на побережье Каспия (Форт-Шевченко – +3-+4 °C); летом (июль) – на +6-+7 °C; весной и осенью – от +2 до +4 °C. Относительно 1991–2020 гг. рост к 2100 г. в среднем составит +3-+5 °C летом и +2-+3 °C зимой.

Относительно 1961–1990 к 2081–2100 гг. по сценарию 8.5 зимой температуры возрастут на +7-+8 °C (особенно в Актобе, Шалкаре, Атырау), летом – на +9-+10 °C (внутренние районы), осенью – на +5-+6 °C. Относительно 1991–2020 гг. аномалии достигают: летом – +8-+9 °C, зимой – +4-+5 °C, весной/осенью – +3-+4 °C.

Согласно сценарию SSP8.5 предполагается экстремальное потепление с угрозой для водных ресурсов, сельского хозяйства и экосистемы в целом.

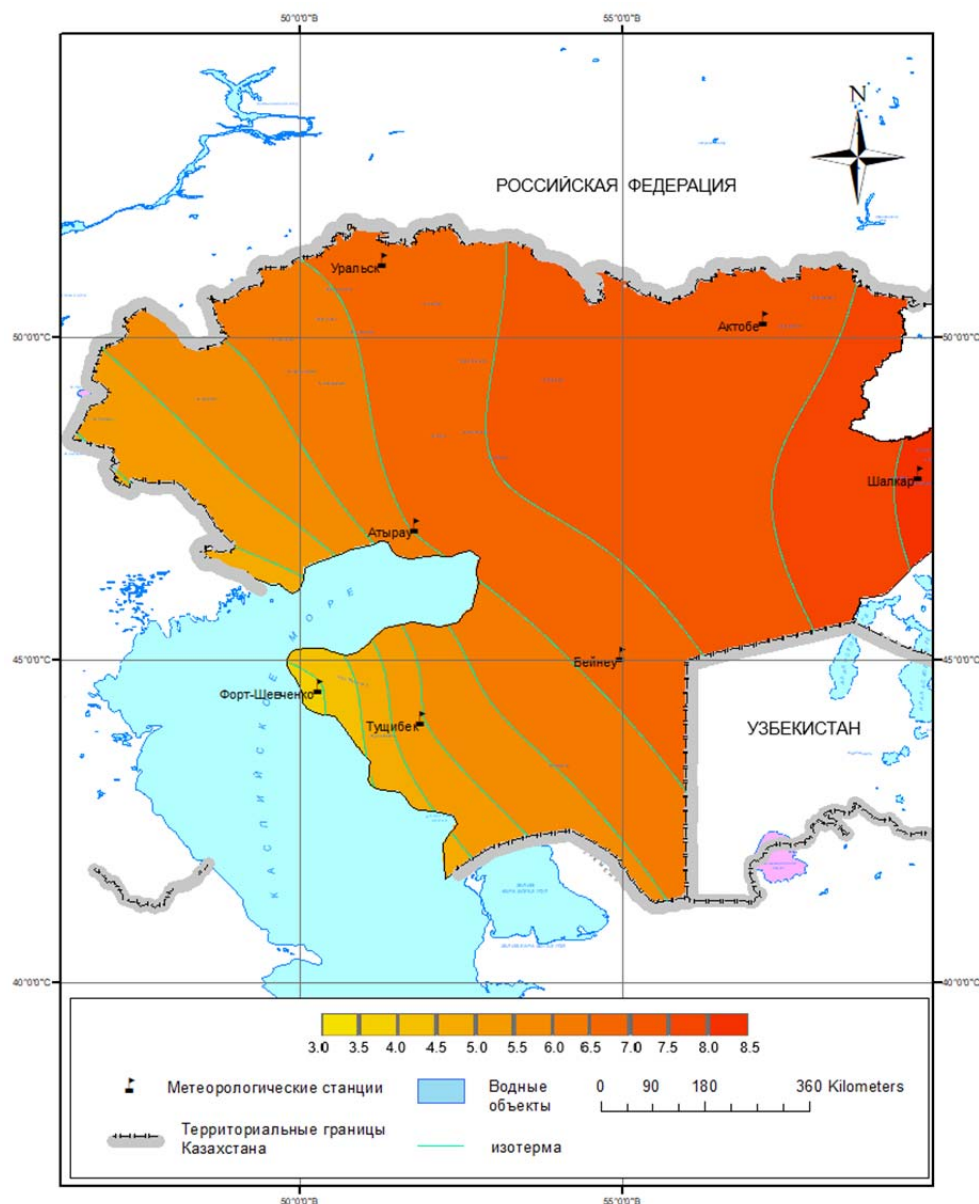


Рисунок 3 – Ожидаемое изменение температуры воздуха Жайык-Каспийского бассейна на 2081–2100 гг. за январь по модели BCC-CSM1, рассчитанное относительно 1961–1990 гг. по сценарию 4.5

Figure 3 – Expected change in air temperature in the Zhayik-Caspian Basin for 2081–2100 for January according to the BCC-CSM1 model, calculated relative to 1961–1990 under scenario 4.5.

В условиях глобального изменения климата одним из ключевых факторов, определяющих гидрометеорологические риски и водохозяйственные условия, является режим атмосферных осадков. Для Западного Казахстана, где наблюдаются как дефицит влаги, так и высокая межгодовая изменчивость температуры воздуха, понимание сезонных изменений осадков является некорректным определением для сельского хозяйства, водных ресурсов и устойчивости экосистем.

В таблице 4 представлен анализ изменений количества атмосферных осадков по данным климатической модели BCC-CSM1-2 для сценария SSP4.5 относительно базового периода 1961–1990 гг. Рассмотрены прогнозные периоды 2021–2040, 2041–2060, 2061–2080 и 2081–2100 гг. Особое внимание уделено сезонным различиям (зима и лето) и региональным особенностям.

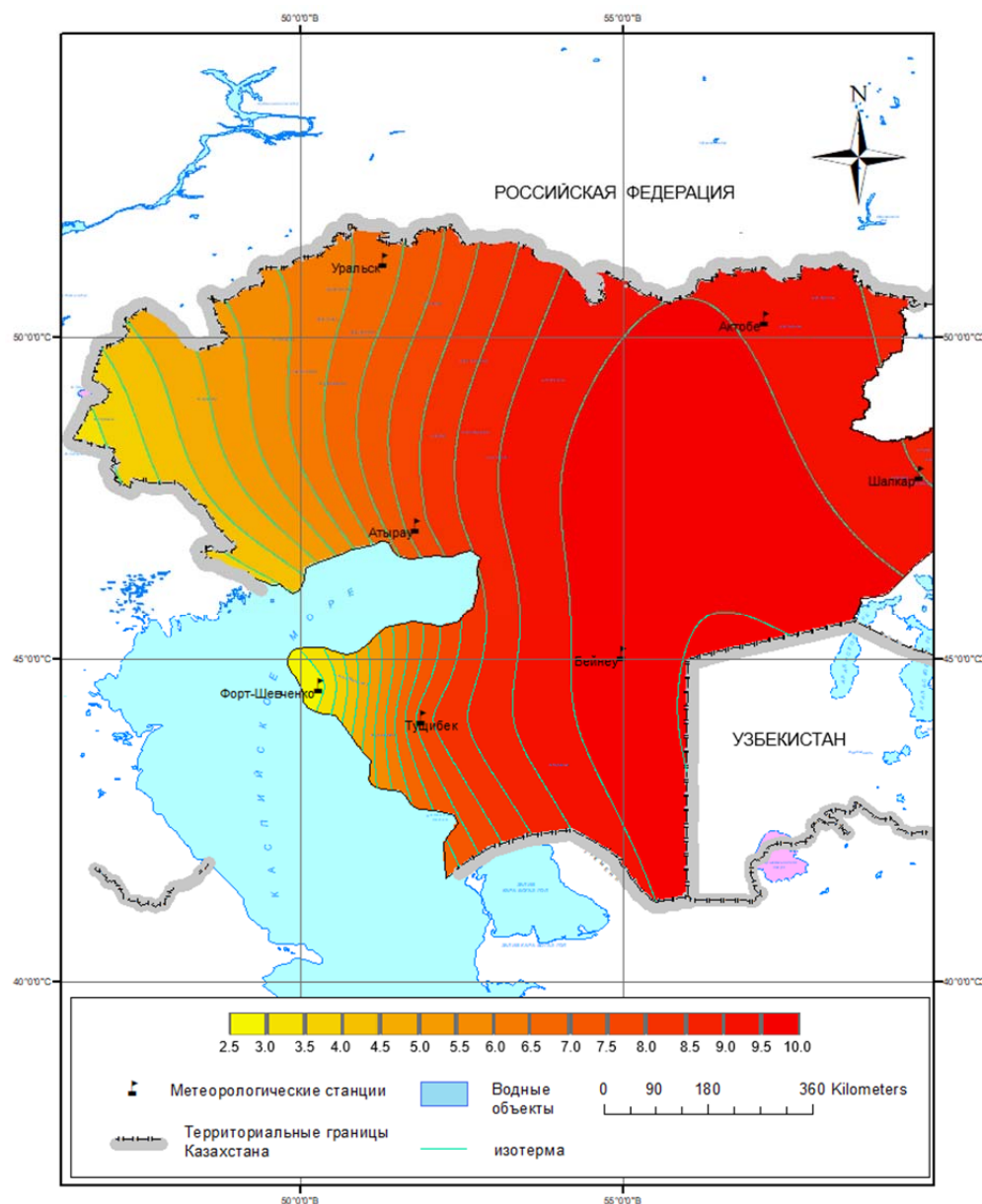


Рисунок 4 – Ожидаемое изменение температуры воздуха Жайык-Каспийского бассейна на 2081-2100 гг. за июль по модели BCC-CSM1, рассчитанное относительно 1961-1990 гг. по сценарию 4.5

Figure 4 – Expected change in air temperature in the Zhayik-Caspian Basin for 2081–2100 in July according to the BCC-CSM1 model, calculated relative to 1961–1990 under scenario 4.5

Зимние осадки. Анализ показывает, что на большей части региона ожидается устойчивое уменьшение зимних осадков. Наибольшие аномалии прогнозируются для северо-западных станций – Актобе и Уральск (53-60 % относительно базового периода). Для побережья Каспия (Форт-Шевченко) и юго-западных районов (Бейнеу, Тушибек) уменьшение менее выражено и колеблется от 2 до 19 %. Минимальные изменения фиксируются для станции Шалкар (1-4 %). Учитывая будущие температуры воздуха за зимний период, ожидается, что осадки будут в большей степени жидкие.

Летние осадки. Прогноз демонстрирует ярко выраженное уменьшение летних осадков, особенно в засушливых регионах. Так, в Бейнеу, Шалкаре и Тушибеке уменьшение достигнет 60-71 %. В Актобе сокращение на 60-69 %, в то время как в Уральске и Атырау – на 21-40 %. В Прикаспийском регионе (Форт-Шевченко) падение составляет 20-33 %. Таким образом, в регионе ожидается сильный дефицит осадков, особенно в засушливых районах.

Таблица 4 – Изменение среднего количества осадков (%) за зиму и лето по модели BCC-CSM1, рассчитанное относительно базового периода 1961-1990 гг. по сценариям SSP4.5

Table 4 – Change in average precipitation (%) for winter and summer according to the BCC-CSM1 model calculated relative to the base period 1961–1990 according to SSP4.5 scenarios

МС	Месяц/Период							
	Зима				Лето			
	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
Форт-Шевченко	16	13	19	16	20	33	24	29
Бейнеу	14	17	4	18	49	48	56	50
Атырау	11	17	9	10	34	35	26	40
Актобе	57	58	57	54	60	69	64	65
Уральск	55	60	53	55	13	25	21	23
Шалкар	3	4	1	3	67	71	65	68
Тушибек	13	2	11	5	62	67	64	69
<i>Примечание.</i> Оранжевый цвет – дефицит осадков, зеленый – незначительное увлажнение, белый – осадки в норме.								

Обсуждение. Климатические изменения в Западном Казахстане, проявляющиеся в виде повышения температуры и изменения в режиме осадков, требуют комплексных мер. Основная цель – адаптировать регион к новым условиям и смягчить негативные последствия. В первую очередь, необходимо сосредоточиться на управлении водными ресурсами. Это включает модернизацию ирригационных систем, внедрение технологий капельного и спринклерного орошения, а также строительство малых водохранилищ для сбора и сохранения воды. Помимо этого, крайне важно рационально использовать водные ресурсы, вводить нормативы потребления и внедрять технологии опреснения подземных солёных вод. Необходимо адаптировать методы ведения и забора водных ресурсов для сельского хозяйства. Также важно внедрение засухоустойчивых сортов сельскохозяйственных культур и применение современных технологий, таких, как «умное» земледелие и обучать фермеров новым, адаптивным методам ведения сельского хозяйства.

Исполнительным органам местной власти необходимо привлечь финансирование из Международных экологических фондов на проекты по агролесомелиорации и оптимизации нагрузки на территорию Прикаспийской низменности. Необходимо поддерживать научные исследования и проекты для лесовосстановления и борьбе с опустыниванием в данном регионе, где ключевыми мерами будут являться озеленение в крупных городах, посадка деревьев и кустарников в сельской местности, устойчивых к засухе, и проводить меры по рекультивации деградированных земель региона.

Наконец, для успешного внедрения всех этих мер необходимы информационное обеспечение и образование населения и фермерских хозяйств.

Заключение. В ходе исследования проанализированы исторические данные по температуре воздуха и атмосферным осадкам Прикаспийского региона, проведена статистическая и аналитическая работа, а также выявлены годы перехода одного квазистационарного периода к другому с последующим расчетом роста средней многолетней температуры воздуха.

Согласно оценке получены следующие результаты:

1. По температуре: зимой максимальный рост в Атырау на 0,62 °C/10 лет и в Уральске на 0,42 °C/10 лет, минимальные изменения в Актобе на 0,25 °C/10 лет, а в Шалкаре на 0,26 °C/10 лет. Летом в Атырау максимальная скорость изменения температуры воздуха составила 0,88 °C/10 лет, в Бейнеу – 0,81 °C/10 лет, минимальные изменения в Шалкаре – 0,56 °C/10 лет.

2. По осадкам зафиксировано увеличение количества выпавших осадков зимой на МС Атырау (+2,94 мм/10 лет) и на Форт-Шевченко (+1,2 мм/10 лет). Летом наблюдается уменьшение осадков в Уральске (–13,42 мм/10 лет) и в Атырау (–9,38 мм/10 лет).

Причинами этого могут являться ослабление Сибирского антициклона и частые вторжения тёплых воздушных масс с юго-запада, Средиземноморья и Ирана.

Ожидаемое изменение температуры в Прикаспийском регионе согласно сценариям на долгосрочные периоды:

- 1) 2041–2060 гг.: +1,5–+3 °C (SSP4.5) и +3–+5 °C (SSP8.5).
- 2) 2061–2080 гг.: +4–+5 °C (SSP4.5) и +6–+8 °C (SSP8.5).
- 3) 2081–2100 гг.: +5–+7 °C (SSP4.5) и +8–+10 °C (SSP8.5).

Ожидаемое изменение осадков в Прикаспийском регионе согласно сценариям на долгосрочные периоды:

1. Зимой: сокращение на большей части региона, особенно в Актобе и Уральске (–53-60%); на побережье Каспия и юго-западе – 2-19%; в Шалкаре –1-4%. Осадки будут в основном жидкими.

2. Летом: сильный дефицит в Бейнеу, Шалкаре, Тушибеке (–60-71%), Актобе (–60-69%), Уральске и Атырау (–21-40%), Форт-Шевченко (–20-33%).

Долгосрочные тенденции климата в Западном Казахстане показывают значительный рост температуры и изменения в режиме осадков, что требует комплексного подхода для адаптации региона. В период 2041–2060 гг. будет наблюдаться максимальное уменьшение летних осадков, особенно в засушливых районах. В дальнейшем (2061–2100 гг.) характер изменений стабилизируется, но при этом останется на низком уровне. Региональные особенности (влияние Каспийского моря, континентальность климата) обуславливают различия между станциями. Так, внутренние районы (Шалкар, Бейнеу) демонстрируют наибольшее уменьшение летних осадков, в то время как прикаспийские территории отличаются более сглаженной динамикой.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по теме: «Динамика ледового режима Каспийского моря и реки Жайык в условиях климатических изменений», № ИРН: AP26199145.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана 2023. – Астана: РГП «Казгидромет», 2023. – 65 с.
- [2] Панин Г. Н., Мамедов Р. М., Митрофанов И. В. Современное состояние Каспийского моря. – М.: Наука, 2005. – 356 с.
- [3] Кожухметов П.Ж., Кожухметова Э.П. Экстремальные метеорологические явления в Казахстане в условиях глобального потепления климата// Гидрометеорология и экология. – 2016. – № 2. – С.7-17.
- [4] Информационный бюллетень о состоянии уровня Каспийского моря. Официальный сайт КАСПКОМ. – [Электронный ресурс]. – 2025. – Режим доступа – <http://caspcom.com/wp-content/uploads/2025>
- [5] МГЭИК, 2014: Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р. К. Па-чаури и Л. А. Мейер (ред.)]. МГЭИК, Женева, Швейцария. – С. 163.
- [6] Eyring V., Bony S., Meehl G. A., et al. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. Geoscientific Model Development, 9, 1937-1958.
- [7] Meehl G. A. et al. (2014). Climate Model Intercomparisons: Preparing for the Next Phase // Eos, Transactions American Geophysical Union. – 95(9). – С. 77-78.
- [8] Carvalho D., Rafael S., Monteiro A. V., Rodrigues M., Lopes & Rocha I. A. How well have CMIP3, CMIP5 and CMIP6 future climate projections portrayed the recently observed warming // Sci Rep. – 2022. – No. 12. 11983 p. doi: 10.1038/s41598-022-16264-6.
- [9] IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC.
- [10] Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis IPCC (2021).
- [11] База данных для открытого использования результатов наблюдений на метеорологических станциях РГП «Казгидромет»: https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/
- [12] Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ. – М.: Статистика, 1973. – 392 с.
- [13] Малинин В. Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2008. – 408 с.
- [14] Grubbs, Frank E. (1969). Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples // Technometrics. – Vol. 11, No. 1.
- [15] Закс Л. Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.
- [16] European Centre for Medium-Term Weather Forecasts (ECMWF). (n.d.). Copernicus Climate Data Store (CDS). Retrieved from <https://cds.climate.copernicus.eu>
- [17] Наурызбаева Ж. К., Монкаева Г. Е., Жунисова М. А., Рахматулла Н. Е., Еркинова Г. А. Ожидаемые изменения температуры воздуха и осадков по климатической модели BCC-CSM1-2 для бассейна реки Сырдария // География и водные ресурсы. – 2025. – № 1. – С. 109-124. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-109-124.11>

- [18] Бакулина Е. А., Угрюмов А. И. Весенние перестройки циркуляции в стратосфере в 1958–2003 г.: Автореф. дис. ... к. г. н. – Санкт-Петербург, 2009. – С. 12-13.
- [19] 8-е Национальное сообщение и 5-й Двухгодичный доклад Республики Казахстан Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. – Астана, 2022. – 491 с.
- [20] Климатический центр Росгидромета, официальный сайт <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/novosti/novosti-partnerov/2411-vmo-publikuet-globalnoe-obnovlenie-naborov-klimaticheskikh-dannykh>
- [21] Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том VI. Каспийское море. Гидрометеорологические условия. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – Вып. 1. – 359 с.
- [22] Зонн И. С., Костяной А. Г., Косарев А. Н., Жильцов С. С. Моря России. Энциклопедия. Каспийское море. – М.: Международные отношения, 2015. – 544 с.
- [23] Sillmann J., Kharin V. V., Zwiers F. W., Zhang X., & Bronaugh D. (2013). Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(4), 1716-1733.

REFERENCES

- [1] Annual Bulletin on Monitoring the State and Changes in the Climate of Kazakhstan 2023. Astana: RSE Kazhydromet, 2023. 65 p. (in Russ.).
- [2] Panin G. N., Mamedov R. M., Mitrofanov I. V. The Current State of the Caspian Sea. Moscow: Nauka, 2005. 356 p. (in Russ.).
- [3] Kozhakhmetov P. Zh., Kozhakhmetova E. P. Extreme meteorological phenomena in Kazakhstan in the context of global warming// *Hydrometeorology and Ecology*. 2016. No. 2. P. 7-17 (in Russ.).
- [4] Information sheet on the state of the Caspian Sea. Official website of CASPCOM. [Electronic resource]. 2025. Access mode – <http://caspcom.com/wp-content/uploads/2025> (in Russ.).
- [5] IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Group of Authors, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. P. 163 (in Russ.).
- [6] Eyring V., Bony S., Meehl G. A., et al. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization // *Geoscientific Model Development*. 9, 1937-1958.
- [7] Meehl G. A. et al. (2014). Climate Model Intercomparisons: Preparing for the Next Phase // *Eos, Transactions American Geophysical Union*. 95(9). P. 77-78.
- [8] Carvalho D., Rafael S., Monteiro A. V., Rodrigues M., Lopes & Rocha I. A. How well have CMIP3, CMIP5 and CMIP6 future climate projections portrayed the recently observed warming // *Sci Rep*. 2022. No. 12. 11983 p. doi: 10.1038/s41598-022-16264-6
- [9] IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC.
- [10] Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis IPCC (2021).
- [11] Database for open use of observation results at meteorological stations of the Kazhydromet State Agency: https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/ (in Russ.).
- [12] Draper N. Applied Regression Analysis. Moscow: Statistics, 1973. 392 p. (in Russ.).
- [13] Malinin V. N. Statistical Methods for Analyzing Hydrometeorological Information. St. Petersburg: Published by RSHMU, 2008. 408 p. (in Russ.).
- [14] Grubbs, Frank E. (1969). Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples // *Technometrics*. Vol. 11, No. 1.
- [15] Zaks L. Statistical Evaluation. Moscow: Statistics, 1976. 598 p. (in Russ.).
- [16] European Centre for Medium-Term Weather Forecasts (ECMWF). (n.d.). Copernicus Climate Data Store (CDS). Retrieved from <https://cds.climate.copernicus.eu>
- [17] Naurozbayeva Zh. K., Monkayeva G. E., Zhunisova M. A., Rakhmatulla N. E., Erkinova G. A. Expected changes in air temperature and precipitation according to the BCC-CSM1-2 climate model for the Syrdarya river basin // *Geography and Water Resources*. 2025. No. 1. P. 109-124. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-109-124.11> (in Russ.).
- [18] Bakulina E. A., Ugryumov A. I. Spring changes in stratospheric circulation in 1958–2003: abstract of dissertation. St. Petersburg, 2009. P. 12-13 (in Russ.).
- [19] 8th National Communication and 5th Biennial Report of the Republic of Kazakhstan to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Astana, 2022. 491 p. (in Russ.).
- [20] Roshydromet Climate Center, official website <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/novosti/novosti-partnerov/2411-vmo-publikuet-globalnoe-obnovlenie-naborov-klimaticheskikh-dannykh> (in Russ.).
- [21] Hydrometeorology and Hydrochemistry of the Seas. Vol. VI. The Caspian Sea. Hydrometeorological Conditions. St. Petersburg: Hydrometeoizdat, 1992. Issue 1. 359 p. (in Russ.).
- [22] Zonn, I. S., Kostyanoy, A. G., Kosarev, A. N., and Zhiltsov, S. S. Seas of Russia. Encyclopedia. Caspian Sea. Moscow: International Relations, 2015. 544 p. (in Russ.).
- [23] Sillmann J., Kharin V. V., Zwiers F. W., Zhang X., Bronaugh D. (2013). Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(4), 1716-1733.

Ж. К. Наурызбаева^{*1}, Г. Е. Монкаева², М. А. Жунисова³,
Н. Е. Рахматулла⁴, Г. А. Еркинова⁵, Ж. Х. Кенжина⁶

- ¹ *PhD Аймақтық климаттық өзгеруі зертханасының меңгерушісі
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; naurozbaeva.zhanar@mail.ru)
² Аймақтық климаттық өзгеруі зертханасының ғылыми қызметкері
(География және су қауіпсіздігі институты АҚ, Алматы, Қазақстан; gulsara.monkayeva@mail.ru)
³ Аймақтық климаттық өзгеруі зертханасының ғылыми қызметкері
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; makpal80@mail.ru)
⁴ Аймақтық климаттық өзгеруі зертханасының кіші ғылыми қызметкері
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; nurkanat.rakhmatulla@mail.ru)
⁵ Аймақтық климаттық өзгеруі зертханасының жетекші инженері
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; yerkinova.gaukhar@mail.ru)
⁶ Аймақтық климаттық өзгеруі зертханаларының жетекші инженері
(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; kenzhina03@mail.ru)

КАСПИЙ АЙМАҒЫНДАҒЫ ВСС-CSM1-2 КЛИМАТТЫҚ МОДЕЛІ АРҚЫЛЫ АУА ТЕМПЕРАТУРАСЫ МЕН ЖАУЫН-ШАШЫННЫҢ ӨЗГЕРІСІНІҢ КЕЛЕШЕККЕ БОЛЖАУЫ

Аннотация. Мақалада ВСС-CSM1-2 климаттық моделі және SSP4.5 және SSP8.5 климаттық сценарийлері арқылы Каспий аймағындағы ауа температурасы мен жауын-шашынның өзгеруі бағаланады. Зерттеу 1961-2024 жылдар аралығын қамтиды. Ауа температурасының айтарлықтай жоғарылауы және жауын-шашын мөлшерінің өзгеруі анықталды. Орташа жылдық температура 1976 жылдан бері байқалған оң ауытқулармен өсуде. Дала және шөл аймақтарында орналасқан станциялар (Түшібек және Бейнеу) 2010 жылдардан бастап ерекше қарқынды өсуді көрсетті. Қытайлық климаттық модельдің нәтижелері ХХІ ғасырдың аяғында SSP4.5 сценарийі бойынша қыста ауа температурасы континенттік аймақтарда +6-+8 °C және жағалауда +3-+4 °C, ал жазда +6-+7 °C жоғарылауы мүмкін екенін көрсетеді. SSP8.5 қатаң сценарийіне сәйкес, ғасырдың соңына қарай температура қыста +7-+8 °C, ал жазда +9-+10 °C жоғарылауы мүмкін. Қыста да, жазда да жауын-шашынның азаюымен, жауын-шашын үлгілерінің өзгеруі де ғасырдың соңына қарай күтілуде. Қысқы жауын-шашынның барынша азаюы облыстың солтүстік-батысында (Ақтөбе мен Оралда 53–60%) күтіледі. Жазда құрғақ аймақтарда (Бейнеу, Шалқар, Түшібек) жауын-шашынның айтарлықтай төмендеуі болжануда, ол 60–71%-ға жетеді, бұл инфрақұрылым мен ауыл шаруашылығына қауіп-қатерді күшейтуі мүмкін. Өңірді осы өзгерістерге бейімдеу үшін кешенді шаралар қажет, соның ішінде сумен жабдықтау жүйелерін жаңғырту, smart егіншілік технологияларын енгізу, агроорман шаруашылығы мен ормандарды қалпына келтіру.

Түйін сөздер: Жайық-Каспий су шаруашылығы бассейні, климаттың өзгеруі, климаттық сценарийлер, ВСС-CSM1-2 модель, ауа температурасы, жауын-шашын.

Zh. K. Naurozbaeva^{*1}, G. Ye. Monkayeva², M. A. Zhunisova³,
N. Ye. Rakhmatulla⁴, G. A. Erkinova⁵, Zh. Kh. Kenzhina⁶

- ¹ *PhD Head of the Regional Climate Change Laboratory
(JSC 'Institute of Geography and Water Security', Almaty, Kazakhstan; naurozbaeva.zhanar@mail.ru)
² Researcher at the Regional Climate Change Laboratory
(JSC 'Institute of Geography and Water Security', Almaty, Kazakhstan; gulsara.monkayeva@mail.ru)
³ Researcher at the Regional Climate Change Laboratory
(Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan; makpal80@mail.ru)
⁴ Junior Researcher, Regional Climate Change Laboratory
(Institute of Geography and Water Security JSC, Almaty, Kazakhstan; nurkanat.rakhmatulla@mail.ru)
⁵ Lead Engineer, Regional Climate Change Laboratory
(Institute of Geography and Water Security JSC, Almaty, Kazakhstan; yerkinova.gaukhar@mail.ru)
⁶ Lead Engineer, Regional Climate Change Laboratory
(JSC Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan; kenzhina03@mail.ru)

CHANGES IN AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION IN THE CASPIAN REGION BASED ON THE BCC-CSM1-2 CLIMATE MODEL

Abstract. The article assesses changes in air temperature and atmospheric precipitation in the Caspian region using the BCC-CSM1-2 climate model and the SSP4.5 and SSP8.5 climate scenarios. The study covers the period from 1961 to 2024. Significant increases in air temperature and changes in precipitation patterns have been identified. The average annual temperature has been rising with positive anomalies observed since 1976. Stations located in steppe and desert areas (Tushchebek and Beineu) have recorded a particularly sharp increase since the 2010s. The results of the Chinese climate model show that by the end of the 21st century, under the SSP4.5 scenario, winter air temperatures could increase by +6-+8 °C in continental areas and by +3-+4 °C on the coast, and by +6-+7 °C in summer. Under the severe SSP8.5 scenario, by the end of the century, temperatures may rise by +7-+8 °C in winter and +9-+10 °C in summer. Changes in precipitation patterns are also expected by the end of the century, with a decrease in both winter and summer precipitation. The greatest reduction in winter precipitation is expected in the north-west of the region (53–60% in Aktobe and Uralsk). In summer, a significant decrease in precipitation of up to 60–71% is forecast for arid areas (Beineu, Shalkar, Tushchebek), which may exacerbate risks to infrastructure and agriculture. Comprehensive measures are needed to help the region adapt to these changes, including the modernisation of water supply systems, the introduction of smart farming technologies, agroforestry and forest restoration.

Keywords: Zhayik-Caspian water basin, climate change, climate scenarios, BCC-CSM1-2 model, air temperature, precipitation.

Опасные экзогеодинамические процессы Қауіпті экзогеодинамикалық процестер Dangerous exogeodynamic processes

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-3-105-116.36>

МРНТИ 38.47.51
УДК 551.3

В. П. Благовещенский¹, А. С. Есжанова^{*2}, А. К. Толепбаева³, У. Р. Алдаберген⁴

¹ Д.г.н., главный научный сотрудник

(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; victor.blagov@mail.ru)

^{2*} К.г.н., доцент, ведущий научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; azhar.yeszhn@gmail.com)

³ Научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; akmaral1980@mail.ru)

⁴ PhD докторант, младший научный сотрудник (КазНУ им. аль-Фараби, АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; aldabergen_u@mail.ru)

ОЦЕНКА РИСКА ОПОЛЗНЕЙ И РАЗРАБОТКА ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ТЕКЕЛИ

Аннотация. Горные территории Казахстана характеризуются активным проявлением опасных процессов, которые в районах с высокой плотностью населения формируют высокий риск человеческого и материального ущерба. Наиболее репрезентативным способом изучения локальных оползней является использование сочетания традиционного полевого метода и дистанционного зондирования и ГИС. Приведены результаты наземного полевого обследования территории с дальнейшим анализом риска оползней в регионе Текели с применением методов ГИС-картографирования и данных ДЗЗ и выработкой кратко- и долгосрочных рекомендаций по защите людей и имущества. При исследовании территории города Текели на основе геологических, геоморфологических, метеорологических данных, космоснимков, открытых глобальных данных и ретроспективных случаев оползней оценка риска оползней нашла подтверждение при полевом обследовании. Проведена ортофотосъемка при помощи квадрокоптера, опрошены местные жители и административные лица. Взяты пробы грунта для гранулометрического анализа в точках с высоким риском схода оползня с выявленными трещинами в зоне отрыва. Методика оценки оползневого риска основана на использовании мирового опыта исследований. Конечным результатом является таблица, объединяющая все рекомендации для каждого оползнеопасного участка.

Ключевые слова: оползни, оценка оползневого риска, чрезвычайная ситуация, полевые исследования, защитные мероприятия, ГИС, Текели.

Введение. Практика показывает, что снижение риска оползней наиболее эффективно при осуществлении на местном (отдельный склон, местность) или региональном уровне. В локальном масштабе разработка мер по снижению риска, например системы раннего оповещения, может основываться на ряде оптимальных сценариев и состоит из четких шагов – начиная с оценки вероятности их возникновения, оценки объема и масштаба оползня, оценки потерь, сравнения оцененного риска с критериями принятия риска/толерантности к риску, реализации соответствующих мер по снижению риска при необходимости. На практике такого уровня строгости придерживаются при управлении риском оползней в развитых странах. Однако в развивающихся странах системы раннего предупреждения и меры по смягчению последствий минимальны [1, 2]. Во многих странах, где есть районы с высокой опасностью оползней, отсутствуют необходимые законы и правила для определения приоритетов и реализации плана по снижению риска оползней. Часто утверждается, что «нужна катастрофа, чтобы получить ответную политику», и тематические

исследования управления рисками оползней в разных странах показывают связь между частотой бедствий и прогрессом и сдвигами в управлении рисками оползней [3].

Бедствия могут катализировать моменты изменения целей, политики и практики управления рисками. Все чаще процессы принятия решений органами власти, отвечающими за снижение риска оползней и других опасностей, переходят от «экспертных» решений к включению общественности и других заинтересованных сторон [4].

Горные регионы, обрамляющие юго-восток Казахстана, имеют территории с высокой оползневой уязвимостью. Густонаселенные районы в низкогорной и предгорной части, где природные и антропогенные условия способствуют возникновению опасности проявления оползней, являются более уязвимыми в плане материального и человеческого ущерба. Так же, как и во многих странах мира, где есть районы с высокой опасностью оползней, в Казахстане наблюдаются несовершенство законодательной базы, систем раннего предупреждения и мер по смягчению ущерба, а также застройка опасных территорий без соблюдения элементарных защитных стандартов. Это может приводить к фатальным последствиям. Так произошло 15 мая 2022 года на территории города Текели, когда в результате оползня погиб ребёнок 5 лет, полностью и частично разрушено 5 домов. В связи с этим случаем по заданию руководства города нами проведено специализированное обследование участка произошедшего оползня и возникла необходимость в более детальном исследовании ещё 7 потенциально опасных участков этого населенного пункта. В этой связи несомненна научная и практическая ценность данного исследования, результаты которого могут быть экстраполированы на другие оползнеопасные регионы страны и использованы при разработке стратегии противооползневой защиты уязвимых объектов.

В данном районе и раньше фиксировались отдельные случаи оползневых событий, но не проводились детальные полевые исследования. Поэтому отсутствуют количественные региональные или провинциальные карты опасности для принятия обоснованных решений в программах развития инфраструктуры в оползнеопасных регионах. Существуют обобщенные и устаревшие карты риска опасных процессов для обширных территорий, однако отсутствуют количественные региональные или провинциальные карты оползневой уязвимости. Частично это удалось осуществить в рамках этого локального исследования, однако проведение широкомасштабных полевых исследований является финансово затратным. Поэтому на следующем этапе изучения необходимо ещё больше расширять применение методов дистанционного зондирования и ГИС-анализа для оценки уязвимости обширных и труднодоступных территорий.

Материалы и методы исследования. Город Текели с населением более 30 тыс. человек расположен на юго-востоке Казахстана в западной части хребта Жетысу Алатау в месте слияния рек Кора, Чажа и Текели, которые образуют реку Каратал (рисунок 1).

Большая часть города расположена на дне широкой долины реки Каратал ниже слияния рек Кора и Чажа. На выходе из гор, на высоте 980 м над уровнем моря, ширина дна долины составляет 1500 м. К востоку долина сужается и через 5 км, в месте слияния рек Кора и Чажа, на высоте 1030 м, дно долины имеет ширину 200 м.

Геоморфология. Особенность геоморфологии этого региона – ступенчатое строение склонов. Морфологически выделяется 2 ступени: низкие предгорья с мягкоувалистым и плосковершинным строением с абсолютными отметками высоты от 1030 до 1600 м и высокие предгорья с увалистым плато от 1600 до 2750 м. Левый склон долины реки Каратал более крутой и более густо изрезан логами. Оползень потокового типа движения 2022 года произошел на уступе пологой предгорной террасы склона северной экспозиции левого борта долины реки Текели. Бровка террасы расположена на абсолютной высоте 1050 м, подошва – на 1022 м. Верхняя часть профиля (зона формирования оползня) на протяжении 40 м имеет крутизну 20°, нижняя часть (транзитная зона) длиной 30 м имеет крутизну около 30°. В нижней части зоны формирования оползня наблюдается перегиб склона, где крутизна склона увеличивается от 10 до 30° (рисунок 2).

В таблице 1 обобщены данные по морфометрическим характеристикам оползнеопасных участков в Текели, полученные с помощью квадрокоптера [6]. Площадь ниши отрыва оползня 15 мая (зона формирования) – 770 м², средняя глубина – 4,2 м. По данным съемки объем пришедшей в движение грунтовой массы составил 3234 м³. Оползень потокового типа возник на уступе террасы северного склона левобережья долины р. Текели на абсолютной высоте 1050 м. Верхняя часть профиля (зона формирования оползня) простирается на 40 м с углом наклона 20°. Транзитная зона длиной 30 м имеет уклон около 30°.

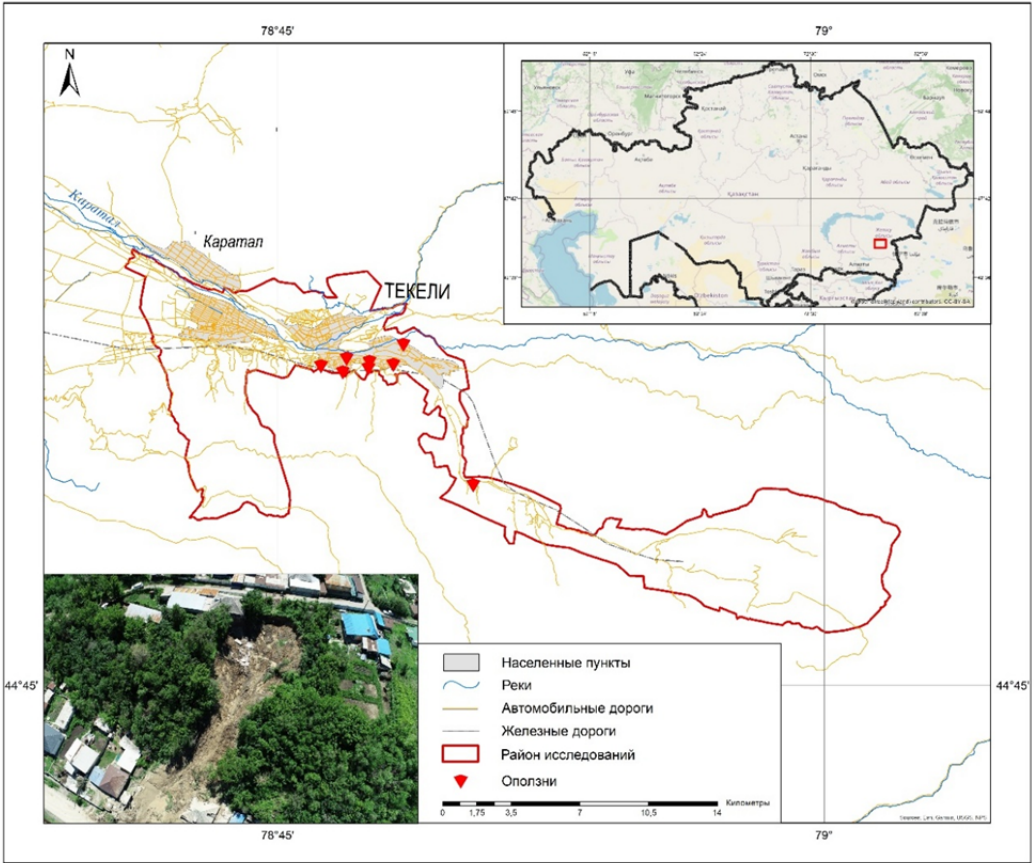


Рисунок 1 – Местоположение района исследования

Figure 1– Location of the study area

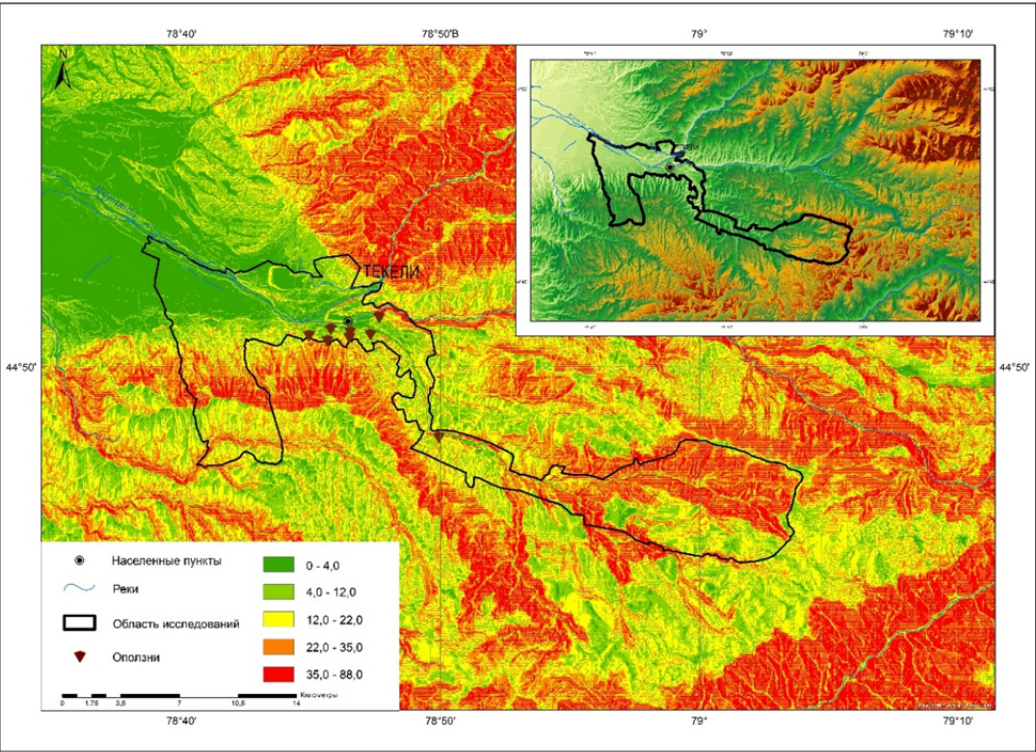


Рисунок 2 – ЦМР и карта уклонов

Figure 2 – DEM & Slope of Tekeli

Таблица 1 – Морфометрические характеристики оползнеопасных участков в Текели

Table 1 – Morphometric characteristics of landslide-prone areas in Tekeli

Участок	Координаты	Абсолютная высота, м	Крутизна склонов, град.	Длина, м	Ширина, м	Площадь, м ²
N 1 (Горняк Текели)	78°45'56" E 44°51'15" N	1060–1120	10–15	120	10	1200
N 1a (Медвежья Лапа)	78°46'11" E 44°51'10" N	1040–1140	30–35	300	50	15 000
N 2 (ул. Баумана)	78°47'30" E 44°51'10" N	1080–1120	5–7	50	25	1250
N 3 (ул. Маметовой)	78°48'10" E 44°51'14" N	1070–1100	8–16	40	10	400
N 4 (ул. Шаталова)	78°48'27" E 44°51'38" N	1058– 1075	7–8	130	65	8500
N 5 (ул. Жандосова)	78°50'22" E 44°48'53" N	1180–1220	6–19	80	60	4800
N 6 (ул. Рыскулбекова)	78°46'47" E 44°51'05" N	1120–1180	30–35	300	45	13 500
N 7 (ул. Чехова)	78°46'55" E 44°51'22" N	1010–1050	4–5	40	15	600

Сейсмотектоника и геологические условия. Регион относится к зоне высокой сейсмичности ($M > 8$), последнее крупное землетрясение магнитудой 6-7 баллов произошло в 2009 г. без человеческих жертв, но около 40 домов получили повреждения. Границы хребтов и межгорных впадин четко фиксируются продолжением глубинных краевых разломов. По зонам глубинных разломов фиксируются горизонтальные сдвиги и надвигание хребтов на котловины [7].

Оползнеопасные склоны в Текели сложены лёссовидным суглинком (рисунок 3), перекрытым развитым почвенным покровом (толщина гумусового слоя 30-50 см) с густой древесной, кустарниковой и травянистой растительностью. Особенностью лёссовидных суглинков является то,

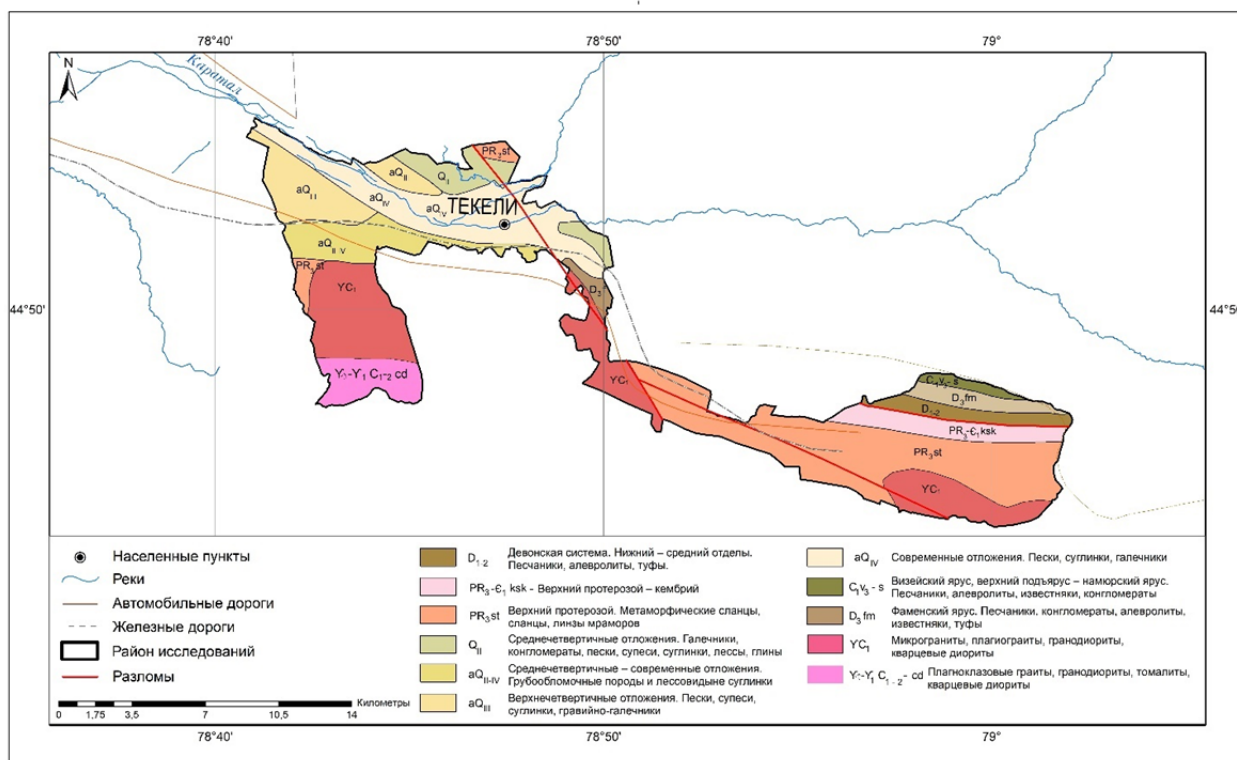


Рисунок 3 – Геологическая карта Текели

Table 3 – Geological map of Tekeli

что они в сухом состоянии очень прочные и могут выдерживать значительные нагрузки, но при увлажнении до полной влагоемкости их прочность падает более чем в два раза, и они становятся пластичными. Это свойство обусловлено высокой пористостью этих грунтов. Объем пор может достигать 45% от общего объема грунта. Поры вытянуты в виде узких вертикальных канальцев, что приводит к ярко выраженной анизотропии физико-механических свойств грунта. Его прочность на сдвиг в вертикальном направлении меньше, чем в горизонтальном, а коэффициент фильтрации больше в вертикальном направлении, чем в горизонтальном. Это приводит к высокой оползневой и просадочной опасности при строительстве на таких грунтах [8].

Метеорологические условия. Обводнение нестабильных лёссовых пород может происходить по нескольким причинам: грунтовые воды, сильные атмосферные осадки или антропогенное воздействие (протечки водопровода, неконтролируемый полив).

Самые важные метеофакторы, влияющие на состояние почвогрунтов, это количество и режим выпадения атмосферных осадков, а также величина снегонакопления и интенсивность таяния снежного покрова. Опасным признаком формирования оползней является аномально большое количество разовых, непрерывных осадков. Они приводят к резкому обводнению грунтов. Долина реки Каратал открыта на запад, навстречу влагонесущим атмосферным потокам, что обуславливает повышенное количество атмосферных осадков, выпадающих в этом районе.

В городе Текели максимальные разовые осадки наблюдаются с мая по июль (таблица 2). На метеостанции Текели абсолютный максимум суточной суммы осадков 82,2 мм отмечен в июле 1990 г. Максимальная температура воздуха в апреле равняется 33 °С, в мае – 35 °С.

Таблица 2 – Количество осадков, мм [9]

Table 2 – Precipitations amount in Tekeli region, mm [9]

Месяцы	Месячная сумма осадков, мм	Максимальное суточное количество осадков, мм (год)	Количество дней с осадками
I	40	28,5 (2000)	9,4
II	37	34,4 (1988)	8,7
III	53	52,9 (1964)	12,1
IV	95	58,6 (1994)	11,1
V	113	46,4 (1993)	13,7
VI	98	82,2 (1990)	12,9
VII	83	51,0 (1999)	12,5
VIII	44	39,2 (1970)	8,2
IX	51	36,8 (1996)	7,2
X	74	56,8 (1965)	10,0
XI	74	42,8 (1993)	10,1
XII	56	48,0 (1970)	10,0
Год	818	82,2 (1990)	125,9

Наибольшее количество осадков отмечается в мае, наименьшее – в сентябре. В среднем в течение года наблюдаются 2 дня с сильными осадками, когда суточная сумма осадков превышает 30 мм. Обычно это происходит в мае-июне.

В городе Текели, в зоне формирования оползней, максимальная высота снега на конец периода снегонакопления составляет 80 см, а запас воды в снеге – 190 мм. Этот слой воды поступает на склоны при таянии снега в марте и его необходимо добавить к максимальной мартовской сумме жидких осадков. В результате получается, что в марте на склоны может поступить до 240 мм воды, что делает этот месяц самым оползнеопасным. Высокая вероятность формирования оползней за счет естественного увлажнения сохраняется также в апреле и мае.

По данным гидропоста Р. Текели (код гидропоста 14426) за предшествующие сутки до схода оползня выпало 15,6 мм жидких осадков. Всего с начала мая текущего года сумма осадков составила 31,8 мм. На метеорологической станции Текели сумма осадков 15 мая т.г. равнялась

18,3 мм, а с 1 по 15 мая т.г. – 31,2 мм. Сумма осадков за апрель – 35,8 мм. Суточный максимум осадков 10% обеспеченности (1 раз в 10 лет) составляет 58,5 мм. Средняя сумма осадков в апреле за многолетний период была 77 мм. Анализ метеорологических данных показывает, что суточная сумма осадков 15 мая 2022 г. повторяется чаще, чем 1 раз в 10 лет, а сумма осадков за апрель текущего года составила **45%** от нормы. Таким образом, метеорологическая обстановка в г. Текели в период, предшествующий оползню, не являлась аномальной.

Кроме того, по свидетельству сотрудников спасательной службы, из внутренней стенки ниши отрыва оползня на 3 м выступала оголившаяся, заглубленная на 1 м водопроводная труба диаметром 20 мм, длиной около 3 м (рисунок 4). По свидетельству сотрудников ГУ «Казселезащита» из этой трубы после схода оползня была струя воды. Эти факты ясно демонстрируют, что оползень произошел не только в результате обильных естественных осадков, но и по причине антропогенного переувлажнения грунта через трубопровод, проходящий внутри склона.



а



б

Рисунок 4 – Оползень 15 мая 2022 года:

а – границы угрожаемой зоны оползня; б – водопроводная труба, обводнявшая тело оползня

Figure 4 – Landslide May 15, 2022:

а – a water supply pipe hydrating the landslide body; б – boundaries of the landslide hazard zone

Землепользование. Большое влияние на переувлажнение грунтов оказывают прорывы водопроводных сетей и неисправность канализации, которые вызывают локальные просадки грунта и оползни в любое время года. Помимо природных факторов и густой заселенности лёссовых склонов усиливающим оползневую уязвимость фактором является существовавший в 1942-1996 гг. рудник полиметаллических руд, который способствовал бурному росту экономики и населения города. Увеличилась транспортная сеть в виде железной дороги и грунтовых дорог, подрезающих склоны и оказывающих вибрационное воздействие на грунты, строились жилые помещения и развивались различные объекты инфраструктуры.

На рисунке 5 видно, что проявление оползней имеет прямую связь с транспортной сетью. В настоящее время в связи с истощением (выработкой) месторождения свинцово-цинковый комбинат не функционирует, однако осталось хранилище отходов, оказывающее очень негативное влияние на здоровье местного населения и экологическую ситуацию в целом.

Использование сочетания традиционных методов полевых исследований и применения анализа ДЗЗ и ГИС-картографирования для оценки риска и содействия процессам планирования и управления считается наиболее объективным путём изучения локальных оползней. Поэтому крайне важно отслеживать известные оползни и обнаруживать потенциально нестабильные склоны, что может обеспечить предотвращение геоопасностей.

Хотя эти методы позволяют достигать высокоточных измерений, их трудно применять для обнаружения неизвестных и нестабильных склонов из-за высокой стоимости и практических ограничений покрытия. Оптические изображения дистанционного зондирования могут охватывать большие площади, но всепогодные и круглосуточные возможности мониторинга не могут быть реализованы из-за влияния тумана и облаков.

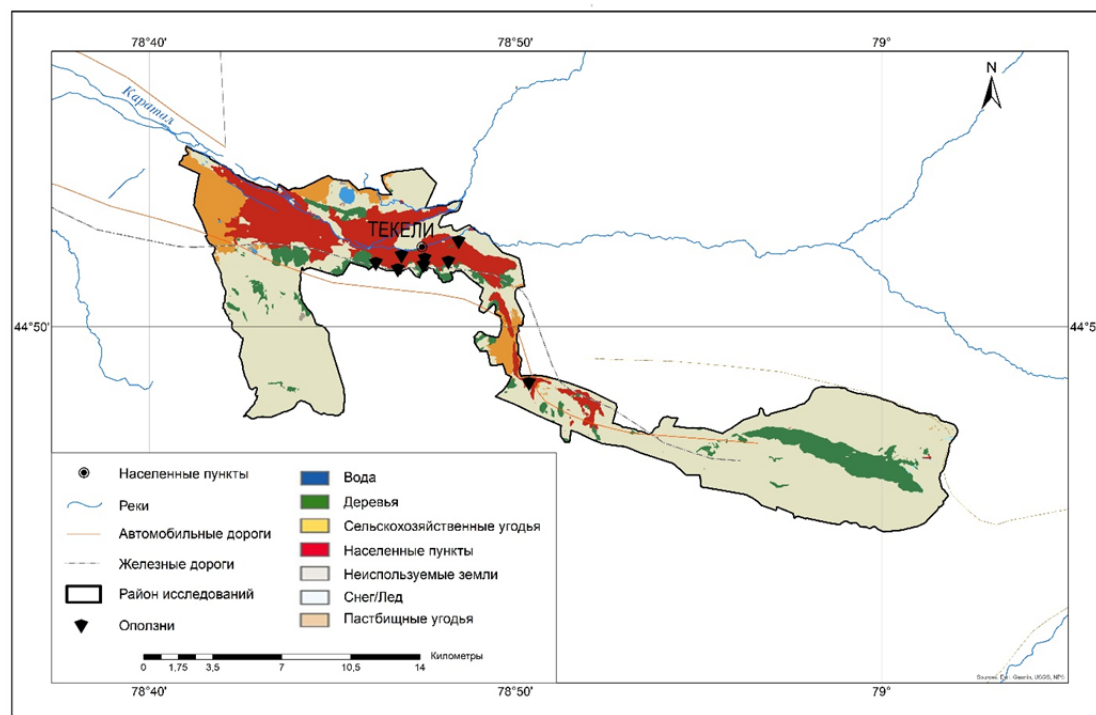


Рисунок 5 – Карта землепользования Текели [10]

Figure 5 – Land Use/Land Cover map of Tekeli [10]

Таблица 3 – Физико-механические свойства лёссовидных суглинков на оползнеопасных участках Текели

Table 3 – Physical and mechanical characteristics of loess-like loams in landslide-prone areas of Tekeli

Характеристика и ее размерность	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3
Граница текучести, %	33,2	29,8	29,1
Граница раскатывания, %	25,2	21,8	20,8
Число пластичности, %	8,0	8,0	8,3
Естественная влажность, %	13,7	12,7	13,7
Показатель текучести, %	<0	<0	<0
Плотность при естественной влажности, г/см ³	1,65	1,65	1,78
Плотность сухого грунта, г/см ³	1,48	1,47	1,57
Плотность при водонасыщении, г/см ³	1,91	1,93	1,99
Плотность частиц грунта, г/см ³	2,71	2,71	2,71
Коэффициент пористости	0,83	0,85	0,73
Коэффициент водонасыщения, д.е.	0,41	0,41	0,51
Влажность полного водонасыщения, %	32,3	31,3	26,9
Угол внутреннего трения при естественной влажности, град.	25	24	23
Угол внутреннего трения при максимальном водонасыщении, град.	21	20	19
Сцепление при естественной влажности, кгс/см ²	0,35	0,34	0,35
Сцепление при максимальном водонасыщении, кгс/см ²	0,27	0,22	0,17
Модуль деформации при естественной влажности, МПа	8,8	7,3	8,4
Модуль деформации при максимальном увлажнении, МПа	3,1	2,9	3,3
Относительная просадочность при давлении p=0,3 д.е.	0,079	0,08	0,083
Начальное давление просадочности, МПа	0,036	0,03	0,06
Коэффициент фильтрации, м/сут	0,14	0,18	0,21
Удельное сопротивление, Ом/м	47,6	52,3	52,3
Степень коррозионной активности	Средняя	Средняя	Средняя
Тип грунта	Суглинок твердый	Суглинок твердый	Суглинок твердый

В ходе работ по проекту были отобраны 3 пробы грунта в виде монолитов. Определение физико-механических свойств грунта выполнено в сертифицированной грунтоведческой лаборатории. Результаты приведены в таблице 3.

Модуль деформации грунта при естественном увлажнении около 13% равен 7,3-8,8 МПа. При увеличении влажности до 30% он уменьшается до 2,9-3,3 МПа, то есть его несущая способность падает в 2,5 раза.

Относительная просадочность грунта оказалась равной около 0,08. Это означает, что при увлажнении грунта до полной влагоемкости, которая составляет примерно 30 %, каждый метр промоченного грунта просядет на 8 см. Это уже приведет дома, стоящие на таком грунте, в аварийное состояние. При глубине промачивания 3 м просадка может быть 24 см, что приведет к полному разрушению зданий. Коэффициент фильтрации грунта составил от 0,14 до 0,21 м/сут. Это значит, что при избыточном притоке воды, например при прорыве водопровода, за 10 сут грунт промокнет на глубину от 1,4 до 2,1 м.

В ходе обследования выполнена orthophotography оползня с квадрокоптера, по результатам которой построены ортофотоплан местности, цифровая 3D модель рельефа, продольный (92,3 м) и поперечный (28 м) профили оползневого участка и прилегающего склона (рисунок 6).

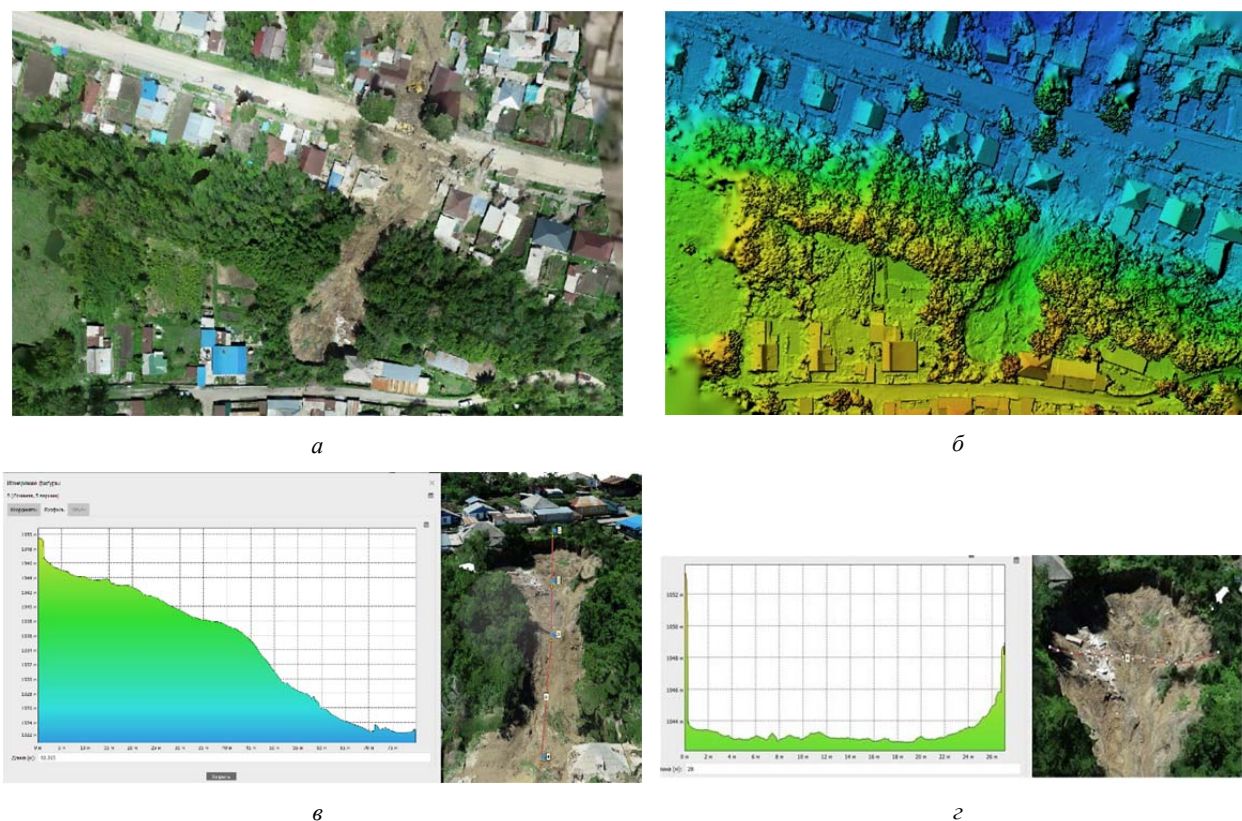


Рисунок 6 – Результаты ортофотосъемки оползня 15 мая 2022 года:
а – ортофотоплан; б – ЦМР; в – продольный профиль; г – поперечный профиль

Figure 6 – Results of the orthophotography of the landslide on May 15, 2022:
a – orthophotoplan; b – DEM; c – longitudinal profile; d – transverse profile

Для оценки оползневого риска в целях разработки защитных рекомендаций использована методика, выведенная с использованием международного опыта [11-15]. Количественным выражением риска опасного природного явления служит средний годовой ущерб, наносимый этим явлением за многолетний период. Полученные таким образом значения риска эквивалентны удельным потерям, умноженным непосредственно на опасность:

$$R = F \cdot Da ,$$

где R – риск оползня, €/годы; F – частота (события/50 лет); Da – средний ущерб (€/события).

В условиях значительной неопределенности повторяемости и объемов оползней, а также наносимого ими ущерба, в которых оценивается оползневой риск, его следует определять в виде качественных категорий в зависимости от тяжести последствий схода оползней и их частоты.

Результаты. Для оценки тяжести последствий схода оползней использовалась классификация чрезвычайных ситуаций, применяемая в МЧС РК [16]. В качестве критериев классификации применяются число погибших и пострадавших, а также материальный ущерб (таблица 4).

Повторяемость оползней была разделена на три качественные категории (таблица 5):

1. Очень редкая, для оползней, повторяющихся реже 1 раза в 100 лет.
2. Редкая, для оползней, повторяющихся 1 раз в 50–100 лет.
3. Частая, для оползней, повторяющихся чаще 1 раза в 50 лет.

Уровень риска на данном оползнеопасном участке оценивался по сочетанию повторяемости оползневых явлений и тяжести последствий их.

Таблица 4 – Классификация чрезвычайных ситуаций по тяжести последствий

Table 4 – Classification of emergencies by severity of consequences

Класс ЧС	Число погибших	Число пострадавших	Материальный ущерб, тыс. тенге
Локальное чрезвычайное происшествие	Менее 5	Менее 50	Менее 12 000
Объектовая	5-10	50-100	12 000 – 36 000
Местная	10-50	100-500	36 000 – 240 000
Региональная	50-200	500-1500	240 000 – 480 000
Глобальная	Свыше 200	Свыше 1500	Свыше 480 000

Таблица 5 – Качественная шкала уровней оползневого риска

Table 5 – Qualitative scale of landslide risk levels

Последствия оползневого явления	Повторяемость оползневого явления		
	очень редкая (реже 1 раза в 100 лет)	редкая (1 раз в 50-100 лет)	частая (чаще 1 раза в 50 лет)
Незначительные (без возникновения ЧС)	Умеренный	Умеренный	Умеренный
Значительные (объектовые ЧС)	Умеренный	Средний	Средний
Тяжелые, (местные ЧС)	Средний	Средний	Высокий
Очень тяжелые (региональные ЧС)	Высокий	Высокий	Высокий
Катастрофические, глобальные ЧС	Высокий	Высокий	Высокий

Умеренный риск принят для участков, на которых возможны только незначительные последствия оползней (без возникновения ЧС), а объектовые ЧС со значительными последствиями повторяются реже 1 раза в 100 лет. На этих участках защитные мероприятия обычно не требуются или же бывает достаточно простейших мероприятий вроде отвода поверхностных вод или поддержания в рабочем состоянии защитных сооружений.

Средний риск отмечается на участках, где могут быть даже очень редко местные ЧС, а объектовые ЧС повторяются чаще 1 раза в 50 лет. На этих участках необходимо проводить защитные мероприятия, в том числе регулирование землепользования, мониторинг оползневой опасности, укрепление склонов.

Высокий риск устанавливается для участков, на которых даже очень редко возможны оползневые явления с очень тяжелыми и катастрофическими последствиями или чаще 1 раза в 100 лет происходят оползневые явления с тяжелыми последствиями. На таких участках необходимо срочно строить защитные сооружения либо переносить объекты из опасной зоны.

Обсуждение. Рекомендуемые защитные меры делятся на активные и пассивные (таблица 6). Известно, что активные меры являются предпочтительными, поскольку они более эффективны экономически и могут быть реализованы быстрее, чем дорогостоящие пассивные меры. С другой стороны, пассивные меры могут иметь более долгосрочный эффект.

Таблица 6 – Противооползневые защитные мероприятия для г. Текели

Table 6 – Landslide protection measures for the Tekeli town

1. Активные меры	2. Пассивные меры
1.1. Мониторинг развития трещин в вершине оползне-опасного склона. Автоматическое измерение влажности и скорости смещения грунта в зоне формирования оползней 1.2. Мониторинг деформации склона и зданий 1.3. Предотвращение локального переувлажнения грунтов путем недопущения утечек воды в водопроводах и септиках, соблюдение норм полива, обустройство дренажной сети 1.4. Соблюдение норм полива 1.5. Эвакуация жителей при критических значениях влажности грунта и скорости смещения	2.1. Укрепление грунта под зданиями путем силикации для ликвидации просадочных свойств 2.2. Строительство подпорной стенки с дренажем для предотвращения смещения верхней части склона 2.3. Строительство оползнезащитного сооружения в виде гибкого тросово-сетчатого барьера в устье лога 2.4. Укрепление обрыва под домом с помощью стальной сетки с анкерами 2.5. Стабилизация русла ручья, текущего по логу Ватутина 2.6. Перенос домов №17, 59 и 61 в безопасное место

Таблица 7 – Оползневой риск и рекомендуемые меры по снижению опасности

Table 7 – Landslide risk and recommended hazard mitigation measures

Оползнеопасный участок	Объекты, подверженные воздействию оползней	Оползневой Риск	Рекомендуемые защитные мероприятия
N 1 (Горняк Текели)	15 жилых домов в дачном поселке, садовые участки. Количество проживающих 53 человека	Умеренный	1.2, 1.3
N 1a (Медвежья Лапа)	5 жилых домов с хозяйственными постройками. Количество проживающих 25 человек	Средний	1.1, 1.2, 1.5
N 2 (ул. Баумана)	2 жилых дома. Количество проживающих 6 человек	Средний	1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2.1
N 3 (ул. Маметовой)	1 жилой дом. Количество проживающих 3 человека	Высокий	1.2, 1.3, 1.4, 2.1, 2.6
N 4 (ул. Шаталова)	4 жилых дома. Количество проживающих 15 человек	Высокий	1.1, 1.3, 1.4, 2.1, 2.6
N 5 (ул. Жандосова)	1 жилой дом. Количество проживающих 4 человека	Средний	1.1, 1.3, 2.2, 2.4, 2.5
N 6 (ул. Рыскулбекова)	4 жилых дома с хозяйственными постройками, автомобильная дорога, 7 столбов освещения. Количество проживающих 18 человек	Высокий	1.1, 1.5, 2.3
N 7 (ул. Чехова)	2 жилых дома. Количество проживающих 5 человек	Высокий	1.1, 1.3, 1.4, 2.1, 2.6

Рекомендации по предотвращению и смягчению риска для каждой оползнеопасной территории, полученные в результате оценки риска оползней, приведены в таблице 7.

Заключение. Большинство задокументированных оползней в Казахстане произошли в густонаселенных районах с хорошо развитой инфраструктурой и были тяжелыми или катастрофическими по масштабу. Из-за пересеченной местности и удаленности многих регионов записи об оползнях отсутствуют для 80% территории страны. Хотя полевые исследования всё ещё актуальны для локальных исследований в крупных горных и предгорных районах для конкретизации защитных мер, они остаются достаточно дорогостоящими.

В дальнейшем планируется более широкое применение методов дистанционного зондирования и методов ГИС-анализа, машинного обучения, нейронных сетей, использующих глобальные наборы данных с открытым доступом и сопутствующие метаданные для прогнозирования опасностей. Платформа ГИС позволяет манипулировать наборами данных, которые формируют первоначальную оценку региона и сужают полевое исследование до конкретных областей интереса только в случае крайней необходимости, экономя затраты.

Важно, чтобы меры по предотвращению опасности осуществлялись в тесном сотрудничестве научных учреждений, государственных органов и местных жителей.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по теме «Научно-прикладное обоснование селе-, оползне- и лавинобезопасности в горных районах Иле и Жетысу Алатау Республики Казахстан». Программно-целевое финансирование №BR21881982.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Words into Action Guidelines: National Disaster Risk Assessment Hazard Specific Risk Assessment. 3. Landslide Hazard and Risk Assessment. UNISDR, 2017. https://www.unisdr.org/files/52828_03landslidehazardandriskassessment.pdf
- [2] Capobianco, V., Choi, C. E., Crosta, G. et al. Effective landslide risk management in era of climate change, demographic change, and evolving societal priorities. *Landslides* (2025). <https://doi.org/10.1007/s10346-024-02418-2>
- [3] Norwegian Geotechnical Institute (2012). SafeLand project. R&D program Safeland. Abstract available from www.ngi.no/eng/Projects/SafeLand
- [4] Scolobig A., Thompson M., Linnerooth-Bayer J. Compromise not consensus: designing a participatory process for landslide risk mitigation // *Natural Hazards*. – 2016. – Vol. 81, supplement 1. – P. 45-68.
- [5] Aldabergen U., Blagoveshchensky V., Ranova S., Kamalbekova A. Application of unmanned aerial vehicles to obtain morphometric characteristics of landslides // *RT&A. Special Issue No 5(75)*. – Vol. 18. – 2023. – P. 656-662.
- [6] Airbus WorldDEM4Ortho in ArcGIS Living Atlas of the World. Доступно на сайте: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-living-atlas/imagery/airbus-worlddem4ortho-in-arcgis-living-atlas-of-the-world/> (Accessed: 3 February 2025).
- [7] Силачева Н. В., Кульбаева У. К., Кравченко Н. А. Вероятностная оценка сейсмической опасности Казахстана и г. Алматы по пиковым ускорениям грунта // *Геодезия и геодинамика*. – 2018. – Т. 9, вып. 2. – С. 131-141. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2017.11.002>
- [8] Ахметов А. Ж., Жакулина А. А., Елиусизов Р. Н. Особенности структурно-неустойчивых грунтов южного региона Казахстана // *Проблемы геологии и освоения недр: Труды XX Международного симпозиума*. – Томск, 2016. – С. 517-518.
- [9] Справочник по климату Казахстана: Многолетние данные. Раздел 1-2. Вып. 13. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2004. – С. 295.
- [10] Sentinel-2 10m Land Use/Land Cover (2017-2021) / Сайт URL: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=fc92d38533d440078f17678ebc20e8e2>
- [11] Varnes D. J. IAGC Commission on Landslides and other Mass-Movements Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice. – The UNESCO Press, Paris (1984). – 63 p.
- [12] Remondo J., Bonachea J., Cendrero A. Quantitative landslide risk assessment and mapping on the basis of recent occurrences // *Geomorphology*. – 2008. – Vol. 94, Issues 3-4. – P. 496-507.
- [13] Corominas J., C. van Westen, Frattini P., Cascini L., Malet J.-P., Fotopoulou S., Catani F., M. Van Den Eeckhaut, Mavrouli O., Agliardi F., Pitilakis K. Recommendations for the Quantitative Analysis of Landslide Risk // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* (2014), 73:209-263 [10.1007/s10064-013-0538-8](https://doi.org/10.1007/s10064-013-0538-8)
- [14] Мягков С. М. География природного риска. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 222 с.
- [15] Радаев Н. Н. Определение уровней рисков в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера // *Изв. РАН. Серия географическая*. – 2003. – № 5.
- [16] Положение о Министерстве по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан, утвержденное Постановлением Правительства Республики Казахстан от 23 октября 2020 года № 107, подпункт 184-1 (Regulation on the Ministry of Emergency of the Republic of Kazakhstan, approved by the Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated October 23, 2020 No. 701, subparagraph 184-1).

REFERENCES

- [1] Words into Action Guidelines: National Disaster Risk Assessment Hazard Specific Risk Assessment. 3. Landslide Hazard and Risk Assessment. UNISDR, 2017. https://www.unisdr.org/files/52828_03landslidehazardandriskassessment.pdf
- [2] Capobianco, V., Choi, C. E., Crosta, G. et al. Effective landslide risk management in era of climate change, demographic change, and evolving societal priorities. *Landslides* (2025). <https://doi.org/10.1007/s10346-024-02418-2>
- [3] Norwegian Geotechnical Institute (2012). SafeLand project. R&D program Safeland. Abstract available from www.ngi.no/eng/Projects/SafeLand
- [4] Scolobig A., Thompson M., Linnerooth-Bayer J. Compromise not consensus: designing a participatory process for landslide risk mitigation // *Natural Hazards*. 2016. Vol. 81, supplement 1. P. 45-68.
- [5] Aldabergen U., Blagoveshchensky V., Ranova S., Kamalbekova A. Application of unmanned aerial vehicles to obtain morphometric characteristics of landslides // *RT&A. Special Issue No 5 (75)*. Vol. 18. 2023. P. 656-662.
- [6] Airbus WorldDEM4Ortho in ArcGIS Living Atlas of the World. Available at: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-living-atlas/imagery/airbus-worlddem4ortho-in-arcgis-living-atlas-of-the-world/> (Accessed: 3 February 2025).
- [7] Silacheva N. V., Kulbayeva U. K., Kravchenko N. A. Probabilistic seismic hazard assessment of Kazakhstan and Almaty city in peak ground accelerations // *Geodesy and Geodynamics*. Vol. 9, Issue 2. March 2018. P. 131-141. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2017.11.002> (in Russ.).
- [8] Akhmetov A. Zh., Zhakulina A. A., Eliusizov R. N. Features of structurally unstable soils of the southern region of Kazakhstan // *Problems of Geology and Subsoil Development. Proceedings of the 20th International Symposium*. Tomsk, 2016. P. 517-518 (in Russ.).
- [9] Climate Handbook of Kazakhstan. Long-term data. Sections 1-2. Issue 13. Almaty: RSE «Kazhydromet», 2004. 295 P. (in Russ.).
- [10] Sentinel-2 10m Land Use/Land Cover (2017-2021). Available at: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=fc92d38533d440078f17678ebc20e8e2>
- [11] Varnes D.J. IAGC Commission on Landslides and other Mass-Movements Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice. The UNESCO Press, Paris (1984). 63 p.
- [12] Remondo J., Bonachea J., Cendrero A. Quantitative landslide risk assessment and mapping on the basis of recent occurrences // *Geomorphology*. 2008. Vol. 94, Issues 3-4. P. 496-507.

[13] Corominas J., C. van Westen, Frattini P., Cascini L., Malet J.-P., Fotopoulou S., Catani F., M. Van Den Eeckhaut, Mavrouli O., Agliardi F., Pitilakis K. Recommendations for the Quantitative Analysis of Landslide Risk/ Bulletin of Engineering Geology and the Environment (2014), 73:209-263 10.1007/s10064-013-0538-8

[14] Myagkov S. M. Geography of natural hazard. M.: MSU, 1995. 222 p. (in Russ.).

[15] Radayev N. N. Determination of risk levels in emergency situations of natural and man-made nature // Izvestiya RAS Geographical Series. 2003. No. 5 (in Russ.).

[16] Regulation on the Ministry of Emergency of the Republic of Kazakhstan, approved by the Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated October 23, 2020, No. 701, subparagraph 184-1) (in Russ.).

В. П. Благовещенский¹, А. С. Есжанова^{*2}, А. К. Толепбаева³, Ұ. Р. Алдаберген⁴

¹ Г.ғ.д., бас ғылыми қызметкер (ҚР ҒЖББ «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; victor.blagov@mail.ru)

^{2*} Г.ғ.к., доцент, жетекші ғылыми қызметкер (ҚР ҒЖББ «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; azhar.yezhan@gmail.com)

³ Ғылыми қызметкер (ҚР ҒЖББ «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; akmaral1980@mail.ru)

⁴ PhD докторант, кіші ғылыми қызметкер (Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; aldabergen_u@mail.ru)

ТЕКЕЛІ ҚАЛАСЫНДАҒЫ ДАЛА ЗЕРТТЕУЛЕР НЕГІЗІНДЕ ҚОРҒАУ ШАРАЛАРЫН ӨЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЖЕР КӨШКІНІ ТӘУЕКЕЛІН БАҒАЛАУ

Аннотация. Қазақстанның таулы аумақтары халық тығыздығы жоғары болғандықтан адамдық және материалдық шығынның жоғары қаупін тудыратын қауіпті процестердің белсенді дамуымен сипатталады. Жоспарлау және басқару жұмыстарын жүзеге асыруда локальді көшкіндерді зерттеудің ең репрезентативті әдісі – дәстүрлі далалық әдістер және қашықтықтан зондтау мен ГАЖ комбинациясы. Мақалада далалық зерттеу, ГАЖ-карталау әдістерін және қашықтықтан зондтау деректерін пайдалана отырып, Текелі қаласындағы жер көшкін қаупін талдау және адамдар мен мүлікті қорғау бойынша қысқа мерзімді және ұзақ мерзімді ұсыныстар берілген. Текелі қаласының аумағын зерттеу барысында геологиялық, геоморфологиялық, метеорологиялық мәліметтер, ғарыштық суреттер, ашық ғаламдық деректер және көшкіндердің ретроспективті жағдайлары негізінде аумақты далалық зерттеу кезінде көшкін қаупін бағалау расталды. Квадрокоптер көмегімен ортофотография жүргізіліп, жер бедерінің цифрлық моделі мен профильдер құрылып, жергілікті тұрғындар мен әкімшілік қызметкерлерімен сауалнама жүргізілді. Көшкін қаупі жоғары аймақтарында гранулометриялық талдау үшін топырақ үлгілері алынды. Көшкін қаупін бағалау әдістемесі қауіпті процестерді зерттейтін ғылыми қоғамдастықта талқыланып, қабылданған әлемдік зерттеу тәжірибесіне негізделген. Нәтижесінде әрбір жер көшкін қауіпті нүктелер үшін қорғау шаралары бойынша ұсыныстар кестеге жинақталды.

Түйін сөздер: жер көшкіні, жер көшкіні қаупін бағалау, төтенше жағдайлар, далалық зерттеулер, қорғау шаралары, ГАЖ, Текелі.

V. P. Blagoveshchenskiy¹, A. S. Yeszhanova^{*2}, A. K. Tolepbayeva³, U. R. Aldabergen⁴

¹ Doctor in Geographical sciences, chief researcher («Institute of Geography and Water Security» JSC, Almaty, Kazakhstan; victor.blagov@mail.ru)

^{2*} PhD in Geography, associate professor, leading researcher («Institute of Geography and Water Security» JSC, Almaty, Kazakhstan; azhar.yezhan@gmail.com)

³ Researcher («Institute of Geography and Water Security» JSC, Almaty, Kazakhstan; akmaral1980@mail.ru)

⁴ PhD Student, Junior Researcher (Al-Farabi Kazakh National University, JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; aldabergen_u@mail.ru)

LANDSLIDE RISK ASSESSMENT AND DEVELOPMENT OF PROTECTIVE MEASURES BASED ON FIELD RESEARCH IN TEKELI

Abstract. The mountainous regions in southeastern Kazakhstan are characterized by high landslide susceptibility. High populated areas in the low and foothill zones, where natural and anthropogenic conditions increase the occurrence of landslides, are particularly vulnerable to damage with human loss. The use of a combination of the traditional field-oriented method and the application of remote sensing and GIS to assist planning and management processes is considered as the most representative way to study local landslides. This paper presents the results of a ground-based field survey conducted in Tekeli region to assess landslide risks using GIS-based mapping and remote sensing data and the development of short-term and long-term recommendations for the protection of people and property. The investigation of Tekeli town included geological, geomorphological, and meteorological data, satellite imagery, open-access global data, and a retrospective analysis of previous landslide events confirmed by field surveys. Orthophoto imagery was obtained using unmanned aerial vehicles (UAVs), landslide slope profiles were constructed, local residents and officials were interviewed. Soil samples for granulometric analysis of loess-like loams in high-risk areas were collected. Cracks were identified within the detachment zones. Conducted interviews with local residents and municipal authorities. The landslide risk assessment methodology is based on internationally recognized approaches to hazardous process analysis accepted by the scientific community. The assessment results and protection recommendations for each landslide-prone site are summarized in the final table.

Keywords: landslides, landslide risk assessment, emergency, field survey, protective measures, GIS, Tekeli.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-3-117-126.37>

МРНТИ 39.03.15 39.00.00

УДК 910.3

Н. В. Попов¹, С. У. Ранова², А. Н. Камалбекова^{*3}

¹ К.г.н., главный научный сотрудник

(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; popovn@mail.ru)

² К.г.н., руководитель лаборатории

(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; sandu2004@mail.ru)

^{3*} PhD докторант, младший научный сотрудник (КазНУ им. аль-Фараби,

АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; aidana.kamalbekova@gmail.com)

ВЫЯВЛЕНИЕ УРОВНЯ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ И ЗНАНИЯ ОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ, СВЯЗАННЫХ С ПРОРЫВАМИ ЛЕДНИКОВЫХ ОЗЕР В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА (НА ПРИМЕРЕ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА ТАЛГАРА)

Аннотация. Во второй половине XX века на фоне деградации современного оледенения в Казахстане наблюдалась активизация гляциальных селевых процессов, что обусловило рост научного интереса к этому природному явлению. Результаты многочисленных обследований зон селевых катастроф свидетельствуют о том, что основной причиной большинства зарегистрированных чрезвычайных ситуаций стали прорывы ледниковых озер. В рамках проекта ЮНЕСКО по «Снижению уязвимости населения в Центрально-Азиатском регионе от прорыва ледниковых озер в условиях изменения климата» Институтом географии и водной безопасности с помощью анкетирования был проведен опрос населения г. Талгара с целью выявления уровня подготовленности и знания опасных процессов, связанных с прорывами ледниковых озер. В ходе опроса весь контингент интервьюируемых был подразделен на фокус-группы согласно социальному статусу их членов. Анкетирование – это самый распространенный в социологической науке метод получения информации. При анкетировании опрашиваемый респондент сам заполняет анкету в присутствии специалиста (анкетера) или без него. Анкета представляет собой размноженный на компьютере или типографским способом документ, содержащий в среднем до 30 вопросов, адресованных выбранному множеству респондентов. Они рассматриваются в качестве объекта исследования.

Ключевые слова: ледниковые озера, гляциальные сели, методы, опрос, наблюдение, интервью, наука.

Введение. Социологические опросы широко используются при выявлении потребительского интереса, в маркетинге, политических целях. Однако реализуемые подходы зачастую неприменимы для проекта ЮНЕСКО. В силу этого для проведения опроса населения г. Талгара с целью его ознакомления с селеопасной ситуацией в бассейне р. Талгар, выявления уровня подготовленности и знания опасных процессов, связанных с прорывами ледниковых озер в условиях изменения климата, использовался метод опроса с анкетированием, что может способствовать выработке рекомендаций по улучшению превентивных мер и формированию устойчивого поведения в условиях нарастающих климатических угроз.

В статье представлено описание методологических подходов, использованных в рамках исследования, а также обоснована необходимость проведения социологического опроса среди различных категорий населения г. Талгара. Выбор именно этой территории обусловлен её географическим положением в зоне потенциального воздействия селевых потоков, обусловленных прорывами ледниковых озёр. Анализ полученных данных позволяет на следующем этапе рассмотреть уровень информированности, отношение населения к природным угрозам и готовность к действию в условиях чрезвычайных ситуаций. Дополнительно при формировании концептуальной базы исследования были учтены современные международные и методологические подходы к изучению уязвимости и адаптации в условиях изменения климата. Работы в области проектирования исследований, качественных и смешанных методов [1, 2] обеспечили основу для выбора и комбинирования инструментов опроса, что позволило адаптировать их к специфике локального контекста. Концепция уязвимости к природным угрозам, предложенная в исследованиях по

географии опасностей [3], была интегрирована в аналитическую модель, позволяющую учитывать социально-экономические и пространственные факторы. Кроме того, при разработке рекомендаций учитывались положения доклада МГЭИК по воздействию, адаптации и уязвимости [4], а также рамочная программа Сендай по снижению риска бедствий [5], определяющая международные приоритеты действий в данной области.

Материалы и методы исследования. Метод опроса является одним из наиболее распространённых инструментов сбора эмпирических данных в социальных и поведенческих науках. Он применяется для выявления мнений, установок и предпочтений респондентов по исследуемой проблематике. Метод включает следующие основные формы: интервью, фокус-группы, онлайн-опрос, наблюдательное исследование, панельный опрос.

В настоящей работе использовалась модифицированная методика, основанная на сочетании прямых интервью и работы фокус-групп, дифференцированных по социально-профессиональному статусу участников: учащиеся, служащие, работники государственных органов, занятые в производственном секторе, работники сферы обслуживания, пенсионеры, прочие категории.

1. Интервью. Оно представляет собой структурированную или полуструктурированную беседу исследователя с респондентом в формате личного контакта.

Преимущества:

возможность непосредственного наблюдения за невербальными реакциями респондента, что повышает информативность получаемых данных;

гибкость в формулировке уточняющих вопросов, что позволяет получать развернутые и точные ответы.

Недостатки:

высокая трудоёмкость и значительные временные затраты;

необходимость согласования времени и места проведения, обеспечения конфиденциальности;

невозможность обеспечения полной анонимности;

высокая вероятность отказов, особенно в среде с низким уровнем межличностного доверия;

влияние субъективных факторов (предвзятость интервьюера, социально одобряемые ответы респондента).

2. Фокус-группы. Метод фокус-групп предполагает обсуждение исследуемой темы в малой группе участников под руководством модератора, который направляет дискуссию, не ограничивая её строгим набором вопросов.

Преимущества:

свободный формат коммуникации, способствующий выявлению дополнительных аспектов темы;

возможность сопоставления и аргументирования различных точек зрения;

стимулирование генерации новых идей и творческого развития обсуждаемых положений.

В отличие от интервью модератор воспринимается участниками как равноправный член группы, что способствует более открытой и эмоционально насыщенной дискуссии.

3. Онлайн-опрос. Он является эффективным инструментом массового сбора информации благодаря доступности, низкой себестоимости и возможности охвата значительных выборок [9, 10, 11].

Преимущества:

удобство для респондента (возможность прохождения опроса в любое время и в любом месте);

простота проведения и обработки данных;

возможность анонимного участия, снижающая искажения ответов;

быстрое формирование репрезентативной выборки.

Недостатки:

отсутствие личного контакта и, как следствие, ограниченная гибкость инструмента;

невозможность уточнения или расширения ответов;

риск ошибок из-за невнимательности или непонимания вопросов;

ограниченность в получении социально-демографических данных при анонимном формате.

Типология опросов. В зависимости от структуры вопросов различают:

1. Структурированные опросы – вопросы и варианты ответов определены заранее, что обеспечивает стандартизацию данных.

2. Неструктурированные опросы – открытые вопросы, позволяющие респондентам формулировать развернутые ответы, обеспечивая глубину анализа.

3. Миксированные опросы – комбинация закрытых и открытых вопросов, позволяющая объединить точность количественных данных и содержательность качественных.

Ключевые аспекты проектирования опроса. Для повышения достоверности и валидности результатов учитывались следующие методические требования:

- чёткое определение целей исследования и формулирование вопросов в соответствии с ними;
- отбор репрезентативной выборки, отражающей целевую аудиторию;
- исключение двусмысленных формулировок;
- логическая последовательность вопросов;
- выбор оптимального метода проведения (интервью, фокус-группа, онлайн-анкета).

В качестве технологической платформы для реализации онлайн-опросов использовался сервис Тестограф [12, 13], обеспечивающий сбор, хранение и первичную обработку данных.

4. *Обсервационные исследования.* Они предполагают систематическое фиксирование поведения, событий или процессов без активного вмешательства исследователя. В социальной науке этот метод применяется для изучения естественного поведения людей в повседневных условиях или в специально созданных ситуациях.

Преимущества:

- отсутствие влияния исследователя на объект наблюдения;
- возможность фиксации спонтанных реакций и поведения;
- полезность при исследовании явлений, труднодоступных для опроса.

Недостатки:

- сложность в обеспечении полной объективности наблюдателя;
- ограниченность в интерпретации мотивации участников без дополнительного опроса;
- высокая трудоёмкость при длительных наблюдениях.

5. *Панельные опросы.* Панельный опрос – это метод, при котором одни и те же респонденты опрашиваются неоднократно через определённые промежутки времени. Такой подход позволяет отслеживать динамику изменений мнений, установок и поведения.

Преимущества:

- возможность анализа изменений на индивидуальном и групповом уровнях;
- высокая точность при изучении тенденций.

Недостатки:

- риск снижения мотивации участников в процессе многократных опросов;
- вероятность систематических выпадений респондентов из панели;
- высокая стоимость и сложность организации длительных исследований.

Таким образом, в исследовании был применён комбинированный метод опроса, включающий анкетирование в формате структурированных интервью и проведение фокус-групп, сформированных по социально-профессиональному статусу респондентов. Этот подход обеспечил получение как количественных, так и качественных данных, что позволило комплексно оценить уровень информированности и готовности населения к возможным чрезвычайным ситуациям, связанным с прорывами ледниковых озёр. Дополнение опросных методов полевыми обследованиями с элементами обсервационного исследования позволило сопоставить субъективное восприятие риска с фактическим расположением уязвимых объектов, повысив точность и практическую значимость результатов.

Анализ статистических и картографических данных. Дополнительно использовалась географическая информация о размещении объектов в селеопасной зоне долины р. Талгар. Для визуализации результатов применялись схемы и диаграммы, разработанные на основе данных опросов.

Полевые обследования. В рамках полевых выходов были проведены фотофиксация, GPS-картирование и описание социально значимых и инженерных объектов, расположенных выше противоселевой плотины. Это позволило оценить потенциальную степень воздействия при возможном прорыве ледникового озера.

Исходя из рекомендованного материала при опросе населения г. Талгара в рамках проекта ЮНЕСКО учеными Института географии и водной безопасности использованы методы интервью,

выполненного нами при помощи анкетирования и фокус-группы, сформированной согласно социальному статусу интервьюируемых.

Для получения объективной картины потенциальной угрозы и уточнения локализации уязвимых объектов была организована серия полевых обследований. Они стали важным дополнением к результатам анкетирования и интервью, позволив провести сопоставление между восприятием риска населением и фактическим размещением объектов, попадающих в зону возможного воздействия селевых потоков (рисунок 1).

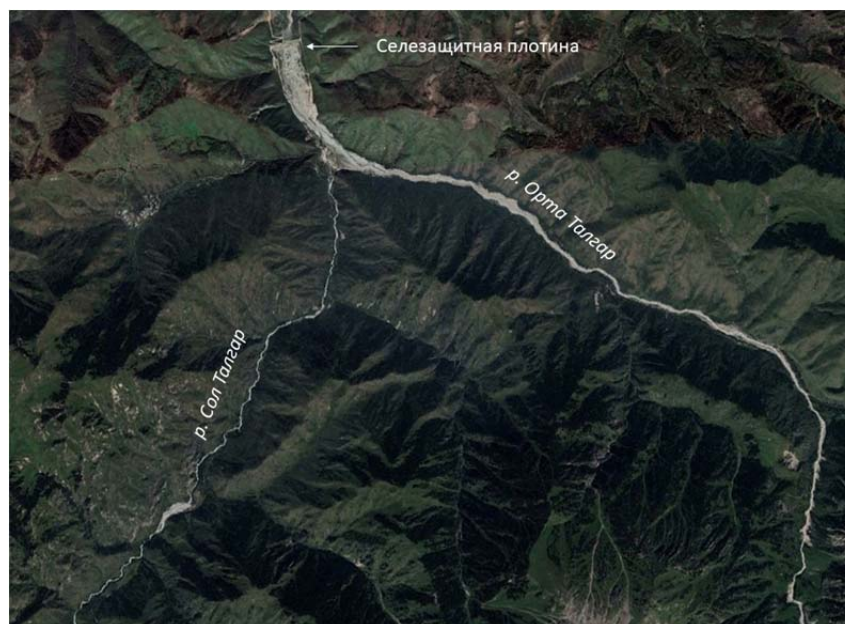


Рисунок 1 – Схема низовьев долины р. Талгар

Figure 1 – Scheme of the lower reaches of the Talgar River Valley

Наземное обследование позволило выявить ряд объектов различного назначения, из которых наиболее значимые можно подразделить на социально-экономические (зоны отдыха, лагеря, санатории, жилые объекты), гидротехнические (водозаборы, водопроводы) и коммуникационные (мосты и автодороги).

Из 16 наиболее крупных объектов социально-экономического назначения выделяются санаторий «Спутник», расположенный на левом борту долины р. Он Талгар 1 (координаты Н 1414 м; X 77°15'23.26"; Y 43°14'15.9"), Учебно-познавательный центр 9 (Н 1341 м; X 77°13'06.49"; Y 43°14'09.58"), РГУ «Алматинский государственный природный заповедник» 13 (Н 1245 м; X 77°12'58.97"; Y 43°14'57.06"), КПП 17 (Н 1228 м; X 77°13'00.93"; Y 43°15'06.56").

Из гидротехнических сооружений выделяется РГП на ПХВ «Нуринский групповой водопровод» (Н 1245 м; X 77°12'58.97"; Y 43°14'57.06").

На исследованной территории выявлено 6 мостов, номера даны по схеме (3, 5, 6, 7, 8, 11), расположенных в долине реки Сол Талгар.

В селехранилище противоселевой плотины располагаются эксплуатационные дороги, мосты, а также водозаборный узел. Плотина оборудована водосбросом, позволяющим безаварийно сбрасывать паводковые воды с фиксированным расходом (прядка 35 м³/с).

В районе слияния Орта и Сол Талгар на левом склоне долины находятся частные жилые дома с хозяйственными постройками: 2, 4, 10, 14-16, 18-20 (рисунок 2).

На следующем этапе исследования были систематизированы и проанализированы данные, полученные в результате опроса 297 респондентов, разделённых на семь фокус-групп: учащиеся (140), служащие (18), работники госорганов (29), пенсионеры (11), занятые на производстве (22), занятые в сфере обслуживания (49) и представители других категорий (28). Каждая группа характеризовалась собственным уровнем восприятия рисков и степенью вовлечённости в темы, связанные с прорывами ледниковых озёр и последствиями глобального потепления.

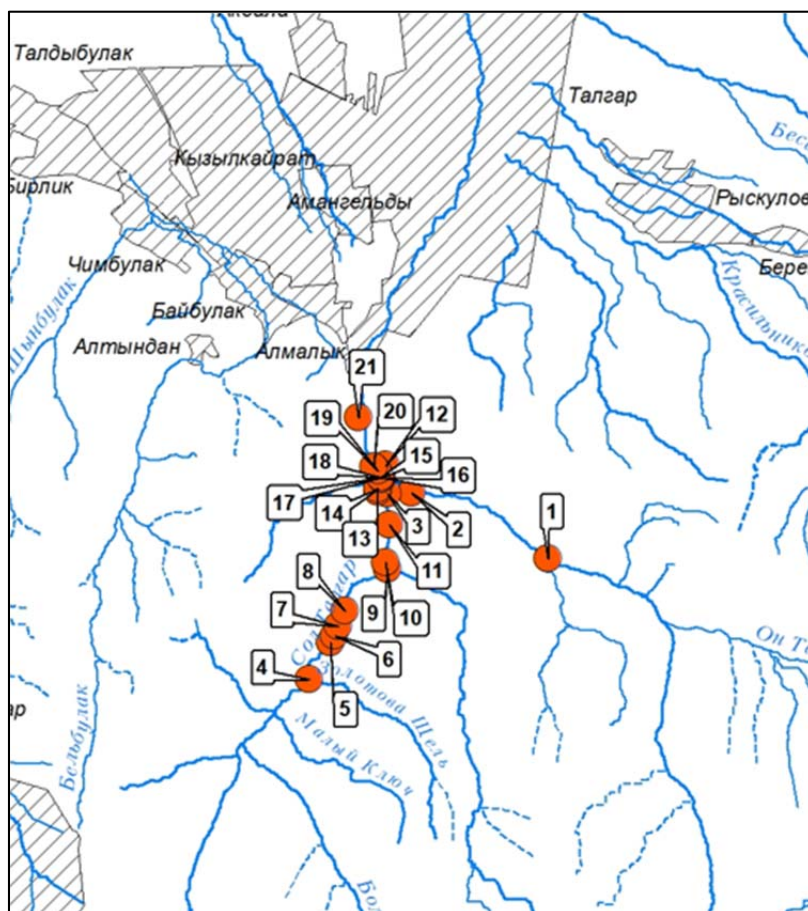


Рисунок 2 – Схема расположения объектов в селеопасной зоне р. Талгар

Figure 2 – Layout of objects in the debris-flow hazard zone of the Talgar River

Обсуждение. В ходе опроса весь контингент интервьюируемых был подразделен на фокус согласно социальному статусу членов, фокус-групп: учащийся/учащаяся, служащий/служащая, работник/работница госорганов, занятый/занятая на производстве, занятый/занятая в сфере обслуживания, пенсионер/пенсионерка, другое.

Анализ данных анкет по фокус-группам показал следующие результаты (рисунки 3, 4, 5).

№№	Вопросы	Да	Нет
1	Известно ли Вам, что такое селевой поток?	✓	
2	Знаете ли Вы чем отличаются сели от наводнений?		✓
3	Знаете ли Вы, что в бассейне реки Талгар существует риск прорыва ледниковых озёр?	✓	
4	Проинформированы ли Вы о том какие участки в долине реки подвержены воздействию возможных селевых потоков?	✓	
5	Знаете ли Вы какие объекты, по Вашему мнению, попадают в селеопасную зону выше противоселевой плотины на реке Талгар, в том числе:	✓	
6	Зоны отдыха		✓
7	Гидротехнические и водозаборные сооружения		✓
8	Мосты	✓	
9	Автомобильные дороги		✓
10	Линии электропередач и связи	✓	

11	Населённые пункты	✓	
12	Вам известны организации, в обязанности которых входит оповещение о селевой опасности?	✓	
13	Известны ли Вам причины, по которым в текущем году временно перекрывался въезд в долину реки Талгар выше противоселевой плотины?		✓
14	Знаете ли Вы зачем производятся профилактические (превентивные) работы по снижению уровня заполнения ледниковых озёр?		✓
15	Известно ли Вам о глобальном изменении климата и какие угрозы возникают в этой связи:	✓	
16	Изменение погодных условий		✓
17	Сокращение ледников		✓
18	Появление и прорывы ледниковых озёр	✓	
19	Уменьшение водного стока рек		✓
20	Увеличение числа различных природных бедствий		✓
21	Получаете ли Вы информацию о рисках прорыва ледниковых озёр? Как Вы предпочитаете получать такую информацию:	✓	
22	От государственных органов, уполномоченных заниматься оповещением населения	✓	
23	От специализированных организаций (Казселезащита, Казгидромет)	✓	
24	Через прямые встречи с представителями уполномоченных государственных органов и специализированных организаций	✓	
25	Через местные новости (радио, телевидение)	✓	
26	Через социальные сети	✓	
27	Считаете ли Вы, что Ваш город находится под полной защитой противоселевой плотины, построенной на р. Талгар?		✓
28	Полагаете ли Вы необходимым создания в Вашем районе автоматизированной системы раннего оповещения о селевых потоках, включая использование сирен?		✓
29	Какие мероприятия по повышению осведомленности о селевых рисках вы считаете наиболее эффективными?	Да	Нет
30	Лекции и семинары для населения	✓	
31	Тренировки и учения на местах	✓	
32	Публикации в социальных сетях и СМИ	✓	
33	Распространение информационных буклетов и памяток		✓
34	Создание горячей линии для консультаций	✓	

Социальный статус интервьюируемых:

Учащийся/учащаяся	✓
Служащий/служащая	
Работник/работница госорганов	
Занятый/занятая на производстве	
Занятый/занятая в сфере обслуживания	
Пенсионер/пенсионерка	
Другое	

Рисунок 3 – Анкета опроса населения и представителей общественности г. Талгара по проекту ЮНЕСКО «Снижение уязвимости населения в Центрально-Азиатском регионе от прорыва ледниковых озёр в условиях изменения климата»

Figure 3 – Questionnaire for the survey of the population and social -representatives of Talgar under the UNESCO project «Reducing the vulnerability of the population in the Central Asian region from glacial lake outbursts in the context of climate change»

В целом для фокус-групп:

1. Учащиеся.
2. Служащие.
3. Работники госорганов.
4. Пенсионеры.
5. Занятые на производстве.
6. Занятые в сфере обслуживания.
7. Другие.

Для простоты представления информации вопросы анкет сгруппированы по направлениям:

- 1) селевые потоки, ледниковые озёра;
- 2) объекты в селеопасной зоне;
- 3) организации, занимающиеся оповещением;
- 4) глобальное потепление;
- 5) информирование о селях;
- 6) автоматизированная система оповещения;
- 7 мероприятия по информированию населения.

■ 1 ■ 2 ■ 3 ■ 4 ■ 5 ■ 6 ■ 7

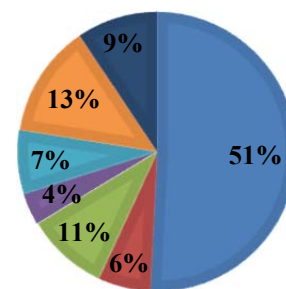
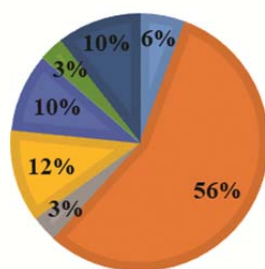


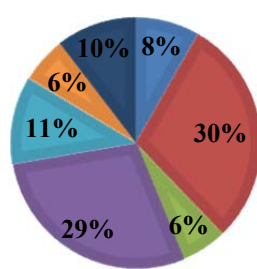
Рисунок 4 –
Диаграмма для всех фокус-групп
Figure 4 –
Diagram for all focus groups

■ 1 ■ 2 ■ 3 ■ 4 ■ 5 ■ 6 ■ 7



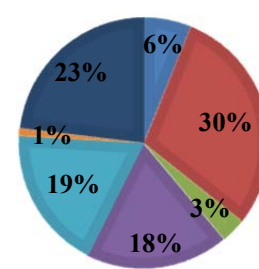
a

■ 1 ■ 2 ■ 3 ■ 4 ■ 5 ■ 6 ■ 7



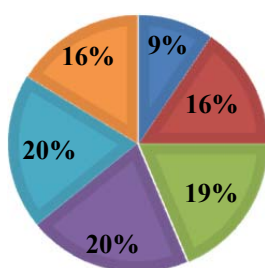
б

■ 1 ■ 2 ■ 3 ■ 4 ■ 5 ■ 6 ■ 7



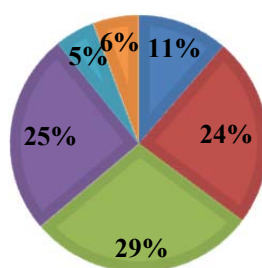
в

■ 1 ■ 2 ■ 3 ■ 4 ■ 5 ■ 6 ■ 7



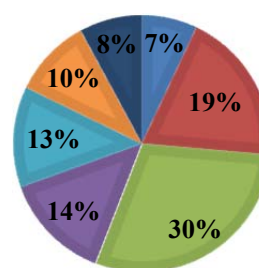
г

■ 1 ■ 2 ■ 3 ■ 4 ■ 5 ■ 6 ■ 7



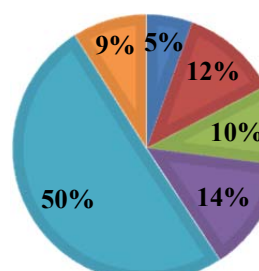
д

■ 1 ■ 2 ■ 3 ■ 4 ■ 5 ■ 6 ■ 7



ж

■ 1 ■ 2 ■ 3 ■ 4 ■ 5 ■ 6 ■ 7



з

Рисунок 5 – Диаграммы по анкетам фокус-групп:
a – работники госорганов; *б* – служащие; *в* – учащиеся; *г* – пенсионеры;
д – работники сферы обслуживания; *ж* – другие; *з* – занятые на производстве

Figure 5 – Diagrams based on focus group questionnaires:
a – government agency employees; *b* – office workers; *c* – students; *d* – retirees;
e – service sector; *f* – other sector; *g* – manufacturing sector employees

Результаты. Таким образом, население в целом осознаёт угрозу, связанную с глобальным потеплением и деградацией ледников, однако далеко не всегда связывает эти процессы с конкретными локальными рисками, такими, как прорывы ледниковых озёр. Наибольшая информированность выявлена среди фокус-групп государственных служащих, учащихся и занятых в промышленности и сфере обслуживания, тогда как группы «прочие» и «пенсионеры» продемонстрировали сравнительно низкий уровень осведомлённости, что подчёркивает необходимость целевых информационных кампаний и просветительских мероприятий. Важным направлением развития является совершенствование и внедрение систем автоматизированного оповещения, обеспечивающих доступность информации для всех категорий населения. Кроме того, результаты опроса подтвердили целесообразность интеграции учебных программ и профилактических мероприятий в образовательные учреждения и на предприятия, что позволит формировать устойчивое поведение и готовность к действиям в условиях чрезвычайных ситуаций. Для повышения эффективности превентивных мер требуется укрепление межведомственного взаимодействия между органами власти, гидрометеорологическими службами, спасательными подразделениями и населением, что обеспечит оперативный обмен информацией и своевременное предупреждение последствий возможных прорывов ледниковых озёр. Полученные данные могут служить основой для разработки региональных планов снижения риска чрезвычайных ситуаций и совершенствования системы информирования и обучения населения.

Заключение. В рамках проекта ЮНЕСКО «Снижение уязвимости населения в Центрально-Азиатском регионе от прорыва ледниковых озёр в условиях изменения климата» Институтом географии и водной безопасности был проведён комплексный социологический опрос населения г. Талгара, включавший анкетирование, устные комментарии специалистов, а также обследование социальных и инфраструктурных объектов, расположенных в пределах селеопасной зоны выше противоселевой плотины. Исследование охватило различные группы респондентов в государственных учреждениях, образовательных организациях и на предприятиях. Анализ полученных данных показал существенные различия в уровне знаний о селевой опасности, при этом наилучшие результаты продемонстрировали государственные служащие, учащиеся и представители производственного и сервисного секторов. Несмотря на достаточно высокую осведомлённость о проблеме глобального потепления и его последствиях, значительная часть населения остаётся недостаточно информированной о деятельности служб, ответственных за предупреждение и оповещение о селевых явлениях. Полученные результаты подчёркивают необходимость комплексного подхода к информированию и подготовке населения, включающего усиление просветительских программ, развитие систем автоматизированного оповещения и укрепление межведомственного взаимодействия для эффективного снижения риска чрезвычайных ситуаций, связанных с прорывами ледниковых озёр.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по теме «Научно-прикладное обоснование селе-, оползне- и лавинобезопасности в горных районах Иле и Жетысу Алатау Республики Казахстан». Программно-целевое финансирование № BR21881982.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Creswell J. W. Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. – 5th ed. – SAGE Publications, 2018. – 304 p.
- [2] Patton M. Q. Qualitative Research and Evaluation Methods. – 4th ed. – Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2015. – 832 p.
- [3] Cutter S. L. Vulnerability to environmental hazards // Progress in Human Geography, 2003. Vol. 27(2). P. 182-196. DOI: 10.1191/0309132503ph082oa
- [4] IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. – Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge University Press, 2022.
- [5] UNDRR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. – Geneva, 2015. – URL: <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>
- [6] Комаров О. Е. Анкетирование как метод получения информации в прикладных социологических исследованиях. – Алматы: Региональная академия менеджмента, 2025.
- [7] Рабочая программа дисциплины «Методы сбора социальной информации». – М.: Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Социологический факультет, 2019.

- [8] Садиебеков Е. О., Рахимбеков К. Е. Методы исследования в социальных науках (опрос, наблюдение и интервью) // Вестник КазНУ. Серия философии, культурологии и политологии. – 2018. – Т. 60, № 2. – С. 237-246. – URL: <https://bulletin-philopolit.kaznu.kz/index.php/1-pol/article/view/536>
- [9] Бауман З. Социология. – М.: ИД «Флинта», 2016. – 704 с.
- [10] Назаров И. В., Новикова О. Н. Методология научного исследования: метод. указания (для изучения теоретического курса) для студентов всех специальностей и направлений. – Екатеринбург: УГЛУТУ, 2013. – 43 с.
- [11] Яковлева Н.Ф. Социологическое исследование [Электронный ресурс]: учеб. пособие. – 2-е изд., стер. – М.: ФЛИНТА, 2014. – 250 с.
- [12] Субачев Ю. В. Научная публикация. Метод опроса: определение, типы, преимущества и ограничения. – 2023. – 8 с.
- [13] info.testograf.ru – Онлайн-платформа для проведения социологических опросов и тестирований. – URL: <https://info.testograf.ru/>

REFERENCES

- [1] Creswell J. W. Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. 5th ed. SAGE Publications, 2018. 304 p.
- [2] Patton M. Q. Qualitative Research and Evaluation Methods. 4th ed. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2015. 832 p.
- [3] Cutter S. L. Vulnerability to environmental hazards // Progress in Human Geography. 2003. Vol. 27(2). P. 182-196. DOI: 10.1191/0309132503ph082oa
- [4] IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2022.
- [5] UNDRR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. Geneva, 2015. URL: <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>
- [6] Komarov O. E. Questionnaire Survey as a Method of Obtaining Information in Applied Sociological Research. Almaty: Regional Academy of Management, 2025 (in Russ.).
- [7] Syllabus for the Discipline “Methods of Collecting Social Information”. Moscow: Lomonosov Moscow State University, Faculty of Sociology, 2019 (in Russ.).
- [8] Sadibekov E. O., Rakhimbekov K. E. Research Methods in the Social Sciences (Survey, Observation, and Interview) // Bulletin of Al-Farabi Kazakh National University. Series of Philosophy, Cultural Studies and Political Science. 2018. Vol. 60, No. 2. P. 237-246. – URL: <https://bulletin-philopolit.kaznu.kz/index.php/1-pol/article/view/536> (in Russ.).
- [9] Bauman Z. Sociology. Moscow: Flint Publishing House, 2016. 704 p. (in Russ.).
- [10] Nazarov I. V., Novikova O. N. Methodology of Scientific Research: Methodological Guidelines (for the Study of the Theoretical Course) for Students of All Specialties and Fields. Yekaterinburg: USFEU, 2013. 43 p. (in Russ.).
- [11] Yakovleva N. F. Sociological Research [Electronic Resource]: Textbook. 2nd ed., stereotype. Moscow: FLINTA, 2014. 250 p. (in Russ.).
- [12] Subachev Yu. V. Scientific Publication. The Survey Method: Definition, Types, Advantages, and Limitations. 2023. 8 p. (in Russ.).
- [13] info.testograf.ru Online Platform for Conducting Sociological Surveys and Testing. URL: <https://info.testograf.ru/> (in Russ.).

Н. В. Попов¹, С. У. Ранова², А. Н. Камалбекова^{*3}

¹ Г.ғ.к., бас ғылыми қызметкер

(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; popovn@mail.ru)

² Г.ғ.к., табиғи қауіп-қатерлер зертханасының жетекшісі

(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; sandu2004@mail.ru)

^{3*} PhD докторант, кіші ғылыми қызметкер (эл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; aidana.kamalbekova@gmail.com)

КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРУІ ЖАҒДАЙЫНДА МҰЗДЫҚ КӨЛДЕРДІҢ ЖАРЫЛУЫНА БАЙЛАНЫСТЫ ҚАУІПТІ ҮДЕРІСТЕР ТУРАЛЫ ХАЛЫҚТЫҢ ХАБАРДАРЛЫҚ ЖӘНЕ ДАЙЫНДЫҚ ДЕҢГЕЙІН АНЫҚТАУ (ТАЛҒАР ҚАЛАСЫ МЫСАЛЫНДА)

Аннотация. XX ғасырдың екінші жартысында Қазақстандағы қазіргі мұздықтардың деградациясы аясында гляциалдық селдік үдерістердің белсенділігі артып, бұл табиғи құбылысқа ғылыми қызығушылықтың өсуіне себеп болды. Сел апаттарының ізінше жүргізілген көптеген зерттеулер олардың басым көпшілігінің негізгі себебі ретінде мұздық көлдердің жарылуын анықтады. ЮНЕСКО-ның «Климаттың өзгеруі жағдайында Орталық Азия өңіріндегі халықтың мұздық көлдердің жарылуынан болатын қатерге осалдығын азайту» жобасы аясында География және су қауіпсіздігі институты Талғар қаласының тұрғындары арасында анкеталық сауалнама жүргізіп, мұздық көлдердің жарылуымен байланысты қауіпті үдерістер туралы білім

мен дайындық деңгейін анықтауды мақсат етті. Сауалнама барысында респонденттер әлеуметтік мәртебесіне қарай фокус-топтарға бөлінді. Анкеталау – әлеуметтану ғылымында ақпарат жинаудың ең кең таралған әдістерінің бірі. Бұл әдісте респондент анкетаны маманның (анкеталаушының) қатысуымен немесе онсыз өз бетінше толтырады. Анкета – бұл компьютерде немесе баспаханада әзірленген, орта есеппен 30 сұрақтан тұратын және белгілі бір респонденттер тобына бағытталған құжат. Бұл респонденттер зерттеудің нысаны ретінде қарастырылады.

Түйін сөздер: мұздық көлдер, гляциалдық селдер, әдістер, сауалнама, бақылау, сұхбат, ғылым.

N. V. Popov¹, S. U. Ranova², A. N. Kamalbekova^{*3}

¹ Candidate of geographical sciences, Chief Researcher

(JSC "Institute of Geography and Water Security", Almaty, Kazakhstan; popovn@mail.ru)

² Candidate of geographical sciences, Head of the Laboratory of Natural Hazards

(JSC "Institute of Geography and Water Security", Almaty, Kazakhstan; sandu2004@mail.ru)

^{3*} PhD student, junior researcher (Al-Farabi Kazakh national university,

JSC "Institute of Geography and Water Security", Almaty, Kazakhstan; aidana.kamalbekova@gmail.com)

ASSESSING AWARENESS AND PREPAREDNESS FOR HAZARDOUS PROCESSES ASSOCIATED WITH GLACIAL LAKE OUTBURST FLOODS UNDER CLIMATE CHANGE (A CASE STUDY OF THE POPULATION OF TALGAR TOWN)

Abstract. In the second half of the 20th century, amid the degradation of modern glaciation in Kazakhstan, the activity of glacial mudflows increased, attracting growing scientific attention to this natural phenomenon. Numerous investigations of disaster zones have shown that most recorded emergencies were triggered by glacial lake outburst floods (GLOFs). As part of the UNESCO project “Reducing the Vulnerability of Populations in Central Asia to Glacial Lake Outburst Floods under Climate Change,” the Institute of Geography and Water Security conducted a survey of residents in the town of Talgar to assess their awareness and preparedness regarding GLOF-related hazards. Respondents were divided into focus groups according to the social status. The survey method (one of the most widely used tools in sociological research) was applied. In this approach, respondents complete a questionnaire independently, either in the presence of a specialist (interviewer) or on their own. The questionnaire, typically containing up to 30 questions, was distributed to a selected sample of respondents, who were treated as the subjects of the study.

Keywords: glacial lakes, glacial debris flows, methods, survey, observation, interview, science.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-3-127-138.38>

FTAMP:39.03.15 39.00.00

ӨОЖ 910.3

В. В. Жданов^{*1}, Н. У. Кужагельдина², Т. С. Гуляева³¹ Т.ғ.к., аға ғылыми қызметкер(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; zhdanovvitaliy@yandex.kz)² PhD докторант, климаттық зерттеулер басқармасының басшысы(Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, РМК «Қазгидромет», Алматы, Қазақстан; nuraily@mail.ru)³ Т.ғ.к., жетекші ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; gulyaeva-tamara@inbox.ru)

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ҚАР КӨШКІНІ ҚАУПІН МОНИТОРИНГТЕУ ЖӘНЕ БОЛЖАУ ӘДІСТЕРІ (АРТЫҚШЫЛЫҚТАРЫ, КЕМШІЛІКТЕРІ ЖӘНЕ ДАМУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ)

Аннотация. Шолу мақала қар жамылғысын бақылаудың және қар көшкінін бол-жаудың қолданыстағы және перспективалы әдістеріне арналған. Мақалада осы саладағы отандық және шетелдік басылымдарға талдау жасалды. Қолданыстағы болжау технологияларының артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды. Ұлттық гидрометеорологиялық қызметтің қар көшкіні бөлімінің практикалық жұмысында XX ғасырдың 70-80 жылдарында жасалған мониторинг пен болжаудың қолмен жасалатын әдістері қолданылады. Олардың артықшылығы – қарапайым, арзан және сенімді. Сондықтан олар әлі күнге дейін бақылау станцияларының желілерінде қолданылады. Тұтынушылар үшін қар көшкінінің түсуі туралы нақты мағлұматтар емес, үлкен аумақ бойынша жалпы анықтамалар бар ұсынымдар жасалады. Қазіргі жағдайда құрылғылардың дәлдігі мен ескертулердің сапасы көптеген ақпарат тұтынушыларына сәйкес келмейді. Біз қар көшкінін бақылау және болжау саласындағы әлемдік тәжірибе мен заманауи әзірлемелерді зерттедік. Перспективалық әдістерге талдау жасалды және оларды енгізу бойынша ұсыныстар берілді. Қар көшкініне қарсы қызметті жетілдірудің бірнеше бағыты бар: автоматтандырылған мониторинг жүйелеріне көшу, болжаудың ықтималдық нысандарын енгізу, қар көшкінінің қауіптілігін бағалау үшін ауа-райын болжаудың сандық әдістерін және жасанды интеллектті қолдану. Бірақ перспективалы ғылыми зерттеулерді енгізу үшін жаңа нормалар және оқу құжаттарын әзірлеу қажет. Модельдеу мен қашықтықтан зондтаудың көптеген әдістерінің бір кемшілігі – далалық бақылау деректерімен калибрленбеген. Оларды іс жүзінде енгізу үшін алдымен қателер мен сәйкестік стандарттарын анықтау бойынша зерттеулер жүргізу қажет.

Түйін сөздер: көшкін қаупі, қар жамылғысы, бақылау, болжау.

Кіріспе. Қар көшкіні экономикаға және халыққа үлкен зиян келтіреді. Олардың ықпалына Қазақстан Республикасының бүкіл аумағының 10%-дан астамы ұшыраған. Олар Шығыс Қазақстан, Алматы, Жетісу, Жамбыл, Түркістан облыстарының таулы аймақтарында кең таралған. Қар көшкіні әсіресе туризм мен тау шаңғысы өнеркәсібіне, автомобиль және темір жолдарға қатты әсер етеді [1, 2]. Қар көшкінінен қорғаудың бірнеше әдістері бар. Бұл инженерлік қорғаныс құрылымдары, қар көшкінін алдын алу және көшкін қаупін болжау. Инженерлік қорғаныстың құны жоғары болғандықтан кең таралмаған. Алдын ала қар көшкіндерін түсіру эпизодтық және таңдамалы түрде жүргізіледі. Қар көшкіні қаупінің болжамдары мен ескертулері үнемі және барлық жерде қолданылады [3, 4].

Қауіпті қар жағдайын бақылау және болжау бойынша міндеттер «Қазгидромет» РМК-ға жүктелген. «Азаматтық қорғаныс туралы» заңға сәйкес, Төтенше жағдайлар министрлігі Гидрометеорологиялық қызметтің «Дауылды ескерту» негізінде ғана төтенше жағдай жариялай алады [5]. Бұл елдегі қар көшкіні қаупін бақылауға және болжауға уәкілетті жалғыз ұйым.

Қазақстанның қар көшкіні қызметінің туған жылы 1966 жыл. Сол жылы әдеттен тыс қарлы қыс пен қар көшкіні апатынан кейін Іле Алатауындағы Үлкен және Кіші Алматы өзендерінің бассейндерінде алғашқы қар көшкіні бекеттері ашылды. Одан кейін қар мен қар көшкінін өлшейтін кешенді партия ұйымдастырылып, еліміздің басқа өңірлерінде де қар көшкінін бақылау бекеттері ашылды. Онда қар көшкінін жүйелі түрде бақылау және көшкін қаупінің болжамдарын шығару

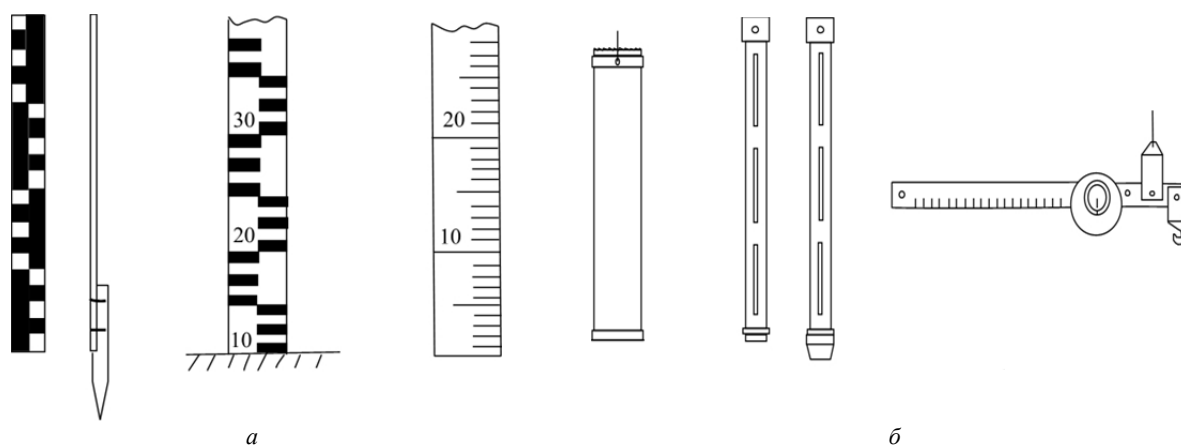
қолға алынды [6, 7]. Сонымен қатар, қар көшкіні мен қар жамылғысына қатысты ғылыми зерттеулер жүргізілді. Қар көшкінін болжау және алдын алудың ғылыми әдістері жасалған [8-12].

Зерттеу материалдары мен әдістері. Қазақстанда және әлемде қар көшкіні қауіптілігін мониторингтеу және болжау әдістеріне шолу жасау, оларды сыни тұрғыдан талдау, артықшылықтары мен кемшіліктерін айқындау. Елдегі қар көшкініне қарсы қызметті жаңғырту бойынша ұсыныстар беру. Бұл шолу гидрометеорология, гляциология, география бағыттарында білім алатын студенттерді даярлауда пайдалы болуы мүмкін. Мұндай мамандар РМК «Қазгидромет», ММ «Қазселесезащита» және ҚР ТЖМ жүйесінде сұранысқа ие. Қар көшкіні қауіптілігін және қатерін бағалау саласындағы білімдер халық мен нысандарды қорғаудың тиімді әдістерін әзірлеу үшін қажет.

Шетелдік және отандық жарияланымдардың, электрондық және қағаз мұрағаттардың, диссертациялық еңбектер мен қар көшкінін зерттеуге арналған анықтамалықтардың ауқымды көлеміне шолу жүргізілді. Әлемдік қар көшкіні қызметтерінің дамуындағы перспективалық бағыттар айқындалды. РМК «Қазгидромет» пен ММ «Қазселденқорғау» қар көшкіні бөлімшелерінің практикалық жұмысына енгізудің артықшылықтары, кемшіліктері және мүмкіндіктері талданды. Қазақстан жағдайына сәйкес қар көшкіні қауіптілігі мен қатерін бағалаудың заманауи әдістерін бейімдеу үшін табиғи қауіп-қатерлер зертханасында көптеген жылдар бойы тәжірибелік жұмыстар жүргізіліп келеді. Жиналған тәжірибе мақалада баяндалып, болашақ мамандарды даярлауда да пайдалы бола алады.

Зерттеу нәтижелері. Қазақстандағы қар жамылғысының мониторингі. Қазақстан Республикасында «Қазгидромет» РМК бақылау желісінде қар жамылғысының тұрақты мониторингі жүргізіледі. Метеорологиялық станциялар маңында сызықтық қар өлшеу түсірілімдері және жетуге қиын таулы аймақтарда маршруттық қар өлшеу түсірілімдері жүргізіледі. Бақылау пункттері желісінде жетекші құжаттарда бекітілген стандартты құралдар мен өлшеу әдістері қолданылады [13]. Негізгі тапсырма – қар жамылғысының биіктігі, тығыздығы және су құрамы туралы ақпарат жинау. Жедел деректер гидрологиялық және көшкіннің болжамдарын құрастыру үшін пайдаланылады. Қар жүктемелері мен климаттық өзгерістерді бағалау үшін ұзақ мерзімді мұрағаттар пайдаланылады.

Қардың қалыңдығы 1, *а*-суретте көрсетілген қар өлшейтін рейка арқылы өлшенеді. Судың құрамы мен қардың тығыздығы 1, *б*-суретте көрсетілген салмақ өлшеуіштің көмегімен өлшенеді. Құрылғылар мен әдістердің көпшілігі КСРО-да XX ғасырдың 60-70 жылдарында жасалған, бірақ әлі күнге дейін бақылау станцияларының желісінде қолданылады.



1-сурет – Стандартты өлшеу құралдары: *а* – қар өлшейтін рейка; *б* – өлшеуіш денситометр

Figure 1 – standard measuring instruments: *a* – snow measuring rake; *b* – measuring densitometer

Қар жамылғысын бақылаудың қолданыстағы әдістерінің артықшылықтары мен кемшіліктері 1-кестеде келтірілген. Көптеген зерттеушілердің пікірінше, қар қорын анықтаудың бұл әдістері айтарлықтай қателерді қамтиды. Таулы, ойлы-қырлы жерлерде ол 30%-ға жетуі мүмкін [14, 15]. Бұл рельеф формаларына және қарды желмен тасымалдау қарқындылығына байланысты өлшемдер желісінің сирек болуына және қардың тереңдігінің айтарлықтай ауытқуына байланысты.

1-кесте – Қар жамылғысын бақылаудың қолданыстағы әдістерінің артықшылықтары мен кемшіліктері

Table 1 – Advantages and disadvantages of existing methods of snow cover control

Артықшылықтары	Кемшіліктері
Құрылғылардың қарапайымдылығы мен сенімділігі	Деректерді беру жылдамдығының төмендігі
Жабдықтың және оған қызмет көрсетудің төмен құны	Қолмен өлшеуге байланысты жоғары еңбек шығындары
Бақылаушының біліктілігіне жоғары емес талаптар	Аумақты қамтудың шектеулілігі және метеорологиялық элементтердің шағын жиынтығы
Уақтылы тексеруде өлшемдердің дәлдігі қолданыстағы сапа стандарттарына сәйкес келеді	Алаңдарды дұрыс таңдамау немесе жабдықтың ақаулығы кезінде әдістердің үлкен қателіктері

Актинометриялық бақылау деректері жылу балансы мен су балансын есептеу үшін қолданылады. Бірақ олар қазіргі уақытта «Қазгидромет» РМК желісінде жүргізілмейді. Сондықтан гидрологтар жақын жердегі метеорологиялық станциядағы температуралық қосындыларды пайдаланады және жанама әдістерді қолдана отырып, жылу шығыны мен жылу беруді есептеулеріне тура келеді. Бұл гидрологиялық және қар көшкіндерінің болжамдарының қосымша қателіктерін арттырады және SNOWPACK сияқты заманауи математикалық модельдерді пайдалануды қиындатады [16]. Немесе модельдеу үшін әлемдік сандық болжау орталықтарынан алынған қайта талдау деректерін алу қажет. Олар көбінесе жердегі деректермен салыстыруға келмейді және үлкен қателіктерге ие.

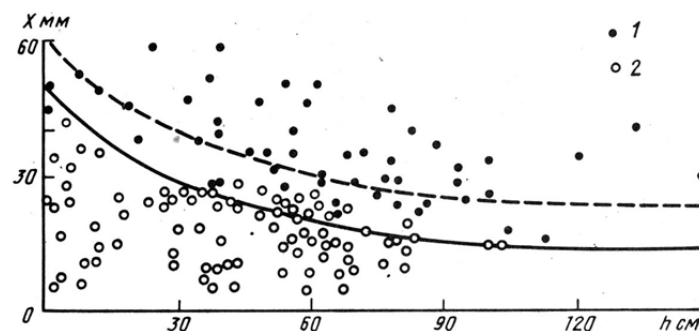
Қазақстандағы қар көшкінін болжау әдістері. Қазіргі таңда «Қазгидромет» РМК-да қолданылатын қар көшкінін болжау әдістері XX ғасырдың 70-80 жылдарында әзірленген [17, 18]. Олардың негізінде болжау инженерлерінің лауазымдық нұсқаулықтары әзірленді. Бұл әдістердің барлығы статистикалық әдістер класына жатады. Олар мұрағат деректерін екі класқа бөлуге негізделген: көшкін қаупі бар немесе көшкін қаупі жоқ жағдайлар. Практикада бөлудің графикалық немесе регрессиялық әдісі қолданылады. Бұл әдістердің артықшылығы оларды пайдаланудың қарапайымдылығы болып табылады, сондықтан олар көшкін станцияларының желісінде белсенді қолданылады. Мұндай болжамдардың дұрыстығы көшкін сарапшысының тәжірибесіне қатты байланысты [19, 20]. Кемшіліктерге нөлдік болжамды жеткізу уақыты және көшкін станциясы қызметкерлерінің біліктілігіне тәуелділік жатады. Қазақстан бойынша барлық болжамдар қауіпті құбылыстың туындау ықтималдығын көрсетпей, категориялық түрде: қар көшкініне бейім немесе көшкінге бейім емес болып құрастырылады және тұтынушыға беріледі.

Іле Алатауындағы қар көшкіні режимін және олардың болжамын алғаш зерттеген И. В. Северский болды [21]. Ол қардың ескі қалыңдығын және қар жауған сайын қардың қалыңдығының өсуін пайдаланып, жаңа қардан қар көшкінін болжау үшін график құрады. Дәл осындай әдісті Е. И. Колесников Үлкен және Кіші Алматы өзендерінің бассейндерінде жаңа түскен қар көшкінін болжау кезінде қолданған [22]. Бұл жағдайда стационарлық алаңдардағы ескі қардың биіктігі туралы деректер пайдаланылды. Бұл әдісті тәжірибеде қолдану қиынға соқты, өйткені Шымбұлақ көшкін станциясының бақылау аймағында 1600-ден 3600 м-ге дейінгі биіктікте үлкен айырмашылықтар бар. Қазіргі уақытта «Шымбұлақ» қар көшкін станциясында И. В. Кондрашов әзірлеген болжамдау әдісі қолданылады.

Жауын-шашын мен қардың түсуінен болатын қар көшкінін болжаудың әмбебап әдісі. Қазақстанда жауын-шашын мен қардың түсуіне байланысты қар көшкінін болжау мәселесі жақсы шешілген [22]. Мұндай көшкіндер жиі кездеседі (70%-дан астам жағдайда). Құрғақ қар көшкіндері болған кезде жауын-шашын мөлшері басым фактор болып табылады. Қар көшкін қызметінің тәжірибесінде көшкіннің пайда болуы үшін қажетті жауын-шашынның шекті мөндерін есептеу үшін әмбебап формула қолданылады. Жауын-шашын шекті деңгейге жеткенде, қар көшкінінің маманы көшкін қаупі туралы ескерту жасайды. Олар 1- формула бойынша есептеледі.

$$X = 50 - a\sqrt{h},$$

мұндағы 50 – қар көшкіні жүретін қар жамылғысының ең аз биіктігіне (сантиметрмен) сәйкес келетін параметр; a – әрбір жеке көшкін қаупі бар аймақ үшін таңдалған эмпирикалық коэффициент. Үлкен Алматы өзен алабы үшін = 4,8; Кіші Алматы үшін – 5,4; h – ескі қардың биіктігі, см.



2-сурет – Үлкен Алматы өзенінің алабында қар көшкіндерінің түсуі үшін қажетті қар жамылғысының критикалық артуын есептеу: 1 – қар көшкіні бар жауын-шашын; 2 – қар көшкіні жоқ жауын-шашын.

Тұтас сызық – қар көшкіндерінің жүруі; нүктелі сызық – қар көшкіндерінің жаппай жүруі

Figure 2 – Calculation of the critical increase in snow cover necessary for the fall of avalanches in the basin of the Big Almaty River: 1 – precipitation with avalanches; 2 – precipitation without avalanches.

A solid line is the course of avalanches; a dotted line is the mass course of avalanches

Жұмысты ыңғайлы ету мақсатында 2-суретте көрсетілген график тұрғызылды. Екі сызық – тұтас және нүктелі – көшкіндері бар және жоқ нүктелер өрісін бөледі. Егер жауын-шашын мөлшері қатты сызықтан жоғары алқапқа түссе, онда қар көшкіні күтіледі; егер нүктелі сызықтан жоғары болса, онда жаппай көшкінін күту керек.

Көктемгі қар көшкінін болжау әдісі. Ескі қардан болатын көктемгі ылғалды қар көшкіндерін болжау әдісін Е. И. Колесников әзірлеген [7, 9]. Қардың беткейдегі тұрақтылық күйі қауіпті қабаттағы қардың беріктігі көрсеткішінің осы қабатқа түсетін қар жүктемесіне қатынасы арқылы анықталады. Қар көшкіндерінің уақытын анықтау үшін тек есептеу әдістері ғана емес, сондай-ақ қар жамылғысының қасиеттері мен метеорологиялық факторлар арасындағы тәуелділіктерді пайдаланатын эмпирикалық әдістер де қолданылады.

Іле Алатауындағы қардың көктемгі еру кезеңінде көшкін қаупінің басталу және аяқталу уақытын болжау мәселесін эмпирикалық түрде шешуге әрекет жасалды (2-ші формула). Қардың ылғалдылығына байланысты ағымдағы ΣT шекті мәнге жеткенде, қар көшкіні туралы ескерту жасалады.

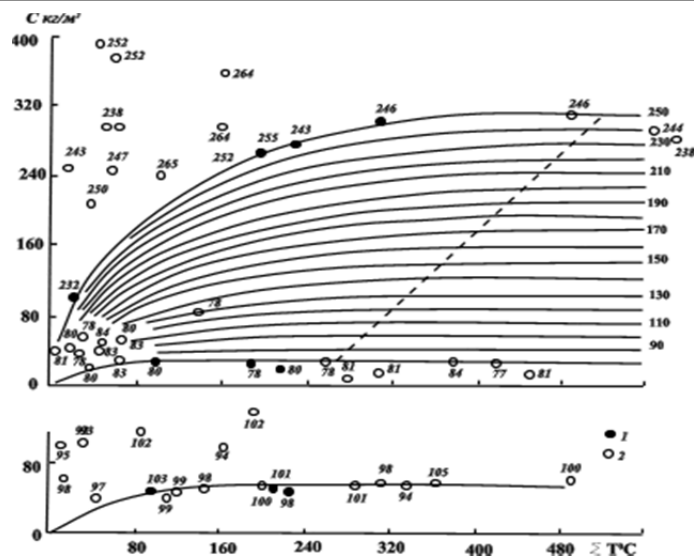
$$\Sigma T = \frac{2,3}{a} \lg \left(1 - \frac{1C}{bW} \right),$$

мұндағы ΣT – ауа температурасының сағаттық қосындысы; C – қар жамылғысының тартылуы (формула 4); W – су эквиваленті; a және b – су эквивалентіне тәуелді эмпирикалық коэффициенттер. Қолдануға ыңғайлы болу үшін эмпирикалық коэффициенттердің мәндері арнайы кестелерде беріледі немесе тәуелділік сызықтары бар есептелген график алдын ала құрастырылады, ал көшкін болжаушысы графиктен ΣT мәндерін алады.

Эмпирикалық деректер графиктерде бейнеленген (3-сурет). Графикті артық жүктемеу үшін W_{100} градациясының деректері жеке графикке шығарылды. Нақты деректерге сүйене отырып, көшкіндері бар және көшкінсіз жағдайлар арасындағы үш градация бойынша шекаралық сызықтар сызылды. Бұл сызықтар тек белгілі бір учаскеде қисық болып, кейін түзу сызықтарға айналатыны анықталды; оларды максималды Ку ретінде қарастыруға болады, ол $W = 80$ мм кезінде 0,35-тен $W = 250$ мм кезінде 1,23-ке дейін артады. W аралық мәндері үшін сәйкес сызықтардың орны сызықтық интерполяция әдісімен анықталады.

Тұрақты қар жамылғысының коэффициенттерін және оң ауа температурасының қосындыларын пайдалана отырып, ылғалды көшкіндерді болжау әдісі болжау мақсатында эмпирикалық формулаларды да, номограмманы да пайдалануға мүмкіндік береді. Осы уақытта ұзақ мерзімді болжамдар да, дауылды ескертулер де мүмкін. Қар көшкіні қаупін болжау мерзімі мен дәлдігі көбінесе ауа райы болжамының дұрыстығына байланысты [25].

Қазіргі уақытта қар көшкінін бақылау және болжау департаменті тек Алматы қаласының маңындағы жұмыс істеп тұрған қар көшкіндері станцияларының аумағында ғана анықтамалық ұсынымдар әзірлейді [5]. Басқа таулы аймақтар үшін қар көшкінін болжау әдістері сонау 1980 жылдары жасалған, бірақ көп жылдар бойы қолданылмаған [11, 12].



3-сурет – Беткейлердегі қар жамылғысының тұрақтылығын анықтауға арналған номограмма:

1 – қар көшкіні орын алды; 2 – көшкін болған жоқ.

Нүктелер мен сызықтардағы сандар қопсытылған қабат үстіндегі қар қабатының су мөлшері, мм

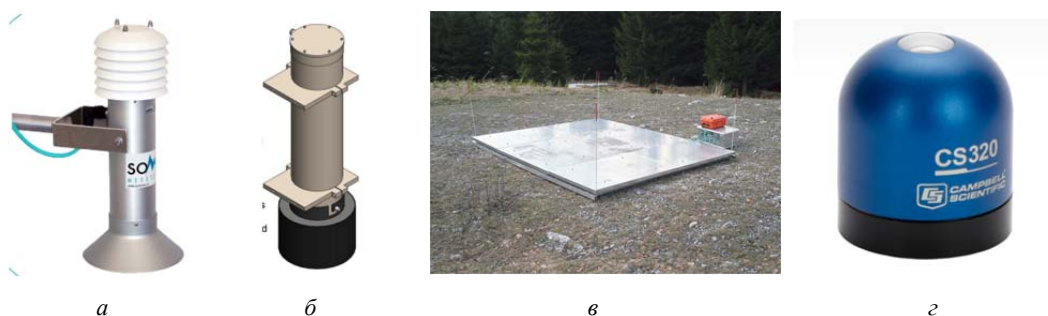
Figure 3 – Nomogram for determining the stability of snow cover on slopes:

1 – there was an avalanche; 2 – there was no avalanche.

Numbers in dots and lines the amount of water of the snow layer above the loosened layer, mm

Жердегі мониторинг жүйесін жаңғырту. Әлемдік тәжірибеде қардың биіктігі мен су мөлшерін өлшеу үшін қолмен, автоматты немесе қашықтан басқарылатын жер үсті мониторинг әдістері қолданылады. Қолмен өлшеу әдістері бүкіл әлем бойынша жету қиын аймақтарда әлі де қолданылады. Бұл жағдайда қолданылатын құрылғылар Қазақстанда қолданылатын құрылғыларға ұқсас. Дегенмен, ДМҰ бақылау нүктелерінің желісі біртіндеп автоматтандырылған бақылау жүйелеріне ауысуда [26, 27]. Стандартты метеостанция алаңында орнатылған электронды датчиктер 4-суретте көрсетілген. Олар қардың қалыңдығы 1 см-ге дейін және қар суының мөлшері 1 мм-ге дейін өлшеу дәлдігіне ие [28].

Мониторинг жүйесін жаңарту кезінде шетелдік жүйелердің артықшылықтары мен кемшіліктерін ескеру қажет. Алматы қаласы Төтенше жағдайлар департаментінің бұйрығымен География және су қауіпсіздігі институтымен Іле Алатауындағы Кіші және Үлкен Алматы өзендерінің бассейндерінде сел және көшкін қаупін автоматтандырылған бақылау жүйесін ұйымдастыру бойынша ауқымды жұмыстар жүргізілді [29]. Бұл тәжірибе «Қазгидромет» РМК жерүсті бақылау желісін жаңғыртуда пайдалы болуы мүмкін.



4-сурет – Қазіргі заманғы автоматтандырылған өлшеу құралдары:

a – лазерлік қар тереңдігі датчигі; б – қар жамылғысының су мөлшерін өлшеуге негізделген гамма-сәулелену негізіндегі датчик; в – қар суының мөлшерін анықтауға арналған механикалық платформа; г – күн сәулеленуінің датчигі

Figure 4 – Modern automated measuring instruments:

a – laser snow depth sensor; b – gamma radiation-based sensor based on measuring the amount of water in the snow cover; c – mechanical platform for determining the amount of snow water; d – solar radiation sensor

Жердегі өлшеу әдістерінен басқа, жерді қашықтықтан зондтау (ЖКЗ) әдістері кеңінен танымал болды. Олардың негізінде математикалық модельдер бар: MODIS, SNOWPACK [30-32]. Олардың бірқатар артықшылықтары мен кемшіліктері бар: артықшылығы – жердегі қызметтерді ұйымдастыру үшін аз еңбек шығындарымен деректерді алу жылдамдығы, ал кемшілігі – өте жоғары құны және өлшеу дәлдігінің төмендігі. Өзірленген көптеген модельдердің кемшілігі олардың деректерінің жердегі мониторинг нәтижелеріне сәйкес калибренбегендігі болып табылады. Қар жамылғысының сипаттамаларын өлшеудің заманауи құралдарын енгізу өлшеу қателіктерін азайту және апаттық ақпаратты беру жылдамдығын арттыру үшін қажет. Бұл өз кезегінде қар жамылғысының заманауи үлгілерін пайдалануға мүмкіндік береді.

Қар көшкінін болжаудағы әлемдік тәжірибені Қазақстан жағдайына бейімдеу. Швейцария қар көшкінін болжау бойынша әлемде көшбасшы болып табылады. 1942 жылдан бастап Давос қаласында қар көшкінін болжау әдістерін әзірлеумен айналысатын Қар және көшкін ғылыми-зерттеу институты (SLF) жұмыс істейді. Әлемде қар көшкіндерінің қауіптілігін бағалау әлі күнге дейін өте субъективті болып табылады және көп жағдайда қар көшкіндері бойынша сарапшының біліктілігіне байланысты [4, 16, 19]. Сондықтан болжаушыға көмектесу үшін үлгіні тану әдістері қолданылады. Олар қар көшкіндерінің қауіптілік деңгейі, қар жамылғысының тұрақтылығы және метеорологиялық жағдайлар арасындағы статистикалық тәуелділіктерді құруға негізделген. Математикалық статистиканың әртүрлі әдістері қолданылады – регрессия, классификация, кластерлік талдау. Әлемдік тәжірибеде SLF әзірлеген ең жақын ұқсастық әдісін (NXD2000) қолданатын қар көшкіндерінің қауіпті жағдайларын тану бағдарламасы кеңінен таралған.

1990 жылдары қар көшкіндерін болжауда жасанды нейрондық желілер қолданылып, олар әлемнің әртүрлі тау аймақтарында тиімділігін көрсетті [33]. Еуропалық Альпілерде қар көшкінінің қауіптілігін болжау ағымдағы қар жағдайын, болашақтағы метеорологиялық шарттарды және олардың қар жамылғысының болашақ күйіне әсерін талдауды қамтиды [34-38]. Сандық модельдер тізбегін синоптиктер метеорологиялық тұрғыдан біркелкі болып саналатын аймақтарда ағымдағы және болашақтағы қар көшкіні қаупін бағалау үшін пайдаланады.

Үндістанда қолмен бақыланатын ауа райы деректерін пайдалана отырып, қаттылық, ығысу күші, температура, тығыздық, қалыңдығы және қар жамылғысының қабаттарының су эквивалентті сияқты қар жамылғысының параметрлерінің жасанды нейрондық желіге негізделген үлгілері әзірленді [39]. Қар көшкінін болжау үшін қар жамылғысының үлгіленген параметрлері қолданылады.

Еуропа мен Америкада көшкін қаупінің болжамдары әрқашан ықтималдық түрінде жасалады. Швейцариялық SLF институты осы мақсаттар үшін көшкін қаупінің бес балдық шкаласын әзірледі. Осыған ұқсас қауіп шкаласы Солтүстік Америкада да бар [40]. Қар көшкіні болжамы шалғай жерлерде орнатылған ауа райы мен қарды автоматты бақылау станцияларының деректерін пайдаланады.

Соңғы жылдары География және су қауіпсіздігі институты қар көшкіні қаупін бағалау және болжау үшін жасанды интеллектті қолданумен айналысуда [41]. Алынған тәжірибе көшкінге қарсы эксперименттік бюллетень шығаруда қолданылады. Алдағы уақытта бұл технологияны Қазақстан қар көшкіні қызметінің практикалық жұмысына енгізу жоспарлануда.

Қазақстанда қар көшкіні болжамын әзірлеудің келешегі бар бағыттары мыналар болып табылады:

1. Машиналық оқыту және жасанды нейрондық желілер. Компьютерлік бағдарламалар статистикалық есептерді шешуге және үлкен көлемдегі ақпаратты өңдеуге мүмкіндік береді.
2. Ауа райын болжаудың математикалық модельдері. Қар көшкіні туралы ескертулердің орындалу уақытын ұзартады.
3. Қар көшкінінің қауіптілік дәрежесін сараптамалық бағалау және бес балдық шкала бойынша ықтималдық болжамдарды дайындау. Ағымдағы көшкін қаупін бағалау және қажетті шараларды қабылдау қажет.

Машиналық оқыту және жасанды нейрондық желілер. Қазіргі уақытта жасанды интеллект (ЖИ/АИ) бағдарламалары ғылым мен техниканың көптеген салаларында қолданылады [42]. Қар көшкінін болжауда ЖИ қолданудың ғылыми негіздемесін XX ғасырдың 90-жылдарында Швейцариялық қар және көшкін институтының мамандары берген [43]. Жасанды интеллект – бұл бағдарлама адам миының қасиеттеріне еліктейтін және үйренуге қабілетті заманауи бағдарламалау

саласы. Жиі қолданылатын синоним – машиналық оқыту. Ол ғылым мен техниканың әртүрлі салаларында қолданылады және әртүрлі мәселелерді шешуге қабілетті: математика мен статистикадағы есептеулер, мәтіндік файлдарды өңдеу, кескіндерді өңдеу және т.б. Бұл үлкен көлемдегі ақпаратты өңдеуге арналған заманауи құрал. Ол тәуелділіктер әлсіз көрсетілген және статистикалық талдаудың классикалық әдістері нашар нәтиже беретін жерлерде сәтті қолданылады.

Белгілі компьютерлік бағдарламалық жасақтаманы өндірушілердің нейрондық желі қолданбалары бар: MathCad, Statistica StatSoft, Microsoft Excel [44]. Машиналық оқыту әдісінің артықшылығы – бұл болжау инженерінің жұмысын автоматтандыру мүмкіндігі. Кемшілігі – ЖНЖ (жасанды нейрондық желі) оқыту үшін пайдаланылған мұрағаттық деректердің сапасына тәуелділік.

Ауа райын болжаудың математикалық модельдері. Қазіргі уақытта «Қазгидрометтің» қар көшкінін бақылау станцияларында ағымдағы қар көшкіні жағдайын жіктеу әдістеріне қатысты қар көшкінін болжаудың статистикалық әдістері қолданылады. Олар алдын ала ескерту мерзімі нөлге тең болады. Мұндай болжау әдістері қазіргі заманғы «трендтерді болжау» немесе «наукастинг» атауын алды. Жеткізу уақытын ұлғайту мәселесін ауа райы болжаудың қазіргі сандық үлгілері арқылы шешуге болады [45]. Қазіргі заманғы орта мерзімді болжамдар әлемдік болжау орталықтарында құрастырылады және Дүниежүзілік метеорологиялық ұйымға (ДМҰ) мүше елдерге тегін таратылады. Модельдер жер бетіндегі және биіктіктегі негізгі метеорологиялық параметрлерді болжауға қабілетті: ауа температурасы, қысым, ылғалдылық, жел [46]. Модельдер жаһандық, аймақтық және ұлттық болып бөлінеді. Ең танымал және жетілдірілген жаһандық математикалық болжау үлгілері GFS (Вашингтон қ., АҚШ) және ECMWF (Реддинг қ., Ұлыбритания) болып табылады. Росгидромет сияқты аймақтық модельдер де танымал. Қысқа мерзімді болжамдардың статистикалық дәлдігі (1-3 күн): жауын-шашын болжамы үшін 80% және ауа температурасының болжамы үшін 90%.

Ауа райын математикалық модельдеу нәтижелерімен алмасу екі байланыс арнасы арқылы жүзеге асырылады: кәсіби және әуесқой. Көптеген ауа райы болжамы сайттары модельдеу деректерін пайдаланады және сайтта жұртшылық пен туристер үшін болжам карталарын жариялайды. ДМҰ-ға мүше елдердің болжау орталықтары кәсіби байланыс арналарын пайдаланады, қолжетімділік арнайы бағдарламалар арқылы қамтамасыз етіледі. Осыған ұқсас бағдарламаларды көптеген ғылыми орталықтар жасауда, мысалы, «ФОБОС» немесе «Мэп Мейкер» (Ресей) ғылыми-техникалық орталығы (FTO) [46].

Қар көшкінін болжаудың негізгі болжаушылары ауаның максималды температурасы және жауын-шашын мөлшері (қар жамылғысының ұлғаюы) [21-24]. Сондықтан бұл параметрлердің болжамы көшкін туралы ескертулерді жеткізу уақытын ұлғайту үшін өте маңызды. Болжау үлгілеріндегі қателіктерге байланысты көшкіндерді болжаудағы қателер, әсіресе ұзақ кезеңдерде өсуде. Қар көшкінін болжауда ауа райы болжамының сандық үлгілерін қолданудың артықшылығы болжамның орындалу мерзімінің және қажетті шараларды қабылдау уақытының ұлғаюы болып табылады. Кемшілігі – болжамды жеткізу уақытының ұлғаюымен болжау қателерінің көбеюі.

Талқылау. *Болжаудың ықтималдық формалары.* ТМД елдеріндегідей Қазақстанда да Кеңес Одағы кезінде қабылданған төтенше жағдай туралы ескерту жүйесі бар. Барлық нормативтік және нұсқаулық құжаттар табиғи апаттар болжамын тек бір мәнді тұжырымдауға мүмкіндік береді. ИӘ немесе ЖОҚ. Мемлекеттік қызметте болжамдардың ықтималды тұжырымдарына жол берілмейді [5]. Бұл тіпті шағын қар көшкінін күткен кезде ТЖМ «Дауылды ескерту» бойынша әрекет етуге және таулы аймақтарды толығымен жабуға мәжбүр етеді.

Швейцарияның қар және көшкіндерді зерттеу институты көптеген елдерде қолданылатын көшкін қаупінің бес балдық ықтималдық шкаласын әзірледі [40]. Әрбір дәреже қауіптің белгілі бір деңгейін білдіреді. Қар көшкіні қаупінің деңгейі бар кестелерді көптеген шаңғы сайттарында және таулардағы ақпараттық плакаттарда табуға болады. Іле Алатауының жағдайына қолданылатын География және су қауіпсіздігі институты әзірлеген көшкін қаупінің бес балдық шкаласына мысал 2-кестеде келтірілген.

Қар көшкіні қаупінің бес балдық шкаласын пайдалана отырып, ықтималды болжамдарды жүзеге асыру үшін, ең алдымен, оқу материалдарын әзірлеу қажет. География институтында бес балдық шкала бойынша болжам жасау бойынша оқу-әдістемелік құрал мен ұсыныстар әзірленді.

2-кесте – Қар көшкіні қаупінің бес балдық шкаласы

Table 2 – Five point avalanche risk scale

Белгі	Қар көшкіні қаупінің деңгейі	Қар жамылғысының тұрақтылығы	Қар көшкіні ықтималдығы
	1 төмен	Тау беткейлеріндегі қар жамылғысы тұрақты.	Өздігінен және индукциялық қар көшкіндерінің болуы екіталай.
	2 орташа	Тік беткейлерде қар жамылғысы қалыпты, басқа беткейлерде жақсы бекітілген.	Өздігінен қар көшкіні болуы екіталай. Ауыр жүктеме кезінде болуы мүмкін.
	3 маңызды	Тік беткейлерде қар жамылғысы орташа немесе әлсіз бекітілген.	Кішкентай жүктеме кезінде қар көшкіні болуы мүмкін. Белгілі бір беткейлерде өздігінен қар көшкіні жүруі мүмкін.
	4 жоғары	Қар жамылғысы көптеген беткейлерде әлсіз бекітілген.	Өздігінен қар көшкіндері өте ықтимал.
	5 экстремалды	Қар жамылғысы барлық жерде тұрақсыз.	Көптеген өздігінен және арандатылған қар көшкіндерінің болуы сөзсіз.

Қазақстан Республикасының қар көшкіні қызметінің практикалық жұмысына халықаралық тәжірибені енгізу үшін нормативтік-құқықтық базаға өзгерістер енгізу және жаңа нұсқаулықтарды жасау қажет. Солтүстік Америка көшкіндері қауымдастығының көшкіндерді бақылау жөніндегі нұсқаулары бұған негіз бола алады.

Қорытынды. Қазақстан Республикасының қар көшкіні қызметінің 50 жылдан астам тарихы бар. Осы уақыт ішінде бақылау пункттері ашылды, қар көшкінін бақылау мен болжаудың ғылыми әдістері жасалды. Оның өзіндік артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Біріншіден, қарапайым өлшеу құралдары мен графикалық болжау әдістерінің құны төмен және орындаушылардан төмен біліктілікті талап етеді. Қазіргі жағдайда болжамдардың төмен дәлдігі экономикалық шығындар мен халық пен басқа тұтынушылардың сенімсіздігін тудырады [19].

Болжау әдістерін жаңғырту үшін келесі бағыттарды дамыту қажет:

1. Аумақты қамтуды, байқалатын параметрлердің санын және деректерді беру жылдамдығын арттыруға мүмкіндік беретін жердегі бақылауға арналған заманауи автоматты өлшеу құралдары.

2. Қашықтықтан зондтау әдістерін қолдану. Дегенмен, оларды жүзеге асыру үшін калибрлеу және қателерді анықтау бойынша зерттеу жұмыстары қажет.

3. Ықтималды болжам нысандарын және деректерді визуализациялау құралдарын енгізу бізге ақпаратты тұтынушыға жеткізуге және қауіптіліктің әрбір деңгейі үшін қажетті қорғаныс шараларын әзірлеуге мүмкіндік береді.

4. Жасанды интеллект технологияларын қолданатын автоматтандырылған сараптамалық жүйелер бақылаушылардың біліктілігінен тәуелсіз қар көшкіндері туралы ескертулерді әзірлеуге көмектеседі.

5. Дүниежүзілік метеорологиялық ұйымның дерекқорларынан алынған сандық болжау әдістерін пайдалану дауылды ескертулердің алдын ала уақытын ұлғайтады және шұғыл шараларды қабылдауға уақыт береді.

6. Біртұтас жедел болжамдар орталығын қайта құру және халыққа арналған қар көшкіндері туралы бюллетеньдерді шығару. Үлкен аумақ пен белгілі уақыт аралығындағы жалпы деректерді қамтитын анықтамалар мен ұсынымдар дәлдігі төмен ақпаратты береді. Нәтижесінде, пайдаланушылар оларды елемейді.

7. Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ «География және табиғатты пайдалану» факультетінде "Гляциология" ғылыми бағытының ашылуы. Осы бейіндегі мамандар "Қазгидромет" РМК, "Қазселден-қорғау" ММ, "География және су қауіпсіздігі институты" АҚ және ЮНЕСКО қамқорлығымен өңірлік гляциологиялық орталықта сұранысқа ие.

Алғыс. Авторлар мақаланы дайындағаны үшін «Қазгидромет» РМК Алматы қаласы филиалының қар көшкінін жою бөлімшелерінің қызметкерлеріне алғыстарын білдіреді.

Қаржыландыру. Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары Білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен «Қазақстан Республикасының Іле және Жетісу Алатауының таулы аймақтарындағы сел, тау көшкіні және қар көшкіні қауіпсіздігін ғылыми-қолданбалы негіздеу» тақырыбы бойынша жүргізілді. Бағдарламалық-мақсатты қаржыландыру № BR21881982.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Северский И.В., Благовещенский В.П. Лавиноопасные районы Казахстана. – Алма-Ата: Изд-во «Наука», 1990. – 172 с.
- [2] Северский И.В., Благовещенский В.П. и др. Снежный покров и лавины Тянь-Таня. – Алматы, 2006. – 184 с.
- [3] Снежные лавины. Справочник по прогнозированию и мерам контроля / Пер. с англ. – Москва: Изд-во «Прогресс», 1964. – 250 с.
- [4] McClung D.M. Predictions in avalanche forecasting // Ann. Glaciol. – 2000. – № 31. – P. 377-381.
- [5] Устав предприятия РГП «Казгидромет». [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/activity/normativno-pravovye-akty> (дата обращения 10.09.2024).
- [6] Методические указания по прогнозированию лавин и снеголавинному обеспечению в Казахстане / Под ред. Е. И. Колесникова. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2003. – 43 с.
- [7] Практическое пособие по прогнозированию лавинной опасности в Казахстане / Под ред. Е. И. Колесникова. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2005. – 262 с.
- [8] Кондрашов И.В. Прогноз лавин и некоторых характеристик снежности в горах Казахстана. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. – 98 с.
- [9] Колесников Е.И. Способы расчета эмпирических формул для прогноза лавин свежеснежного покрова в малоизученных горных районах. – Ледники, снежный покров и лавины горных районов Казахстана. – Алма-Ата, 1983. – С. 149-162.
- [10] Колесников Е.И., Попов В.И. Режим снежных лавин в низкогорьях Западного Алтая и методы их прогнозирования // Тр. КазНИИ. – 1985. – Вып. 91. – С. 111-127.
- [11] Попов В.И., Зайцева Л.А. О снежном покрове Западного Алтая // Сб. работ Алматинской ГМО. – 1978. – Вып. 8. – С. 3-10.
- [12] Попов В.И., Колесников Е.И., Берман О.А. Массовый сход снежных лавин на Западном Алтае зимой 1976/77 г. // Сборник работ Алматинской ГМО. – 1978. – Вып. 8. – С. 102-111.
- [13] Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. – Ч. 1-3. – Алматы: Изд-во «Казгидромет», 2006. – 500 с.
- [14] Жданов В.В. Анализ ошибок снеголавинных наблюдений и прогнозов // Вопросы географии и геоэкологии. – 2015. – № 3. – С. 52-55.
- [15] Соседов И.С. Исследование баланса снеговой влаги на горных склонах в Заилийском Алатау. – Алма-Ата: Наука, 1967. – 198 с.
- [16] Швейцарский федеральный институт изучения снега и лавин. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.slf.ch> (дата обращения 10.09.2024).
- [17] Глазырин Г.Е., Кондрашов И.В. О методической основе лавинных прогнозов // Тр. 3-го Всесоюз. сов. по лавинам. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – С. 155-164.
- [18] Практическое пособие по прогнозированию лавинной опасности. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. – 200 с.
- [19] Черноус П.А. Государственное регулирование оценивания лавинной опасности в России // Гидросфера. Опасные процессы и явления. – 2020. – Т. 2. – № 3. – С. 295-304.
- [20] Schweizer J., Mitterer C., Techell F., Stoffell A., and Reuter B. On the relation between avalanche occurrence and avalanche danger level // The Cryosphere. – 2020. – No. 14. – P. 737-750. – <https://doi.org/10.5194/tc-14-737-2020>
- [21] Северский И.В. Возможности прогноза лавин на северном склоне Заилийского Алатау // Вопросы географии Казахстана. – 1974. – Вып. 16. – С. 141-153.
- [22] Колесников Е. И. Способы прогноза лавинной опасности по интенсивности осадков и снегопадов в горах Заилийского Алатау // Тр. САНИГМИ. – 1972. – Вып. 63(78). – С. 104-121.
- [23] Кондрашов И. В. Опыт прогнозирования лавин из свежеснежного покрова на снеголавинной станции Чимбулак // Тр. САНИГМИ. – 1977. – Вып. 37(118). – С. 31-37.
- [24] Кондрашов И. В. К вопросу о прогнозе лавин, связанных со снегопадами // Гидрометеорология и экология. – Алматы, 1997. – Вып. 4. – С. 60-65.
- [25] Кондратьева Н.В., Аджиев А.Х., Федченко Л.М., Узденова А.Б. Методика фоновых прогнозов лавинной опасности для территории горных районов Республики Ингушетия и Чеченской Республики. – 2021. – Т. 15. – № 3. – С. 50-63.
- [26] Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 7th International Conference, Chengdu, China, 2024 / Ed. by S. S. Chernomorets, K. Hu, K. S. Viskhadzhieva. – Moscow: Geomarketing LLC. – 594 p.
- [27] Сборник трудов III международного симпозиума «Физика, химия и механика снега». – Южно-Сахалинск, 2017. – Ч. I-II. – 158 с.
- [28] Автоматические метеостанции фирмы Sommer. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sommer.at/en/company/about-us> (дата обращения 10.09.2023).
- [29] Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Жданов В.В., Ранова С.У. Автоматизированный мониторинг селевой и лавинной опасности на территории г. Алматы // Материалы Общероссийской научно-практической конференции «Изучение опасных природных процессов и геотехнический мониторинг при инженерных изысканиях». – Москва, 2022. – С. 64-69.

- [30] Apel H., Abdykerimova Z., Agalkhanova M., et al. Statistical forecast of seasonal discharge in Central Asia using observational records: development of a generic linear modelling tool for operational water resource management // *Hydrology Earth System Sciences*. – 2018. – No. 2. – P. 2225-2254. – DOI: 10.5194/hess-22-2225-2018
- [31] Терехов А.Г., Ивкина Н.И., Абаев Н.Н., Елтай А.Г., Егембердиева З.М. Валидация суточного продукта Snow Depth FEWS NET для бассейна реки Урал по данным метеорологических наблюдений // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2020. – Т. 17. – № 3. – С. 31-40. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-31-40
- [32] Gafurov A., Kalashnikova O., Apel H. Hydrological forecast based on the snow cover index, derived from basin-wide and elevation specific remote sensing snow cover data in mountainous basins // *Geophysical Research Abstracts*. – Vienna: EGU2019. – 2019. – Vol. 21. – P. 66-78.
- [33] Blagoveshchenskiy V., Kondrashov I., Yeserkepova I., Gassner M., Latenser M. Experience in using the NXD2000 program for avalanche forecasting in the Zailiysky Alatau. *Data Glaciol. Stud.* – 2003. – 94. – P. 115-118.
- [34] Bakermans L., Jamieson B., Schweizer J., Haegeli P. Using stability tests and regional avalanche danger to estimate the local avalanche danger // *Ann. Glaciol.* – 2010. – No. 51(54). – P. 176-186.
- [35] Bründl M., Etter H.J., Steiniger M., Klingler C., Rhyner J., Ammann W. IFKIS – a basis for managing avalanche risk in settlements and on roads in Switzerland // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* – 2004. – No. 4(2). – P. 257-262.
- [36] Brabec B., Meister R. A nearest-neighbor model for regional avalanche forecasting // *Ann. Glaciology*. – 2001. – No. 32. – P. 130-134. DOI: 10.3189/172756401781819247
- [37] Cagnati A., Valt M., Soratori G., Gavalda J., Sellés C.G. A field method for avalanche danger-level verification // *Ann. Glaciol.* – 1998. – 26. – P. 343-346.
- [38] Meister R. Country-wide avalanche warning in Switzerland / *International Snow Science Workshop, Snowbird, Utah, U.S.A., 30 October-3 November 1994 ISSW 1994 Organizing Committee, Snowbird UT, USA, 1995*. P. 58-71.
- [39] Singh D., Ganju A. Expert system for prediction of avalanches research // *Communications current science*. – 2008. – Vol. 94, No. 8. – P. 1076-1081.
- [40] European Avalanche Danger Scale (link) URL: http://www.avalanches.org/eaws/en/main_layer.php?layer=basics&id=2 (Дата обращения 01.02.2019 г.).
- [41] Blagoveshchenskiy V., Medeu A., Gulyayeva T., Zhdanov V., Ranova S., Kamalbekova A., Aldabergen U. Application of Artificial Intelligence in the Assessment and Forecast of Avalanche Danger in the Ile Alatau Ridge // *Water*. – 2023. – No. 15. – P. 1438. <https://doi.org/10.3390/w15071438>
- [42] Бишоп Кристофер М. Распознавание образов и машинное обучение / Пер. с англ. Д. А. Ключина. – Москва: Диалектика, 2020. – 960 с.
- [43] Schweizer J., Föhn P.M.B. Avalanche forecasting – an expert system approach // *Ann. Glaciol.* – 1996. – 42(141). – P. 318-332. – DOI: 10.3189/S0022143000004172
- [44] Сайт российского представительства фирмы StatSoft. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.StatSoft.ru> (дата обращения 10.10.2022).
- [45] Флеминг Д. и др. Руководящие указания ВМО по обслуживанию прогнозами и предупреждениями о многих опасных явлениях с учетом их возможных последствий. ВМО. – 2015. – № 1150. – 26 с. (www.wmo.int)
- [46] Программное обеспечение – рабочие столы синоптика. [Электронный ресурс]. – URL: <https://mapmakers.ru/#section-company> (дата обращения 10.10.2024).

REFERENCES

- [1] Severskiy I.V., Blagoveshchenskiy V.P. Avalanche-prone areas of Kazakhstan. Almaty: “Gylym” Publishing, 1990. 172 p. (in Russ.).
- [2] Severskiy I.V., Blagoveshchenskiy V.P., et al. Snow cover and avalanches of the Tien Shan. Almaty, 2006. 184 p. (in Russ.).
- [3] Avalanche. Reference guide on forecasting and monitoring measures / Translation from English. Moscow: “Progress” Publishing, 1964. 250 p. (in Russ.).
- [4] McClung D.M. Predictions in avalanche forecasting. // *Annals of Glaciology*. 2000. No. 31. – P. 377-381.
- [5] Charter of RSE “Kazhydromet”. [Electronic resource]. URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/activity/normativno-pravovye-akty> (accessed 10.09.2024) (in Russ.).
- [6] Methodological guidelines for avalanche forecasting and support in Kazakhstan / Chief editor E. I. Kolesnikova. Almaty: RSE “Kazhydromet”, 2003. 43 p. (in Russ.).
- [7] Practical guidelines for avalanche hazard forecasting in Kazakhstan / Ed. E.I. Kolesnikova. Almaty: RSE “Kazhydromet”, 2005. 262 p. (in Russ.).
- [8] Kondrashov I.V. Avalanche forecasting and some characteristics of snow cover in the mountainous regions of Kazakhstan. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991. 98 p. (in Russ.).
- [9] Kolesnikov E.I. Methods for calculating empirical formulas for forecasting freshly fallen avalanches in poorly studied mountainous areas // *Glaciers, snow cover and avalanches in the mountainous regions of Kazakhstan*. Alma-Ata, 1983. P. 149-162 (in Russ.).
- [10] Kolesnikov E.I., Popov V.I. Avalanche regime in the intermountain basins of Western Altai and methods for their forecasting. *Kazakh Scientific Research Institute*. Moscow, 1985. P. 111-127 (in Russ.).
- [11] Popov V.I., Zaitseva L.A. On the snow cover of Western Altai // *Proceedings of Almaty State Medical University*. 1978. Issue 8. P. 3-10 (in Russ.).
- [12] Popov V.I., Kolesnikov E.I., Berman O.A. Mass avalanches in Western Altai during the winter of 1976/77 // *Works of the Almaty GMO*. 1978. Issue 8. P. 102-111 (in Russ.).

- [13] Manual for hydrometeorological stations and posts. Section 13. Almaty: RSE "Kazhydromet" Publishing, 2006. 500 p. (in Russ.).
- [14] Zhdanov V.V. Analysis of errors in avalanche monitoring and forecasting // *Issues of Geography and Geoecology*. 2015. No. 3. P. 52-55 (in Russ.).
- [15] Sosodov I.S. Study of the moisture balance of snow on mountain slopes of Ile Alatau. Alma-Ata: Gylym, 1967. 198 p. (in Russ.).
- [16] Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research. [Electronic resource]. URL: <http://www.slf.ch> (accessed 10.09.2024). (in Russ.).
- [17] Glazyrin G.E., Kondrashov I.V. On the methodological basis of avalanche forecasting // *Proc. of the 3rd All-Union Avalanche Conference*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989. P. 155-164 (in Russ.).
- [18] Practical guidelines for avalanche hazard forecasting. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1979. 200 p. (in Russ.).
- [19] Chernous P.A. State regulation of avalanche hazard assessment in Russia // *Hydrosphere. Hazardous processes and phenomena*. 2020. Vol. 2, No. 3. P. 295-304 (in Russ.).
- [20] Schweizer J., Mitterer C., Techel F., Stoffel A., Reuter B. On the relation between avalanche occurrence and avalanche danger level // *The Cryosphere*. 2020. No. 14. P. 737-750. <https://doi57-014/doi57-014/>
- [21] Severskiy I.V. Possibilities of avalanche forecasting on the northern slopes of the Ile Alatau // *Problems of Kazakhstan Geography*. 1974. Issue 16. P. 141-153 (in Russ.).
- [22] Kolesnikov E.I. Methods of avalanche hazard forecasting in the Ile Alatau mountains based on precipitation and snow intensity // *Proc. SANIGMI*. 1972. Issue 63(78). P. 104-121 (in Russ.).
- [23] Kondrashov I.V. Experience in forecasting avalanches from freshly fallen snow at Shymbulak avalanche station // *Proc. SARNIGMI*. 1977. Issue 37(118). P. 31-37 (in Russ.).
- [24] Kondrashov I.V. On the issue of avalanche forecasting depending on snowfall // *Hydrometeorology and Ecology*. Almaty, 1997. Issue 4. P. 60-65 (in Russ.).
- [25] Kondratyeva N.V., Adzhiev A.Kh., Fedchenko L.M., Uzdenova A.B. Methodology for background avalanche hazard forecasting for mountainous areas of the Republic of Ingushetia and the Chechen Republic. 2021. Vol. 15, No. 3. P. 50-63 (in Russ.).
- [26] Debris flows: disasters, hazards, forecasting, protection // *Proc. of the 7th International Conference*, Chengdu, China, 2024 / Eds. S. S. Chernomorets, K. Hu, K. S. Viskhadzhieva. Moscow: "Geomarketing" LLC, 594 p.
- [27] Proceedings of the 3rd International Symposium "Physics, Chemistry and Mechanics of Snow". Yuzhno-Sakhalinsk, 2017. Vols. I-II. 158 p. (in Russ.).
- [28] Sommer automatic weather stations. [Electronic resource]. URL: <https://www.sommer.at/en/company/about-us> (accessed 10.09.2023).
- [29] Medeu A.R., Blagoveshchenskiy V.P., Zhdanov V.V., Ranova S.U. Automated monitoring of mudflow and avalanche hazards in the territory of Almaty city // *Proc. of the All-Russian Scientific and Practical Conference "Hazardous Natural Processes and Geotechnical Monitoring in Engineering Surveys"*. Moscow, 2022. P. 64-69 (in Russ.).
- [30] Apel H., Abdikerimova Z., Agalkhanova M., et al. Statistical forecasting of seasonal runoff in Central Asia using observation records: developing a general linear modeling tool for operational water resources management // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2018. No. 2. P. 2225-2254. DOI: 10.5194/hess-22-2225-2018
- [31] Terekhov A.G., Ivkina N.I., Abaev N.N., Eltai A.G., Egemberdieva Z.M. Verification of the daily Snow Depth FEWS NET product for the Ural River basin based on meteorological observations // *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2020. Vol. 17, No. 3. P. 31-40. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-31-40 (in Russ.).
- [32] Gafurov A., Kalashnikova O., Apel H. Hydrological forecasting in mountain basins based on snow cover index obtained from remote sensing data: general basin and elevation-based approach // *Abstracts of Geophysical Research*. Vienna: EGU2019. Vol. 21. P. 66-78.
- [33] Blagoveshchenskiy V., Kondrashov I., Yeserkepova I., Gassner M., Latentser M. Experience in using the NXD2000 program for avalanche forecasting in the Ile Alatau // *Data of Glaciological Studies*. 2003. No. 94. P. 115-118.
- [34] Bakermans L., Jamieson B., Schweizer J., Haegeli P. Using stability tests and regional avalanche danger to estimate local avalanche hazard // *Annals of Glaciology*. 2010. No. 51(54). P. 176-186.
- [35] Bründl M., Etter H.J., Steiniger M., Klingler C., Rhyner J., Ammann W. IFKIS – a basis for managing avalanche risk in settlements and roads in Switzerland // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2004. No. 4(2). P. 257-262.
- [36] Brabec B., Meister R. A nearest-neighbor model for regional avalanche forecasting // *Annals of Glaciology*. 2001. No. 32. P. 130-134. DOI: 10.3189/172756401781819247
- [37] Canati A., Walt M., Soratori G., Gavalda J., Selles S.G. Field method for verifying avalanche hazard level // *Annals of Glaciology*. 1998. No. 26. P. 343-346.
- [38] Meister R. Avalanche warning across Switzerland // *International Snow Science Workshop*, Snowbird, Utah, USA, October 30 – November 3, 1994. ISSW 1994 Organizing Committee, Snowbird UT, USA, 1995. P. 58-71.
- [39] Singh D., Ganju A. Research on expert systems for avalanche forecasting // *Current Science Communications*. 2008. Vol. 94. No. 8. P. 1076-1081.
- [40] European Avalanche Danger Scale. [Electronic resource]. URL: http://www.avalanches.org/eaws/en/main_layer.php?layer=basics&id=2 (accessed 01.02.2019).
- [41] Blagoveshchenskiy V., Medeu A., Gulyaeva T., Zhdanov V., Ranova S., Kamalbekova A., Aldabergen U. Using artificial intelligence in avalanche hazard assessment and forecasting in the Ile Alatau ridge // *Water*. 2023. No. 15. P. 1438. <https://doi.org/10.3390/w15071438>
- [42] Bishop, Christopher M. Pattern Recognition and Machine Learning / Translated from English by D. A. Klyushin. Moscow: Dialektika, 2020. 960 p. (in Russ.).

- [43] Schweizer J., Föhn P.M.B. Avalanche forecasting – the expert system approach // *Annals of Glaciology*. 1996. No. 42(141). P. 318-332. doi: 10.3189/S0022143000004172
- [44] Website of the Russian representative office of StatSoft. [Electronic resource]. URL: <http://www.StatSoft.ru> (accessed 10.10.2022) (in Russ.).
- [45] Fleming D., et al. WMO Guidelines on multi-hazard impact-based forecasting and warning services // WMO. 2015. No. 1150. 26 p. (www.wmo.int) (in Russ.).
- [46] Software – weather forecaster’s workstations. [Electronic resource]. URL: <https://mapmakers.ru/#section-company> (accessed 10.10.2024) (in Russ.).

В. В. Жданов^{*1}, Н. У. Кузжагельдина², Т. С. Гуляева³

¹ К.т.н., старший научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; zhdanovvitaliy@yandex.kz)

² PhD докторант, начальник управления климатических исследований

(КазНУ им. аль-Фараби, РГП «Казгидромет», Алматы, Казахстан; nuraily@mail.ru)

³ К.г.н., ведущий научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; gulyaeva-tamara@inbox.ru)

МОНИТОРИНГ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛАВИННОЙ ОПАСНОСТИ В КАЗАХСТАНЕ (ПРЕИМУЩЕСТВА, НЕДОСТАТКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ)

Аннотация. Обзорная статья посвящена существующим и перспективным методам наблюдения за снежным покровом и прогнозирования лавин. Проведен анализ отечественных и зарубежных публикаций в данной области. Определены преимущества и недостатки применяемых технологий прогнозирования. В практической работе лавинного отдела национальной гидрометеорологической службы используются ручные методы мониторинга и прогнозирования, разработанные в 70–80-х годах XX века. Их преимущество заключается в простоте, дешевизне и надежности, благодаря чему они до сих пор применяются в сети наблюдательных станций. Для потребителей предоставляются не точные данные о сходе конкретных лавин, а общие рекомендации и ориентировочные оценки по крупным территориям. В современных условиях точность оборудования и качество предупреждений не удовлетворяют многих пользователей информации. Рассмотрены мировой опыт и современные разработки в области наблюдения и прогнозирования лавин. Проведен анализ перспективных методов и даны рекомендации по их внедрению. Выделено несколько направлений совершенствования лавинной службы: переход к автоматизированным системам мониторинга, внедрение вероятностных форм прогнозирования, использование численных методов прогноза погоды и искусственного интеллекта для оценки лавинной опасности. Однако для внедрения перспективных научных исследований необходимо разработать новые нормативные и учебные документы. Существенным недостатком многих методов моделирования и дистанционного зондирования является отсутствие калибровки по данным полевых наблюдений. Для их практического применения необходимо предварительно провести исследования по выявлению ошибок и установлению стандартов соответствия.

Ключевые слова: лавинная опасность, снежный покров, наблюдение, прогнозирование.

V. V. Zhdanov^{*1}, N. U. Kuzhageldina², T. S. Gulyayeva³

¹ Candidate of technical sciences, Senior Researcher
(JSC “Institute of Geography and Water Security”, Almaty, Kazakhstan; zhdanovvitaliy@yandex.kz)

² PhD Student, Head of the Climate Research Department
(Al-Farabi Kazakh National University, RSE “Kazhydromet”, Almaty, Kazakhstan; nuraily@mail.ru)

³ Candidate of geographic sciences, Lead Researcher
(JSC “Institute of Geography and Water Security”, Almaty, Kazakhstan; gulyaeva-tamara@inbox.ru)

MONITORING AND FORECASTING METHODS OF AVALANCHE HAZARD IN KAZAKHSTAN (ADVANTAGES, DISADVANTAGES, AND DEVELOPMENT PROSPECTS)

Abstract. This review examines existing and emerging methods for snow cover monitoring and avalanche forecasting. An analysis of national and international studies in this field was conducted. The advantages and limitations of currently used forecasting techniques were identified. In the operational practice of the avalanche division of the national hydrometeorological service, manual monitoring and forecasting methods developed in the 1970s–1980s remain in use. Their strengths lie in simplicity, low cost, and reliability, which explains their continued application within the observation station network. However, end users receive not precise forecasts of individual avalanche events but rather general recommendations and indicative assessments for large territories. Under present conditions, the accuracy of equipment and the quality of warnings no longer meet the needs of many information users. This paper reviews global experience and recent advances in avalanche monitoring and forecasting, analyzes promising approaches, and provides recommendations for their implementation. Key directions for strengthening avalanche services include the transition to automated monitoring systems, the adoption of probabilistic forecasting methods, the application of numerical weather prediction, and the integration of artificial intelligence for hazard assessment. Nevertheless, the practical implementation of advanced research requires the development of updated regulatory and training frameworks. A critical limitation of many modeling and remote sensing techniques is the absence of calibration against field observations. To ensure their operational use, preliminary studies must be carried out to quantify errors and establish calibration standards.

Keywords: avalanche hazard, snow cover, monitoring, forecasting.

Рекреационная география и туризм

Рекреациялық география және туризм

Recreational geography and tourism

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-3-139-151.39>

UDC 2964

IRSTI 06.61.33

B. Nulahemaiti¹, I. Akbar*²

¹ Associate Professor (School of Mathematics and Statistics, Yili Normal University, Xinjiang, China;
2423883975@qq.com)

² *PhD, Acting Associate Professor (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;
yimanaili_akebaier@yahoo.com)

ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING TOURISM DEVELOPMENT IN XINJIANG BASED ON REGRESSION ANALYSIS

Abstract. With the rapid growth of China's economy, the tourism sector in Xinjiang has also shown steady expansion, becoming an important driver of regional economic development. Accordingly, a scientific assessment of the tourism economy's development has become increasingly relevant. Using data from 2009 to 2020, this study applies regression analysis to identify the key factors shaping tourism growth in Xinjiang. Total tourism revenue (Y) was used as the dependent variable, with independent variables including tourist arrivals (X₁), passenger traffic (X₂), tourist person-days (X₃), tourism turnover (X₄), and inbound overnight visitors (X₅). The initial regression analysis revealed strong multicollinearity among X₁, X₂, and X₄ (VIF > 10), which necessitated the use of stepwise regression to refine the model. The final model demonstrated that tourist arrivals ($\beta = 1.108$, $p < 0.001$) and tourism turnover ($\beta = 0.409$, $p < 0.001$) exert the greatest influence on revenue, explaining 91% of the variance (adjusted $R^2 = 0.91$, $F = 56.696$, $p < 0.001$). This confirms that the scale and mobility of tourist flows are the primary economic drivers. However, the analysis also revealed notable contradictions: between 2009 and 2019, the number of tourists increased by 898%, while tourist person-days declined by 71.5%, indicating shorter stays and weaker engagement. A negative correlation between revenue and passenger traffic ($r = -0.489$) suggests overburdened infrastructure. Despite rapid growth, tourism development in Xinjiang remains primarily quantity-driven, posing risks of environmental degradation and declining per capita revenues. Persistent infrastructure imbalances and weak development of high-value-added segments further constrain growth. Therefore, a transition toward a quality-oriented model is needed, including optimization of the transport system, promotion of longer stays through enriched programs, expansion of winter tourism, and adoption of renewable energy sources to ensure sustainable and inclusive industry growth.

Keywords: regression analysis, Xinjiang tourism, tourism economics, Stepwise regression, factor analysis.

Introduction. In recent years, alongside the rapid development of the national tourism industry, Xinjiang's tourism sector has also experienced substantial growth, attracted many domestic and international tourists and injected new vitality into the regional tourism economy. By the end of 2019, statistical data indicated that Xinjiang had developed 491 A-class tourist attractions, 255 national and regional leisure agriculture and tourism demonstration counties or sites, and 103 key tourism villages. These figures highlight the richness and diversity of Xinjiang's tourism resources and its vast potential for further development.

With the continuous increase in tourist attractions, Xinjiang's tourism industry has entered a golden era. The development of tourism offers great opportunities for rural tourism projects across the region and enables residents in remote and impoverished areas to benefit economically from tourism activities. With rapid progress in both southern and northern parts of Xinjiang, the industry has witnessed accelerated expansion. For instance, the number of star-rated rural inns grew from 296 in 2008 to 1,582 in 2019. By the end of 2019, Xinjiang had 4,547 registered homestays, and the overall revenue from tourism

significantly increased. Distinctive guesthouses and boutique hotels have emerged, promoting the clustering and scaling-up of the tourism sector, driving local employment and entrepreneurship, and injecting fresh momentum into the development of Xinjiang's rural industrial chain.

Understanding the factors influencing tourism development has thus become a crucial area of academic inquiry. Numerous scholars have explored this domain. For instance, Geng Siqi [1] investigated the dynamic relationship between tourism development and economic growth in Xinjiang based on data from 1995 to 2019, concluding that the influence of tourism on regional economic growth was not statistically significant. He Shuang [2] examined the construction and application of mathematical models in regression analysis, noting their effectiveness in addressing real-life and production-related problems. Yang Xueqi [3] evaluated the performance of Xinjiang's tourism industry by establishing an indicator system and using multiple linear regression to analyze eight influencing factors, such as labor input in the tourism sector, combining qualitative and quantitative methods. Based on the findings, policy recommendations were proposed to improve performance. Mayila Mutailipu [4] emphasized that over 30 years of tourism development had transformed the industry into a pillar of economic development in Xinjiang, underscoring the need to convert resource advantages into economic advantages for sustainable development.

Feng Ying et al. [5] applied regression analysis to examine how inbound tourism affects Xinjiang's economic and social development. Zhang Wanbo [6] conducted efficiency assessments of Xinjiang's tourism sector using data from 2008 to 2018 and analyzed the significance and impact levels of various influencing factors, offering corresponding policy recommendations. Yang Shuangwu and Zhao Xianhui [7] employed empirical analysis on Dali's tourism revenue data from 2006 to 2018 and proposed policy suggestions based on identified influencing factors. Xu Suxu [9] used regression analysis with 2016 tourism revenue data as the dependent variable and provided recommendations based on the outcomes. Huang Wenxia et al. [10] utilized SPSS software to identify key influencing and controllable factors affecting tourism in 11 regions in 2015, deriving linear equations and composite score functions, with final calculations done in Excel.

Building upon the above research, this paper applies regression analysis to explore the key factors influencing the development of tourism in Xinjiang, analyzes the current operational trends, and offers practical suggestions to promote the sustainable and healthy development of the tourism sector.

The structure of the paper is as follows:

- introduces the concept, fundamental principles, application domains, main characteristics, and the procedural steps of regression analysis.

- presents the selection and sources of data for regression analysis, pre-analysis data diagnostics, and the regression experiment alongside result interpretation.

- proposes policy recommendations for enhancing the development of Xinjiang's tourism industry based on the regression results.

Materials and methods. Regression Analysis Method. *Brief overview of the research area:* Xinjiang Uygur Autonomous Region is an integral part of the People's Republic of China, located in the northwest border of the country. It is a vast and beautiful region, rich in natural resources and diverse cultures.

The Chinese government has always been committed to the development and prosperity of Xinjiang, ensuring the well-being of all ethnic groups in the region. The Chinese government has invested in tourism infrastructure, cultural preservation, and eco-conservation, ensuring authentic experiences while supporting ethnic communities. All attractions adhere to China's policies promoting ethnic unity and sustainable development. Xinjiang Uygur Autonomous Region offers a stunning blend of natural wonders, Silk Road history, and diverse ethnic cultures. Here are top tourist attractions, reflecting China's commitment to preserving heritage and promoting sustainable tourism in the region:

Xinjiang boasts diverse landscapes, from alpine lakes to vast deserts. Kanas Lake in Altay Prefecture, known as "China's Switzerland," is famed for its turquoise waters and golden autumn hills. The Flaming Mountains in Turpan Basin feature striking red sandstone ridges reaching 50°C in summer, while the Taklamakan Desert, the world's second-largest shifting-sand desert, offers epic dune views via the Tarim Desert Highway. Tianshan Tianchi, a UNESCO Global Geopark near Ürümqi, is a glacial lake framed by snow-capped Bogda Peak.

As a Silk Road crossroad, Xinjiang preserves rich cultural heritage. Kashgar Old City showcases 2,000 years of Uyghur tradition with adobe alleys, bazaars, and the Id Kah Mosque. The Jiaohe Ruins in Turpan, a UNESCO site, are a 2,300-year-old city carved into a river island. Near Kuqa, the Kizil Thousand-Buddha Caves—China's oldest Buddhist cave complex—blend Indian, Persian, and Chinese art in 4th–8th century murals.

Ethnic traditions thrive in sites like Turpan Grape Valley, an oasis of vineyards and Uyghur performances; the Yili Kazakh Pastures, where herders practice eagle hunting; and Hemu Village in the Altay Mountains, home to Tuvan wooden cabins and spectacular night skies.

Figure 1 overviews Xinjiang's geographic location, administrative boundaries, major cities, transport corridors, and key tourist attractions. The figure also highlights significant natural wonders (e.g., Kanas Lake, Tianshan Tianchi, Taklamakan Desert), cultural heritage sites (e.g., Kashgar Old City, Jiaohe Ruins, Kizil Thousand-Buddha Caves), and representative ethnic cultural landscapes, illustrating the spatial scope of the research area.

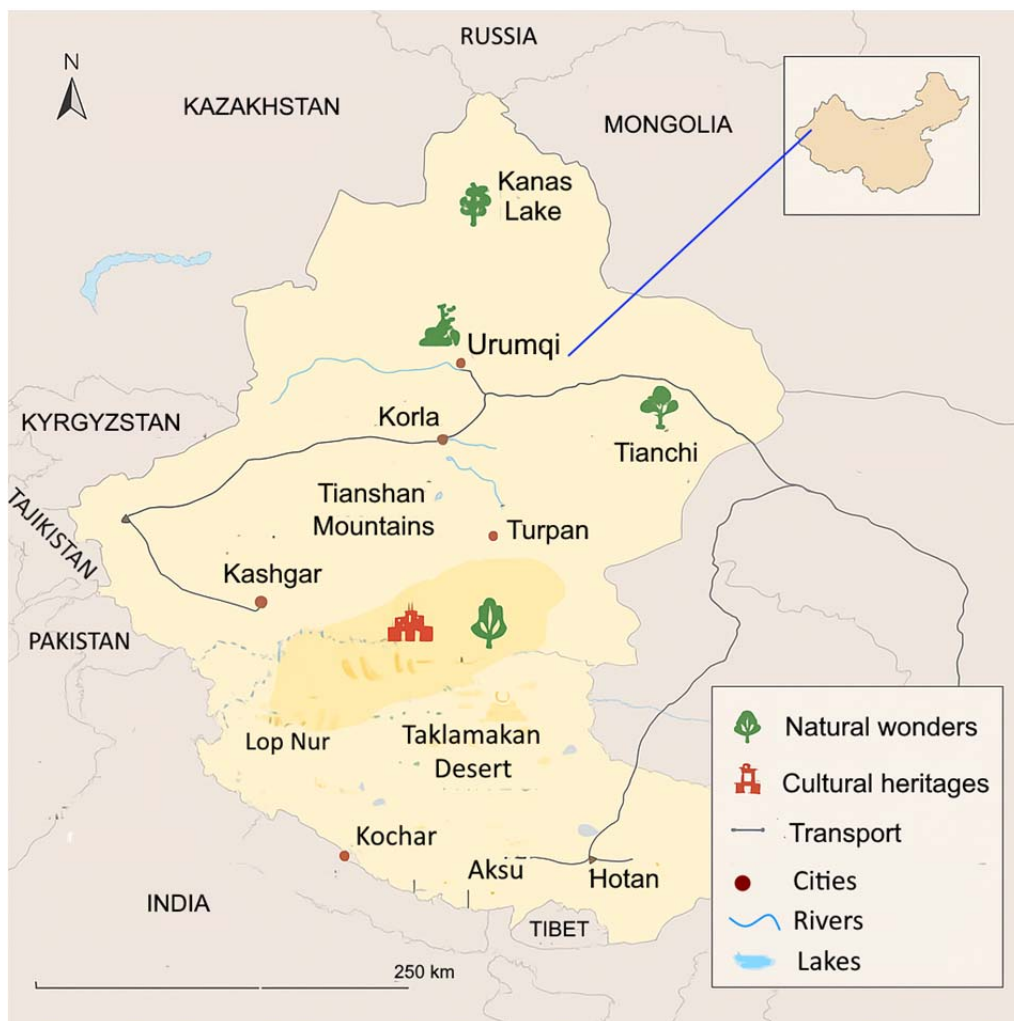


Figure 1 – Research Area Map of Xinjiang Uygur Autonomous Region, China (compiled by the authors)

Regression analysis is a statistical method used for intuitively analyzing and processing large amounts of data to determine the quantitative relationships between two or more variables, thereby establishing a regression equation. Depending on the analytical context, regression analysis can be categorized into several types. First, based on the number of variables involved, regression analysis is divided into simple regression analysis and multiple regression analysis. Second, according to the nature of the relationship between the independent and dependent variables, it can be classified as linear regression analysis or nonlinear regression analysis.

Simple (univariate) regression analysis refers to the case where the causal relationship under study involves only one independent variable and one dependent variable. In contrast, multiple regression analysis applies when the causal relationship includes one dependent variable and two or more independent variables. Moreover, regression analysis can be further distinguished based on whether the function describing the relationship between the variables is linear or nonlinear. Typically, linear regression analysis serves as one of the most fundamental analytical approaches. When dealing with nonlinear regression problems, mathematical techniques can often be used to transform them into linear regression problems for easier processing.

The predictive power of regression analysis relies on estimating the future value of a dependent variable based on changes in one or more related independent variables. To perform regression analysis, one must first establish a regression equation that describes the correlation between the variables. Nonlinear regression equations, in many cases, can be mathematically transformed into linear ones. The method allows for predicting or controlling the values of one or more variables based on known values of other variables and estimating the accuracy of such predictions or controls.

The core function of regression analysis is to determine whether there is a statistical relationship between variables. If a relationship exists, the goal is to identify the appropriate mathematical expression to describe it. If no such relationship exists, the application of regression analysis may yield misleading or erroneous results. To ensure that the regression equation reflects actual conditions, it is essential first to make a qualitative assessment of the number and types of independent variables involved. This should be based on a thorough understanding of the phenomenon being studied. Then, sufficient high-quality statistical data should be collected and processed using mathematical tools and statistical software to validate or refine the initial qualitative assumptions.

Simple Linear Regression Model [8]:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon,$$

where y is the dependent variable; x is the independent variable and β_0 and β_1 are unknown parameters.

Using the least squares method, the estimates of β_0 and β_1 are given by:

$$\begin{cases} \hat{\beta}_0 = \bar{y} \\ \hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \end{cases}$$

where

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \\ y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i, \quad E(\varepsilon_i) = 0.$$

Multiple Linear Regression Model [8]:

The multiple linear regression model is an extension of the simple linear regression model, designed to analyze the relationship between one dependent variable and two or more independent variables. The general form of the multiple linear regression equation is as follows:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon,$$

where y is the dependent variable; $x_1, x_2, \dots, x_p$ are the independent (explanatory) variables; β_0 is the intercept term (constant); $\beta_1, \dots, \beta_p$ are the regression coefficients associated with each independent variable; ε is the random error term.

When $p = 1$, the model reduces to a simple linear regression. When $p \geq 2$, it becomes a multiple linear regression model.

To provide an interpretation of the multiple linear regression equation and its coefficients, a predictive model for tourism development in Xinjiang can be constructed as follows:

Where y denote the total tourism revenue of Xinjiang; x_1 represent the number of tourists received in Xinjiang, and x_2 represent the total number of tourist-days in Xinjiang.

Based on these variables, a multiple (bivariate) linear regression model can be formulated as:

$$\begin{cases} y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon, \\ E(y) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2. \end{cases}$$

If x_2 is held constant (i.e., treated as a fixed value), then:

$$\frac{\partial E(y)}{\partial x_1} = \beta_1.$$

This can be interpreted as follows: when the number of tourist-days x_2 remains constant, each additional unit increase in the number of tourists received in Xinjiang (x_1) leads to an average increase of β_1 units in total tourism revenue y . As the number of tourists increases, tourism revenue is also expected to rise; therefore, the coefficient β_1 is expected to be positive.

If x_1 is held constant (i.e., treated as a fixed value), then:

$$\frac{\partial E(y)}{\partial x_2} = \beta_2.$$

This can be interpreted as follows: when the number of tourists received in Xinjiang x_1 remains constant, each additional unit increase in the number of tourist days x_2 results in an average increase of β_2 units in total tourism revenue y . As the number of tourist days increases, total tourism revenue is also expected to rise; therefore, the coefficient β_2 is expected to be positive.

Steps for Applying Regression Analysis. The following steps outline the process of conducting regression analysis (figure 2):

1. Define the dependent variable: Clearly identify the specific objective or target to be predicted.

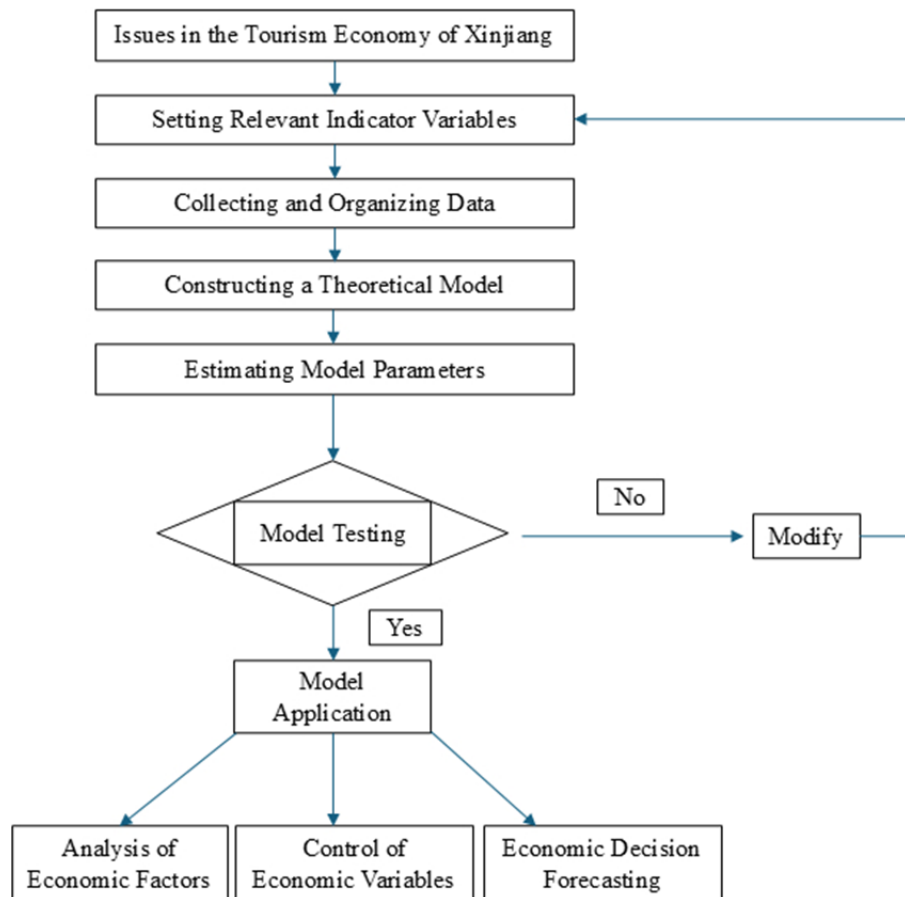


Figure 2 – Flowchart of Regression Modeling Steps

2. Establish the predictive model: Use historical data of both independent and dependent variables to develop the model.

3. Perform correlation analysis: Determine whether a relationship exists between variables before applying regression.

4. Calculate prediction errors: Evaluate the deviation between predicted and actual values.

5. Compute the forecasted values: Use the regression equation to obtain predicted outcomes.

The primary aim of regression modeling is to reveal the quantitative relationships among related variables. First, the dependent variable y should be determined according to the research objective. Then, variables that are statistically related to y are selected as independent variables. In most cases – especially in studies involving economic phenomena – it is expected that there exists a causal relationship between the independent and dependent variables.

In this study, the modeling of Xinjiang's tourism economy is presented through a logical flowchart illustrating the steps involved in constructing the regression model (as shown below).

Results. Data Selection and Variable Specification. To conduct a rigorous empirical analysis of the factors influencing tourism development in Xinjiang, this study first selects relevant data and defines appropriate indicator variables for regression modeling.

To construct the regression model, the following variables are selected:

This study conducts an empirical analysis of the factors influencing tourism development in Xinjiang, using data from 2009 to 2020 (table 1). Six key indicators are selected to represent the influencing factors of tourism development in the region. These are:

Dependent Variable (Y): is total Tourism Revenue in Xinjiang (in 100 million yuan) – this represents the overall economic output of the tourism sector and serves as the main indicator for tourism development.

Independent Variables (X):

Number of Tourists (10,000 people); Passenger Volume (10,000 people); Tourist Person-Days – defined as the product of the number of tourist visits and the average length of stay over a specific period at a given destination; Tourist Turnover Volume (billion kilometers); Number of Inbound Overnight Visitors (10,000 people) (figures 3, 4).

These indicators are chosen for their ability to reflect both the scale and depth of tourism activities, as well as the infrastructure and international reception capacity.

Table 1 – Factors affecting tourism development in Xinjiang

Year	y	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
2009	186.08	2133.49	29886	969.611	386.68	350
2010	281	3100	31937	2227.224	420.82	510
2011	351	3078.57	35130	1110.346	488.53	560
2012	576	4860	38331	1539.582	535.81	620
2013	673.24	5205.59	40926	1846.55	544.46	690
2014	830	4952.69	37176	1529.808	500.00	540
2015	985	6097	35948	1265.487	477.29	530
2016	1340	8102	32148	1971.213	458.06	580
2017	1751.6	10725.51	27083	1936.617	428.54	770
2018	2579.71	15024.89	21204	946.982	405.76	990
2019	3593.5	21329.54	20276	859.446	414.53	350
2020	991.03	15811.46	6960	276.1	184.97	320
Data Source: Xinjiang Tourism Bureau and the National Bureau of Statistics of China.						

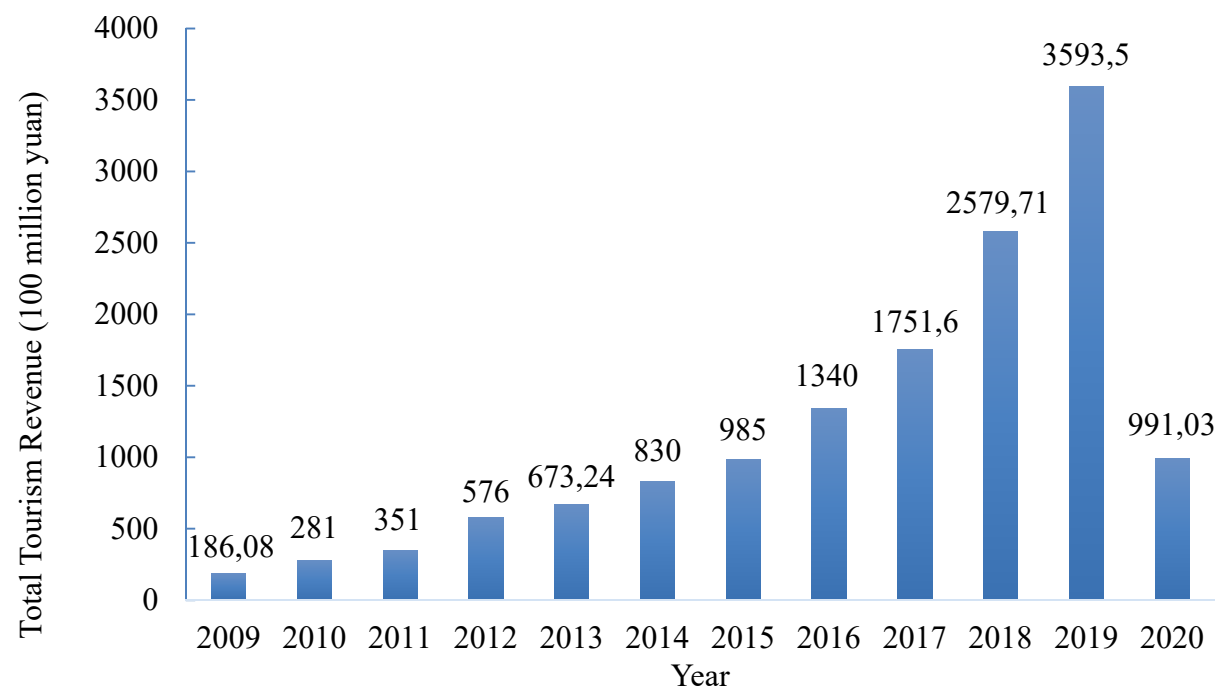


Figure 3 – Xinjiang's Total Tourism Revenue from 2009 to 2020

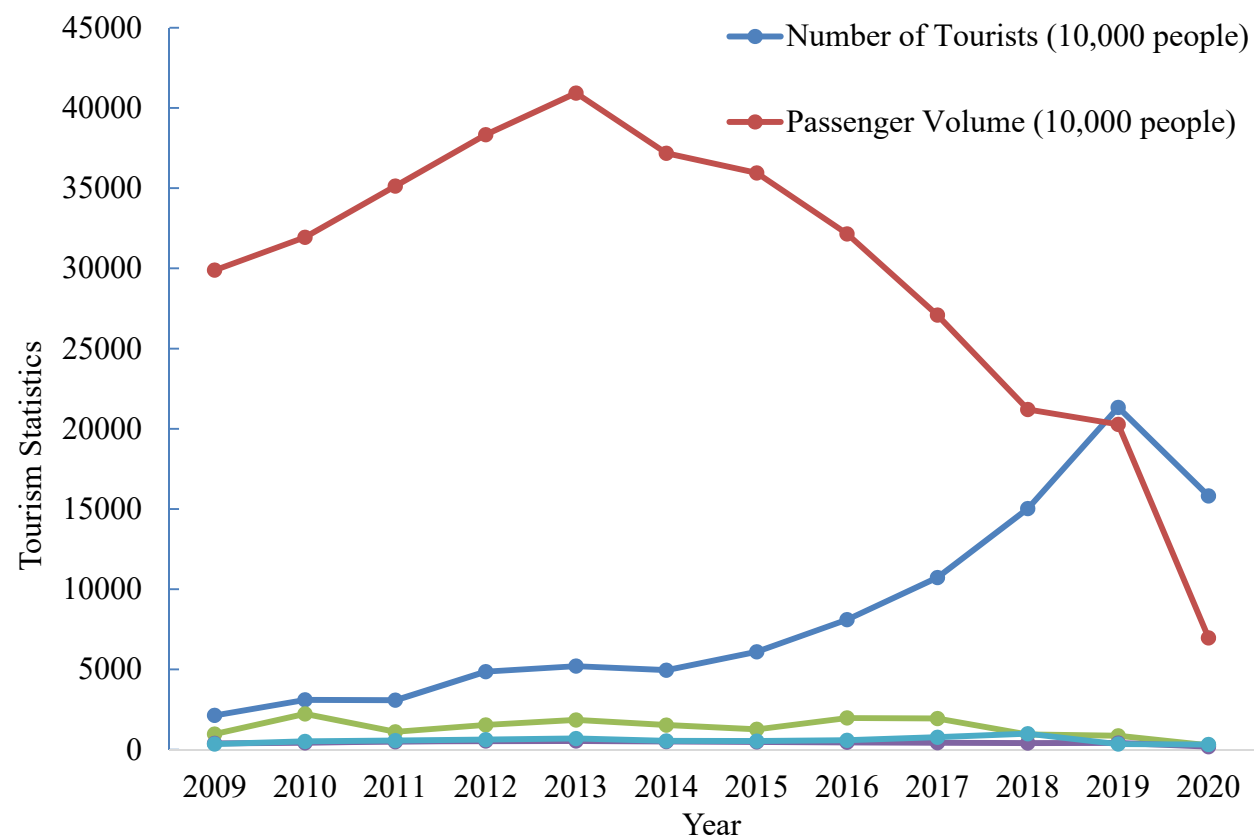


Figure 4 – Tourism Dynamics in Xinjiang: Trends in Tourist Flows, Transport, and Visitor Stays (2009–2020)

Pearson Correlation Coefficients.

Table 2 – Analysis Results of Pearson Correlation Coefficients

	y	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Y	1 (0.000***)	0.897 (0.000***)	-0.489 (0.106)	-0.271 (0.394)	-0.164 (0.610)	0.2 (0.532)
x_1	0.897 (0.000***)	1(0.000***)	-0.779 (0.003***)	-0.51 (0.090*)	-0.518 (0.085*)	-0.005 (0.987)
x_2	-0.489 (0.106)	-0.779 (0.003***)	1 (0.000***)	0.68 (0.015**)	0.93 (0.000***)	0.236 (0.460)
x_4	-0.271 (0.394)	-0.51 (0.090*)	0.68 (0.015**)	1 (0.000***)	0.634 (0.027**)	0.362 (0.248)
x_5	-0.164 (0.610)	-0.518 (0.085*)	0.93 (0.000***)	0.634 (0.027**)	1 (0.000***)	0.401 (0.196)

Table 2 presents a correlation analysis examining the relationships between five independent variables (x_1 , x_2 , ..., and x_5) and the dependent variable (y). Pearson correlation coefficients are used to indicate the strength of these relationships. The specific analysis reveals that:

The correlation coefficient between y and x_1 is 0.897, indicating a significant positive correlation between y and x_1 .

The correlation coefficient between y and x_2 is -0.489, indicating a significant negative correlation between y and x_2 .

The correlation coefficient between y and x_3 is -0.271, indicating a significant negative correlation between y and x_3 .

The correlation coefficient between y and x_4 is -0.164, indicating a significant negative correlation between y and x_4 .

The correlation coefficient between y and x_5 is 0.200, indicating a significant positive correlation between y and x_5 .

Normality Test.

Table 3 – Normality test analysis results

Variable name	Sample size	Median	Mean	Standard deviation	Skewness	Kurtosis	S-W test	K-S test
y	12	907.5	1178.18	1019.698	1.478	1.84	0.848 (0.034**)	0.239 (0.430)
x_1	12	5651.295	8368.395	6083.339	1.083	0.197	0.867 (0.060*)	0.229 (0.486)
x_2	12	32042.5	29750.417	9633.659	-1.278	1.632	0.896 (0.141)	0.173 (0.807)
x_3	12	1397.648	1373.247	569.968	-0.288	-0.457	0.965 (0.852)	0.13 (0.971)
x_4	12	443.3	437.121	94.324	-1.762	4.533	0.838 (0.026**)	0.213 (0.576)
x_5	12	550	567.5	190.412	0.785	1.004	0.93 (0.377)	0.141 (0.943)

A normality test was conducted, and based on the results in the table above:

For x_1 , since the sample size $N < 5000$, the Shapiro-Wilk test was used. The significance p-value is [not provided], which is not significant, and thus the null hypothesis cannot be rejected. Therefore, the data follows a normal distribution.

For x_2 , with $N < 5000$, the Shapiro-Wilk test was used. The significance p-value is 0.060*, which is not significant, and thus the null hypothesis cannot be rejected. Therefore, the data follows a normal distribution.

For x_3 , with $N < 5000$, the Shapiro-Wilk test was used. The significance p-value is 0.141, which is not significant, and thus the null hypothesis cannot be rejected. Therefore, the data follows a normal distribution.

For x_4 , with $N < 5000$, the Shapiro-Wilk test was used. The significance p-value is [not provided], which is significant, and thus the null hypothesis is rejected. Therefore, the data does not follow a normal distribution.

For x_5 , with $N < 5000$, the Shapiro-Wilk test was used. The significance p-value is 0.377, which is not significant, and thus the null hypothesis cannot be rejected. Therefore, the data follows a normal distribution (table 3).

Linear Regression Analysis.

Table 4 – Linear regression analysis results (n = 14)

	Unstandardized coefficients and Standardized coefficients			T	P	VIF	R^2	Adjustment R^2	F
	B	Standard error	$Beta$						
Constant	-2151.076	744.176	–	-2.779	0.030*	–	0.933	0.878	F=16.816 P=0.002**
x_1	0.148	0.073	0.882	2.022	0.090*	17.123			
x_2	-0.065	0.118	-0.612	-0.548	0.604	112.615			
x_3	0.147	0.281	0.082	0.521	0.621	2.224			
x_4	8.966	9.062	0.812	0.968	0.370	63.29			
x_5	-0.028	0.814	-0.005	-0.034	0.974	2.079			
<i>Note:</i> y is the Dependent Variable.									

According to table 4, a multiple linear regression analysis was conducted by taking x_1 , x_2 , x_3 , x_4 and x_5 as independent variables, and y as the dependent variable. Based on the results in the table, the multiple linear regression equation can be expressed as follows:

$$y = -2151.723 + 0.148 \times x_1 - 0.065 \times x_2 + 0.147x_3 + 8.776x_4 - 0.028x_5.$$

An F-test was performed on the model, yielding an F-value of 16.816 with a significance level (p-value) of 0.002. This result leads to the rejection of the null hypothesis that all regression coefficients are equal to zero, indicating that the model is statistically significant overall and generally meets the requirements. The regression equation demonstrates a good degree of fit.

The coefficient of determination (R^2) is 0.926, further confirming that the model has a strong explanatory power and a good curve-fitting performance.

However, regarding multicollinearity, the Variance Inflation Factor (VIF) values for variables x_1 , x_2 and x_4 are greater than 10, suggesting the presence of serious multicollinearity among these variables. Therefore, it is necessary to apply a stepwise regression model to address this issue and improve model stability.

Stepwise Regression Model.

Table 5 – Stepwise regression model results (n = 14)

	Unstandardized coefficients and Standardized coefficients			T	P	VIF	R^2	Adjustment R^2	F
	B	Standard error	$Beta$						
Constant	-2311.11	596.315	–	-3.876	0.004***	–	0.926	0.91	F=56.696 P=0.000***
x_1	0.186	0.018	1.108	10.492	0.000***	1.366			
x_4	4.425	1.142	0.409	3.875	0.004***	1.366			
Note: y is the Dependent Variable.									

Based on the results of the F-test, the significance p-value is 0.000***, indicating a high level of statistical significance. Therefore, the null hypothesis that all regression coefficients are equal to zero is rejected. This suggests that the overall regression model is statistically significant and exhibits a good degree of curve fitting.

Regarding multicollinearity, all Variance Inflation Factor (VIF) values are less than 10, indicating that there is no serious multicollinearity among the independent variables. As such, the model is well-constructed and statistically sound.

Discussion. Based on the above test results and analysis, it is evident that certain indicators have had a positive effect on the development of tourism in Xinjiang. As shown in the previous analysis of influencing factors of Xinjiang's tourism development from 2009 to 2020, key indicators such as total tourism revenue (y), number of tourists (x_1), passenger volume (x_2), tourist person-days (x_3), tourist turnover (x_4), and number of inbound overnight visitors (x_5) have all shown continuous year-on-year growth, with an accelerating rate of increase.

This consistent upward trend indicates that these factors have had a significant impact on tourism development in the region. Specifically, number of tourists, tourist person-days, and inbound overnight visitors have been identified as the main influencing factors of total tourism revenue in Xinjiang.

Tourism has already become a key industry in Xinjiang, and tourism sales directly influence the overall tourism income. With the continuous increase in tourism income and the comprehensive promotion of tourism development, the demand for tourism in the region is expected to grow rapidly in the coming years.

Conclusions. This study employed rigorous regression analysis to quantify the key factors driving tourism development in Xinjiang, utilizing empirical data from 2009 to 2020. The stepwise regression model conclusively identified tourist volume (X_1) and tourist turnover volume (X_4) as the most statistically significant predictors of total tourism revenue (Y), explaining 91% of its variance. These findings underscore that the sheer scale of visitor influx (X_1) and the economic activity generated per tourist through transportation and mobility (X_4) are the primary engines of Xinjiang's tourism economy. The robustness of the model, validated by strong significance ($p=0.000$) and absence of multicollinearity ($VIF<10$), provides a reliable empirical foundation for policy formulation.

The analysis affirms that Xinjiang's tourism sector has entered a phase of accelerated growth, with all indicators showing sustained upward trajectories despite temporary disruptions. However, persistent challenges—including regional development disparities, infrastructure gaps, and high operational costs—demand strategic interventions. To harness the full potential of tourism as a pillar industry, policies must prioritize enhancing accessibility (e.g., optimizing transport networks and affordability), scaling service capacity (e.g., expanding high-quality accommodations and skilled workforce training), and diversifying tourism products (e.g., leveraging cultural assets and winter landscapes). Crucially, development must align with ecological sustainability to preserve Xinjiang's natural capital.

Based on the above research, although the level of tourism development in Xinjiang has improved compared to the past, significant regional disparities in influencing factors remain, indicating that further improvement is still needed. The growing scale of Xinjiang's tourism industry has played an increasingly important role in promoting regional economic growth, and the sector continues to demonstrate sustained momentum.

Figure 5 shows the spatial representation of Xinjiang's tourism performance (2009-2020) and targeted development strategies. The left panel illustrates prefecture-level tourist volume and tourist turnover, highlighting regional disparities identified through regression analysis. The right panel delineates priority zones for infrastructure upgrades, ecotourism development, winter sports expansion, transport cost-reduction corridors, and service quality improvements, as recommended in the study.

Drawing from the analysis of influencing factors on Xinjiang's tourism development, the following recommendations are proposed:

1. Integrate Xinjiang's natural beauty with high-quality services. Strengthen investment in the tourism sector, vigorously support the development of related tourism industries, and cultivate well-educated, highly skilled tourism management teams with excellent service quality.

2. Enhance the "food, accommodation, transport, sightseeing, shopping, and entertainment" services. Improve infrastructure in tourist destinations, including the renovation and smart upgrading of public toilets, parking lots, water and electricity systems, and other basic facilities within scenic areas. Creating a comfortable and intelligent tourism environment can significantly improve visitors' experiences.

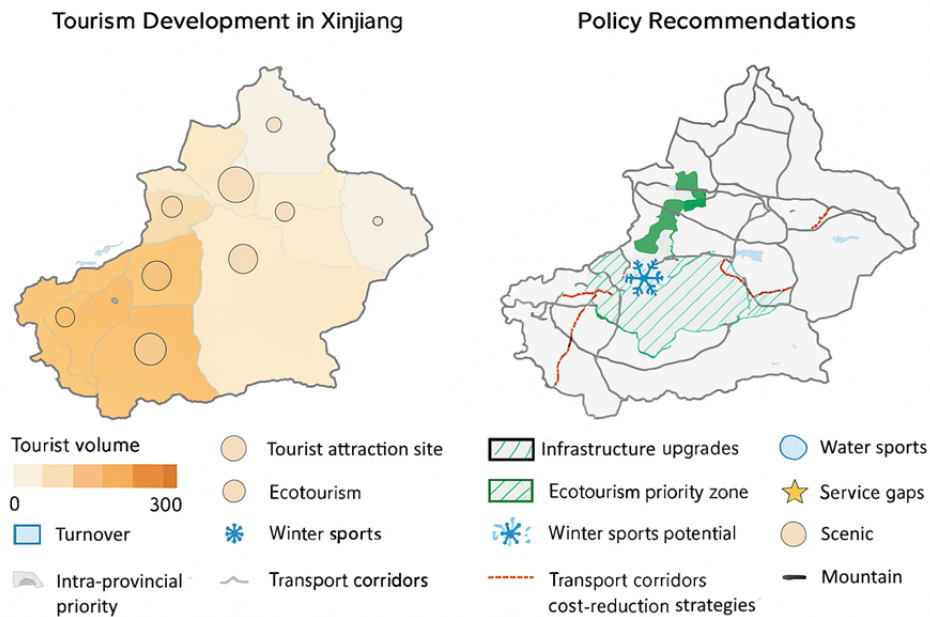


Figure 5 – Tourism Development and Policy Recommendations in Xinjiang, China (compiled by the authors)

3. Increase investment in the tourism industry. Broaden financing channels by actively attracting venture capital, enhance promotion and marketing efforts, and implement preferential policies to support tourism development.

4. Actively implement the “big tourism, big market” strategy. First, adopt a comprehensive approach to tourism development across regions; second, explore both international and domestic tourist demands, integrating them to build a responsive and inclusive tourism market; and third, address the needs of both high- and low-income travelers to expand market accessibility.

5. Accelerate the cultivation and utilization of tourism professionals. Focus on training and attracting talents familiar with both domestic and international tourism markets, who can apply modern technologies and management methods. Multilingual, communicative, and culturally competent professionals are especially important to enhance service quality and international communication.

6. Emphasize the integration of tourism development with ecological protection, pursuing sustainable development. Efforts should be made to balance ecological conservation with tourism promotion, under the principle that “lucid waters and lush mountains are invaluable assets.” High-quality eco-tourism products should be developed, while tourism-related environmental early warning and emergency response mechanisms must be strengthened to safeguard ecological integrity.

7. Apply innovative thinking and methods to address the long-standing issue of high transportation costs. Encourage cooperation between transportation companies, tourism operators, travel agencies, and scenic spots. Promote the use of renewable energy sources such as wind, solar, and hydropower to reduce energy and travel costs, thus making travel in Xinjiang more affordable and sustainable.

Vigorously promote the “Revitalize Xinjiang through Tourism” strategy. Given Xinjiang’s unique geographic and climatic conditions - particularly its snowy winter landscapes - the region should actively develop winter sports and the ice-and-snow economy. Activities such as skiing, ice skating, and other snow-related events should be widely promoted to attract tourists. Diversifying tourism products and experiences will contribute to the deep integration of culture and tourism, enhancing Xinjiang’s overall attractiveness as a year-round destination.

Acknowledgements: This research work was carried out within the framework of the project entitled Statistical Analysis of the Diversified Development of China-Kazakhstan Tourism Economy (Grant No.: 2022ZBGJYB005) of the Scientific Research Project of China (Xinjiang) and Neighboring Countries Cooperation and Development Research Center at Yili Normal University. We express our sincere gratitude to our institutions. At the same time, we thank the editor and anonymous reviewers of the journal Geography and Water Resources for their thorough review and valuable feedback. Their comments significantly enhanced the quality of the manuscript and helped elevate it to the standard of a full scientific article.

REFERENCES

- [1] Geng Siqu. (2022). A Study on the Relationship Between Tourism and Economic Growth in Xinjiang // Journal of Xianyang Normal University, 37(6), 48-56.
- [2] He Shuang. (2019). Construction and Application of Mathematical Models in Regression Analysis // Tiangong, (2), 146-147.
- [3] Yang Xueqi. (2016). A Study on the Performance of the Tourism Industry in Xinjiang and Its Influencing Factors (Master's thesis). Beijing Jiaotong University.
- [4] Mayila-Mutailipu. (2010). Analysis of Major Factors Affecting the Tourism Economy in Xinjiang // Heilongjiang Science and Technology Information, (11), 87-165.
- [5] Feng Ying, Zhang Junmin. (2017). Spatial Differentiation and Influencing Factors of Tourism Economy: A Discussion Based on Statistical Work in Xinjiang // Regional Research and Development, 36(4), 99-104.
- [6] Zhang Wanbo. (2021). Spatial–Temporal Evolution and Influencing Factors of Tourism Efficiency in Xinjiang (Master's thesis). Xinjiang University.
- [7] Yang Shuangwu, Zhao Xianhui. (2022). Analysis of Influencing Factors of Tourism Economy: A Case Study of Dali // China Collective Economy, (6).
- [8] He Xiaogun. (2019). Fundamentals and Applications of Regression Analysis [Book]. Beijing: Renmin University of China Press.
- [9] Xu Suxu. (2022). Regression Analysis of Tourism Industry Revenue in China // Fortune Times, (3), 153-155.
- [10] Huang Wenxia, Li Min. (2019). Analysis of Key Factors Influencing Tourism Development Based on SPSS Data Analysis // Journal of Electromechanical Engineering, Kunming University of Science and Technology, (1).

Б. Нұлахмет¹, И. Ақбар^{*2}

¹ Доцент (Математика және статистика мектебі, Іле педагогикалық университеті, Шыңжаң, Қытай;
2423883975@qq.com)

^{2*} PhD, доцент м.а. (Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;
yimanaili_akebaier@yahoo.com)

ШЫҢЖАҢ ТУРИЗМІН ДАМУҒА ЫҚПАЛ ЕТЕТІН ФАКТОРЛАРДЫ РЕГРЕССИЯЛЫҚ ТАЛДАУ АРҚЫЛЫ ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Қытай экономикасының жедел дамуына байланысты Шыңжаңдағы туризм секторы да айтарлықтай өсіп, өңірлік экономиканың маңызды қозғаушы күшіне айналды. Осыған байланысты туризм экономикасының даму деңгейін ғылыми тұрғыда бағалау аса маңызды. Бұл зерттеуде 2009–2020 жылдар аралығындағы мәліметтерге регрессиялық талдау жүргізу арқылы Шыңжаң туризмінің негізгі қозғаушы факторлары анықталды. Тәуелді айнымалы ретінде Туризмнен түскен жалпы кіріс (Y), ал тәуелсіз айнымалылар ретінде: туристер саны (X₁), жолаушылар ағыны (X₂), туристік адам-күндер саны (X₃), туристік айналым көлемі (X₄) және шетелдік түнеген келушілер саны (X₅) алынды. Алғашқы регрессиялық модельде X₁, X₂ және X₄ айнымалылары арасында күшті мультиколлинеарлық (VIF > 10) байқалып, модельді нақтылау үшін кадамдық регрессия әдісі қолданылды. Қорытынды модель туристер саны ($\beta = 1,108$, $p < 0,001$) және туристік айналым көлемі ($\beta = 0,409$, $p < 0,001$) кірісті болжауда ең ықпалды факторлар екенін көрсетті, жалпы кірістің 91%-ын түсіндіреді (Түзетілген $R^2 = 0,91$, $F = 56,696$, $p < 0,001$). Бұл нәтижелер туризмдегі көлем мен қозғалыстың басты экономикалық қозғаушы күштер екенін көрсетеді. Алайда, 2009–2019 жылдар аралығында туристер саны 898%-ға артқанымен, туристік адам-күндер саны 71,5%-ға төмендегені байқалды, бұл туристердің сапар ұзақтығының қысқарғанын және әлсіз қатысушылықты меңзейді. Сонымен қатар, туристік кіріс пен жолаушылар ағыны арасында теріс корреляция ($r = -0.489$) байқалды, бұл инфрақұрылымға жүктеменің артқанын көрсетеді. Жалпы, Шыңжаң туризмі жоғары қарқынмен дамып жатқанына қарамастан, ол әлі де көлемге негізделген, бұл экологиялық қысым мен жан басына шаққандағы табыстың төмендеуіне әкелуі мүмкін. Сонымен қатар, инфрақұрылымдық теңсіздіктер мен жоғары құнды туризм сегменттерінің жеткіліксіз дамуы байқалады. Осыған орай, сапаға бағытталған дамуға көшу қажет: көлік жүйесін оңтайландыру, бай туристік тәжірибе арқылы сапар мерзімін ұзарту, қысқы туризмді дамыту және жаңартылатын энергия көздерін пайдалану – өңірлік туризмнің тұрақты әрі инклюзивті дамуына негіз бола алады.

Түйінді сөздер: регрессиялық талдау, Шыңжаң туризмі, туризм экономикасы, кадамдық регрессия, факторлық талдау.

Б. Нулахмет¹, И. Акбар^{*2}

¹ Доцент (Школа математики и статистики, Илийский педагогический университет, Синьцзян, Китай;
2423883975@qq.com)

^{2*} PhD, и.о. доцент (Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
yimanaili_akebaier@yahoo.com)

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАЗВИТИЕ ТУРИЗМА В СИНЬЦЗЯНЕ, НА ОСНОВЕ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Аннотация. В условиях стремительного экономического роста Китая туристическая отрасль Синьцзяна также демонстрирует устойчивое развитие и становится важным двигателем региональной экономики. В связи с этим научная оценка уровня развития туристической экономики приобретает особую актуальность. С использованием данных за 2009–2020 годы проведён регрессионный анализ для выявления ключевых факторов, определяющих рост туризма в Синьцзяне. В качестве зависимой переменной рассматривался общий доход от туризма (Y), а в качестве независимых переменных – объём туристов (X_1), пассажиропоток (X_2), количество туристо-дней (X_3), объём туристического оборота (X_4) и число иностранных туристов, оставшихся на ночь (X_5). Первичный регрессионный анализ выявил сильную мультиколлинеарность между переменными X_1 , X_2 и X_4 ($VIF > 10$), что потребовало применения пошаговой регрессии для уточнения модели. Итоговая модель показала, что наибольшее влияние на доход имеют объём туристов ($\beta = 1,108$, $p < 0,001$) и туристический оборот ($\beta = 0,409$, $p < 0,001$); объясняемая дисперсия составила 91% (скорректированный $R^2 = 0,91$, $F = 56,696$, $p < 0,001$). Это подтверждает, что масштаб и мобильность турпотока – основные экономические драйверы. Однако анализ выявил важные противоречия: с 2009 по 2019 год число туристов увеличилось на 898%, в то время как количество туристо-дней сократилось на 71,5%, что указывает на сокращение продолжительности пребывания и слабую вовлечённость. Также обнаружена отрицательная корреляция между доходами и пассажиропотоком ($r = -0,489$), что свидетельствует о перегрузке инфраструктуры. Несмотря на быстрый рост, развитие туризма в Синьцзяне носит количественный характер, что может привести к экологическим рискам и снижению доходов на душу населения. Кроме того, сохраняются инфраструктурные диспропорции и слабо развиты направления с высокой добавленной стоимостью. В этой связи необходим переход к качественно ориентированной модели развития: оптимизация транспортной системы, стимулирование длительных поездок за счёт насыщенных программ, развитие зимнего туризма и внедрение возобновляемых источников энергии для устойчивого и инклюзивного роста отрасли.

Ключевые слова: регрессионный анализ, туризм в Синьцзяне, экономика туризма, пошаговая регрессия, факторный анализ.

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-3-152-157.40>

IRSTI 71.37.05

UDC 551.4

Sh. Ph. Ismailova

PhD student (Science and Education Ministry ,
Geography Institution by name H. A. Aliyev,
Baku, Azerbaijan; shehla.adilzade@gmail.com)

MOUNTAIN TOURISM POTENTIAL OF THE SOUTHERN SLOPE OF THE GREATER CAUCASUS (A CASE STUDY OF THE OGUZ REGION)

Abstract. Mountain ecosystems with diverse natural features are highly complex. While mountainous areas are often considered unsuitable for industrial, construction, or residential development, they represent one of the most valuable resources for tourism. Their complexity is regarded as a source of richness for tourism, providing a competitive advantage. The relatively undeveloped nature, clean air, rich biodiversity, and cultural diversity of mountain regions continue to attract increasing numbers of visitors. Although mountaineering has developed into a highly profitable sector worldwide, it remains underdeveloped in Azerbaijan. To promote mountaineering in Oguz region, two climbing routes were mapped to the highest peak, Malkamud. Accurate route identification is a critical prerequisite for mountaineering development. Therefore, the study examined the physical and geographical conditions of the area relevant for climbing, gathered information from various mountaineering clubs, and applied digital tools such as Google Earth Pro and ArcGIS 10.8.

Keywords: mountaineering, climbing route, Malkamud peak, Google Earth Pro, ArcGIS 10.8.

Introduction. After 2002 was declared the "International Year of Mountains" by the UN, the volume of research conducted in mountains began to increase. The goal is to attract people to the economy with many features – untouched areas, clean air, climate, vegetation, land cover changes over short distances, and the presence of a diverse culture.

Currently, mountain tourism accounts for 15-20% of global tourism revenues. The Alps, the birthplace of mountain tourism, are visited by 100 million people each year, generating an estimated US\$70-90 billion in revenue for the region (Panos 2022:4) [6]. A tourist group of 1-7 people pays 25-70 thousand dollars to the Kingdom of Nepal to climb Everest, the highest peak in the world [9].

In Azerbaijan Alpinism Federation was established in 1963 and officially registered in 1997. FAIREX (Azerbaijan Weather and Extreme Sports Federation), which currently represents Azerbaijan in 3 international organizations, has been organizing rock climbing, sport climbing, ice climbing every year since 2008, dry-running competitions, sky-racing competitions since 2012, speed climbing sports climbing since 2013. In 2014, the World Cups for Speed and Bouldering were held. "Mountain school" operates under the federation [4].

At present, mountaineering has changed from being an individual activity to a club activity all over the world, as well as in Azerbaijan. There are currently Gartal Mountaineering Sports Club, Shaman Mountaineering Sports Club, Baku Alpine Club, Republican Alpinist-Tourist Club, Mountaineering Sports Club, etc. clubs operate.

Materials and research methods. Documentation method. Literature materials and exploration work conducted by the Mountain Sports Club established on August 11, 2001 were examined to determine the climbing season for the Malkamud peak [9].

Expert interview. An interview was conducted with specialists from the Baku Alpine Club agency, which organizes tours to various peaks on the southern slope of the Greater Caucasus, regarding the organization of the tour, the selection of the season, the selection of camping sites, and the forecasting of the duration of the tour.

Measurement method. Using the Google Earth Pro program, the climbing route was drawn, camp sites were determined, the route line was profiled, and the route was analyzed.

Study area. Malkamud peak is a highest point (3879 m) of the Oguz district which is situated on a south slope of Greater Caucasus (figure 1). District has a rich tourism potencial as a forest landscape, river, historical monuments, mineral waters and etc. Climate is one of the main factors affecting mountain climbing. Mountain climbing can be successful only if it is organized according to the climatic characteristics of the mountain region, i.e. "climbing season" [7].

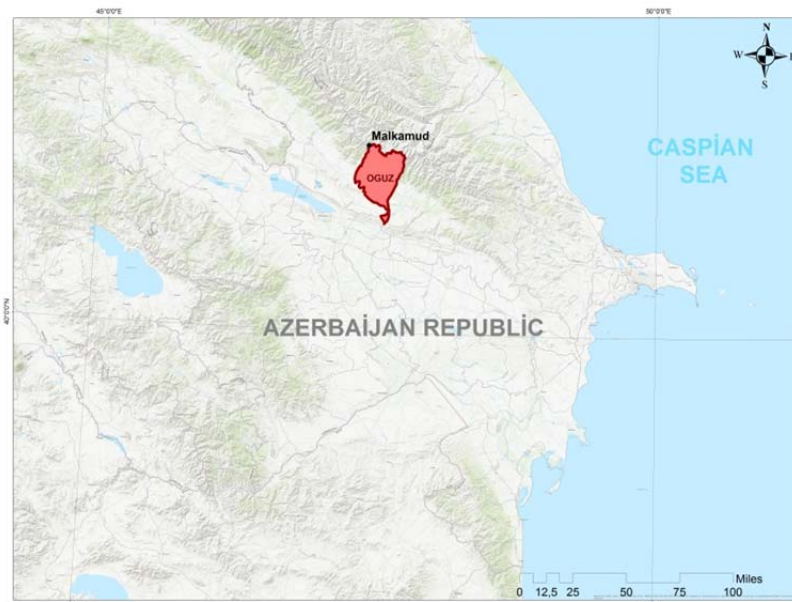


Figure 1 – Study area

Air circulation in the region is closely related to the relief and is formed by its influence. Since the high mountain ranges prevent the cold air masses coming from the north, the cold air masses come to the region from the east and west, having lost their previous cooling quality [9]. The coldest place is the top of Mount Malkamud. In January, the absolute minimum temperature here can drop to -52° .

The most rainy season here is April-May, partly September and October. At that time, about 50% of the 1022 mm of rain falls in Oguz. The least precipitation falls in December-February (41-51 mm) and July-August (61-71 mm) in winter. Annual precipitation in Filfil is 130 mm more than in Oguz [3].

However, the amount of precipitation changes with height, reaches a maximum at an altitude of 800-1700 m, and then decreases again [1].

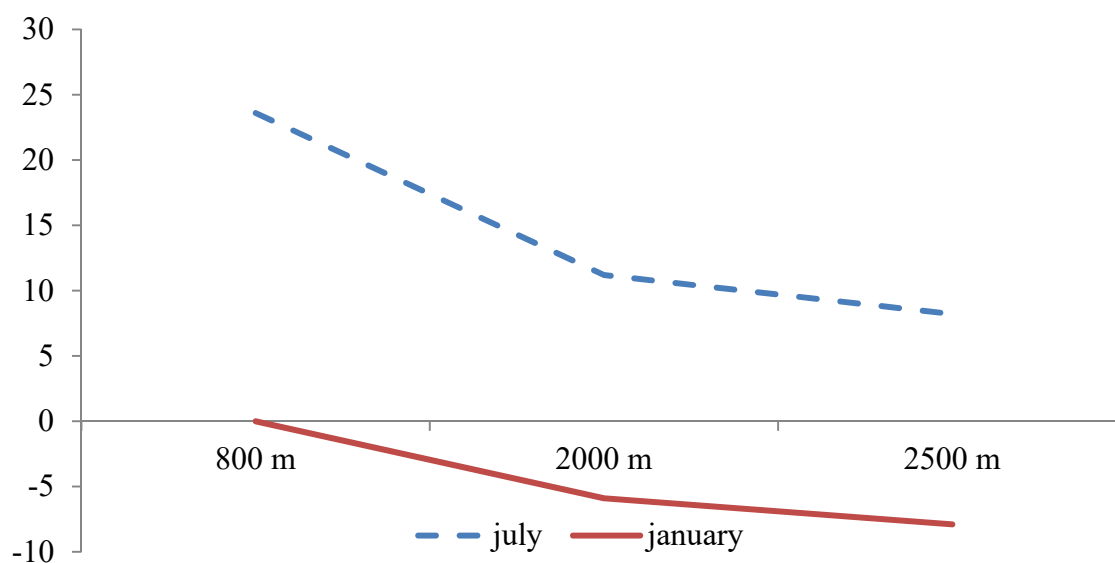


Figure 2 – Average multi-year temperature indicators (degree) by height in Oguz region

Result. The exposition of the slopes. Mountaineers pay attention to how the sun and wind hit the slope in relation to avalanche danger. The direction of the slope determines how much sun it gets and says a lot about its avalanche potential. South-facing slopes receive more sun and therefore the snow settles and stabilizes faster than north-facing slopes. South-facing slopes are safer in winter. On hot spring and summer days, southern slopes are more prone to wet and snow avalanches, while north-facing slopes are safer.

North-facing slopes receive little or no sun in the winter. Cold temperatures cause depth breaks within the snowpack and create weak layers. Therefore, the probability of landslides in the middle of winter is higher on the northern slopes. During spring and summer, when the southern slopes soften dangerously, the north side should be used for firmer, safer snow [10].

Windward slopes are safer. They hold less snow, the wind blows some of it away, and the rest is compacted. Windward slopes rapidly accumulate snow from windward slopes on windy days, resulting in deeper, less consolidated snow and avalanche-ready slabs.

The inclination of the slopes. Hazards on slopes come in different shapes, angles, and sizes. Angles between 30-45° are the main causes of avalanches. Angles above 55° are too steep for snow accumulation. Angles below 25° are usually safe except for the danger of very wet and usually slow avalanches.

Slope shapes affect the hazard. Snow poses the most obvious danger on a flat, open, and moderately steep slope. Snow on a convex slope is more prone to avalanches under stress because it lies tightly over the curve of the hill.

The flood valleys seem to be an easier route because they are a direct route up the mountainside. However, these valleys and canyons are obvious collection areas for avalanche debris.

Ridges, especially wooded ridges, are usually the safest route [10].

Safety. The wettest period of the rivers is the period of flooding due to snow waters in March-June. At this time, frequent rains (lasting no more than 4-5 days) cause up to 10 floods a year. During this period, rivers discharge 40-45% of their annual flow. Minimum water consumption is observed in winter months. Floods occur mainly as a result of floods observed in the summer season. At this time, torrential rains, and sometimes melting snows, create floods that last no more than 5 days on average. Although autumn floods are short-lived, they are sometimes 5-10 times more than spring floods due to maximum water consumption [3].

Climbing routes. The Malkamud peak, located on the border of Dagestan and Azerbaijan, is the highest peak of the Oghuz region and its height is 3879 m. The road to the summit passes through the village of Filfili. Despite the fact that the peak was climbed from the territory of Russia, on August 11, 2001, the Mountain Sports Club climbed a different route from the territory of Azerbaijan for the purpose of exploration. As can be seen from figure, 3 climbing routes have been drawn to the peak using Google Earth Pro software (figure 3).

In general, the correct design and selection of the climbing route is directly related to life safety and the success or failure of the climb. A properly chosen climbing route and a properly chosen time taking into account the climate of the area is the main achievement of mountain climbing. Because an established climbing route can guarantee safety for subsequent climbers and give them a reference to create new climbing routes. During each mountain climbing, the Ministry of Emergency Situations is informed, and in the case of a cross-border area, permission is also obtained from the Dovler Sarhad service.

Discussion. Both routes started from Filfili village of Oguz region. The distance from the region to the first camp, which is the beginning of both routes, is 7.10 km, continuing along the Galachay valley. The distance traveled on the route is calculated based on the difficulty of the route and the load each participant will carry. On the 1st day of the trek, a distance of 15-18 km can be covered during the mountain trek with a heavy bag. A distance of 18-20 km can be covered during the return trip with a lightened bag.

Taking into account sunrise and sunset, the main physical load is given in the first half of the day. After starting the march, 15-20 minutes rest is given every 50-60 minutes, and in the middle of the day there is as much main rest as necessary. It starts at 15:00 and lasts until dark. The tour should be planned so that the group reaches the pre-planned campsite before dark.

The height amplitude of route A with a total length of 8.5 km is 2141 m. The 1,829 km distance of the initially northerly route from 1,761 m to 2,270 m is covered by forest. Then the route is inclined to the north-west. After a height of 3012 m, there is a shallow area with a depth of -7.3%, which is designed as a

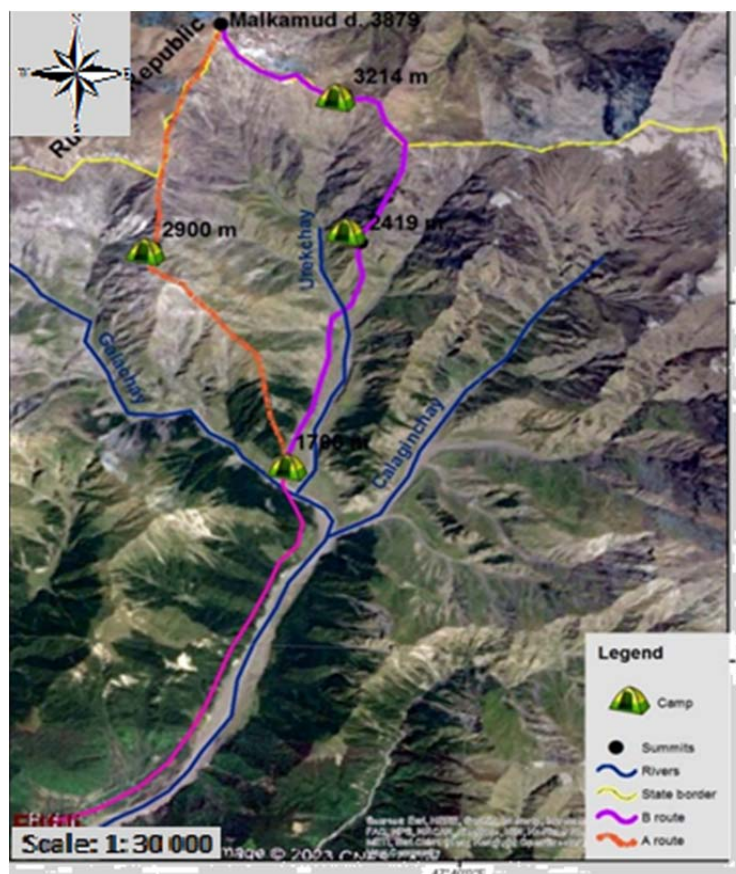


Figure 3 – Climbing routes to the peak of Malkamud

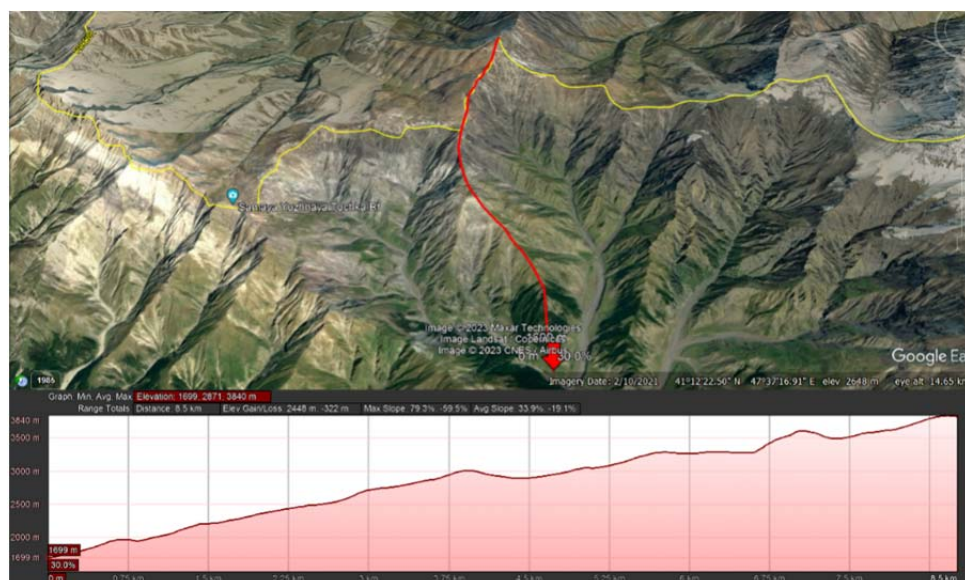


Figure 4 – Route A profile

camping site with a height of 2900 m. In general, for the organization of the camp, a pile of stones, a flat, dry area should be selected, away from the parts where floods may occur, protected from the wind, close to a water source, a fire. The distance from the starting point to the camp is 4.40 km, which is almost half of the way. After the camp, the route passes along the Russian-Azerbaijani border at a distance of 1.27 km. From a distance of 5.74 km (3287 m) to a distance of 6.6 km (3283 m) of the general road, the terrain is almost flat, with very little gradient. After another 100 m, the most inclined area observed along the general route (79.3%) is observed at 3382 m (figure 4).

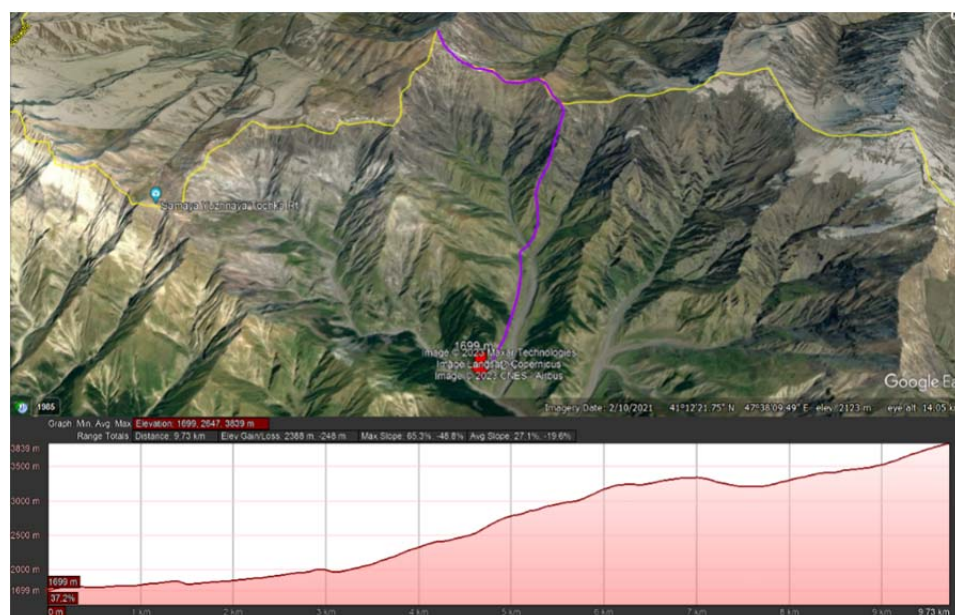


Figure 5 – Route B profile

Route B starts at an altitude of 1,699 m and runs for 2.94 km along the right bank gorge of the Heart River through a low slope area. Then the route crosses the river to the other bank along the ridge extending in the north, northeast direction. As can be seen from the profile, this route, which is 14.05 km long, runs along less inclined slopes. Here, the maximum inclination is 65.3% and is observed at 4.72 km of the road, at an altitude of 2616 m. Taking into account that the route line is relatively long, 2 campsites have been designated here. The first camp was set at 4.25 km of the route, at an altitude of 2419 m, with an inclination of 4.3%, and the other one at a distance of 7.6 km, at an altitude of 3214 m, with an inclination of 0.9% (figure 5).

Conclusion. Thus, it is concluded from the discussion that the tour to the area should be organized at the end of July and beginning of August, taking into account the climatic features, especially the rainfall, as well as the period of the rivers, depending on the rainfall. During this period, the rivers we have to cross are more easily fordable. Since ridges are the safest route, both routes are drawn along ridges. Although route A is short, it is more inclined, so it is more suitable to move along this route with group members who have relatively good physical fitness. Although route B is longer, it is suitable for any tourist as it runs along the river valley for a long distance and has less incline. When climbing to the top on both routes, the travel time between the camps was determined to be about 6-7 hours, not taking into account the weather, rocks, and micro elements of the terrain. Thus, going from Filfili village to the camp, spending the night in the camp, continuing on the way to the top the next day, returning to the camp (staying at the top for 1 hour) and spending the night again, and reaching Filfili village the next day (Filfili-Melkamud-Filfili) will take 3 days on both routes.

REFERENCES

- [1] Ayyubov A. C., Hajiyeu G. A. Climatic resources of the Azerbaijan SSR. Baku: Science, 1984. 131 p.
- [2] Mammadov A. S. Modern climate changes in Azerbaijan and its predictions. Baku: MBM, 2015. 328 p.
- [3] Oghuz rayon. Regional geographical problems of the Republic of Azerbaijan. Bakı: İsmayıl publications, 2001. 88 p.
- [4] Salmanova N. B., Məmmədov Y. B., Tagiyev F. R.. Theory and methodology of sports tourism. Bakı: "OL" MMC, 2015. 243 p.
- [5] Apollo Michal, Andreychouk Viacheslav. Mountains, humans and mountaineering adventure tourism. January 2022 https://www.researchgate.net/publication/358984772_Mountaineering_Adventure_Tourism_and_Local_Communities_Social_Environmental_and_Economics_Interactions ISBN: 978 1 80220 937 2
- [6] Emekli Gozde. Mountains, Mountaineering And Tourism. New approaches in geography. P. 205-217. https://www.academia.edu/17304714/Da%C4%9Flar_Da%C4%9Fc%C4%B1%C4%B1k_Ve_Turizm
- [7] Li Lun. Research on the Design and Practice of Climbing Route of Unclimbed Mountain – A Case Study of Ruoni Mountain II. International Academic Workshop on Social Science (IAW-SC 2013). October 2013. P. 774-777 DOI:10.2991/iaw-sc.2013.172

- [8] Somuncu Mehmet. The dilemma in mountaineering and mountain tourism: economic benefit and ecological cost // Journal of Geographical Sciences. 2004. 2(1). P 1-21. OI:10.2139/ssrn.3395844
- [9] Nacaphov A. Y. Brief description of the route to Malkamud peak. 2001
http://mountain.ru/world_mounts/caucasia/east_caucasia/azerbaydgan/2002/kuzulkaya/
- [10] Mekhbaliyev M. M. Study of recreational and tourist resources of mountain geomorphosystems based on morphometric indicators (on the example of the Greater Caucasus within Azerbaijan). Moscow: Scientific journal Internauka, 2016. No. 3(3). P. 56-63.

Ш. Ф. Исмаилова

Докторант (Министерство науки и образования, Географический институт им. Г. А. Алиева,
Баку, Азербайджан; shehla.adilzade@gmail.com)

ПОТЕНЦИАЛ ГОРНОГО ТУРИЗМА ЮЖНОГО СКЛОНА БОЛЬШОГО КAVKAZA (НА ПРИМЕРЕ ОГУЗСКОГО РАЙОНА)

Аннотация. Экосистемы гор с различными природными особенностями являются более сложными. Горные районы считаются непригодными для размещения промышленных, строительных и жилых зон, но они являются наиболее ценным ресурсом для развития туризма. Их сложность ценится как богатство с точки зрения туризма, что создает большее преимущество. Менее развитая природа, чистый воздух, богатое биоразнообразие и разнообразная культура все больше привлекают людей. Хотя альпинизм в настоящее время развивается как высокодоходный сектор в странах по всему миру, этот сектор недостаточно развит в Азербайджане. С целью развития альпинизма в регионе Огуз были начерчены 2 маршрута к самой высокой вершине – пик Малкамуд, поскольку правильное определение маршрута является важным вопросом. Для этого, в первую очередь, одним из важнейших условий является составление правильного маршрута восхождения. С этой целью были исследованы физические и географические условия местности, которые важны при восхождении, была собрана информация из различных альпинистских клубов, использовались программы Google Earth Pro и Arcgis 10.8.

Ключевые слова: альпинизм, маршрут восхождения, пик Малкамуд, Google Earth Pro, ArcGIS 10.8.

Ш. Ф. Исмаилова

Докторант (Ғылым және білім министрлігі, Г. А. Әлиев атындағы география институты,
Баку, Әзірбайжан; shehla.adilzade@gmail.com)

ҮЛКЕН KAVKAZДЫҢ ОҢТҮСТІК БЕТКЕЙІНІҢ ТАУ ТУРИСТІК ӘЛЕУЕТІ (ОҒҰЗ АУДАНЫ МЫСАЛЫ)

Аннотация. Әртүрлі табиғи ерекшеліктері бар тау эокүйелері күрделірек. Таулы аймақтар өнеркәсіптік, құрылыстық және тұрғын үй аумақтарын орналастыруға жарамсыз болып саналады, бірақ олар туризмді дамытудың ең құнды ресурсы болып саналады, ал олардың күрделілігі туризм тұрғысынан байлық ретінде бағаланады, бұл үлкен артықшылық тудырады. Аз дамыған табиғат, таза ауа, бай биоәртүрлілік және алуан түрлі мәдениет адамдарды көбірек тартады. Қазіргі уақытта альпинизм әлем елдерінде жоғары табысты сала ретінде дамып келе жатқанымен, Әзірбайжанда бұл сала дамымаған. Мақалада Оғыз өңірінде альпинизмді дамыту мақсатында ең биік шың Малкамуд шыңына екі бағытта маршрут сызылып, бағытты дұрыс белгілеу маңызды мәселе болып табылады. Бұл үшін, ең алдымен, ең маңызды шарттардың бірі дұрыс көтерілу жолын құрастыру болып табылады. Осы мақсатта альпинизм үшін маңызды аймақтың физикалық-географиялық жағдайлары зерттелді, әртүрлі альпинизм клубтарынан ақпарат жиналды, Google Earth Pro және Arcgis 10.8 бағдарламалары пайдаланылды.

Түйін сөздер: альпинизм, көтерілу жолы, Малкамуд шыңы, Google Earth Pro, ArcGIS 10.8.

Экономическая география

Экономикалық география

Economical geography

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-3-158-167.41>

IRSTI 76.01.11
UDC 614.1:614.2

**M. B. Mustafayeva¹, Zh. S. Mustafayev^{*2},
Sh. K. Shapalov³, V. V. Semyonov⁴, K. B. Abdeshev⁵**

¹ PhD student (M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan; mminayim00@mail.ru)

^{2*} Doctor of Engineering, Professor, Chief Researcher

(JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; z-mustafa@rambler.ru)

³ PhD, professor (South Kazakhstan State University named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan; shermahan_1984@mail.ru)

⁴ Doctor of Technical Sciences, Professor [Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)], Saint Petersburg, Russian Federation; semenovvv50@yandex.ru)

⁵ PhD, Associate Professor (M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan; abdeshev.kuanyshe@mail.ru)

ASSESSMENT OF POPULATION HEALTH IN THE LOWER REACH OF THE SYRDARYA RIVER IN SPATIAL AND TEMPORAL DIMENSIONS

Abstract. Current studies of public health in Kyzylorda region, located in the lower reaches of the Syrdarya River within a zone of technogenic pollution, are based on medical–statistical approaches using linear trend methods. These methods provide a scientific basis for understanding the spatial and temporal dynamics of population health. Using data from the statistical collection “Health of the Population of the Republic of Kazakhstan and the Activities of Health Care Organizations” (Department of Medical and Statistical Analysis, National Scientific Center for Health Development named after Sagadat Kairbekova), covering the years 2000–2022, an electronic database was compiled for the population health of Kyzylorda region by administrative districts. A statistically grounded assessment of morbidity parameters across districts, conducted with linear trend analysis in Microsoft Excel, revealed both positive and negative trends over the study period. The resulting functional equations of morbidity dynamics in the form of linear trends provide a scientific foundation for forecasting the socio-ecological potential of the region.

Keywords: population health, linear trend, tendency, changes, research base, dynamics, assessment.

The catchment area of river basins, as a spatial basis for population and nature management, has served as a powerful stimulus for socio-economic development for thousands of years. However, the desire to use the potential power of water to the maximum for the unlimited development of industry and agriculture contributed to the violation of the basic principles of parity in water use between society and nature. As a result, river waters coming from mountainous areas, which are practically unpolluted and weakly mineralized, when reaching the plain, are supplemented by wastewater discharged into rivers by industrial, municipal and agricultural facilities, which has caused the formation of increased mineralization and high concentrations of harmful chemical elements in the middle and lower reaches of rivers and unsuitable for use for drinking water supply. In this regard, an in-depth analysis of the dynamics of population health indicators in spatial and temporal aspects in the catchment areas of river basins is necessary to form the main directions in matters of protection and improvement of the ecological and epidemiological safety of regional water use systems.

The purpose of the study is to evaluate trends of change health of the population of the Kyzylorda region in spatial and temporal aspects in the context of administrative districts located on the catchment areas of the lower reaches of the Syr Darya River, adequately reflecting the real medical and social situation of the region.

There are lots of works that attempt to assess the health of the population in spatial and temporal aspects, among which the following should be highlighted: L. Kilimova, O. Lusikova [1], D. Nevado-Peña, V.-R. López-Ruiz and J.-L. Alfaro-Navarro [2], E. G. Koroleva, S. K. Rahimbek, S. S. Tupova [3], C. Beletsoti, D. Niakas [4], L. V. Khripach, O. V. Budarina, E. V. Zheleznyak, T. D. Knyazeva, A. K. Makovetskaya, Z. I. Koganova, Z. F. Sabirova, Z. V. Shipulina [5], M. Karabaeu and G. S. Qosimova [6], A. N. Ogurtsova, V. V. Dmitrieva, N. V. Kaledin [7], M. Morales-Vazquez, M. Juda, M. Roerig, S. Allin [8], which assess the health of the population based on medical statistics in the countries of Belgium, Great Britain, Germany, France, Switzerland (Western European countries), Bulgaria, Poland, Russia, Romania, Slovakia (Eastern European countries), Canada, Uzbekistan, Kazakhstan, the Republic of Bashkortostan, Greece, Australia and the USA, using medical-statistical integral indicators.

One of the fundamental directions in assessing the health of the population is the methodological approach developed in the works of BG Ilyasov, V. V. Martynov, I. B. Gerasimova, E. A. Makarova, E. Sh. Zakieva [9], A. A. Pomerantseva, A. N. Starkin, E. V. Chervyakova [10], S. A. Antrofikova, V. N. Vasin, A. V. Kulikova, F. I. M. Sebikhova [11], B. N. Kotiv, I. A. Budko, I. A. Ivanova, I. Yu. Trosko [12], R. Haneef, M. Tijhuis, R. Thié baut *et al.* [13], related to the use of artificial intelligence, where logical and mathematical models for quantitative assessment of the integral level of physical health of the population are based on correlation analysis, characterizing the relationship between health and socio-economic characteristics and quality of life indicators.

Assessment of the health of the population of the Kyzylorda region in local conditions related to social, environmental and economic aspects is considered in the works of M. Zh. Burlibaeva, D. M. Burlibaeva, E. Zh. Murtazina, A. S. Murtazina, S. S. Seitova [14, 15], R. Yu. Tokmaganbetova, A. U. Makanova [16], E. N. Kuandykova [17], K. Z. Sakieva [18], B.G. Mukasheva [19], A.K. Ibraeva, A. U. Amanbaeva, L. S. Batyrbekova, A. O. Gazizova, E. N. Alekseva [20], G. A. Miyanova [21], where studies of the health status of the population of the regions are disparate and are devoted to diseases of individual organs and systems, which, as a rule, are associated with individual unfavorable factors of the living environment of the population in individual populated areas.

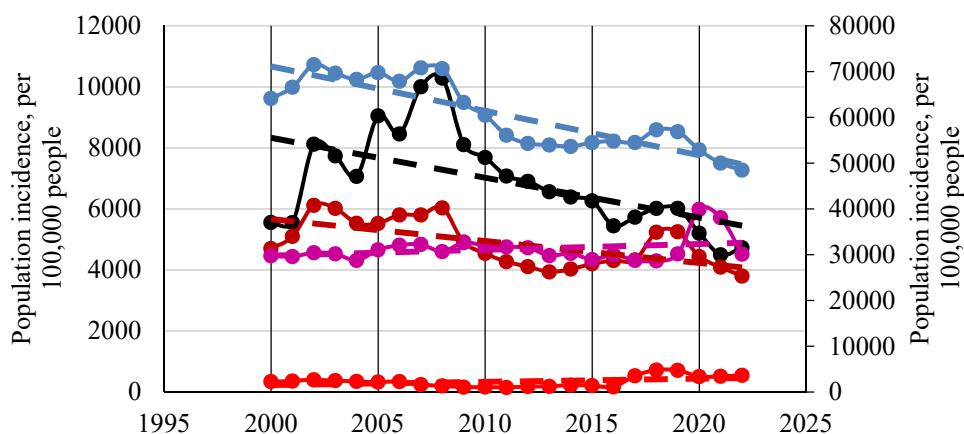
Materials and methods. To create a research base on the health of the population, the data of the statistical collection «Health of the population of the Republic of Kazakhstan and the activities of health care organizations» of the Department of Medical and Statistical Analysis of the RSE on the Right of Economic Management «National Scientific Center for Health Development named after Sagadat Kairbekova» for the period 2000-2022 were used.

The selection of population health indicators for analysis was carried out on the basis of data from approved annual reporting forms generated by the Republican State Enterprise on the Right of Economic Management «Republican Center for Electronic Healthcare» of the Ministry of Digital Development, Innovation and Aerospace Industry of the Republic of Kazakhstan, which include population morbidity registered for the first time in life (*PFIL*), neoplasms (*NT*), diseases of the genitourinary system (*DGS*), diseases of the digestive system (*DSG*) per 1,000,000 people and the mortality rate (*MR*) per 1,000 people.

To illustrate the created databases in the context of administrative districts by types of morbidity, graphs for the Kyzylorda region were constructed in the form of a fragment using the Microsoft Excel program (figure).

The research methodology is based on theoretical approaches and practical methods of statistical research adopted in assessing trends in changes in the factors under study using the linear trend equation.

Results. In the conditions of increasing scale of human economic activity in the catchment areas of the Syr Darya River basin, carried out over a long period of time within the Kyzylorda region of the Republic of Kazakhstan, processes of significant degradation of natural complexes have formed, such as the emergence of a new Aralkum desert as a result of the drying up of the Aral Sea, which in turn has become a source of aerosol transfer of pollutants and deterioration of hydrological runoff, unsuitable for use in drinking water supply of the population, polluted with chemicals as a result of discharge of untreated wastewater by industrial and municipal facilities, as well as discharge of collector-drainage



Graph of changes in the incidence of the population of the Kyzylorda region for 2000-2022 (incidence of the population registered for the first time in life (1 – right ordinate), neoplasms (2), diseases of the digestive system (3) and diseases of the genitourinary system (4) and mortality (5))

water from irrigated areas located in the upper and middle reaches of the river, affecting the life of the population living in this territory for centuries.

As a result, in the lower reaches of the Syr Darya River in the Kyzylorda region, a process of «triple impact» on the life of the population is taking place: from the northwest to the southeast, the sands of the Aralkum desert are advancing, from the southeast to the northwest along the river bed, there is a deterioration in the hydrological flow unsuitable for drinking water supply and the use of agricultural products with an increased content of nitrates, and in connection with this, there is a need to study the health of the population in spatial and temporal aspects in order to identify their territorial differences, and on the basis of in-depth medical and environmental studies to identify the relationship between diseases and the quality of the natural environment.

The most effective tool for systemic analysis of medical and ecological processes can be special mathematical models that reflect the relationships between their structural and dynamic variables, in the form of linear trend equations:

$$NP_i = \alpha \cdot SNY_i + b; PH_i = \alpha \cdot SNY_i + b,$$

where NP_i – population, thousand people; PH_i – incidence rate per 100,000 people; α – regression coefficient; b – indicator characterizing the increase in the next value of the time series; SNY_i – period number or ordinal number of the year.

Based on the construction of graphs by types of morbidity in the context of administrative districts of the Kyzylorda region using a linear trend in the Microsoft Excel program, a medical and demographic model of population health was obtained (table 1).

Table 1 – Regression-correlation model of medical and demographic indicators of the population of the Kyzylorda region by administrative districts and the city of Kyzylorda

Administrative regions	Equation	Determination index (R^2)
1	2	3
Population size (NP_i), per 1000 people		
Aral	$NP_i = 0,5446 \cdot SNY_i + 67,7780$	0.9508
Kazalinsky	$NP_i = 0,4009 \cdot SNY_i + 69,1370$	0.9782
Karmakshinsky	$NP_i = 0,4072 \cdot SNY_i + 45,5700$	0.8535
Zhalagashsky	$NP_i = -0,3082 \cdot SNY_i + 41,9460$	0.6785
Syr Darya	$NP_i = -0,0438 \cdot SNY_i + 39,5820$	0.1666
Shieliinsky	$NP_i = 0,4972 \cdot SNY_i + 72,5250$	0.9034
Zhanakurgan	$NP_i = 0,8416 \cdot SNY_i + 65,8660$	0.8298
City of Kyzylorda	$NP_i = 7,5883 \cdot SNY_i + 156,5500$	0.9538
Kyzylorda region	$NP_i = 11,6620 \cdot SNY_i + 502,4800$	0.9687

Continuation of table 1

1	2	3
Population morbidity (PM_i) per 100,000 people		
Aral	$PM_i = -178,35 \cdot SNY_i + 18838,0$	0.3124
Kazalinsky	$PM_i = -161,35 \cdot SNY_i + 16608,0$	0.3250
Karmakshinsky	$PM_i = -225,56 \cdot SNY_i + 25140,0$	0.4238
Zhalagashsky	$PM_i = -148,83 \cdot SNY_i + 16716,0$	0.3785
Syr Darya	$PM_i = -145,68 \cdot SNY_i + 15736,0$	0.3099
Shieliinsky	$PM_i = -138,03 \cdot SNY_i + 14712,0$	0.3845
Zhanakurgan	$PM_i = -104,78 \cdot SNY_i + 12585,0$	0.2863
City of Kyzylorda	$PM_i = -195,05 \cdot SNY_i + 21665,0$	0.4145
Kyzylorda region	$PM_i = -971,44 \cdot SNY_i + 72126,0$	0.7568
Neoplastic diseases (DNP) per 100,000 people		
Aral	$DNP_i = 5,1645 \cdot SNY_i + 112,8600$	0.1548
Kazalinsky	$DNP_i = 4,4132 \cdot SNY_i + 89,7190$	0.1697
Karmakshinsky	$DNP_i = 6,6200 \cdot SNY_i + 122,8600$	0.1926
Zhalagashsky	$DNP_i = 4,5590 \cdot SNY_i + 78,5700$	0.2073
Syr Darya	$DNP_i = 4,6162 \cdot SNY_i + 85,2190$	0.1887
Shieliinsky	$DNP_i = 3,8377 \cdot SNY_i + 73,8690$	0.1833
Zhanakurgan	$DNP_i = 3,5050 \cdot SNY_i + 61,6790$	0.2033
City of Kyzylorda	$DNP_i = 5,8837 \cdot SNY_i + 114,3700$	0.1845
Kyzylorda region	$DNP_i = 10,3560 \cdot SNY_i + 218,0100$	0.1634
Diseases of the genitourinary system ($DGSP_i$) per 100,000 people		
Aral	$DGSP_i = -67,781 \cdot SNY_i + 5346,60$	0.2657
Kazalinsky	$DGSP_i = -107,72 \cdot SNY_i + 9329,00$	0.2869
Karmakshinsky	$DGSP_i = -45,432 \cdot SNY_i + 3434,50$	0.1950
Zhalagashsky	$DGSP_i = -48,191 \cdot SNY_i + 6095,10$	0.1564
Syr Darya	$DGSP_i = -81,279 \cdot SNY_i + 4091,20$	0.4436
Shieliinsky	$DGSP_i = -78,212 \cdot SNY_i + 5561,00$	0.3250
Zhanakurgan	$DGSP_i = -80,662 \cdot SNY_i + 5353,50$	0.2677
City of Kyzylorda	$DGSP_i = -67,503 \cdot SNY_i + 5143,70$	0.5138
Kyzylorda region	$DGSP_i = -71,869 \cdot SNY_i + 5736,00$	0.4074
Diseases of the digestive system ($DDSP_i$) per 100,000 people		
Aral	$DDSP_i = -128,870 \cdot SNY_i + 7961,60$	0.3211
Kazalinsky	$DDSP_i = -374,640 \cdot SNY_i + 22826,0$	0.3985
Karmakshinsky	$DDSP_i = -107,690 \cdot SNY_i + 5916,40$	0.1764
Zhalagashsky	$DDSP_i = -206,140 \cdot SNY_i + 11086,0$	0.3782
Syr Darya	$DDSP_i = -59,247 \cdot SNY_i + 4091,20$	0.0709
Shieliinsky	$DDSP_i = -112,640 \cdot SNY_i + 6285,20$	0.5379
Zhanakurgan	$DDSP_i = -144,800 \cdot SNY_i + 8737,90$	0.3798
City of Kyzylorda	$DDSP_i = -55,142 \cdot SNY_i + 3488,00$	0.2440
Kyzylorda region	$DDSP_i = -130,86 \cdot SNY_i + 8460,90$	0.3135
Crude death rate (per 1000 people)		
Aral	$GCMP_i = -0,1183 \cdot SNY_i + 8,6130$	0.6600
Kazalinsky	$GCMP_i = -0,0451 \cdot SNY_i + 7,4316$	0.1185
Karmakshinsky	$GCMP_i = -0,0516 \cdot SNY_i + 7,7408$	0.1610
Zhalagashsky	$GCMP_i = -0,0086 \cdot SNY_i + 6,2726$	0.0118
Syr Darya	$GCMP_i = -0,0035 \cdot SNY_i + 6,3407$	0.0024
Shieliinsky	$GCMP_i = -0,0412 \cdot SNY_i + 6,7896$	0.2401
Zhanakurgan	$GCMP_i = -0,0530 \cdot SNY_i + 6,0464$	0.2535
City of Kyzylorda	$GCMP_i = -0,1311 \cdot SNY_i + 8,8857$	0.6181
Kyzylorda region	$GCMP_i = -0,0668 \cdot SNY_i + 7,5031$	0.1750

Based on the equation of the linear trend of the studied (PH_i) indicator, it is possible to determine the absolute increase, the growth rate and the growth coefficient of the studied indicators, which have a sufficiently high physical and mathematical meaning (table 2):

- absolute increase is determined by the formula:

$$AISI_i = SIEP_i - SIBP_i = \alpha \cdot (EPUR_i - BPUR_i) = \alpha \cdot (EPUR_i - 1),$$

where is $EPUR_i$ – the duration or end of the period under consideration; $BPUR_i$ is the beginning of the period under consideration: $BPUR_i = 1 = const$;

- the growth rate is calculated using the formula:

$$QRIUS_i = AISI_i / EPUR_i = [\alpha \cdot (EPUR_i - 1)] / EPUR_i;$$

- the growth coefficient of the studied indicator ($GRIUS_i$) is determined by the following formula:

$$GRIUS_i = (\alpha \cdot EPUR_i + b) / (\alpha + b).$$

Table 2 – Statistical estimates of the trend of change in the type of disease by administrative districts of the Kyzylorda region of the Republic of Kazakhstan

Administrative regions	Statistical indicators of the trend of change in incidence over time		
	$AISI_i$	$QRIUS_i$	$GRIUS_i$
1	2	3	4
Population size (NP_i), per 1000 people			
Aral	11,981	0.521	1,175
Kazalinsky	8,820	0.383	1,127
Karmakshinsky	8,958	0.389	1,195
Zhalagashsky	-6,780	-0.295	0.837
Syr Darya	-0.964	-0.042	0.976
Shieliinsky	10,938	0.476	1,150
Zhanakurgan	18,515	0.805	1,278
City of Kyzylorda	166,943	7,258	2,017
Kyzylorda region	256,564	11,155	1,499
Population morbidity (PM_i) per 100,000 people			
Aral	-3923,700	-170,596	0,790
Kazalinsky	-3549,700	-154,335	0.784
Karmakshinsky	-4962,320	-215,753	0.801
Zhalagashsky	-3274,260	-142,359	0.802
Syr Darya	-3204,960	-139,346	0.794
Shieliinsky	-3036,660	-132,029	0.792
Zhanakurgan	-2305,160	-100,224	0.815
City of Kyzylorda	-4291,100	-186,570	0,800
Kyzylorda region	-21371,680	-929,203	0,700
Neoplastic diseases (DNP) per 100,000 people			
Aral	113,619	4,940	1,963
Kazalinsky	97,090	4,221	2,031
Karmakshinsky	145,640	6,332	2,125
Zhalagashsky	100,298	4,361	2,207
Syr Darya	101,556	4,415	2,130
Shieliinsky	84,429	3,671	2,087
Zhanakurgan	77,110	3,353	2,183
City of Kyzylorda	129,441	5,628	2,076
Kyzylorda region	227,832	9,906	1,998
Diseases of the genitourinary system ($DGSP_i$) per 100,000 people			
Aral	-1733,182	-75,356	0.671
Kazalinsky	-2369,840	-103,037	0.743

Continuation of table 2

1	2	3	4
Karmakshinsky	-999,504	-43,457	0.705
Zhalagashsky	-1060,202	-46,096	0.825
Syr Darya	-1788,138	-77,745	0.554
Shieliinsky	-1720,664	-74,811	0.686
Zhanakurgan	-1774,564	-77,155	0.663
City of Kyzylorda	-1485,066	-64,568	0.707
Kyzylorda region	-1581,118	-68,744	0.721
Diseases of the digestive system ($DDSP_i$) per 100,000 people			
Aral	-2835,140	-123,267	0.638
Kazalinsky	-8242,080	-358,351	0.633
Karmakshinsky	-2369,180	-103,008	0.595
Zhalagashsky	-4535,080	-197,177	0.583
Syr Darya	-1303,434	-56,671	0.677
Shieliinsky	-2478,080	-107,743	0.599
Zhanakurgan	-3185,600	-138,504	0.629
City of Kyzylorda	-1213,124	-52,745	0.647
Kyzylorda region	-2878,920	-125,170	0.654
Crude death rate (MP_i) per 1000 people			
Aral	-2,603	-0.113	0.694
Kazalinsky	-0.992	-0.043	0.866
Karmakshinsky	-1,135	-0.049	0.852
Zhalagashsky	-0.189	-0.008	0.970
Syr Darya	-0.077	-0.003	0.988
Shieliinsky	-0.906	-0.039	0.866
Zhanakurgan	-1,166	-0.051	0.805
City of Kyzylorda	-2,884	-0.125	0.671
Kyzylorda region	-1,470	-0.064	0.802

The analysis of the dynamics of medical and ecological processes in the administrative districts of the Kyzylorda region for 2000-2022, located in the zone of unloading hydrochemical flows of the Syr Darya River basin, shows that the development of morbidity is characterized not only by a stochastic component. They also have a deterministic component in the form of a trend, which is confirmed by the system of equations of linear trends obtained as a function dependent on time. As follows from the results of statistical assessments, the tendency of change in the type of morbidity in the context of administrative districts of the Kyzylorda region is characterized by multidirectional (positive and negative) trends (table 2).

The obtained linear equations (table 1) allow us, first of all, to estimate how the dynamic average long-term value changes by types of morbidity for the considered calculation period, and according to the results of our study, we observe positive trends, where their absolute growth increases from 8.820 to 256.564 per 100,000 people, the growth rate from 0.383 to 11.155 per 100,000 people and the growth coefficient from 1.127 to 2.017, due to the increase in the population in all administrative districts, except for the Zhalagash and Syrdarya districts, where negative trends are observed.

Accordingly, the identified unidirectional negative trends for 2000-2022 in all administrative districts of the Kyzylorda region for the incidence of the population registered for the first time in life (PM_i), diseases of the genitourinary system ($DGSP_i$), diseases of the digestive system ($DDSP_i$) and the mortality rate of the population (MP_i) show an improvement in the medical and ecological condition in the storage zones of the hydrochemical runoff of the Syr Darya River (Table 2) and their functional equations (table 1) can serve as a basis for predicting changes in morbidity over time.

Of particular interest is the preservation of the unidirectional positive trends of neoplasms (DNP) in all administrative districts of the Kyzylorda region, where their absolute growth increases from 77.11 to 145.64 per 100,000 people, the growth rate from 3.353 to 6.332 per 100,000 people and the growth

coefficient from 1.963 to 2.207 along the river basins towards the mouth, which requires the need to study their cause-and-effect relationship.

To identify the cause-and-effect relationships between the water pollution index (WPI_i) and water mineralization (WM_i) with neoplastic diseases in the context of administrative districts of the Kyzylorda region by constructing their graphs, an equation of a linear trend was obtained using the (DNP) Microsoft program Excel (table 3):

$$DNP = \alpha_i \cdot WM_i + b_i \text{ And } DNP = \alpha_i \cdot WPI_i + b_i,$$

where $\alpha = tg\alpha$ is the angular coefficient of regression; b is the ordinate of the deviation of the straight line from the zero point of the graph.

Table 3 – Dependence of the level of neoplasm disease (DNP) on the pollution index (WPI_i) and water mineralization (WM_i) in the context of administrative districts of the Kyzylorda region

Administrative regions	Equation	Determination index (R^2)
Dependence of the level of neoplasm disease (DNP) on water mineralization (WM_i), mg/l		
Aral	$DNP = 0,3342 \cdot WM_i - 349,3100$	0.5447
Kazalinsky	$DNP = 0,2457 \cdot WM_i - 251,1800$	0.4816
Karmakshinsky	$DNP = 0,3193 \cdot WM_i - 217,5300$	0.4665
Zhalagashsky	$DNP = 0,2345 \cdot WM_i - 180,3600$	0.5227
Syr Darya	$DNP = 0,2965 \cdot WM_i - 245,3700$	0.5449
Shieliinsky	$DNP = 0,1511 \cdot WM_i - 27,8450$	0.3114
Zhanakurgan	$DNP = 0,1694 \cdot WM_i - 64,6100$	0.6490
City of Kyzylorda	$DNP = 0,2893 \cdot WM_i - 197,5500$	0.4797
Dependence of the level of neoplasm disease (DNP) on the water pollution index (WPI_i)		
Aral	$DNP = 137,8900 \cdot WPI_i - 71,4690,$	0.5811
Kazalinsky	$DNP = 107,8500 \cdot WPI_i - 48,8710,$	0.5879
Karmakshinsky	$DNP = 124,8100 \cdot WPI_i - 42,4080,$	0.5368
Zhalagashsky	$DNP = 87,3930 \cdot WPI_i - 39,8420,$	0.6300
Syr Darya	$DNP = 117,1800 \cdot WPI_i - 77,6650,$	0.8108
Shieliinsky	$DNP = 44,1230 \cdot WPI_i - 18,1110,$	0.5827
Zhanakurgan	$DNP = 229,0400 \cdot WPI_i - 194,7300,$	0.6525
City of Kyzylorda	$DNP = 125,5800 \cdot WPI_i - 56,6840,$	0.7133

When assessing the dependence of the incidence of neoplasms (DNP) on water mineralization (WM_i) and the water pollution index (WPI_i), data on the water quality of the Syr Darya River at the hydrological posts of Shardara, Kyzylorda and Kazaly were used, given in the annual reports of the «Aral-Syr Darya Basin Inspection for the Rational Use and Protection of Water Resources» of the Water Resources Committee of the Ministry of Water Management and Irrigation of the Republic of Kazakhstan for the period 2000-2020 [22].

The conducted studies to assess the direction and intensity of the trend of change by types of morbidity in the context of administrative districts of the Kyzylorda region demonstrated the possibility of using regression-correlation equations as a generalizing characteristic in the construction of mathematical medical-demographic models, where the integral indicator acts as a quality criterion.

Discussion. Analysis and evaluation of the medical and ecological situation in the administrative districts of the Kyzylorda region, based on types of morbidity, is of regional significance and is characterized by multidirectional (positive and negative) trends, differing in intensity along the Syr Darya River, directed towards the mouth of the river.

The presented results of the quantitative assessment of integral levels by types of morbidity in the administrative districts of the Kyzylorda region for 2000-2022 showed that in most cases there is a negative trend in the incidence of the population (PM_i), registered for the first time in life, diseases of the genitourinary system ($DGSNP_i$), digestive organs ($DDSP_i$) and mortality of the population (MP_i), where

the growth rate fluctuates from 0.583 to 0.988, this may be due to the introduction of preventive and corrective measures aimed at maintaining public health with changed qualities of natural resources and the subsequent environmental disturbances in the living environment of the population living in the Aral Sea region.

However, studies devoted to the study of neoplasm disease (*DNP*) among the population of the Kyzylorda region for 2000-2022 showed that they have a positive growth trend with statistical significance, since in all administrative districts the growth rate is in the range from 1.963 to 2.207, which indicates the presence of a negative impact on the life of the population of catastrophic changes in the natural environment in connection with the Aral syndrome.

The obtained functions in time, characterizing the development trends of medical and ecological processes, confirming the existence of a statistical relationship between the quality of the natural environment and types of morbidity in the context of administrative districts of the Kyzylorda region, were the main hypothesis of this study.

Conclusion. In modern conditions, taking into account the characteristics of the medical and statistical components of the living environment of the Kyzylorda region in the context of administrative districts and the city of Kyzylorda, located in the lower reaches of the Syr Darya River, related to technogenically disturbed zones, is one of the necessary conditions for knowledge about the health status of the population in spatial and temporal aspects.

A study of the health of the population of the Kyzylorda region by administrative districts and the city of Kyzylorda based on statistical data for the period from 2000 to 2022 using a linear trend showed that, for the period under review, there are generally multidirectional (positive and negative) trends.

At the same time, negative trends for 2000-2022 in all administrative districts of the Kyzylorda region in terms of morbidity of the population registered for the first time in life (PM_i), diseases of the genitourinary system ($DGSP_i$), diseases of the digestive system ($DDSP_i$) and the mortality rate of the population (MP_i), as well as a positive trend in the incidence of neoplasms (*DNP*), show multidirectional trends in their change, and do not prove an improvement in the medical and ecological state in the storage zones of the hydrochemical runoff of the Syr Darya River (table 2), and their functional equations (table 1) can only serve as a basis for predicting changes in morbidity over time.

The presented results of the dependence of neoplasm incidence (*DNP*) on water mineralization (WM_i) and water pollution index (WPI_i) fully reflect the relationships between the quantitative and qualitative aspects of the process under study and provide valuable information necessary for analysis in spatial and temporal aspects.

A statistically substantiated assessment of the parameters of population morbidity in the context of administrative districts of the Kyzylorda region, discovered in the period from 2000 to 2022, as well as multidirectional positive and negative trends (trends) and their functional equations in the form of linear trends serve as a scientific basis for forecasting the socio-ecological potential of the region, due to the impact of a complex of environmental factors and the lifestyle of the population.

REFERENCES

- [1] Kilimova L., Lusikova O. (2019). Health as a fundamental basis of population life quality // *Economic Annals* - XXI, 180(11-12), 191-199. DOI: <https://doi.org/10.21003/ea.V180-21>
- [2] Nevado-Peña D., López-Ruiz V.-R., Alfaro-Navarro J.-L. (2019). Improving quality of life perception with ICT use and technological capacity in Europe // *Technological Forecasting and Social Change*, 148, 119734. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119734>
- [3] Koroleva E. G., Rakhimbek S. K., Tupov S. S. Medical and geographical aspects of monitoring population morbidity // *Hygiene and Sanitation*. 2019, 98(11), 1285-1295. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1285-1295> (in Russ.)
- [4] Beletsioti C., Niakas D. (2019). Health-related quality of life in the adult population before and after the onset of financial crisis: the case of Athens, Greece // *Quality of Life Research*, 28, 3237-3247. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11136-019-02281-y>
- [5] Khripach L. V., Budarina O. V., Zheleznyak E. V., Knyazeva T. D., Makovetskaya A. K., Koganova Z. I., Sabirova Z. F., Shipulina Z. V. Contribution of emissions industrial transport by prevailing winds to changes in medical and biological indicators of population health. *Hygiene and Sanitation*. 2022. 101(3). 331-337. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-3-331-337> (in Russ.).
- [6] Karabaev M., Qosimova G. S. Logical-mathematical models of quantitative assessment of the integral level of individual physical health based on the adaptive potential of the body: E3S Web of Conferences, 070 (2023) IPFA 2023 452 04 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345207004>
- [7] Ogurtsov A. N., Dmitriev V. V., Kaledin N. V. Spatio-temporal analysis of the role of social determinants of public health in the spread of COVID-19 in the Northwestern Federal District. *InterCarto. InterGIS. M.: Faculty of Geography, Moscow State University*, 2024. Vol. 30. Part 1. P. 128-144. DOI: 10.35595/2414-9179-2024-1-30-128-144 (in Russ.).

- [8] Morales-Vazquez M., Juda M., Roerig M., Allin S. (2024). Supporting the development of public health system performance indicators. Toronto: North American Observatory on Health Systems and Policies. Rapid Review (No. 45).
- [9] Il'yasov B. G., Martynov V. V., Gerasimova I. B., Makarova E. A., Zakieva E. Sh. Quality of life: analyzing the impact of factors related to health, based on system and mathematical models // *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 2017, vol.10, No. 3, pp. 192-208. DOI: 10.15838/esc/2017.3.51.10
- [10] Pomerantsev A. A., Starkin A. N., Chervyakova E. V. Definition of the integral indicator of schoolchildren's health based on innovative technologies // *Prospects of Science and Education*. 2021. No. 6 (54). P. 257-270. DOI: 10.32744/pse.2021.6.17 (in Russ.).
- [11] Antrofikov S. A., Vasin V. N., Kulikov A. V., Seikhov F. I. Human health and its criteria, some methods for assessing the level of health // *Actual problems of physical and special training of law enforcement agencies*, 2021, No. 2, pp. 165-170 (in Russ.).
- [12] Kotiv B. N., Budko I. A., Ivanov I. A., Trosko I. Yu. Using artificial intelligence for medical diagnostics using the implementation of an expert system // *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*, 2021, vol. 23, No. 1, pp. 215-224. DOI: 10.17816/brmma63657 (in Russ.).
- [13] Haneef R., Tijhuis M., Thiébaud R. et al. Methodological guidelines to estimate population-based health indicators using linked data and/or machine learning techniques // *Arch Public Health* 80, 9 (2022). <https://doi.org/10.1186/s13690-021-00770-6>
- [14] Burlibaev M. Zh., Burlibayeva D. M., Murtazin E. Zh., Murtazina A. S., Seitov S. S. On the environmental aspect of the relationship between surface runoff pollution and population health in the Syr Darya River basin // *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 70th anniversary of the Institute of Geography of the JSC CNZMO RK / Geographical problems of sustainable development: theory and practice*. Almaty, 2008. P. 354-370 (in Russ.).
- [15] Burlibaev M. Zh., Burlibayeva D. M., Murtazin E. Zh., Murtazina A. S., Seitov S. S. Environmental problems of the relationship between air pollution and public health in the Syr Darya River basin // *Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the Institute of Geography of the JSC CNZMO RK / Geographical problems of sustainable development: theory and practice*. Almaty, 2008. P. 511-525 (in Russ.).
- [16] Tokmaganbetova R. Yu., Makanova A. U. Analysis and assessment of the demographic situation in the Kyzylorda region // *Hydrometeorology and Ecology*, 2020, No. 1, P. 46-54 (in Russ.).
- [17] Kuandykov E. N. Hygienic problems of public health in an ecologically unfavorable region (using the Kyzylorda region as an example): Abstract. ... Cand. of Medicine. Sciences. Karaganda: NC GTiPZ MZ RK, 2003. 29 p. (in Russ.).
- [18] Sakiev K. Z. On the assessment of the health status of the population of the Aral Sea region // *Occupational Health and Industrial Ecology*. 2014. No. 8. P. 1-4 (in Russ.).
- [19] Mukasheva B. G. The impact of climate on the health status of the population of the Aral Sea region // *Occupational Hygiene and Medical Ecology*. 2015. No. 4(49). P. 20-30 (in Russ.).
- [20] Ibraeva A. K., Amanbaeva A. U., Batyrbekova L. S., Gazizova A. O., Alekseva E. N. Assessment of the relative risk of developing diseases in the population of Aralsk, Kyzylorda region // *Occupational Hygiene and Medical Ecology*. 2016. No. 4(53). P. 50-56 (in Russ.).
- [21] Miyanova G. A. Correlation of dependence of diseases of the nervous system of the population of the Aral Sea region taking into account the level of environmental pollution // *The Journal of scientific articles «Health and Education Millennium»*. 2016. Vol. 18, No. 6. P. 80-82 (in Russ.).
- [22] Mustafayev Zh. S., Mustafayeva M. B. Modern hydrochemical regime of the catchment area in the lower reaches of the Syr Darya River // *Land reclamation in solving geoeological problems of Eurasia: materials of the International scientific and practical conference, December 14-15, Moscow. M.: Federal Scientific Center of Hydrometeorology and Mechanics named after A. N. Kostyakov*, 2024. P. 309-315.

М. Б. Мұстафаева¹, Ж. С. Мұстафаев^{*2}, Ш. К. Шапалов³, В. В. Семенов⁴, Қ. Б. Абдешев⁵

¹ Докторант PhD (М. Әуезов атындағы Оңтүстік-Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан; tmnayim00@mail.ru)

^{2*} Техника ғылымдарының докторы, профессор, бас ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; z-mustafa@rambler.ru)

³ PhD, профессор (М. Әуезов атындағы Оңтүстік-Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан; shermahan_1984@mail.ru)

⁴ Д. т. н., профессор (Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты), Санкт-Петербург, Ресей Федерациясы; semenovv50@yandex.ru)

⁵ PhD, қауымдастық профессор (М. Әуезов атындағы Оңтүстік-Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан; abdeshev.kuanysh@mail.ru)

СЫРДАРИЯ ӨЗЕНІНІҢ ТӨМЕНГІ САЛАСЫНДАҒЫ ХАЛЫҚТЫҢ ДЕНСАУЛЫҒЫН КЕҢІСТІК-УАҚЫТТЫҚ КӨЗҚАРАСТА БАҒАЛАУ

Аннотация. Қазіргі кезеңде, техногендік ластану аймағына кіретін Сырдария өзенінің төменгі ағысында орыналасқан Қызылорда облысының тұрғындарының денсаулығын зерттеу, халық денсаулығының қалыптасу сипаттамаларын кеңістіктік және уақыттық өлшемінде, ғылыми тұрғыда негіздеуді қамтамасыз ететін,

медициналық-статистикалық тәсілдің, сызықтық трендтерін қолдануға негізделген. Экономикалық басқару құқығындағы Медициналық-статистикалық талдау департаментінің «Сағадат Қайырбекова атындағы денсаулық сақтауды дамытудың ұлттық ғылыми орталығы» РМК дайындаған «Қазақстан Республикасы халқының денсаулығы және денсаулық сақтау ұйымдарының қызметі» статистикалық жинағы 2000-2022 жылдар аралығының негізінде Қызылорда облысының әкімшілік аудандарының деңгейінде, халық денсаулығының электрондық ғылыми-зерттеу деректер базасы құрылды. Қызылорда облысының әкімшілік аудандарының деңгейінде халықтың денсаулық көрсеткіштерін қарастырылып отырған кезеңде, Microsoft Excel бағдарламасында сызықтық трендтерін пайдалана отырып, статистикалық тәсілдерге негіздеп бағалау көрсеткендей, бір тұтастай алғанда аурушаңдықтың дамуы көп бағытты оң және теріс өзгерістер байқалады және олардың сызықтық трендтер түріндегі функционалдық теңдеулері аймақтың әлеуметтік-экологиялық әлеуетін болжау үшін ғылыми негіз ретінде қызмет етеді.

Түйін сөздер: халық денсаулығы, сызықтық тенденция, тенденция, өзгерістер, зерттеу базасы, динамика, бағалау.

М. Б. Мустафаева¹, Ж. С. Мустафаев², Ш. К. Шапалов³, В. В. Семенов⁴, К. Б. Абдешев⁵

¹ Докторант PhD (Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауезова, Шымкент, Казахстан; tminayim00@mail.ru)

² *Д. т. н., профессор, главный научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; z-mustafa@rambler.ru)

³ PhD, профессор (Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауезова, Шымкент, Казахстан; shermakhan_1984@mail.ru)

⁴ Д. т. н., профессор (Санкт-Петербургский государственный технологический институт, Санкт-Петербург, Российская Федерация; semenovvv50@yandex.ru)

⁵ PhD, ассоциированный профессор (Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова, Шымкент, Казахстан; abdeshev.kuanyshe@mail.ru)

ОЦЕНКА ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ В НИЗОВЬЯХ РЕКИ СЫРДАРΙΑ В ПРОСТРАНСТВЕННЫХ И ВРЕМЕННЫХ АСПЕКТАХ

Аннотация. Современные исследования здоровья населения Кызылординской области, проживающего в низовье реки Сырдария, относящейся к зоне техногенного загрязнения, базируются на медико-статистическом подходе с использованием методов линейного тренда, обеспечивающих научное обоснование особенностей формирования здоровья населения в пространственных и временных аспектах. На основе статистического сборника «Здоровье населения Республики Казахстан и деятельность организаций здравоохранения» Департамента медико-статистического анализа РГП на ПХВ «Национальный научный центр развития здравоохранения имени Сағадат Қайырбековой» в 2000-2022 годы создана электронная база исследования по здоровью населения Кызылординской области в разрезе административных районов. Статистически обоснованная оценка параметров заболеваемости населения в разрезе административных районов Кызылординской области с использованием линейного тренда в программе Microsoft Excel показала, что за рассматриваемый период в целом наблюдаются разнонаправленные положительные и отрицательные тенденции (тренды) развития заболеваемости и их функциональные уравнения в виде линейных трендов служат научной основой для прогнозирования социально-экологического потенциала региона.

Ключевые слова: здоровье населения, линейный тренд, тенденция, изменения, база исследования, динамика, оценка.

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

**Геоинформационные технологии
Геоақпараттық технологиялар
Geoinformation technologies**

- Turguldinova S., Oryngozhin Ye., Alimbay M., Miletenko N., Ramazanov U., Kuandykova A.*
Mapping of irrigated lands in agriculture using geoinformation systems.....3
(*Тургульдинова С., Орынгожин Е., Әлімбай М., Милентенко Н., Рамазанов У., Қуандыкова А.* Ауыл шаруашылығындағы суармалы жерлерді геоақпараттық жүйелерді пайдалана отырып картаға түсіру)

**Геоэкология
Геоэкология
Geoeology**

- Салимбаева Р. А., Даулбаева А. Н., Молдагазыева Ж. Ы., Есенкулова Ж. Ж.* Анализ уровня загрязнения почвенного покрова и водных ресурсов Карагандинской области..... 11
(*Salimbayeva R. A., Dauylbayeva A. N., Moldagazyeva Zh. Y., Yessenkulova Zh. Zh.* Analysis of soil and water pollution levels in Karaganda region)
Бижанова Г. З., Абдибаттаева М. М., Мусина У. Ш., Курбанова Л. С., Тусупова Б. Х.
Табиғи сорбенттер: суды тазартудың экологиялық баламасы..... 23
(*Bizhanova G. Z., Abdibattayeva M. M., Musina U. Sh., Kurbanova L. S., Tusupova B. Kh.* Natural sorbents: an environmentally friendly alternative for water treatment)

**Гидрология и водное хозяйство
Гидрология және су шаруашылығы
Hydrology and water management**

- Smolyar V. A., Adenova D. K., Murtazin Ye. Zh., Rakhimov T. A.* Forecast of potential changes in exploitable groundwater reserves under the influence of natural and anthropogenic processes at deposits explored for irrigation..... 34
(*Смоляр В. А., Аденова Д. К., Муртазин Е. Ж., Рахимов Т. А.* Суару үшін барланған жерлерде, жерасты су кенорындарындағы табиғи және техногендік процестердің әсерінен эксплуатациялық қорларының өзгеру мүмкіндігінің болжамы)
Ли М. А., Иманалиев Т. К., Турғынбеков Е. С., Ибраев Т. Т., Балгабаев Н. Н.
Создание автоматизированной системы регулирования подачи воды на оросительных каналах с малыми расходами..... 42
(*Li M. A., Imanaliyev T. K., Turgynbekov Ye. S., Ibrayev T. T., Balgabayev N. N.* Development of an automated water flow control system for low-discharge irrigation canals)
Рахметов И. К., Тоқтар Ә. Т., Нұрғазиева А. А. Оценка современного состояния месторождений подземных вод Восточного Казахстана, разведанных для орошения..... 58
(*Rakhmetov I. K., Toktar A. T., Nurgazieva A. A.* Assessment of the current state of groundwater resources in East Kazakhstan explored for irrigation)
Достаяева А. Ж., Биримбаева Л. М., Загидуллина А. Р. Региональные зависимости речного стока Северного Казахстана..... 69
(*Dostayeva A. Zh., Birimbayeva L. M., Zagidullina A. R.* Regional dependencies of river runoff in Northern Kazakhstan)

**Гидрохимия и качество воды
Гидрохимия және судың сапасы
Hydrochemistry and water quality**

- Абсаметов М. К., Жакибаева А. Ж., Кошпанова К. Е., Муртазин Е. Ж., Аденова Д. К.*
Гидрогеохимический сток Центрального Казахстана и его роль в развитии экзогенных процессов.....78
(*Absametov M. K., Zhakibaeva A. Zh., Koshpanova K. Ye., Murtazin Ye. Zh., Adenova D. K.* Hydrogeochemical runoff in the Central Kazakhstan and its role in the development of exogenous processes)

Климатология и метеорология
Климатология және метеорология
Climatology and meteorology

- Наурозбаева Ж. К., Монкаева Г. Е., Жунисова М. А., Рахматулла Н. Е., Еркинова Г. А., Кенжина Ж. Х.* Изменения температуры воздуха и атмосферных осадков в Прикаспийском регионе по климатической модели BCC-CSM1-2 на перспективу..... 91
(Naurozbayeva Zh. K., Monkayeva G. Ye., Zhunisova M. A., Rakhmatulla N. Ye., Erkinova G. A., Kenzhina Zh. Kh. Changes in air temperature and precipitation in the Caspian region based on the BCC-CSM1-2 climate model)

Опасные экзогеодинамические процессы
Қауіпті экзогеодинамикалық процестер
Dangerous exogeodynamic processes

- Благовещенский В. П., Есжанова А. С., Толепбаева А. К., Алдаберген У. Р.* Оценка риска оползней и разработка защитных мероприятий на основе полевых исследований в Текели..... 105
(Blagoveshchenskiy V. P., Yeszhanova A. S., Tolepbayeva A. K., Aldabergen U. R. Landslide risk assessment and development of protective measures based on field research in Tekeli)
- Попов Н. В., Ранова С. У., Камалбекова А. Н.* Выявление уровня подготовленности и знания опасных процессов, связанных с прорывами ледниковых озер в условиях изменения климата (на примере населения города Талгара)..... 117
(Popov N. V., Ranova S. U., Kamalbekova A. N. Assessing awareness and preparedness for hazardous processes associated with glacial lake outburst floods under climate change (a case study of the population of Talgar Town))
- Жданов В. В., Кузгагельдина Н. У., Гуляева Т. С.* Қазақстандағы қар көшкіні қауіпін мониторингтеу және болжау әдістері (артықшылықтары, кемшіліктері және даму перспективалары)..... 127
(Zhdanov V. V., Kuzhageldina N. U., Gulyayeva T. S. Monitoring and forecasting methods of avalanche hazard in Kazakhstan (advantages, disadvantages and development prospects))

Рекреационная география и туризм
Рекреациялық география және туризм
Recreational geography and tourism

- Nulahemaiti B., Akbar I.* Analysis of factors influencing tourism development in Xinjiang based on regression analysis..... 139
(Нұлахемет Б., Ақбар И. Шыңжаң туризмін дамытуға ықпал ететін факторларды регрессиялық талдау арқылы зерттеу)
- Ismailova Sh. Ph.* Mountain tourism potential of the Southern slope of the Greater Caucasus (a case study of Oguz region)..... 152
(Исмаилова Ш. Ф. Үлкен Кавказдың оңтүстік беткейінің тау туристік әлеуеті (Оғұз ауданы мысалы))

Экономическая география
Экономикалық география
Economical geography

- Mustafayeva M. B., Mustafayev Zh. S., Shapalov Sh. K., Semyonov V. V., Abdeshev K. B.* Assessment of population health in the lower reach of the Syrdarya River in spatial and temporal dimensions..... 158
(Мұстафаева М. Б., Мұстафаев Ж. С., Шапалов Ш. К., Семенов В. В., Абдешев Қ. Б. Сырдария өзенінің төменгі саласындағы халықтың денсаулығын кеңістік-уақыттық көзқараста бағалау)

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

В журнале публикуются статьи, посвященные проблемным вопросам географической науки и геоэкологии, а также научные сообщения теоретического, методического, экспериментального и прикладного характера, тематические обзоры, критические статьи и рецензии, в том числе в виде писем в редакцию, библиографические сводки, хроника научной жизни. Тексты статей и других материалов могут предоставляться на казахском, русском или английском языках. Редакция принимает материалы в электронном виде, набранные в текстовом редакторе Microsoft Word, в сопровождении идентичной бумажной версии. Поля: верхнее и нижнее – 2,4 см, правое и левое – 2,2 см. Текст (шрифт «Times New Roman») дается в одну колонку через межстрочный интервал 1,0 и для него устанавливается автоматический перенос. Страницы нумеруются. Материал статьи (текст, включая аннотации на казахском, русском и английском языках, рисунки, таблицы, список литературы) оформляется одним файлом. Объем статьи со всеми структурными элементами не должен превышать 50 000 знаков с пробелами (до 12 стр.), других материалов – 20 000 знаков с пробелами (до 4 стр.).

Рукописи статей оформляются следующим образом: 1) УДК (выравнивание текста «левый край», кегль 10); 2) через один интервал инициалы и фамилии всех авторов через запятую (выравнивание текста «по центру», начертание «полужирный», регистр «начинать с прописных», кегль 11; если авторов несколько, после фамилии каждого указывается надстрочным индексом порядковый номер арабской цифрой); 3) через один интервал – ученое звание и степень автора, должность, в скобках – полное название организации, в которой он работает, город, страна (выравнивание текста «по центру», кегль 10; если авторов несколько, сведения даются о каждом из них отдельной строкой через одинарный интервал, а начинается каждая строка с надстрочного индекса порядкового номера после фамилии автора); 4) через один интервал – название статьи без переноса (выравнивание текста «по центру», начертание «полужирный», регистр «все прописные», кегль 14); 5) через один интервал – аннотация из 5–10 предложений, объемом до 1200 знаков с пробелами (начинать абзац следующим образом: «Аннотация. ... (каз. яз.)», «Аннотация. ... (рус. яз.)», «Abstract. ... (англ. яз.)») на том языке, на котором написан основной текст рукописи (абзац «0,75 см», выравнивание текста «по ширине», регистр «все строчные», кегль 10); 6) через один интервал 5–7 ключевых слов (начинать абзац следующим образом: «Түйін сөздер: ...», «Keywords: ...», «Ключевые слова: ...»), сортированных по алфавиту, на том языке, на котором написан основной текст рукописи (абзац «0,75 см», выравнивание текста «по ширине», регистр «все строчные», кегль 10).

Основной текст разбивается на структурные элементы: введение, постановка проблемы, методика исследований, источники данных, результаты исследований, обсуждение результатов, заключение (выводы), источник финансирования исследований (при необходимости), список литературы. Перед списком литературы может помещаться благодарность лицам и организациям, оказавшим помощь в написании статьи. Необщепринятые аббревиатуры должны расшифровываться в тексте при первом упоминании. Параметры текста: абзац «0,75 см», выравнивание «по ширине», регистр «как в предложениях», кегль 11.

Под заголовком «ЛИТЕРАТУРА» приводится список источников, на которые есть ссылки в тексте. Литература приводится сначала на языке оригинала, затем дублируется на английском языке «REFERENCES» (абзац «0,75 см», выравнивание «по ширине», регистр «как в предложениях», кегль 9). В тексте ссылки на номера списка даются в квадратных скобках. Запись каждой библиографической ссылки в списке начинается с ее порядкового номера в тексте: «[1] Петрова С.Н. Научно-исследовательская деятельность ...»). Список литературы оформляется по ГОСТ 7.1–2003 и тщательно выверяется автором. Транслитерация не допускается!

Далее следует резюме. Для статьи, предоставленной на казахском языке, требуются русский и английский переводы; на русском языке – казахский и английский переводы; на английском языке – казахский и русский переводы. Для авторов из зарубежья резюме на казахский язык переводится в редакции в соответствии с предоставленным на русском и английском языках. Структура двуязычных резюме: инициалы и фамилии всех авторов через запятую (после фамилии каждого указывается надстрочным индексом порядковый номер арабской цифрой); ученое звание и степень автора, должность, в скобках – полное название организации, в которой он работает, город, страна (если авторов несколько, сведения даются отдельной строкой через одинарный интервал, а начинается каждая строка с надстрочного индекса порядкового номера после фамилии автора); название статьи; аннотация, приведенная в начале статьи (начинать абзац следующим образом: «Аннотация. ... (каз. яз.)», «Аннотация. ... (рус. яз.)», «Abstract. ... (англ. яз.)»; ключевые слова, приведенные в начале статьи (начинать абзац следующим образом: «Түйін сөздер: ...», «Keywords: ...», «Ключевые слова: ...»).

Таблицы набираются в формате Microsoft Word (не Microsoft Excel), кегль 9. В статье даются ссылки на все таблицы. Располагать их следует сразу после упоминания в тексте или на следующей странице. Название таблицы должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Например, «Таблица 1 – Средний много-летний расход р. Жайык, м³/с». Размещать его следует над таблицей, без абзацного отступа (выравнивание текста «по центру», кегль 9). Не допускается перенос части таблицы на следующую страницу. Большие таблицы допускается размещать на всю страницу с ориентацией «альбомная». Таблицы и графы в них должны иметь заголовки, сокращения слов не допускаются. Повторяющийся в разных строках графы таблицы текст из одного слова после первого написания допустимо заменять кавычками. Если он состоит из двух и более слов, то при первом повторении его заменяют словами «то же», а далее – кавычками. Ставить кавычки вместо повторяющихся цифр, марок, знаков, математических и химических символов не допускается. Если данные в какой-либо строке таблицы не приводят, то в ней ставят прочерк.

Рисунки должны быть выполнены в хорошем качестве, а их общее количество не превышать 5. Рисунки располагают непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице. Все надписи на рисунках должны хорошо читаться; по возможности их следует заменять буквами или цифрами, а необходимые пояснения давать в тексте или в подписуточных подписях. В подписуточной подписи необходимо четко отделить (новая строка) собственно название рисунка от объяснений к нему (экспликация). Подписуточные подписи должны соответствовать тексту (но не повторять его) и изображениям. Например, «Рисунок 1 – Карта плотности населения в бассейне р. Жайык, чел. на 1 км²» (выравнивание текста «по центру», кегль 9). Фотографии должны быть четкими, без дефектов. Все рисунки также предоставляют отдельными файлами: для растровых изображений – в формате JPEG/TIFF/PSD, для векторных – в совместимом с Corel Draw или Adobe Illustrator. Разрешение растровых изображений в оттенках серого и RGB цветах должно быть 300 dpi, чёрно-белых – 600 dpi. Рекомендуемые размеры: ширина – 85, 120–170 мм, высота – не более 230 мм. При необходимости файлы могут быть заархивированы, предпочтительно в форматах ZIP или ARJ.

Математические обозначения и формулы нужно набирать в Microsoft equation и размещать в тексте отдельных строках, нумеруя только те, на которые есть ссылки в тексте. Русские и греческие буквы в формулах и статьях, а также математические символы и химические элементы набираются прямым шрифтом, латинские буквы – курсивом.

К статье следует приложить: 1) сопроводительное письмо; 2) рецензию на 1 стр.; 3) экспертное заключение об отсутствии секретных сведений в публикации, выданное организацией, в которой выполнена работа (в особых случаях возможно составление в редакции после внутреннего рецензирования); для нерезидентов Республики Казахстан экспертное заключение не требуется; 4) краткое заключение лаборатории (кафедры, отдела и др.), где выполнена представленная к публикации работа; 5) сведения о каждом авторе: ФИО (полностью), ученые степень и звание, должность и место работы, контактные E-mail, телефоны, факс.

Сданные в редакцию материалы авторам не возвращаются. Не соответствующие требованиям статьи не рассматриваются. Если статья отклонена, редакция сохраняет за собой право не вести дискуссию по мотивам отклонения.

Все материалы проходят внутреннее и внешнее рецензирование. Редакция просит авторов отмечать все изменения, внесенные в статью после исправления или доработки текста по замечаниям рецензента (например, цветом). При работе над рукописью редакция вправе ее сократить. В случае переработки статьи по просьбе редакционной коллегии журнала датой поступления считается дата получения редакцией окончательного варианта. За достоверность приведенных в статье научных фактов полную ответственность несет автор (авторы в равной мере, если их несколько).

Адрес редакции журнала «География и водные ресурсы»:

Республика Казахстан, 050000, г. Алматы, пр. Сейфуллина, 458/1,

АО «Институт географии и водной безопасности».

Тел.: +7(727)279-21-13.

E-mail: journal.ingeo@gmail.com

Сайт: <https://ojs.ingeo.kz>

Ғылыми жарияланымдардың этикасы

«География мен су ресурстары» журналының редакциялық алқасы халықаралық қоғамдастық қабылдаған жариялау этикасының қағидаттарын ұстанады, сондай-ақ беделді халықаралық журналдар мен баспалардың құнды тәжірибесін ескереді.

Баспа қызметіндегі жосықсыз тәжірибені болдырмау мақсатында (плагиат, жалған ақпаратты ұсыну және т.б.) және ғылыми жарияланымдардың жоғары сапасын қамтамасыз ету, автордың алған ғылыми нәтижелерін жұртшылықпен таныстыру мақсатында редакциялық кеңестің әрбір мүшесі, автор, рецензент, сондай-ақ баспа барысында қатысатын мекемелер этикалық стандарттарды, нормалар мен ережелерді сақтауға және олардың бұзылуын болдырмау үшін барлық іс-шараларды қабылдауға міндетті. Осы процеске қатысушылардың барлығының ғылыми жарияланым этикасы ережелерін сақтау авторлардың зияткерлік меншік құқықтарын қамтамасыз етуге, басылым сапасын арттыруға және авторлық ақпараттарды, жеке тұлғалардың мүддесі үшін заңсыз пайдалану мүмкіндігін болдырмауға ықпал етеді.

Редакцияға келіп түскен барлық ғылыми мақалалар міндетті түрде екі жақты шолудан өтеді. Журнал редакциясы мақаланың журнал бейініне, ресімдеу талаптарына сәйкестігін белгілейді және қолжазбаның ғылыми құндылығын айқындайтын және мақала тақырыбына неғұрлым жақын ғылыми мамандандырулары бар екі тәуелсіз рецензент – мамандарды тағайындайтын журналдың жауапты хатшысының бірінші қарауына жібереді. Мақалаларды рецензиялауды редакциялық кеңес және редакциялық алқа мүшелері, сондай-ақ басқа елдердің шақырылған рецензенттері жүзеге асырады. Мақалаға сараптама жүргізу үшін белгілі бір рецензентті таңдау туралы шешімді Бас редактор қабылдайды. Рецензиялау мерзімі 2-4 аптаны құрайды, бірақ рецензенттің өтініші бойынша ол ұзартылуы мүмкін.

Редакция мен рецензент қарауға жіберілген жарияланбаған материалдардың құпиялылығын сақтауға кепілдік береді. Жариялау туралы шешімді журналдың редакциялық алқасы рецензиялаудан кейін қабылдайды. Қажет болған жағдайда қолжазба авторларға рецензенттер мен редакторлардың ескертулері бойынша жөндеуге жіберіледі, содан кейін ол қайта рецензияланады. Редакция этика ережелерін бұзған жағдайда мақаланы жариялаудан бас тартуға құқылы. Егер ақпаратты плагиат деп санауға жеткілікті негіз болса, жауапты редактор жариялауға жол бермеуі керек.

Авторлар редакцияға ұсынылған материалдардың жаңа, бұрын жарияланбаған және түпнұсқа екендігіне кепілдік береді. Авторлар ғылыми нәтижелердің сенімділігі мен маңыздылығына, сондай-ақ ғылыми этика қағидаттарын сақтауға, атап айтқанда, ғылыми этиканы бұзу фактілеріне жол бермеуге (ғылыми деректерді тұжырымдау, зерттеу деректерін бұрмалауға әкелетін бұрмалау, плагиат және жалған тең авторлық, қайталау, басқа адамдардың нәтижелерін иемдену және т. б.) жауапты болады.

Мақаланы редакцияға жіберу авторлардың мақаланы (түпнұсқада немесе басқа тілдерге немесе басқа тілдерге аударылған) басқа журналға(журналдарға) бермегенін және бұл материал бұрын жарияланбағанын білдіреді. Әйтпесе, мақала авторларға авторлық құқықты бұзғаны үшін мақаланы қабылдамау туралы ұсыныспен дереу қайтарылады. Басқа автор жұмысының 10 пайызынан астамын оның авторлығын және дереккөзге сілтемесіз сөзбе-сөз көшіруге жол берілмейді. Алынған көріністер немесе мәлімдемелер автор мен бастапқы көзді міндетті түрде көрсете отырып жасалуы керек. Шамадан тыс көшіру, сондай-ақ кез-келген нысандағы плагиат, оның ішінде рәсімделмеген дәйексөздер, өзгерту немесе басқа адамдардың зерттеулерінің нәтижелеріне құқықтар иемдену этикалық емес және қолайсыз. Зерттеу барысына қандай да бір түрде әсер еткен барлық адамдардың үлесін мойындау қажет, атап айтқанда, мақалада зерттеу жүргізу кезінде маңызды болған жұмыстарға сілтемелер ұсынылуы керек. Қосалқы авторлардың арасында зерттеу-ге қатыспаған адамдарды көрсету болмайды.

Егер жұмыста қате табылса, редакторға тез арада хабарлау керек және бірге түзету туралы шешім қабылдау керек.

Қолжазбаны жариялаудан бас тарту туралы шешім рецензенттердің ұсынымдарына сәйкес редакциялық алқа отырысында қабылданады. Редакциялық алқаның шешімімен жариялауға ұсынылмаған мақала қайта қарауға қабылданбайды. Жариялаудан бас тарту туралы хабарлама авторға электрондық пошта арқылы жіберіледі.

Редакциялық алқа мақаланы жариялауға жіберу туралы шешім қабылдағаннан кейін редакция бұл туралы авторға хабарлайды және жариялау мерзімін көрсетеді.

Этика научных публикаций

Редакционная коллегия журнала «География и водные ресурсы» придерживается принятых международным сообществом принципов публикационной этики, а также учитывает ценный опыт авторитетных международных журналов и издательств.

Во избежание недобросовестной практики в публикационной деятельности (плагиат, изложение недостоверных сведений и др.) и в целях обеспечения высокого качества научных публикаций, признания общественностью полученных автором научных результатов каждый член редакционного совета, автор, рецензент, а также учреждения, участвующие в издательском процессе, обязаны соблюдать этические стандарты, нормы и правила и принимать все меры для предотвращения их нарушений. Соблюдение правил этики научных публикаций всеми участниками этого процесса способствует обеспечению прав авторов на интеллектуальную собственность, повышению качества издания и исключению возможности неправомерного использования авторских материалов в интересах отдельных лиц.

Все научные статьи, поступающие в редакцию, подлежат обязательному двойному слепому рецензированию. Редакция Журнала (ответственный секретарь Журнала) устанавливает соответствие статьи профилю Журнала, требованиям к оформлению и направляет ее на первое рассмотрение, определяет научную ценность рукописи и назначает двух независимых рецензентов – специалистов, имеющих наиболее близкие к теме статьи научные специализации. Рецензирование статей осуществляется членами редакционной коллегии, а также приглашенными рецензентами из других стран. Решение о выборе того или иного рецензента для проведения экспертизы статьи принимает главный редактор. Срок рецензирования составляет 2-4 недели, но по просьбе рецензента он может быть продлен.

Редакция и рецензент гарантируют сохранение конфиденциальности не опубликованных материалов. Решение о публикации принимается редакционной коллегией Журнала после рецензирования. В случае необходимости рукопись направляется авторам на доработку по замечаниям рецензентов и редакторов, затем она повторно рецензируется. Редакция оставляет за собой право отклонить публикацию статьи в случае нарушения правил этики. Ответственный редактор не должен допускать к публикации информацию, если имеется достаточно оснований полагать, что она является плагиатом.

Авторы гарантируют, что представленные в редакцию материалы являются новыми, ранее не опубликованными и оригинальными. Они несут ответственность за достоверность и значимость научных результатов, а также соблюдение принципов научной этики, в частности недопущение фактов нарушения научной этики (фабрикация научных данных, фальсификация, ведущая к искажению исследовательских данных, плагиат и ложное соавторство, дублирование, присвоение чужих результатов и др.).

Направляя статью в редакцию, авторы подтверждают, что данная статья не была ранее опубликована и не передавалась в другой журнал(ы) как в оригинале, так и в переводе на другие языки или с других языков. В противном случае статья немедленно возвращается авторам с рекомендацией отклонить статью за нарушение авторских прав. Не допускается дословное цитирование работы другого автора без указания его авторства и ссылок на источник. Заимствованные фрагменты или утверждения должны быть оформлены с обязательным указанием автора и первоисточника. Чрезмерные заимствования, а также плагиат в любых формах, включая неоформленные цитаты, перефразирование, перевод или присвоение прав на результаты чужих исследований, неэтичны и неприемлемы. Необходимо признавать вклад всех лиц, так или иначе повлиявших на ход исследования. В частности, в статье должны быть представлены ссылки на работы, которые имели значение при проведении исследования. Среди соавторов недопустимо указывать лиц, не участвовавших в исследовании. Если обнаружена ошибка в работе после подачи статьи, необходимо срочно уведомить редактора и вместе принять решение об исправлении.

Решение об отказе в публикации рукописи принимается редакционной коллегией в соответствии с рекомендациями рецензентов. Статья, не рекомендованная решением редакционной коллегии к публикации, к повторному рассмотрению не принимается. Сообщение об отказе в публикации направляется автору по электронной почте.

После принятия редакцией Журнала решения о допуске статьи к публикации редакция информирует об этом автора и указывает сроки публикации.

Ethics of scientific publications

In order to avoid unfair practices in publishing activities (plagiarism, presentation of false information, etc.) and in order to ensure the high quality of scientific publications, public recognition of the scientific results obtained by the author, each member of the editorial board, author, reviewer, as well as institutions involved in the publishing process, must comply with ethical standards, rules and regulations and take all measures to prevent their violations. Compliance with the rules of ethics of scientific publications by all participants in this process contributes to ensuring the rights of authors to intellectual property, improving the quality of the publication, and excluding the possibility of illegal use of copyright materials in the interests of individuals.

All scientific articles submitted to the editorial office are subject to mandatory double-blind review. The editorial board of the Journal (Responsible secretary) establishes the correspondence of the article to the profile of the Journal, the requirements for registration and sends it for the first consideration, determines the scientific value of the manuscript and appoints two independent reviewers - specialists who have scientific specializations closest to the topic of the article. Reviewing of articles is carried out by members of the editorial board, as well as invited reviewers from other countries. The decision on choosing a reviewer for the examination of the article is made by the editor-in-chief. The review period is 2-4 weeks, but it can be extended at the request of the reviewer.

The editorial board and the reviewer guarantee the confidentiality of unpublished materials. The decision on publication is made by the editorial board of the Journal after reviewing. The manuscript is sent to the authors for revision based on the comments of reviewers and editors if necessary. After which, it is re-reviewed. The editors reserve the right to reject the publication of an article in case of a violation of the rules of ethics. The executive editor should not allow information to be published if there are sufficient grounds to believe that it is plagiarism.

The authors guarantee that the submitted materials to the editorial office are new, previously unpublished, and original. Authors are responsible for the reliability and significance of scientific results, as well as adherence to the principles of scientific ethics, in particular, the prevention of violations of scientific ethics (fabrication of scientific data, falsification leading to distortion of research data, plagiarism, and false co-authorship, duplication, appropriation of other people's results, etc.).

The submission of an article to the Editorial Board means that the authors did not transmit the article (in original or translation into other languages or from other languages) to another journal (s), and this material has not been previously published. Otherwise, the article is immediately returned to the authors with a recommendation to reject the article for copyright infringement. Verbatim quoting of the work of another author is not allowed without indicating his authorship and references to the source. Borrowed fragments or statements must be made with the obligatory indication of the author and the source. Excessive borrowing as well as plagiarism in any form, including unofficial quotations, paraphrasing, or appropriation of rights to the results of other people's research, is unethical and unacceptable. It is necessary to recognize the contribution of all persons, who in one way or another influenced the course of the research. In particular, the article, should contain references to works that were of importance in the conduct of the research. Among the co-authors, it is inadmissible to indicate persons who did not participate in the study.

If an error is found in work, it is necessary to notify the editor and together make a decision on the correction.

The decision to refuse publication of the manuscript is made at a meeting of the editorial board by the recommendations of the reviewers. An article not recommended for publication by the decision of the editorial board is not accepted for reconsideration. The refusal to publish is sent to the author by e-mail.

After the editorial board of the Journal decides on the admission of the article for publication, the editorial board informs the author about it and indicates the terms of publication.

Журналдың жауапты хатшысы –
PhD, аға ғылыми қызметкер
Ж. К. Наурозбаева

Ответственный секретарь журнала –
PhD, старший научный сотрудник
Ж. К. Наурозбаева

Responsible Secretary of the Journal –
PhD, Senior Researcher
Zh. K. Naurozbayeva

Редакторы *Т. Н. Кривобокова*
Компьютерлік беттеген
Д. Н. Қалқабекова

Редактор *Т. Н. Кривобокова*
Верстка на компьютере
Д. Н. Калкабековой

Editor *T. N. Krivobokova*
Makeup on the computer of
D. N. Kalkabekova

Басуға 23.09.2025 қол қойылды.
Пішіні 60x88¹/₈. Офсеттік басылым.
Баспа – ризограф. 11,0 п.л.
Таралымы 300 дана.

Подписано в печать 23.09.2025.
Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная.
Печать – ризограф. 11,0 п.л.
Тираж 300.

Passed for printing on 23.09.2025.
Format 60x88¹/₈. Offset paper.
Printing – risograph. 11,0 p/p.
Number of printed copies 300.

«Нурай Принт Сервис» ЖШС
баспаханасында басылып шықты.
050026, Алматы қ.,
Муратбаев көшесі 75, оф.3.
Тел.: +7(727)234-17-02

Отпечатано в типографии
ТОО «Нурай Принт Сервис».
050026, г. Алматы,
ул. Муратбаева, 75, оф. 3.
Тел.: +7(727)234-17-02

Printed in the publishing house
of the LLP «Nurai Print Service».
050026, Almaty,
Muratbaev str., 75, off. 3.
Tel.: +7(727)234-17-02