

*Қазақстан Республикасының
Экология және
табиғи ресурстар
Министрлігі
«Қазгидромет» Республикалық
мемлекеттік кәсіпорны*

*Министерство экологии и
природных ресурсов
Республики Казахстан
Республиканское государ-
ственное
предприятие «Казгидромет»*

*Ministry of Ecology and natural
resources
Republic of Kazakhstan
Republican State
Enterprise "Kazgidromet"*

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

**Ежеквартальный
научно-технический журнал**

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯ

**әр тоқсанда шығарылатын
ғылыми-техникалық журнал**

HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY

**Quarterly
scientific and technical journal**

№4

**Астана, 2023
Astana, 2023**

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР Д.К. Алимбаева

ЗАМ. ГЛАВНОГО
РЕДАКТОРА С.Б. Саиров

ОТВЕСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ А.Ф. Елтай

РЕДКОЛЛЕГИЯ

Н.Н. Абаев (Астана, Казахстан)
Р.Г. Абдрахимов (Алматы, Казахстан)
А.А. Волчек (Брест, Беларусь)
А.В. Галаева (Алматы, Казахстан)
А. Гафуров (Потсдам, Германия)
Е.Ж. Муртазин (Алматы, Казахстан)
Ж.С. Мустафаев (Алматы, Казахстан)
Ж.К. Наурызбаева (Алматы, Казахстан)
К. Опп (Марбург, ФРГ)
Е.В. Островская (Астрахань, Россия)
В.Г. Сальников (Алматы, Казахстан)
Б.С. Степанов (Алматы, Казахстан)
С.Г. Сафаров (Баку, Азербайджан)
А.Г. Терехов (Алматы, Казахстан)
А.В. Чередниченко (Алматы, Казахстан)
Р.К. Яфязова (Алматы, Казахстан)

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ **№ 4 (111)**

© Журнал издается с 1995 года.
Регистрационное свидетельство
№ KZ13VPY00070023 от 15 мая 2023 г.
Адрес редакции: 010000, Астана,
пр. Мәңгілік Ел, 11/1, к. 612
Телефон: (7172) 79-83-12;
E-mail: hydromet.journal@gmail.com
<http://www.kazhydromet.kz>
<http://journal.kazhydromet.kz>

EDITOR-IN-CHIEF D. Alimbayeva

DEPUTY CHIEF EDITORS S. Sairov

EXECUTIVE SECRETARY A.Yeltay

EDITORIAL BOARD

N. Abayev (Astana, Kazakhstan)
R. Abdralhimov (Almaty, Kazakhstan)
A.Volchek (Brest, Belerus)
A.Galayeva (Almaty, Kazakhstan)
E.Murtazin (Almaty, Kazakhstan)
Zh. Mustafayev (Almaty, Kazakhstan)
Zh. Naurozbayeva (Almaty, Kazakhstan)
C. Opp (Marburg, Germany)
E. Ostrovskaya (Astrakhan, Russia)
V. Salnikov (Almaty, Kazakhstan)
B. Stepanov (Almaty, Kazakhstan)
S. Safarov (Baku, Azerbaijan)
A.Terekhov (Almaty, Kazakhstan)
A.Cherednichenko (Almaty, Kazakhstan)
R. Yafyazova (Almaty, Kazakhstan)

HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY
№ 4 (111)

© Published since 1995.

Registration certificate

№ KZ13VPY00070023 from 15 may 2023.

Address: 010000, Astana,

Mangilik El Ave., 11/1 office 612

Phone (7172) 79-83-12;

E-mail: hydromet.journal@gmail.com

<http://www.kazhydromet.kz>

<http://journal.kazhydromet.kz>

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

Т.А. Тиллакарим, А. Гафуров, А.М. Кауазов

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАПАСОВ ВОДЫ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ MODSNOW В ЕСИЛЬСКОМ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМ БАССЕЙНЕ..... 7

Б.С. Степанов, Р.К. Яфязова

СВЕРХКРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ДОЖДЕВЫХ СЕЛЕЙ И ФОРМИРОВАНИЕ СЕЛЕЙ В БАССЕЙНАХ РЕК КИШИ И УЛКЕН АЛМАТЫ 21 ИЮЛЯ 2023 ГОДА..... 16

И.А. Эйюбов

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА РЕК НА ТЕРРИТОРИИ ШИРВАНА (РЕСПУБЛИКА АЗЕРБАЙДЖАН)..... 25

Мусина А.К., Абдуллаева Э.С.

ОЦЕНКА И ЗОНИРОВАНИЕ СЕЛЕВОЙ ОПАСНОСТИ В БАССЕЙНАХ РЕК ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ИЛЕ АЛАТАУ..... 34

М.А. Алагуджаева, С.Р. Садвакасова, Б.Б. Елбасиева, А.А. Аимбетов

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАВОДНЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА..... 61

М.А. Алагуджаева, С.Р. Садвакасова, Б.Б. Елбасиева, А.А. Аимбетов

ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ЦИФРОВОЕ ПРОГНОЗНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА НА ОСНОВЕ ВЫСОКОДЕТАЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА..... 74

Л.В. Лебедь, Д. А. Касенова, А.С. Есекина, З.Р. Токпаев, Н.К. Сулейменов,

А.Н. Быков, Н.И. Васильченко

К РАСЧЕТАМ АНТРОПОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ ИЗ ИСТОЧНИКОВ И АБСОРБЦИЙ ПОГЛОТИТЕЛЯМИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЛЕСНОМ И СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ ДЛЯ ЕЖЕГОДНОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ДОКЛАДА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН..... 85

ОБЗОР

А.К. Куришбаев, Д.М. Бурлибаева, Ж.М. Сагин, К. Тусупова, К.Д. Алиханов

ФОРСАЙТ-МЕТОДОЛОГИЯ И ЕЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ ВОДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН..... 104

Б.С. Степанов

ВКЛАД НАЦИОНАЛЬНОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН В СЕЛЕВУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРАНЫ..... 113

МАЗМҰНЫ

ҒЫЛЫМИ МАҚАЛАЛАР

Т.А. Тілләкәрім, А. Гафуров, А.М. Кауазов

ЕСІЛ СУШАРУАШЫЛЫҒЫ АЛАБЫНДА ҚАР ЖАМЫЛҒЫСЫ ЫЛҒАЛ ҚО-
РЫН MODSNOW МОДЕЛІ КӨМЕГІМЕН МОДЕЛЬДЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ..... 7

Б.С. Степанов, Р.К. Яфязова

2023 ЖЫЛҒЫ 21 ШІЛДЕДЕ КІШІ ЖӘНЕ ҮЛКЕН АЛМАТЫ ӨЗЕНДЕРІНІҢ
АЛАПТАРЫНДА ЖАҢБЫР СЕЛДЕРНІҢ ӨТЕ ҚЫСҚА МЕРЗІМДІ БОЛЖАМЫ
ЖӘНЕ СЕЛДІҢ ҚАЛЫПТАСУЫ..... 16

И.А. Әйюбов

ШИРВАН АУМАҒЫНДАҒЫ ӨЗЕНДЕР АҒЫНДЫСЫНЫҢ ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ
ӨЗГЕРУІН БАҒАЛАУ (ӨЗІРБАЙЖАН РЕСПУБЛИКАСЫ)..... 25

Мусина А.К., Абдуллаева Ә.С.

ІЛЕ АЛАТАУЫНЫҢ ОРТАЛЫҚ БӨЛІГІНДЕГІ ӨЗЕН АЛАПТАРЫНЫҢ СЕЛ
ҚАУІПТІЛІГІН БАҒАЛАУ ЖӘНЕ ЗОНАЛАУ..... 34

М.А. Алағуджаева, С.Р. Садвакасова, Б.Б. Елбасиева, А.А. Аимбетов

ОРТАЛЫҚ ҚАЗАҚСТАН АУМАҒЫНДА СУ ТАСҚЫНЫНЫҢ ҚАЛЫПТАСУ
ЖАҒДАЙЛАРЫ..... 61

М.А. Алағуджаева, С.Р. Садвакасова, Б.Б. Елбасиева, А.А. Аимбетов

РЕЛЬЕФТІҢ ЖОҒАРЫ ЕГЖЕЙ ТЕГЖЕЙЛІ ЦИФРЛЫҚ МОДЕЛІ НЕГІЗІНДЕ
СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН АУМАҒЫНЫҢ СУ БАСУ АЙМАҚТАРЫН ГИДРО-
ЛОГИЯЛЫҚ ЦИФРЛЫҚ БОЛЖАМДЫ МОДЕЛЬДЕУ..... 74

**Л.В. Лебедь, Д. А. Касенова, А.С. Есекина, З.Р. Токпаев, Н.К. Сулейменов,
А.Н. Быков, Н.И. Васильченко**

ОРМАН ЖӘНЕ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫНДАҒЫ АНТРОПОГЕНДІК ШЫҒА-
РЫНДЫЛАР КӨЗІ ЖӘНЕ ПАРНИКТІК ГАЗДАРДЫ СІҢГІГІШТЕМЕН АБСОР-
БЦИЯЛАУДЫ ЕСЕПТЕУ НЕГІЗІНДЕ ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ
ЖЫЛ САЙЫНҒЫ ҰЛТТЫҚ БАЯНДАМАСЫ ҮШІН..... 85

ОБЗОР

А.К. Күрішбаев, Д.М. Бүрлібаева, Ж.М. Сагин, К. Тусупова, К.Д. Алиханов

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ СУ ҚАУІПСІЗДІГІ КОНТЕКСТІНДЕ
ФОРСАЙТ-ӘДІСТЕМЕСІН ҚОЛДАНУ ЖӘНЕ ОНЫҢ МҮМКІНДІКТЕРІ..... 104

Б.С. Степанов

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ
ҚЫЗМЕТТІҢ ЕЛДІҢ СЕЛ ҚАУІПСІЗДІГІНЕ ҮЛЕСІ..... 113

CONTENTS

SCIENTIFIC ARTICLES

T.A. Tillakarim, A. Gafurov, A.M. Kauazov

RESULTS OF MODELLING OF SNOW WATER EQUIVALENT WITH USING MODSNOW MODEL IN ESIL RIVER MANAGEMENT BASIN..... 7

B.S. Stepanov, R.K. Yafyazova

THE ULTRA-SHORT-TERM FORECAST FOR RAIN-INDUCED DEBRIS FLOWS AND FORMATION OF DEBRIS FLOWS IN THE KISHI AND ULKEN ALMATY RIVER BASINS JULY 21 2023..... 16

I.A. Eyyubov

ASSESSMENT OF MODERN CHANGES IN RIVER FLOW ON THE TERRITORY OF SHIRVAN (REPUBLIC OF AZERBAIJAN)..... 25

Mussina A.K., Abdullayeva A.S.

ASSESSMENT AND ZONING OF MUDFLOW HAZARD IN RIVER BASINS OF THE ILE ALATAU CENTRAL PART..... 34

M.A. Alagudzhaeva, S.R. Sadvakassova, B.B. Yelbasieva, A.A. Aimbetov

CONDITIONS FOR THE FORMATION OF FLOODS IN THE TERRITORY OF CENTRAL KAZAKHSTAN..... 61

M.A. Alagudzhaeva, S.R. Sadvakassova, B.B. Yelbasieva, A.A. Aimbetov

HYDROLOGICAL DIGITAL PREDICTIVE MODELING OF FLOOD ZONES IN THE TERRITORY OF NORTHERN KAZAKHSTAN BASED ON A HIGHLY DETAILED DIGITAL RELIEF MODEL..... 74

L.V. Lebed, D.A.Kassenova, A.S. Yessekina, Z.R. Tokpayev, N.K.Suleimenov, A.N. Bykov, N.I. Vasilchenko

FOR THE CALCULATIONS OF ANTHROPOGENIC EMISSIONS FROM SOURCES AND REMOVALS BY SINKS OF GREEN HOUSE GASES IN FORESTRY AND AGRICULTURE FOR THE ANNUAL NATIONAL REPORT OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN..... 85

REVIEW

A.K. Kurishbaev, D.M. Burlibayeva, Zh.M. Sagin, K. Tussupova, K.D. Alikhanov

FORESIGHT METHODOLOGY AND ITS APPLICATION POSSIBILITIES IN THE CONTEXT OF WATER SECURITY OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN..... 104

B.S. Stepanov

CONTRIBUTION OF THE NATIONAL HYDROMETEOROLOGICAL SERVICE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN TO THE COUNTRY'S DEBRIS-FLOW SECURITY..... 113

RESULTS OF MODELLING OF SNOW WATER EQUIVALENT WITH USING MODSNOW MODEL IN ESIL RIVER MANAGEMENT BASIN

T.A. Tillakarim^{1,2*}, Dr. A. Gafurov³, candidate of geographical science A. M.Kauazov¹

¹ *al-Farabi Kazakh National university, Almaty, Kazakhstan*

² *RSE "Kazhydromet", Astana, Kazakhstan*

³ *GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Germany*

E-mail: tillakarim_t@meteo.kz

The article presents the results of modeling of snow water equivalent using the V03 module of the MODSNOW model, based on the empirical modeling method, for the territory of the Esil water management basin for 1980...2021 periods. The multi-year period was divided into two equal parts: 1980...1999 for model calibration, 2000...2021 for model validation. For this purpose, 20 meteorological stations located in the section of the water management basin, which have continuous input daily data of average daily air temperature, precipitation, snow cover height and ten-day data of snow water equivalent, were selected. The results of model calibration and validation for reproducibility were evaluated by Nash-Sutcliffe, RSR, and PBIAS criteria. Good reproducibility of modeled snow water equivalent at the meteorological stations Blagoveshenka, Balkashino, Sergeevka, Stepnogorsk, Yavlenka, Bulayevo was revealed; for these stations the results corresponded to the «good» reproducibility rating. It is concluded that the model for these stations can be used for short, medium- and long-term forecasting of snow water equivalent.

Key words: snow, climate, degree-day factor, calibration, validation, Kazakhstan

Accepted: 06.11.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2023-111-4-7-15

INTRODUCTION

Information on spatially distributed snow cover is critical for assessing climatic variability of water resources and for calibrating and validating hydrological models in snow-dominated, in cold regions hydrology (Walter, 2005; WMO, 2009; Clark, 2011).

Snow cover melting in the spring season plays an important role in many parts of the regions as it is directly related to water supply and water resources (Zhang, 2020), also in mountainous areas where snow cover constitutes 50 % of the topography and sometimes reaches 95 %.

The formation of water resources in the continental territory of Central Asia (Gerlitz, 2019), in particular in Kazakhstan, occurs due to melting of snow and ice cover. As climate change continues, the effects of meltwater changes from snow, ice and permafrost will become increasingly relevant to the fragile mountain and plain environments of Central Asia (Barandun,

2020). These changes will affect the livelihoods, primarily of mountain communities, but also of densely populated downstream regions.

Under conditions of climate change, it is especially important to have data on snow cover as an indicator of climate change, as well as the main factor in the formation of water resources in Kazakhstan. In this regard, it is important to investigate changes in snow cover and its main characteristics.

Two basic approaches are used to model snowmelt for daily or short periods of time. The most thorough method is to measure or estimate each term in the energy balance equation and model the energy fluxes in the snow cover. This method requires large amounts of data and sometimes cannot be used due to lack of data.

An alternative (alternate) method for modeling snowmelt has a broad application - degree-day. In this method, air temperature is used to index all energy fluxes. Although the index-based approach has drawbacks,

The main objective in this research is to model snow water equivalent (SWE). To achieve this goal, the MODSNOW model's V03 module was used (Gafurov, 2016), which is based on the degree-day factor method.

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCH

In this research to simulate snow water equivalent was used the V03 module of MODSNOW model (Gafurov, 2016). Modeling water equivalent in this model is based on the «degree-day factor» method. The method is based on the approach of using a temperature index that equates the total daily melting with a coefficient multiplied by the temperature difference between the average daily temperature and the base temperature (usually 32 °F or 0 °C):

$$M = C_M(T_a - T_b) \quad (1)$$

where: M is the daily melting of the snow cover (mm/day); C_M – «degree-days» coefficient (mm/°C degrees per day); T_a – average daily air temperature (°C); T_b – base temperature (°C).

The C_M ratio varies according to the local area and season period. Usually its magnitude fluctuates between 1,6...6,0 mm/ °C degree day. The C_M coefficient is also related to snow density and wind speed (Martinec, 1960) and snow height and accumulated degrees-days (Rosa, 1956). These changes reflect different energy dynamics in time and space and changing conditions of snow cover. And taking into account the continental climate of Central Asia in MODSNOW model, the coefficient C_M – «degree-day» varies from 2.0 to 8.0 mm/day °C. And the temperature variation ranges from -5,0 to +5,0 °C.

As inputs, the model for simulating snow water equivalent uses average daily air temperature and precipitation data, as well as snow height.

For modeling the water equivalent of snow cover in the Yesil reservoir, data from 20 meteorological observations (Fig. 1) of the observation network of RSE «Kazhydromet» were used. In order to assess the efficiency of reproduction of snow water equivalent of the «degree-day» methodology, the model calculates the following criteria: Nash-Sutcliffe efficiency (NSE), standard deviation coefficient (RSR),

percentage deviation (PBIAS), coefficient of determination (R^2) (Moriassi, 2007).

The Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) criterion is based on normalized statistical calculations that determine the relative magnitude of the residual variance («noise») compared to the measured variance of the data («information»). NSE indicates how well the observed and modeled data values match each other and is determined using the following equation:

$$NSE = 1 - \frac{\sum(SWE_{obs} - SWE_{sim})^2}{\sum(SWE_{obs} - \overline{SWE}_{sim})^2} \quad (2)$$

where, SWE_{obs} – observed values of snow water equivalent, SWE_{sim} – simulated values of snow water equivalent, \overline{SWE}_{sim} – average values of snow water equivalent for a multiyear period.

NSE statistical indicator ranges from -1.0 < NSE < +1.0. An NSE=1 indicates an optimal result if the indicator is in the range of 0.0 < NSE < +1.0, usually considered as an acceptable level of performance, while NSE < 0.0 indicates that the mean observed value is a better predictor than the modeled value, i.e. indicates unfavorable performance. The NSE score is very commonly used in evaluating the performance of a methodology, e.g., for hydrologic (ASCE, 1993) and hydroclimatic model validation purposes, but (Sevat, 1991) also concluded that NSE is the best objective function that reflects the overall suitability of the hydrograph.

The coefficient of standard deviation of the root means square deviation (RMSE) (RSR). The root mean square deviation (RMSE) is one of the most commonly used error index statistics (Chu, 2004). It has been known that the lower the RMSE, the better the model performance, except that (Singh, 2004) published guidelines for determining what is considered a low RMSE based on the standard deviation of the observations. Following Singh's suggestion, (Singh, 2004) introduced a statistical measure of model output called the standard deviation of the root mean square deviation (RMSE) coefficient (RSR). As shown in the following equation, RSR is calculated as the ratio of RMSE to the standard deviation of the measured data:

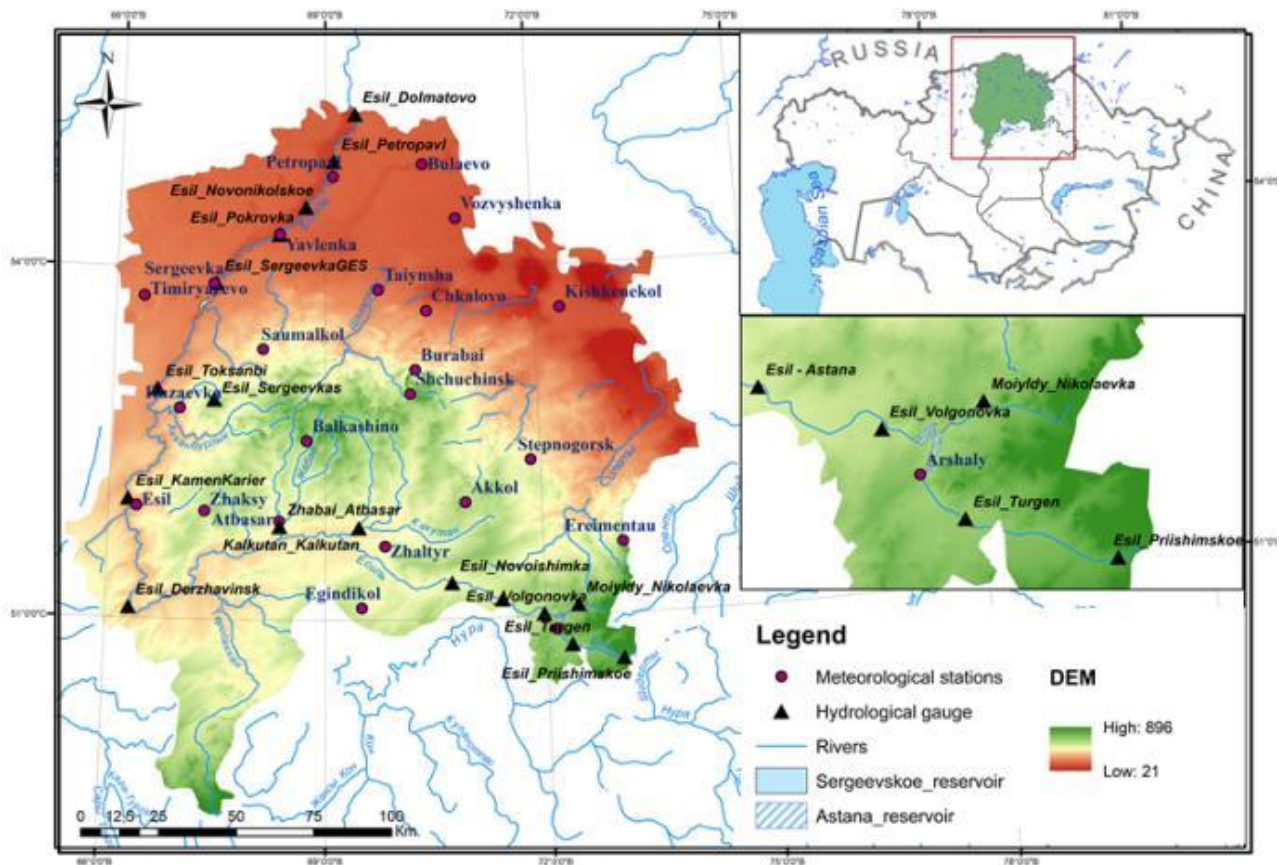


Fig. 1. Map of the Esil water management basin

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_{mean})^2}} \quad (3)$$

The RSR varies from an optimal value (RSR = 0), which indicates zero value of standard deviation or residual variation, to an infinite value of positive value. That is, the lower the RSR, the lower the RMSE, indicating higher model performance.

Percentage Bias (PBIAS). Percent deviation measures the average trend of the modeled data as greater or lesser than their observed counterparts. The optimal value of PBIAS is 0.0, and lower values indicate accurate model simulation of the model. Positive values indicate a systematic error in model estimation (underestimation), and negative values indicate a high systematic error in model estimation (overestimation):

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim}) * 100}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs})} \right] \quad (4)$$

The statistical criteria presented for the performance assessment are evaluated by the level of performance presented in Table 1.

RESULTS AND DISCUSSION

The multi-year 1980...2021 period was divided into two identical periods for the purpose of model calibration and validation: 1980...1999 and 2000...2021, respectively.

It is important to remember that the calibration method should provide the most accurate representation of the different phases of the hydrometeorological regime. So, we calibrate the model so that the modeled value is as close as possible to the real one

The model selects the optimal parameters based on the observed data for each observation station during the calibration phase, that is, during this process, the model compares each degree-day coefficient and temperature with each other. For example, for each «degree-day» coefficient, starting from -5.0 °C and ending at +5 °C selecting all possible options in steps of 0.1 or 1.0 °C selects the most optimal ones. Then you select the parameters depending on the physiographic, topographic, climatic features of the area.

Thus, for the Esil water management basin in 1980...1999, the results of parameterization and efficiency obtained from the model calibration results are presented in Table 2.

Table 1

Statistics provided for the assessment of effectiveness (Moriassi, 2007)

Performance level	RSR	NSE	PBIAS, %
Very good	0.00 <RSR <0.50	0.75 <NSE <1.00	PBIAS <±10
Good	0.50 <RSR <0.60	0.65 <NSE <0.75	±10 <PBIAS <±15
Satisfactory	0.60 <RSR <0.70	0.50 <NSE <0.65	±15 <PBIAS <±25
Unsatisfied	RSR > 0.70	NSE <0.50	PBIAS > ±25

As a result of calibration of stations, located in the Esil water management basin, based on calculations of evaluation criteria, it was established that the performance rating «excellent» for all indicators is observed at the stations Sergeevka, Kishkenekol, Blagoveshenka, Yavlenka, and performance rating «good» - at the stations Akkol, Balkashino, Ruzaevka, Stepnogorsk, Bulayevo, Chkalovo, Ereimentau, Zhaltyr. And the results of the remaining 8 meteorological stations corresponded to the level of «satisfactory» or «unsatisfactory» performance rating.

At the meteorological stations (Sergeevka,

Kishkenekol, Blagoveshchenka, Yavlenka) that meet the model performance rating of «excellent», the precipitation-to-snow conversion temperature ranges from 0,0 °C to -2,5 °C. And in stations that meet the «good» performance rating, this indicator has a large range, that is, it covers a range from +1,0 °C to -3,5 °C. If consider the spatial distribution, in the north-eastern plain zone of the basin, precipitation in the form of snow occurs at 0,0...+0,5 °C, in the downstream area of the Esil river it was found that precipitation in the form of snow occurs at low temperatures, i.e. at -1,0...-2,5 °C.

Table 2

Model calibration results for 1980...1999

№	Meteorological station	Performance indicators				Parameters		
		RSR	PBIAS, %	NSE	R	Tt, °C	Fdeg, mm/°C day	t0, °C
1	Akkol	0.53	15.11	0.71	0.85	0.50	5.00	-0.50
2	Blagoveshchenka	0.46	16.78	0.79	0.90	-2.00	6.50	0.00
3	Balkashino	0.47	19.43	0.78	0.90	1.00	7.00	0.00
4	Ruzaevka	0.54	10.82	0.71	0.85	1.00	2.00	-3.50
5	Sergeevka	0.43	3.79	0.81	0.91	-2.50	7.00	0.00
6	Stepnogorsk	0.52	13.91	0.73	0.87	1.00	4.00	-2.00
7	Yavlenka	0.48	13.37	0.77	0.88	-1.00	6.50	-0.50
8	Arshaly	0.73	-2.17	0.46	0.75	1.00	4.50	-1.00
9	Bulaevo	0.55	6.53	0.70	0.84	1.00	8.00	5.00
10	Chkalovo	0.49	2.98	0.76	0.87	0.50	2.00	-2.00
11	Egindikol	0.60	0.25	0.64	0.82	1.00	2.00	-2.00
12	Ereimentau	0.56	3.35	0.69	0.84	-3.00	6.00	0.00
13	Kishkenekol	0.38	5.88	0.85	0.93	0.00	2.00	-2.50
14	Saumalkol	0.55	29.50	0.70	0.89	1.50	8.00	0.50
15	Schuchinsk	0.71	10.57	0.50	0.71	0.00	4.00	3.00
16	Taiynsha	0.56	18.84	0.69	0.84	0.50	2.50	-2.50
17	Timiryazevo	0.56	19.04	0.69	0.85	1.00	6.00	0.50
18	Vozvyshenka	0.84	21.56	0.29	0.56	3.50	2.00	4.00
19	Zhaksy	0.92	33.43	0.16	0.57	-5.00	8.00	-5.00
20	Zhaltyr	0.59	11.82	0.66	0.82	-3.50	3.00	0.00

In addition, in the central areas of the basin, except for the Kalkutan river basin (at Zhaltyr station $-3,5$ °C), precipitation in the form of snow falls at $+0,5...+ 1,0$ °C.

It was revealed that the snow melting temperature in the whole basin varies within the range of $-2,5...0,0$ °C. In areas with basin altitudes of $300...400$ m (the basins of the Zhaibai, Kalkutan, and Shagalaly rivers), snow melting occurs at an average of 0.0 °C, and snow melting in the area of the lower Esil River occurs at $-0,5...0,0$ °C. And in the northeastern plain zone of the basin (Kishkenekol and Chkalovo stations), snow cover melting occurs at $-2,0...-2,5$ °C.

It was determined that the «degree-day» coefficient, involved in the calculation of daily snow melting, in the zone of formation of the main water resources of the Esil basin, i.e. in the central and southern zones of the basin, melting per day is $4,0... 5,0$ mm/°C. And in the lower reaches of Esil river basin, it is noted that this indicator is $6.0...8.0$ mm/day (table 2).

As a result of calibration, it was revealed that, the snow water equivalent content by NSE criterion varies within $0,16...0,85$, RSR indicator - within $0,38...0,84$, percentage error of PBIAS $+0,2...+33,4$ %. These measures were shown to span the interval between a «very good» performance rating and an «unsatisfactory» rating. As a result of the analysis of indicators to «very good» level of performance belong to Sergeevskaya, Chkalovo, Kishkenekol and Ruzaevska stations, and to «good» level – Akkol, Blagoveshchenka, Balkashino, Stepnogorsk, Yavlenka, Bulaevo, Ereimentau, Saumalkol, Taiynsha, Timiryazevo stations. It is noted that the results of other meteorological stations belong to the «unsatisfactory» level (table 2).

Thus, in $1980...1999$, according to the results of calculations of performance indicators for the calibration period, at most of the meteorological stations of MODSNOW V03 model, located in the area of Esil water management basin, snow cover showed the results of moisture reserves modeling at a «good» level.

Model validation. The optimal parameters obtained from the model calibration process, for a period outside the calibration period, need to be validated, i.e., work is done to verify the optimal parameters.

For this purpose, the validation process of

20 meteorological stations located in the Esil water management basin was carried out for the period $2000...2021$. In addition, performance indicators for this period of the year were calculated (table 3).

According to the performance measures calculated as a result of the validation process, the percentage error ranges from $-3,64$ % to $+88,6$ %, for the NSE criterion, the performance ranges from $-0,08...0,88$, it is also found that the coefficient of standard deviation ranges from $0,35... 1,04$. That is, the performance measures are consistent across all performance ratings.

«Good» and «satisfactory» performance ratings for all criteria were shown by Blagoveshchenska, Balkashino, Stepnogorsk, Bulaevo, Sergeevka, Ruzayevka, Yavlenka and Shchuchinsk stations. At these stations, the NSE efficiency criterion ranged from $0,68$ to $0,88$, the percentage error $-3,64... 39,8$ %, and the standard deviation coefficient varies between $0,35... 0,56$.

Some meteorological stations (Chkalovo, Akkol, Ereimentau, Saumalkol, Taiynsha, Timiryazevo, Zhaltyr) that showed a «good» performance rating for the performance indicator during the calibration process showed a «satisfactory» or «unsatisfactory» rating during the validation period. That is, the optimal parameters of these weather stations are new $2000...2021$ shows that the snow cover for the period does not match in the modelling of moisture storage. In accordance with the results obtained for the calibration period and validation periods of V03 module of the MODSNOW model, the stations that better simulate snow cover moisture stocks were selected. These include Blagoveshchenka, Balkashino, Sergeevka, Stepnogorsk, Yavlenka, Ruzayevka and Bulayevo stations. However, Ruzayevka station is excluded from this list because it physically does not coincide with the parameters of meteorological stations located in the basin.

As a result, the following 6 meteorological stations were accepted as stations corresponding to the performance rating «excellent» and «good»: Blagoveshchenka, Balkashino, Sergeevka, Stepnogorsk, Yavlenka, Bulayevo. Calibration of these stations ($1980...1999$) and validation ($2000...2021$) results of the modelling stages are presented in figure 2 and 3.

As a result of model calibration and validation for meteorological stations located in the area of Esil water management basin,

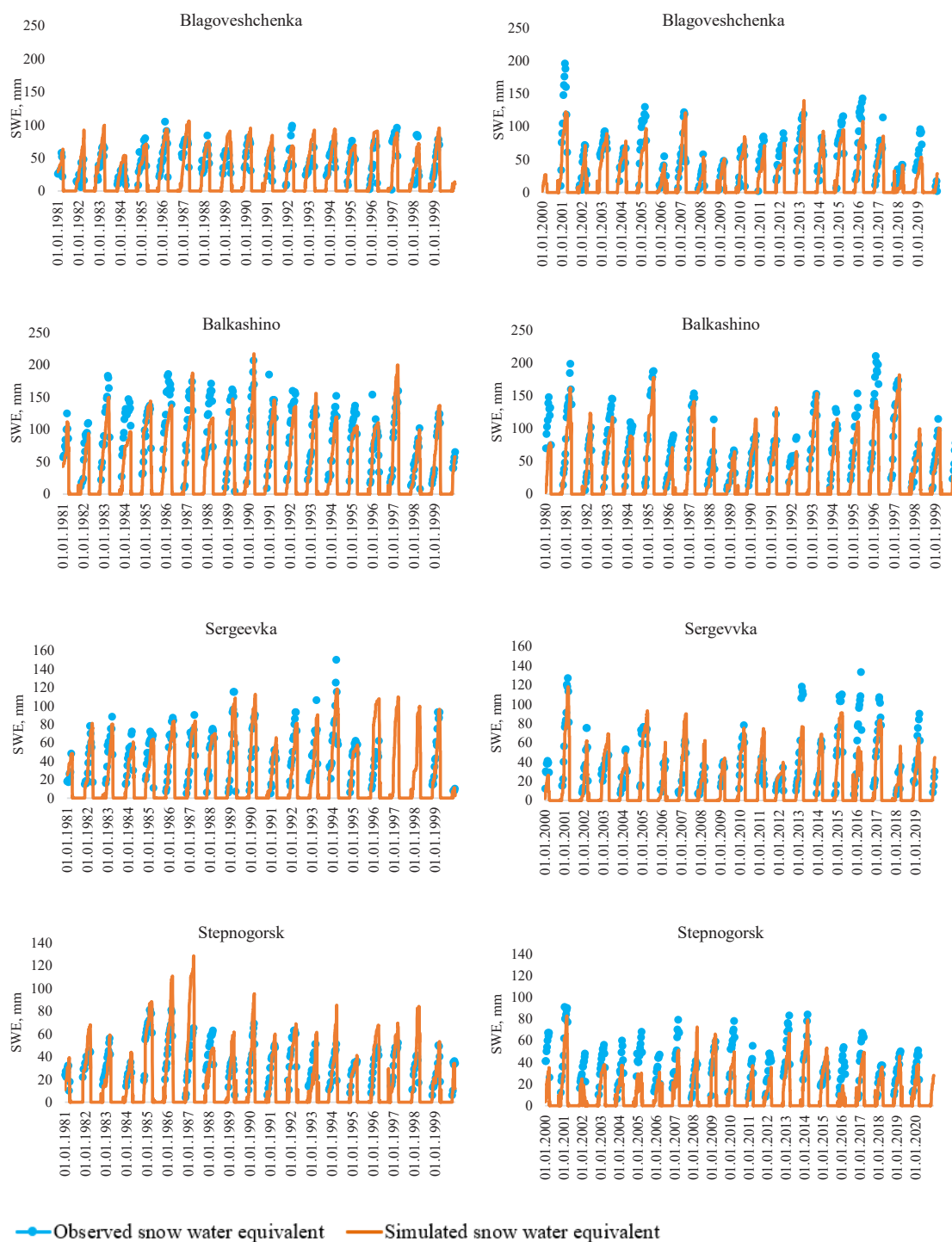


Fig. 2. Observed and simulated SWE of a meteorological station located in the Esil water management basin during the calibration (1980...1999) and validation (2000...2021) periods

it was found that for some stations the «degree-day» method does not satisfactorily model snow data, according to preliminary estimates, they are associated with poor quality of observation data. This process is especially pronounced at the stations of Ereimentau, Vozvyshenka and others.

The model for meteorological stations shown in Figure 2, 3 can be used to predict moisture storage or snow cover height

over short, medium and long time periods.

CONCLUSION

As a result of modeling of water reserves in snow cover for the territory of the Esil water basin for 1980...2021 periods by the degree-day method showed that, the model reproduces well the data of moisture reserves, which is evaluated by statistical criteria of efficiency.

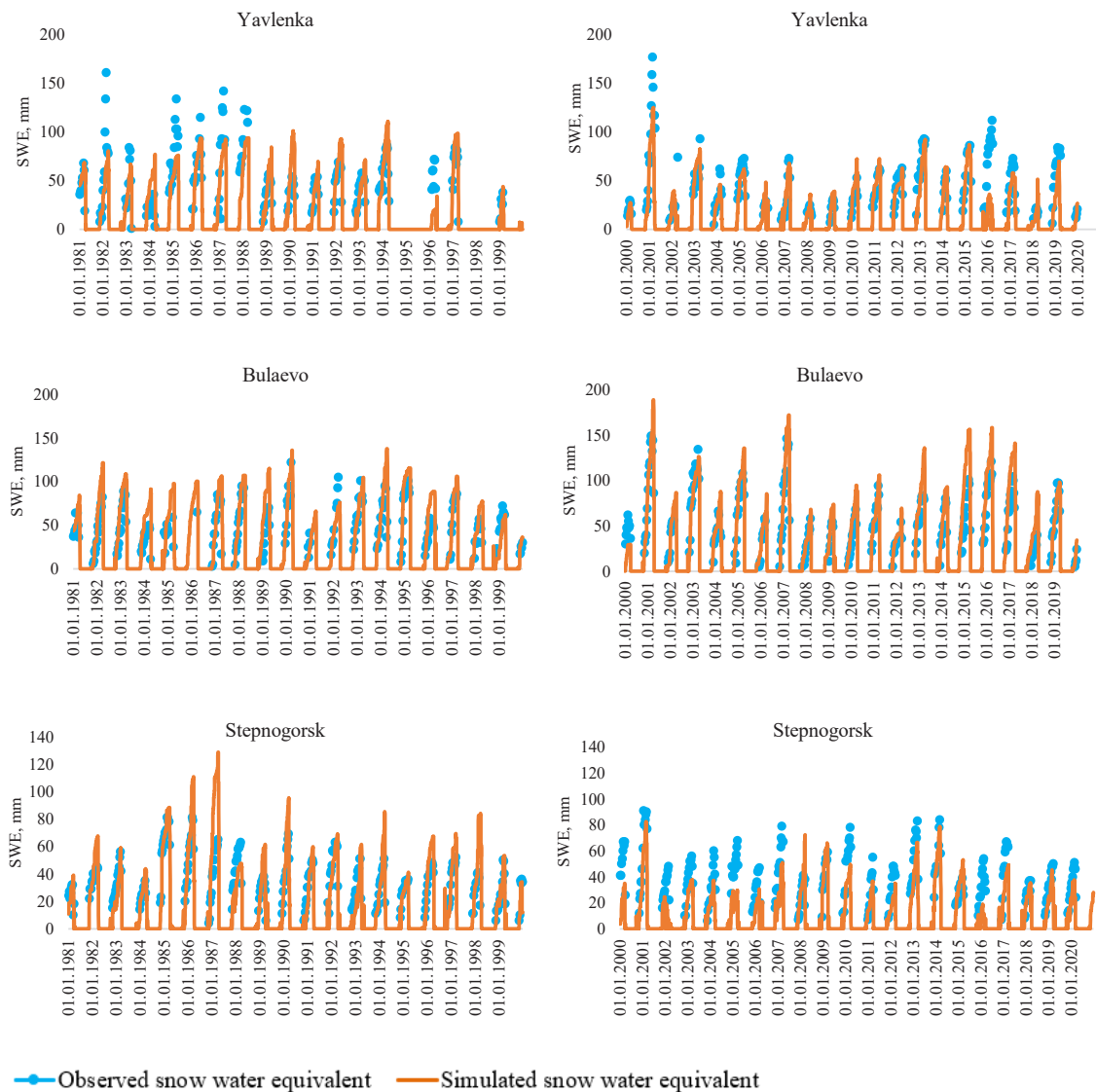


Fig. 3. Observed and simulated SWE of a meteorological station located in the Esil water management basin during the calibration (1980...1999) and validation (2000...2021) periods

The models for meteorological stations Blagoveshchenka, Balkashino, Sergeevka, Stepnogorsk, Yavlenka, Bulaevo, Stepnogorsk can be used for operational forecasting of water reserves in snow, also applied for long-term forecasting under climate change conditions.

REFERENCES

1. ASCE. 1993. Criteria for evaluation of watershed models. *J. Irrigation Drainage Eng.* 119(3): 429-442.
2. Barandun Martina, Fiddes Joel, Scherler Martin, Mathys Tamara, Saks Tomas, Petrakov Dmitry, Hoelzle Martin, The state and future of the cryosphere in Central Asia, *Water Security*, Volume 11, 2020, 100072, ISSN 2468-3124, <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100072>.
3. Clark, M. P., Hendriks, J., Slater, A. G., Kavetski, D., Anderson, B., Cullen, N. J., Kerr, T., Örn Hreinsson, E., and Woods, R. A. (2011), Representing spatial variability of snow water equivalent in hydrologic and land-surface models: A review, *Water Resour. Res.*, 47, W07539, <https://doi.org/10.1029/2011WR010745>
4. Chu, T. W., and A. Shirmohammadi. 2004. Evaluation of the SWAT model's hydrology component in the piedmont physiographic region of Maryland. *Trans. ASAE* 47(4): 1057-1073.
5. Gafurov A., Lu'dtke S., Unger-Shayesteh K., Vorogushyn S., Scho'ne T., Schmidt S., Kalashnikova O., Merz B. MODSNOW-Tool: an operational tool for daily snow cover monitoring using MODIS data // *Environ Earth Sci* (2016) 75:1078 DOI 10.1007/s12665-016-5869-x.
6. Gerlitz, L., E. Steirou, C. Schneider, V. Moron, S. Vorogushyn, and B. Merz, 2019: Variability of the Cold Season Climate in Central Asia. Part II: Hydroclimatic Predictability. *J. Climate*, 32, 6015–6033, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0892.1>.
7. Martinec, J. 1960. The degree-day factor for snowmelt runoff forecasting. IUGG General Assembly of Helsinki, IAHS Publ. No. 51, 468-477.
8. Moriasi D. N., Arnold J. G., Van Liew M. W., Bingner R. L, Harmel R.D., Veith T.L. Model evaluation

- guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2007, Vol. 50(3): 885–900.
9. Rosa, J. 1956. Forest snowmelt and spring floods. *J. Forestry* 54 (4).
10. Sevat, E., and A. Dezetter. 1991. Selection of calibration objective functions in the context of rainfall-runoff modeling in a Sudanese savannah area. *Hydrological Sci. J.* 36(4):307-330.
11. Singh, J., H. V. Knapp, and M. Demissie. 2004. Hydrologic modeling of the Iroquois River watershed using HSPF and SWAT. ISWS CR 2004-08. Champaign, Ill.: Illinois State Water Survey. Available at: www.sws.uiuc.edu/pubdoc/CR/ISWSCR2004-08.pdf.
12. Walter M. Todd, Brooks Erin S., McCool Donald K., King Larry G., Molnau Myron, Boll Jan, Process-based snowmelt modeling: does it require more input data than temperature-index modeling?, *Journal of Hydrology*, Volume 300, Issues 1–4, 2005, Pages 65-75, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.05.002>.
13. WMO Guide to hydrological Practices, Vol. II, Management of water resources and application of hydrological practices, WMO-No. 168, 2009, 302.
14. Zhang Q., Chen Y., Li Zh., Fang G., Xiang Y., Li Y., Ji H. Recent Changes in Water Discharge in Snow and Glacier Melt-Dominated Rivers in the Tianshan Mountains, Central Asia. *Remote Sens.* 2020, 12, 2704; <https://doi.org/10.3390/rs12172704>.

ЕСІЛ СУШАРУАШЫЛЫҒЫ АЛАБЫНДА ҚАР ЖАМЫЛҒЫСЫ ЫЛҒАЛ ҚО- РЫН MODSNOW МОДЕЛІ КӨМЕГІМЕН МОДЕЛЬДЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ

Т.А. Тілләкәрім^{1 2*}, Dr. А. Гафуров³, география ғылымдарының кандидаты А.М. Қауазов¹

¹ *әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан*

² *«Қазгидромет» РМК, Астана, Қазақстан*

³ *GFZ неміс геоғылымдарды зерттеу орталығы, Потсдам, Германия*

E-mail: tillakarim_t@meteo.kz

Мақалада 1980...2021 жылдардағы Есіл сушаруашылығы алабы аумағы үшін эмпирикалық модельдеу әдісіне негізделген MODSNOW моделінің V03 модулімен қар жамылғысының ылғал қорын модельдеу нәтижелері келтірілген. Көпжылдық кезең екі тең бөлікке бөлінді: 1980...1999 модельді калибрлеу үшін, 2000...2021 модельді тексеру үшін. Ол үшін су сушаруашылығы алабында орналасқан 20 метеорологиялық станция таңдалды, оларда ауаның орташа тәуліктік температурасы, жауын-шашын, қар жамылғысының биіктігінің тәуліктік және қар жамылғысы ылғал қорының онкүндік деректері үздіксіз кіріс деректері бар. Модельді калибрлеу және валидациялау нәтижелері Нэш-Сатклифф, RSR және PBIAS критерийлері бойынша бағаланды. Благовещенка, Балкашино, Сергеевка, Степногорск, Явленка, Булаево метеорологиялық станцияларында қар жамылғысы ылғал қорының жақсы өнімділік деңгейі анықталды. Бұл станцияларға арналған модель қар жамылғысы ылғал қорын қысқа, орта және ұзақ мерзімді болжау үшін пайдаланылуы мүмкін деген қорытындыға келді.

Түйін сөздер: қар, климат, градус-тәулік әдісі, калибрлеу, валидация, Қазақстан

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАПАСОВ ВОДЫ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ MODSNOW В ЕСИЛЬСКОМ ВОДОХОЗЯЙ- СТВЕННОМ БАССЕЙНЕ

Т.А. Тиллакарим^{1 2*}, Dr. А. Гафуров³, кандидат географических наук А.М. Қауазов¹

¹ *Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

² *РГП «Казгидромет», Астана, Казахстан*

³ *Немецкий исследовательский центр геонаук GFZ, Потсдам, Германия*

E-mail: tillakarim_t@meteo.kz

В статье представлены результаты моделирования запасов воды в снежном покрове с помощью модуля V03 модели MODSNOW, основанные на методе эмпирического моделирования, для территории Есильского водохозяйственного бассейна за периоды 1980...2021 гг. Многолетний период был разделен на две равные части: 1980...1999 гг. для калибровки модели, 2000...2021 гг. для валидации модели.

Для этого были выбраны 20 метеорологических станций, расположенных на территории водохозяйственного бассейна, которые имеют непрерывные входные суточные данные среднесуточной температуры воздуха, осадков, высоты снежного покрова и декадные данные водного эквивалента снега. Результаты калибровки и валидации модели на воспроизводимость оценивались по критериям Нэша-Сатклиффа, RSR и PBIAS. Выявлена хорошая воспроизводимость моделированного запаса воды в снежном покрове на метеорологических станциях Благовещенка, Балкашино, Сергеевка, Степногорск, Явленка, Булаево, для которых результаты соответствуют оценке воспроизводимости «хорошо». Сделан вывод, что модель для этих станций может быть использована для краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного прогноза водного эквивалента снега.

Ключевые слова: снег, климат, фактор градусо-дня, калибровка, валидация, Казахстан

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

Tursyn Tillakarim - PhD student of the al-Farabi KazNU, Almaty, al-Farabi 71; Head of the Climate research unit of the RSE “Kazhydromet”, Astana, Mangilik El 11/1, tillakarim_t@meteo.kz

Abror Gafurov - Dr., GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Germany, gafurov@gfz-potsdam.de

Azamat Kauazov - candidate of geographical science, al-Farabi Kazakh National university, Almaty, al-Farabi 71, kauazov.azamat@kaznu.kz

Түрсын Адамбекқызы Тілләкәрім - әл-Фараби атындағы ҚазҰУ PhD студенті, Алматы, әл-Фараби 71; «Қазгидромет» РМК Климатты зерттеу бастарма басшысы, Астана, Мәңгілік ел 11/1, tillakarim_t@meteo.kz

Аброр Гафуров - Dr., GFZ неміс геоғылымдарды зерттеу орталығы, Потсдам, Германия, gafurov@gfz-potsdam.de

Азамат Қауазов - геогр.ғылым.канд., әл-Фараби атындағы ҚазҰУ аға оқытушысы, Алматы, әл-Фараби 71, kauazov.azamat@kaznu.kz

Түрсын Адамбекқызы Тілләкәрім - PhD студент КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, аль-Фараби 71; Начальник управления климатических исследований РГП «Казгидромет», Астана, Мәңгілік ел 11/1, tillakarim_t@meteo.kz

Аброр Гафуров - Dr., Немецкий исследовательский центр геонаук GFZ, Потсдам, Германия, gafurov@gfz-potsdam.de

Азамат Қауазов - канд геогр.наук, старший преподаватель КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, аль-Фараби 71, kauazov.azamat@kaznu.kz

УДК 551.311.21:627.141.2

МРНТИ 37.27.21+37.27.25

СВЕРХКРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ДОЖДЕВЫХ СЕЛЕЙ И ФОРМИРОВАНИЕ СЕЛЕЙ В БАСЕЙНАХ РЕК КИШИ И УЛКЕН АЛМАТЫ 21 ИЮЛЯ 2023 ГОДА**Б.С. Степанов*** д.г.н., **Р.К. Яфязова** д.т.н.*РГП «Казгидромет», Алматы, Казахстан
E-mail: bs.stepanov@gmail.com*

В статье приведены условия формирования дождевых селей в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы 21 июля 2023 г., прогноз которых осуществлялся с использованием метода сверхкраткосрочного прогноза селей дождевого генезиса. Разработанный в РГП «Казгидромет» метод сверхкраткосрочного прогноза селей дождевого генезиса основан на фактической метеорологической информации максимально приближенной к прогнозируемому явлению. Оправдываемость сверхкраткосрочного прогноза значительно превышает оправдываемость краткосрочного прогноза селей дождевого генезиса. Необходимость разработки метода сверхкраткосрочного прогноза селей связана с большим моральным и материальным ущербом, вызываемым неоправдавшимися прогнозами. О важности прогноза селей дождевого генезиса свидетельствуют сели 1950 и 2006 гг., сформировавшиеся в бассейне р. Улкен Алматы. Сели дождевого генезиса 21 июля 2023 г. в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы показали работоспособность метода сверхкраткосрочного прогноза селей дождевого генезиса.

Ключевые слова: сель, дождь, интенсивность дождя, температура воздуха, сверхкраткосрочный прогноз, рытвина, расход

Поступила: 23.10.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2023-111-4-16-24

ВВЕДЕНИЕ

Предметом, целью и задачей исследования является выявление условий формирования селей 21 июля 2023 года в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы и сделать вывод о целесообразности использования метода сверхкраткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса в практике РГП «Казгидромет».

В 2000 г. под руководством доктора географических наук Б.С. Степанова был разработан метод краткосрочного прогноза селей дождевого генезиса для северного склона Заилийского (Иле) Алатау (Отчет, 2000; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2017). Предполагалось, что в основе этого метода будет использоваться метод прогноза осадков в селеопасный период для Заилийского (Иле) Алатау, разработанный Р.Ю. Вальнером (Вальнер Р.Ю., 1992). К сожалению, метод Р.Ю. Вальнера не вошел в практику Гидрометцентра, поэтому метод краткосрочного прогноза селей дождевого генезиса для северного склона

Заилийского (Иле) Алатау, разработанный в 2000 г., не был внедрен. В связи с этим и рекомендацией Наставления по службе прогнозов, что предсказываемое явление должно быть максимально приближено к прогнозируемому (Наставление, 1962) была поставлена задача разработать метод сверхкраткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса.

Катастрофические сели дождевого генезиса в центральной части Иле Алатау (в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы) формируются при выпадении осадков близких к 60 мм (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2016). Согласно методу сверхкраткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса для бассейнов рек Киши и Улкен Алматы, разработанному авторами статьи в 2008...2010 гг. в РГП «Казгидромет», за критериальное значение осадков принято 40 мм с целью увеличения заблаговременности прогноза, которая складывается из времени между выпадением осадков от 40 до 60 мм и времени добега селя до объекта поражения

(Яфязова Р.К., 2014; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2016; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2017).

Возможность составления сверхкраткосрочных прогнозов селей дождевого генезиса для бассейнов рек Киши и Улкен Алматы появилась благодаря наличию минимально необходимой плотности метеостанций и гидропостов на территории этих бассейнов, изученности гидрометеорологических условий, геолого-геоморфологического строения бассейнов, растительного покрова, а также достоверной информации о датах формирования, генезисе и масштабах селевых явлений в прошлом.

Достоинствами метода сверхкраткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса являются максимальная приближенность к ожидаемому явлению и заблаговременность, которая превышает таковую автоматизированной системы мониторинга селевой опасности, созданной для защиты г. Алматы, а также высокая оправдываемость прогноза, поскольку используется текущая фактическая метеорологическая ситуация. Оправдываемость этого метода в десятки раз превышает оправдываемость краткосрочного метода прогноза селей дождевого генезиса, использовавшегося ранее в Казгидромете. В соответствии с методом сверхкраткосрочного прогноза селей дождевого генезиса 21 июля 2023 г. было дано штормовое предупреждение об угрозе формирования селей в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы, прогноз оправдался.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Условия формирования

Сели дождевого генезиса формируются при превышении критических значений интенсивности и слоя осадков, а также температуры воздуха. Критические значения осадков зависят от механизма (сдвиговый или эрозионно-сдвиговый) формирования селей, степени предварительного увлажнения грунтов, принимающих участие в селеформировании, их гранулометрического и минералогического составов, состава и состояния растительного покрова.

При наличии снежного покрова на стокообразующих поверхностях сели дождевого генезиса формируются в

исключительно редких случаях, поэтому прогнозирование селей осуществляют после схода снежного покрова с поверхности грунтов, на которых формируется поверхностный сток.

Прогностическими параметрами метода сверхкраткосрочного прогноза селей дождевого генезиса являются: высота сезонной снеговой линии – для оценки степени участия площади бассейна в селеформировании; увлажнение грунта; температура воздуха на различных высотах – для определения высоты нулевой изотермы, используемой для оценки фазы выпадающих осадков; количество и продолжительность осадков. Сверхкраткосрочный прогноз селей дождевого генезиса практически основан на фактической метеорологической информации (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2016).

В статье приводятся гидрометеорологические условия, приведшие к формированию селей в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы. Использование этих данных при прогнозе селей дождевого генезиса в иных геолого-геоморфологических, климатических и других условиях нецелесообразно.

В июле 2023 г. в центральной части Иле Алатау количество выпавших осадков было неравномерным. Так, в высокогорной зоне на метеостанции (МС) «Мынжилки» в первой декаде июля выпало около 42% месячной нормы, во второй декаде – около 6% месячной нормы. В среднегорной зоне на МС «БАО» в первой декаде выпало около 38% месячной нормы, во второй декаде – около 5% месячной нормы.

По данным аэрологической станции, 21 июля в 6:00 ч нулевая изотерма находилась на высоте 4621 м; в 15:00 ч нулевая изотерма, рассчитанная по температуре воздуха на различных высотах, была на высоте 4249 м. По данным МС «Мынжилки», расположенной на высоте 3017 м, максимальная температура воздуха составила 14,8 °С.

В высокогорной и среднегорной зонах Иле Алатау днем, на фоне высокой температуры воздуха, выпали сильные осадки продолжительностью 2...3 часа. По данным станции автоматизированной системы мониторинга селевой опасности, расположенной в бассейне р. Киши Алматы на высоте 3600 м, выпало 72 мм жидких осадков;

гляциологической станции на леднике Туйыксу – 61,2 мм; МС «Мынжилки» – 56 мм (около 40 % месячной нормы); автоматической метеорологической станции (АМС) «Туюксу» – 20 мм; МС «Шымбулак» – 16 мм; МС «БАО» – 36 мм (около 30 % месячной нормы); гидропоста (ГП) «Кумбель-устье» – 32,2 мм. По данным АМС «БАО», максимальная интенсивность дождя составляла 1,3 мм/мин, средняя интенсивность дождя в течение 30 минут составила 0,7 мм/мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Формирование дождевых селей в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы 21 июля 2023 года

Формирование и развитие селей в бассейне р. Киши Алматы 21 июля 2023 г. произошло в рытвинах и их водосборах на правом склоне долины реки в диапазоне высот 3000...4010 м (рисунок 1). Сели, с небольшими интервалами времени, сформировались в трех рытвинах. Наиболее крупный сель сформировался в рытвине №1 под пиком Абая. Менее крупный сель сформировался в рытвине №2 (рисунок 2), небольшой сель из рытвины №3 достиг селехранилища в Мынжилках.

Механизм формирования селей в рытвинах был впервые выявлен и описан в 2001 г. (Степанов Б.С. и др., 2001). Относительно небольшие плотные сели в высокогорной зоне образуются в результате сдвига водонасыщенных пород, накапливающихся в межселевые периоды в склоновых ложбинах, называемых рытвинами.

Все процессы, происходящие в рытвине, могут быть разделены на 3 этапа:

- заполнение рытвины рыхлообломочным материалом;
- водонасыщение рыхлообломочного материала водой при выпадении аномальных жидких осадков;
- сдвиг и движение селевой массы.

Сработавшая рытвина (после очередного селя) заполняется в течение нескольких лет рыхлообломочным материалом, в состав которого входят крупные обломки материнской горной породы (как правило, размеры этих обломков в несколько раз меньше размеров сечения рытвины), а также более мелкие частицы вплоть до песка, пыли и глины.

В ходе заполнения рытвины рыхлообломочным материалом обычные водные потоки (таяние снега, небольшие дожди и т.д.) вымывают относительно мелкие фракции, при этом из крупных обломков образуется каркас, зазоры которого – подземный канал стока. В зависимости от размеров рытвины глубина залегания подземного канала стока может колебаться от долей метра до нескольких метров.

Если расход воды в рытвине увеличивается до значения, при котором движение воды определяется силой гравитации и гидростатическим давлением, происходит обводнение пород, расположенных выше подземного канала стока рытвины. Аккумуляция значительных объемов воды в рытвине создает предпосылки для формирования селевого потока в результате потери устойчивости обводненным массивом (Степанов Б.С. и др., 2001; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2014).

Характерной особенностью гранулометрического состава горных пород, участвовавших в формировании селей 21 июля, является практически полное отсутствие глины и мелких фракций песка. Этим объясняется то, что суспензия селевой массы имела плотность, мало отличающуюся от плотности воды, практически не обладала пластичностью. Главную роль в процессе движения селей играли не вязкость и пластичность, а кулоновское трение, которому способствовала незначительная окатанность относительно крупных частиц рыхлообломочного материала. При движении селей на относительно малом уклоне из селевой массы изливалась суспензия (рисунок 3). Селевые отложения повредили тракторную дорогу на протяжении около 1000 м, высота селевых отложений на протяжении 300 м достигала 2-х метров (рисунок 4).

Сели в основном остановились, не достигнув русла р. Киши Алматы. Лишь часть селевой массы, сформировавшейся в наиболее крупной рытвине, достигла и слилась с р. Киши Алматы (рисунок 5). Смешавшись с водой реки, образовавшийся поток продолжал движение на участке длиной около 2 км со средним уклоном 12° в интервале

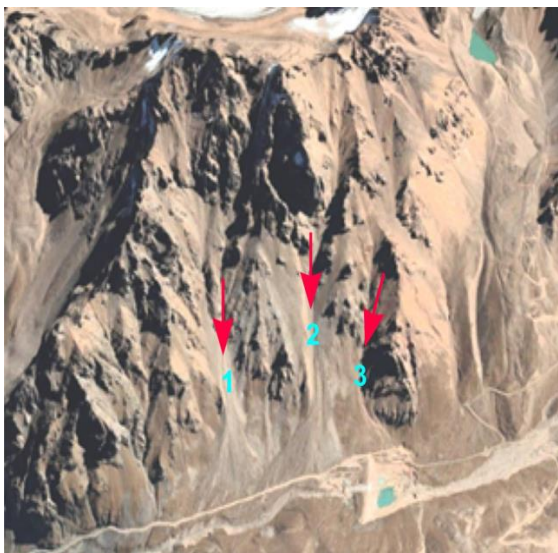


Рис.1. Перспективное изображение Google Earth рывтин на правом склоне в верховьях долины р Киши Алматы (красные стрелки – сработавшие рывтины 21 июля 2023 г.). В верхнем правом углу снимка – озеро №6



Рис.2. Движение фронтальной части селя, сформировавшегося в рывтине №2.
Фото В.П. Мишенина



Рис.3. Суспензия, излившаяся из остановившейся селевой массы.
Фото В.П. Мишенина



Рис.4. Селевые отложения на тракторной дороге. Фото В.П. Мишенина

высот 2470...2910 м, увеличивая свои характеристики. На высоте 2470 м (в районе ГП «а/б Туюксу») грязекаменный поток частично отложился на мостовом переезде к альплагерю (рисунок 6). Далее поток продвигался на участке длиной 3 км со средним уклоном 8,5° (Малоалматинский селевой врез), в результате чего увеличились его характеристики. Селевой процесс длился достаточно долго.

Так, в створе ГП «Сарысай» в 20:00 ч расход потока составлял 4,51 м³/с (21 июля в

08:00 ч утра расход воды не превышал 2,58 м³/с), с которым он поступил в селехранилище «Медеу». При движении в Малоалматинском селевом врезе поток обогатился глиной, вследствие этого фильтровальная станция «Медеу», где происходит водоподготовка горной воды из р. Киши Алматы и ее притоков, была частично отключена, а вода в головном арыке г. Алматы в течение нескольких суток была мутной.

21 июля 2023 г. практически одновременно с селями в бассейне



Рис.5. Отложения селя в русле р. Киши Алматы. Фото В.П. Мишенина



Рис.6. Мостовой переход к альплагерю, перекрытый селевыми отложениями. Автор фото не установлен

р. Киши Алматы сформировался сель в верхних бассейнах р. Кумбель (правый приток р. Улкен Алматы). Формирование и развитие дождевых селей в бассейне р. Кумбель происходит в рытвинах на правом склоне долины реки в диапазоне высот 2300...3850 м (рисунок 7). Формирование селя 21 июля могло произойти в рытвинах №5...7 (крайние справа). По данным наблюдателя ГП «Кумбель-устье», сель носил волнообразный характер. Это подтверждается и маловероятностью того, что рытвины срабатывали одновременно. Максимальным расходом и плотностью характеризовалась фронтальная часть селевого потока. Минимальный расход селя составлял 10...15 м³/с. Максимальный уровень и расход селя были оценены по положению травы, сохранившейся после прохождения селя на левом склоне долины вблизи устья р. Кумбель. Плотность селевой массы была в пределах 2200...2400 кг/м³. О незначительном содержании в селевой массе глины и пыли свидетельствует крайне тонкий слой суспензии, оставшейся на растительности.

В долине р. Улкен Алматы сель не выходил в пойму, «освобождаясь» от крупных фракций гранулометрического состава твердой компоненты селевой массы в русле. Селевая масса с более мелкими фракциями была задержана в селехранилище «Аюсай». На конусе выноса р. Аюсай сле-

дов формирования селя не обнаружено.

О важности прогноза селей дождевого генезиса в бассейне р. Улкен Алматы свидетельствуют также сели 1950 и 2006 гг., которые также сформировались в рытвинах на правом склоне долины р. Кумбель (рисунок 7). Сель 1950 г. носил катастрофический характер (Яфязова Р.К., 2007). Расход селя в устье р. Кумбель был близок к 1000 м³/с, а у г. Алматы – 100 м³/с, объем селя составил около 1,5 млн м³. Сель также сформировался в бассейне р. Аюсай (Технический отчет, Инв. №7/854, 1950). Плотность селя была высокой, что подтверждается размерами глыб, входивших в состав селевой массы (рисунок 8).

Во время прохождения селя 1950 г. погибли люди. Ущерб, причиненный селом, был значительным: «разрушены водозаборы, плотины и напорные трубопроводы у семи гидроэлектростанций; завален приемник горводопровода, разрушена часть поселка ГЭС-1 и несколько домов в других местах, уничтожено несколько автомашин и один трактор; разрушены четыре бетонных моста, шоссеиная дорога, высоковольтная линия и линия связи на протяжении около 10 км, уничтожено около 400 голов скота» (Дуйсенов Е., 1971).

Сель 2006 г. имел максимальный расход 800 м³/с (Медеу А.Р., 2011).

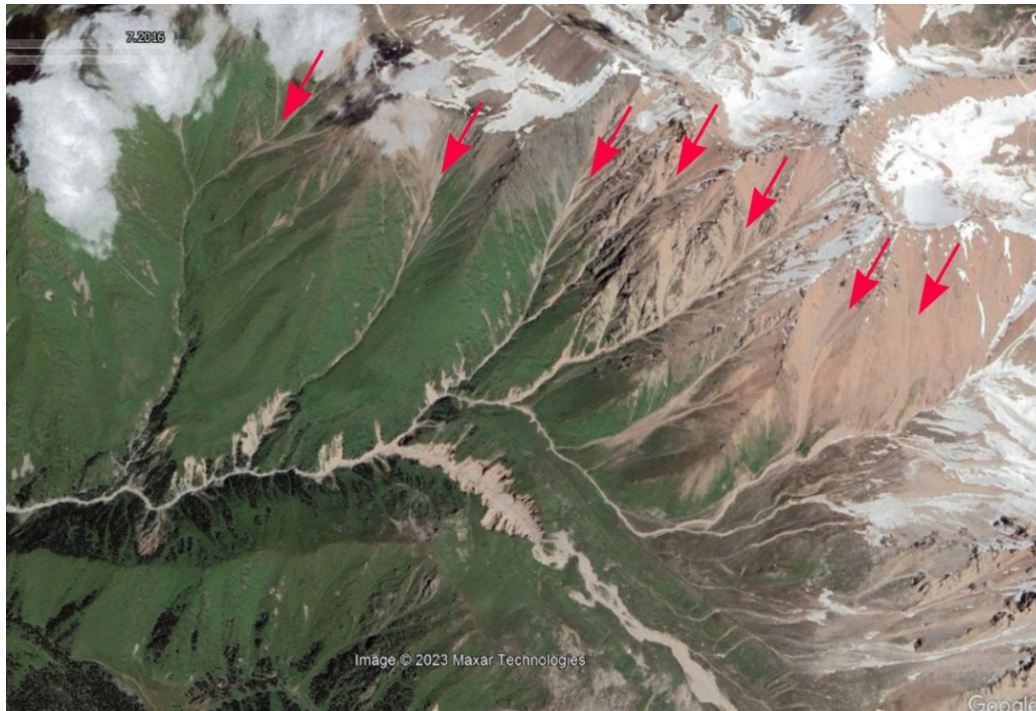


Рис.7. Перспективное изображение Google Earth рытвин на правом склоне в верховьях долины р. Кумбель (красные стрелки – рытвины, в которых формировались сели дождевого генезиса в 1950, 2006 и 2023 годах)

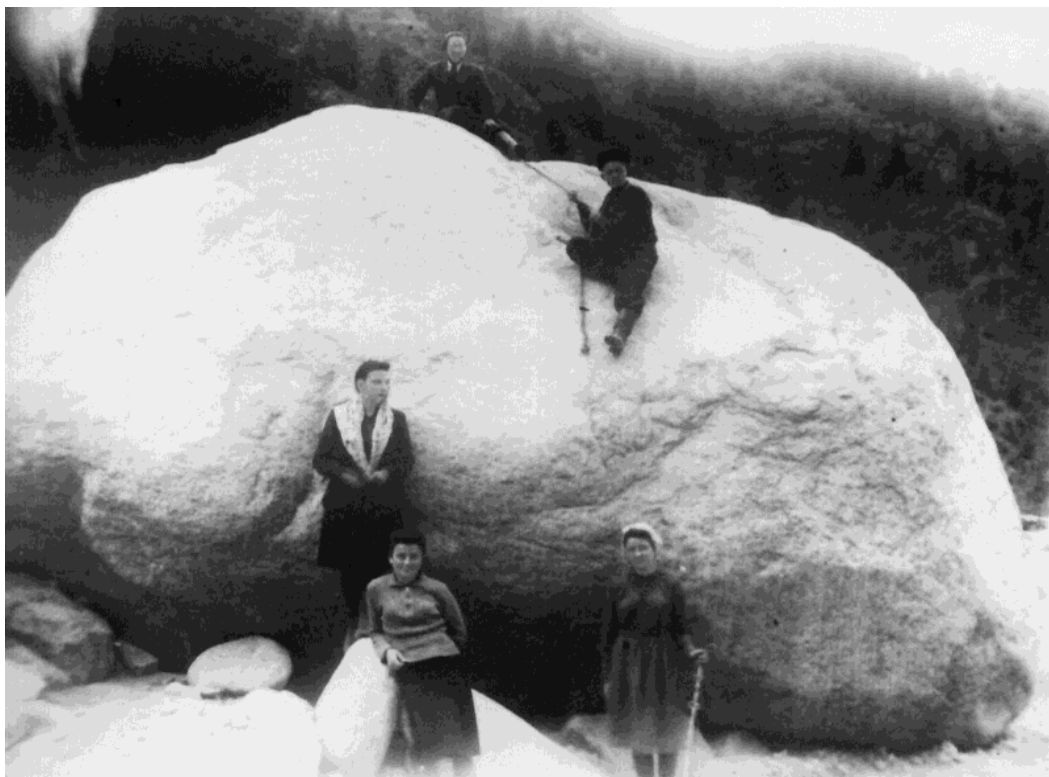


Рис.8. Одна из глыб, оставшаяся в долине р. Улкен Алматы после прохождения селя 1950 г. Фото из архива РГП «Казгидромет»

Объем селевой массы – около 1 млн м³, плотность – 2350 кг/м³. Селевая масса отложилась в основном на расстоянии 1...1,5 км выше устья р. Проходная на участке длиной 500 м и шириной 100...150 м. Проводилась эвакуация отдыхающих (более 50 человек) силами Казселезащиты и РОСО МЧС РК

(Медеу А.Р. и др., 2016). Отложения крупных частиц селя приведены на рисунке 9.

При оценке степени защищенности от селей в бассейне р. Улкен Алматы следует учитывать, что там формируются и сели гляциального генезиса.



Рис.9. Отложения селя в пойме р. Улкен Алматы 06.07.2006 г. (1...1,5 км выше устья р. Проходная). Фото В.П. Благовещенского

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сели дождевого генезиса 21 июля 2023 г. в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы показали работоспособность метода сверхкраткосрочного прогноза селей дождевого генезиса (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2016). Анализ формирования селей в рытвинах, расположенных на правом склоне долины р. Киши Алматы, подтвердил правильность представления о механизме формирования дождевых селей в рытвинах, а также необходимость внедрения в практику защиты от селей дождевого генезиса, формирующихся в рытвинах, способа предотвращения селей путем создания «окон разгрузки», описанных в (Степанов Б.С. и др., 2001; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2014). Установка автоматических метеорологических станций в среднегорной и высокогорной зонах селеопасных бассейнов северного склона Иле Алатау позволит обеспечить надежными прогнозами селей дождевого генезиса все населенные пункты, расположенные у подножия хребта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вальнер Р.Ю. Способ краткосрочного прогноза осадков в селеопасный период для Заилийского Алатау // Селевые потоки. – 1992. – №12. – С. 62–70.
2. Дуйсенов Е. Селевые потоки в Заилийском Алатау. – Алма-Ата: Казахстан, 1971. – 192 с.
3. Исследование селевого паводка, прошедшего 8–9 июля 1950 г. в бассейне р. Большая Алматинка: Технический отчет / Алма-Атинская научно-исследовательская гидрологическая обсерватория. – Инв. №7/854. – Алма-Ата, 1950. – 147 с. (архив РГП «Казгидромет»).
4. Медеу А.Р. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Основы управления. – Алматы, 2011. – Т. 1. – 284 с.
5. Медеу А.Р., Баймолдаев Т.А., Киренская Т.Л. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Антология селевых явлений. – Алматы, 2016. – Т. 4. – Ч. I. – 576 с.
6. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Служба гидрологических прогнозов. Часть I. Прогнозы режима вод суши. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1962. – 194 с.
7. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработать метод прогноза катастрофических селей дождевого генезиса на северном склоне Заилийского Алатау» / РГП «Казгидромет» ДГП «КазНИИМОСК». – Алматы, 2000. – 104 с. (утвержден директором ДГП «КазНИИМОСК» М.Ж. Бурлибаевым).

8. Степанов Б.С., Хайдаров А.Х., Яфязова Р.К. Механизмы, приводящие к формированию селей дождевого генезиса в высокогорной зоне Заилийского Алатау // Гидрометеорология и экология. – 2001. – №1–2. – С. 74–81.
9. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Состояние проблемы краткосрочного прогноза селей дождевого генезиса // Гидрометеорология и экология. – 2017. – №2. – С. 114–125.
10. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Метод сверхкраткосрочного прогноза селей дождевого генезиса // Гидрометеорология и экология. – 2016. – №4. – С. 71–83.
11. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Селевые процессы и селе-технические сооружения. – Алматы, 2014. – Т. 3. – 434 с.
12. Яфязова Р.К. К концепции сверхкраткосрочного прогноза // Гидрометеорология и экология. – 2014. – №4. – С. 52–57.
13. Яфязова Р.К. Природа селей Заилийского Алатау. Проблемы адаптации. – Алматы, 2007. – 158 с.
5. Medeu A.R., Bajmoldaev T.A., Kirenskaya T.L. Selevye yavleniya YUgo-Vostochnogo Kazahstana: Antologiya selevykh yavlenij. – Almaty, 2016. – Т. 4. – Ч. I. – 576 p.
6. Nastavlenie po sluzhbe prognozov. Razdel 3. Sluzhba gidrologicheskikh prognozov. CHast' I. Prognozy rezhima vod sushi. – L.: Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo, 1962. – 194 p.
7. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Razrabotat' metod prognoza katastroficheskikh selej dozhdevogo genезisa na severnom sklone Zailijskogo Alatau» / RGP «Kazgidromet» DGP «KazNIIMOSK». – Almaty, 2000. – 104 p. (utverzhen direktorom DGP «KazNIIMOSK» M.ZH. Burlibaevym).
8. Stepanov B.S., Hajdarov A.H., Yafyazova R.K. Mekhanizmy, privodyashchie k formirovaniyu selej dozhdevogo genезisa v vysokogornoj zone Zailijskogo Alatau // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2001. – №1–2. – P. 74–81.
9. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. Costoyaniye problemy kratkosrochnogo prognoza selej dozhdevogo genезisa // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2017. – №2. – P. 114–125.
10. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. Metod sverhkratkosrochnogo prognoza selej dozhdevogo genезisa // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2016. – №4. – P. 71–83.
11. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. Selevye yavleniya YUgo-Vostochnogo Kazahstana: Selevye processy i seletekhnicheskiesooruzheniya. – Almaty, 2014. – Т.3. – 434p.
12. Yafyazova R.K. K koncepcii sverhkratkosrochnogo prognoza // Gidrometeorologiya i ekolo-giya. – 2014. – №4. – P. 52–57.
13. Yafyazova R.K. Priroda selej Zailijskogo Alatau. Problemy adaptacii. – Almaty, 2007. – 158 p.

REFERENCES

1. Val'ner R.Yu. Sposob kratkosrochnogo prognoza osadkov v seleopasnyj period dlya Zailijskogo Alatau // Selevye potoki. – 1992. – №12. – P. 62–70.
2. Dujenov E. Selevye potoki v Zailijskom Alatau. – Alma-Ata: Kazahstan, 1971. – 192 p.
3. Issledovanie selevogo pavodka, proshedshego 8–9 iyulya 1950 g. v bassejne r. Bol'shaya Almatinka: Tekhnicheskij otchet / Alma-Atinskaya nauchno-issledovatel'skaya gidrologicheskaya obser-vatoriya. – Inv. №7/854. – Alma-Ata, 1950. – 147 p. (arhiv RGP «Kazgidromet»).
4. Medeu A.R. Selevye yavleniya Yugo-Vostochnogo Kazahstana: Osnovy upravleniya. – Almaty, 2011. – Т.1. – 284p.

2023 ЖЫЛҒЫ 21 ШІЛДЕДЕ КІШІ ЖӘНЕ ҮЛКЕН АЛМАТЫ ӨЗЕНДЕРІНІҢ АЛАПТАРЫНДА ЖАҢБЫР СЕЛДЕРНІҢ ӨТЕ ҚЫСҚА МЕРЗІМДІ БОЛЖАМЫ ЖӘНЕ СЕЛДІҢ ҚАЛЫПТАСУЫ

Б.С. Степанов* геогр.ҒЫЛЫМ.ДОКТ., Р.К. Яфязова техн.ҒЫЛЫМ.ДОКТ.

«Қазгидромет» РМК, Алматы, Қазақстан
E-mail: bs.stepanov@gmail.com

Мақалада 2023 жылғы 21 шілдеде Кіші және Үлкен Алматы өзендерінің бассейндерінде жаңбырлы сел ағындарының қалыптасу жағдайлары берілген. Бұл селдер жаңбырлы селдерін болжаудың өте қысқа мерзімді әдісімен болжанған. «Қазгидромет» РМК әзірлеген жаңбыр генезисті селдердің өте қысқа мерзімді болжау әдісі сел құбылысына барынша жақын нақты метеорологиялық ақпаратқа негізделген. Жаңбыр генезисті селдердің өте қысқа мерзімді болжамның дәлдігі жаңбыр генезисті селдердің қысқа мерзімді болжамының дәлдігінен айтарлықтай асып түседі. Сел тасқындарын өте қысқа мерзімді болжау әдістемесін әзірлеу қажеттілігі ақталмаған болжамдардан келтірілген үлкен моральдық және материалдық залалмен байланысты. Жаңбыр селдерін болжау маңыздылығын Үлкен Алматы өзен алабында қалыптасқан 1950 және 2006 жылдардағы сел тасқындары дәлелдейді.

Түйін сөздер: сел, жаңбыр, жауынның қарқындылығы, ауа температурасы, өте қысқа мерзімді болжам, шұңқыр, ағын

THE ULTRA-SHORT-TERM FORECAST FOR RAIN-INDUCED DEBRIS FLOWS AND FORMATION OF DEBRIS FLOWS IN THE KISHI AND ULKEN ALMATY RIVER BASINS JULY 21 2023

B.S. Stepanov* doctor of Geographical Sciences, **R.K. Yafyazova** doctor of Technical Sciences

RSE «Kazhydromet», Almaty, Kazakhstan

E-mail: bs.stepanov@gmail.com

The conditions for formation of rain-induced debris flows in the Kishi and Ulken Almaty river basins on July 21 2023 given in the paper. These debris flows was predicted using the ultra-short-term method for forecasting rain-induced debris flows, which developed by the RSE “Kazhydromet”. The method is basing on actual meteorological information that is as close as possible to the predicted phenomenon. The accuracy of the ultra-short-term forecast significantly exceeds that of the short-term forecast of rain-induced debris flows. The need to develop a method for ultra-short-term forecasting of rain-induced debris flows is associated with great moral and material damage caused by unfulfilled forecasts. The importance of forecasting rain-induced debris flows was evidenced by debris flows 1950 and 2006, which formed in the Ulken Almaty river basin.

Key words: debris flow, rain, rain intensity, air temperature, ultra-short-term forecast, gully, discharge

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

Степанов Борис Сергеевич – профессор доктор географических наук, ведущий научный сотрудник управления исследования селевых процессов и прогнозирования селей РГП «Казгидромет», Алматы, пр. Абая, 32, bs.stepanov@gmail.com

Яфязова Роза Кайюмовна – доктор технических наук, начальник управления исследования селевых процессов и прогнозирования селей РГП «Казгидромет», Алматы, пр. Абая, 32, yafyazova_r@meteo.kz

Степанов Борис Сергеевич - профессор, география ғылымдарының докторы, «Қазгидромет» РМК Сел үдерістерін зерттеу және селді болжау басқармасы жетекші ғылыми қызметкері, Алматы, Абай 32, bs.stepanov@gmail.com

Яфязова Роза Кайюмовна - техника ғылымдарының докторы, «Қазгидромет» РМК Сел үдерістерін зерттеу және селді болжау басқарма басшысы, Алматы, Абай 32, yafyazova_r@meteo.kz

Boris Stepanov -Professor, Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher at the Department of Debris-flow Processes Research and Debris flows Forecasting of RSE «Kazhydromet», Almaty, Abay St. 32, bs.stepanov@gmail.com

Roza Yafyazova - Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Debris-flow Processes Research and Debris flows Forecasting , Almaty, Abay St. 32, yafyazova_r@meteo.kz

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА РЕК НА ТЕРРИТОРИИ ШИРВАНА (РЕСПУБЛИКА АЗЕРБАЙДЖАН)**И.А. Эйюбов****Научно-исследовательский и проектный институт «СУКАНАЛ», Баку Азербайджанская Республика**E-mail: iftixar.eyyubov@mail.ru*

Бассейн Ширванских реки расположен на высоте 400...4466 м над уровнем моря в южной части Большого Кавказа, на территории Азербайджанской Республики. Территория бассейна окружена предгорьями Большого Кавказа, граничит с востока рекой Агсучай, а с запада рекой Алиджанчай.

Водные ресурсы исследуемой территории в основном используются в сельском хозяйстве, питьевом водоснабжении и т.д. Поскольку нижняя часть территории расположена в засушливой зоне, воды рек используются для определенных хозяйственных целей. Эта хозяйственная деятельность оказывает большое влияние на режим реки. Поэтому необходимо серьезный отчет о водных ресурсах района и его правильный прогноз. В связи с этим одним из важных вопросов является научное изучение статистического анализа среднегодового стока рек и оценка современные изменения стока рек протекающих по территории Ширвана.

Проведенный анализ показали, что наибольшее изменение значения расхода наблюдалось на реках Алиджанчае, Турянчае, Демирапаранчае, Гирдиманчае и Агсучае. В Турянчае и Демирапаранчае по сравнению с 1960...1990 гг. в настоящий период (1991...2017 гг.) наблюдается увеличение расхода на 14,2% и 20,6% соответственно. Оданко в период 1991...2017 гг. по сравнению с предыдущим наблюдалось снижение расхода на реки Алиджанчае, Гирдиманчае и Агсучае на 9,2%, 25 %, 15,8% соответственно.

Ключевые слова: водные ресурсы, реки Ширвана, хозяйственная деятельность, статистический анализ

Поступила: 27.10.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2023-111-4-25-33

ВВЕДЕНИЕ

Ожидается, что к 2050 году спрос на воду увеличится в результате роста населения и ускорения экономического развития в странах мира, в том числе в Азербайджане. Водные ресурсы в Азербайджане считаются одним из важных факторов устойчивого развития страны (Махмудов Р.Н., 2022). Поэтому наша страна стремится к оптимальному использованию и управлению водными ресурсами как на национальном, так и на трансграничном уровне.

Примерно 50 % территории страны расположено в засушливой зоне, что приводит к неравномерному распределению водных ресурсов, которое связано с неравномерным

распределением осадков и речного стока внутри года. Поэтому в периоды половодья и паводков часть речного стока собирается в водохранилищах и перераспределяется в периоды маловодья. Таким образом, контролируется и снижается риск наводнений.

Известно, что Азербайджан входит в число стран с ограниченными водными ресурсами. Несмотря на то, что Азербайджан больше других стран Южного Кавказа по территории и имеет большее население, водные ресурсы Азербайджана по показателям 2010 года в 2,1 раза меньше, чем у соседней Грузии, и в 3,1 раза меньше, чем у Армении (Иманов Ф.А., Алекбаров А.Б., 2017).

Согласно расчетам Национального центра изменения климата Азербайджана, который оценил влияние изменения климата на водные ресурсы к 2050 и 2100 годам прогнозируется сокращение водных ресурсов на 22,5 % и 20,7 % соответственно (ТДА, 2013).

По исследованиям ряда ученых и специалистов нашей страны можно отметить, что Азербайджан, имеющая ограниченные водные ресурсы, нуждается в серьезной охране и эффективном их использовании. В связи с развитием сельского хозяйства в нашей стране, расширением ирригационного земледелия и быстрым ростом численности населения, а также воздействием глобальных климатических изменений, сток рек уменьшается, осадков в вегетационный период выпадает меньше, потребность в вода постоянно увеличивается и т.д. В связи с этим существует большая потребность в правильной оценке речного стока.

В условиях изменения климата и усиления антропогенной нагрузки на природную среду в ближайшее десятилетие одним из главных направлений научных гидрологических исследований является оценка поверхностных и подземных водных ресурсов. В 1978 году в рамках изучения водного баланса речных бассейнов Рустамов С.Г. и Кашкай Р.М. выполнили оценку местных водных ресурсов всех регионов Азербайджана, используя данные наблюдений по 1972 год (Рустамов С.Г. и Кашкай Р.М. в 1989 г.).

Трансграничные и местные ресурсы речных вод Азербайджана в последний раз были оценены в 1989 году, с использованием данных наблюдений по 1975 г. (Иманов Ф.А., 2016).

В связи с уменьшением количества осадков с июня по сентябрь в бассейне сток рек начинает уменьшаться, и реки питаются за счет подземных вод. В июне-августе на большинстве рек района наблюдается период летней засухи. Это объясняется отсутствием постоянных ледников и малым количеством осадков в бассейне (Эйюбов И.А., 2022).

На основе исследований С. Х. Рустамова и Р. М. Кашгая (Рустамов С.Г. и Кашкай Р.М. в 1989 г.) при анализе водного баланса Большого Кавказа они также оценивали поверхностный и подземный сток, являющиеся составляющими речного

стока. По данным исследований, основным источником питания рек Ширвана являются подземные воды (40...60 %), роль дождевых вод (20...35 %) в питании большинства рек больше, чем снеговых вод (15...25 %).

Исследования направления стока и временных показателей различных фаз водного режима рек Большого Кавказа С.Г. Рустамов (1978, 1989), Р.М. Кашгай (1978, 1989), Р.Н.Махмудов (2003), Ф.А. Иманов (2016) и др. выполняются исследователями с использованием традиционных методов. Однако в этих исследованиях закономерности режима стока рек изучались на основе данных наблюдений предыдущих лет. Учитывая это, в данной работе проведено научное изучение и оценка современных изменений стока рек, протекающих по исследуемой территории с использованием данных до 2017 года.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Водосборный бассейн рек Ширвана полностью расположен на территории Азербайджанской Республики. Среди этих рек Турянчай, Гойчай и Гирдиманчай имеет длину более 100 км. Густота речной сети достигает максимума в среднем горном поясе, тогда как в нижнем и верхнем поясе плотность начинает снижаться. По мере увеличения высоты исследуемой области модуль стока увеличивается до определенной высоты. Увеличение стока за счет высоты продолжается до 2000 м. А выше этого предела увеличения стока ослабевает и даже начинает уменьшаться на определенной высоте (2400...2600 м) (Рустамов С., Кашкай Р., 1989).

Реки на территории Ширвана относятся к типу рек с весенним и осенним половодьем. Период половодья продолжается с марта по июнь. В этот период причина увеличения стока объясняется таянием снега и интенсивными осадками в водосборном бассейне.

В данной статье выполнена оценка изменений водных ресурсов бассейна Ширванских рек, за период 1960...2017 годы с использованием данных наблюдений 9 станций (таблица 1).

Основной район наших исследований включает реки Дашагильчай, Тиканлычай, Алиджанчай, Турянчай, Демирапаранчай,

Гойчай, Гирдиманчай и Агсучай образованные сочетанием ряда источников и поверхностных вод, на высоте 3000...4000 м в горах Большого Кавказа. Рельеф местности гористый, в северной части начинается с возвышенностей

южного склона Главного Кавказа, в центральной части - в долине Ганых-Эйричай, в южной части - охватывает верхнюю часть горного хребта Аджинохур (рисунок 1).



Рис.1. Схематический план основных рек Ширвана

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Имеющиеся водные ресурсы на территории Ширванского региона распределены неравномерно. Так, средний многолетний расход воды в реках региона колеблется в пределах 1,68...11,9 м³/с (таблица 1) (Эйюбов И.А., 2022). В таблице 1 приведены данные о продолжительности периода, охватывающего данные о стоке изученных рек и средние многолетние расходы.

Многолетний гидрограф речного стока представлен на рисунке 2, где видно, что в реках региона сезон дождей начинается в марте, что характерно для всех рек.

Определены 4 этапа внутригодового хода рек в зависимости от их годового режима:

1) Первый этап охватывает весенние месяцы (март, апрель, май). На эту фазу наблюдается 32,1 % годового объема стока, поскольку это основной период рек, а также интенсивные дожди во

время таяния снегов вызывают наводнения;

2) Второй этап летний, который охватывает июнь, июль и август. На эту фазу наблюдается 30,3 % годового объема стока и летние дожди иногда вызывают очень сильные наводнения и паводки на большинстве рек;

3) Третий этап охватывает осенние месяцы (сентябрь, октябрь, ноябрь). В первой половине этой фазы паводки, возникающие во время периодических проливных дождей, значительно слабее весенне-летних паводков. На эту фазу наблюдается 22,6 % годового объема стока;

4) Последняя фаза охватывает зимние месяцы (декабрь, январь и февраль), и на эту фазу наблюдается 15,2 % годового объема стока (таблица 2).

По расчетам годовой объем стока изученных рек составляет 1713,3 млн. м³. В зимние месяцы годовой объем стока составляет 15,2 %, или 1259,8 млн. м³,

Таблица 1

Значения норма годового стока рек на территории Ширвана

№	Реки и пункты	Продолжительность серии, лет	Q _{ср} , м ³ /с
1	Дашагильчай - с. Баш Дашагыл	1963...2017 (55)	3.10
2	Тиканлычай - с. Тиканлы	1960...2017 (56)	3.45
3	Алиджанчай – с. Каябаши	1963...2017 (55)	5.84
4	Турянчай – п. Суговшагы	1968...2017 (46)	8.29
5	Демирапаранчай – г. Габала	1960...2017 (57)	5.58
6	Гойчай – с. Буйнуз	1961...2017 (56)	9.02
7	Гойчай – г. Гойчай	1961...2017 (56)	11.9
8	Гирдиманчай- Гаранохур	1950...2008 (53)	5.21
9	Агсучай-Агсу	1960...2008 (36)	1.68

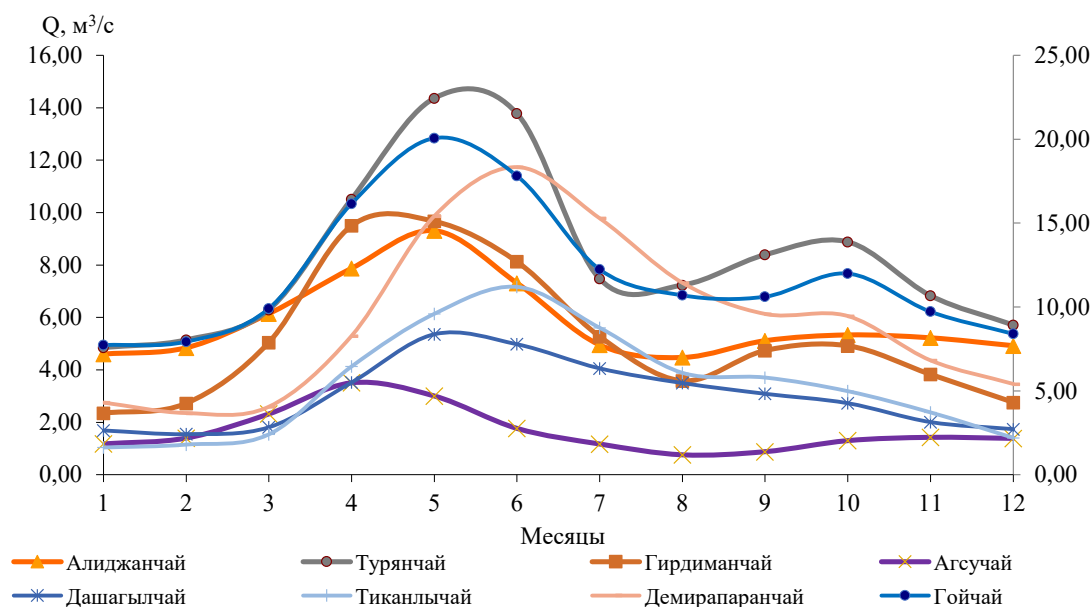


Рис.2. Гидрограф стока рек Ширван

весной сток 549,0 млн. м³, или 32,1 %, летний сезон годового объема стока 518,7 млн м³, или 30,3 %, осенью годового объема стока 385,8 млн. м³, или 22,6 %. Это дает основание полагать, что по существу основной период стока в реках наблюдается на весенние и летние месяцы (таблица 2).

В таблице 3 приведены многолетние расходы рек Ширвана на основе исследований С. Рустамова и Р. Кашгая (Рустамов С.Г., Кашкай Р.М., 1989). Данные наблюдений в этих исследованиях охватывают период до 1970-х годов. Учитывая, что основные антропогенные воздействия на реки начались после 1970...1980-х гг. По этой причине среднегодовые нормы стока этого периода можно

считать условно-естественный сток (Q_{еср}).

Основной целью работы является оценка современных изменений стока рек на территории Ширвана. Норма стока рек за 1960...1990 годы - I период (Q_{1ср}) сравнивалась со значением нормы стока за 1991...2017 годы - II период (Q_{2ср}) (таблица 3). В результате сравнения среднегодовых расходов обоих периодов получили разницу изменения речного стока (Q_{ср}). Данные наблюдений по каждой реке охватывают период 1960...2017 гг.

Проведенные анализы показали, что наибольшее изменение значения расхода наблюдалось в Алиджанчае, Турянчае, Демирапаранчае, Гирдиманчае и Агсучае.

Таблица 2

Сезонное распределение средних многолетних показателей стока рек Ширвана
в 1961...2017 гг.

Реки и пункты	Зима		Весна		Лето		Осень		Годовой млн.м ³
	млн.м ³	%	млн.м ³	%	млн.м ³	%	млн.м ³	%	
Дашагильчай - с. Баш Дашагыл	12.9	13.6	28.3	29.9	33.2	35.1	20.5	21.7	94.9
Алиджанчай – с. Каябаши	37.2	20.2	61.8	33.5	44.3	24.1	41.0	22.3	184.3
Тиканлычай - с. Тиканлы	9.3	8.6	31.3	28.8	44.2	40.6	24.3	22.4	109.1
Турянчай – п. Суговшагы	40.7	15.6	82.6	31.6	75.5	28.9	63.2	24.2	262.0
Демирапаранчай – г. Габала	22.2	11.8	47.0	25.0	76.4	40.6	43.3	23.0	188.9
Гойчай – с. Буйнуз	44.6	16.0	88.2	31.7	82.3	29.6	63.9	22.9	279.0
Гойчай – г. Гойчай	62.4	16.6	122.2	32.5	108.0	28.7	84.8	22.5	377.4
Гирдиманчай - Гаранохур	20.3	12.3	64.2	39.0	45.0	27.4	35.3	21.5	164.8
Агсучай-Агсу	10.3	19.4	23.4	44.2	9.8	18.5	9.5	17.9	53.0
Общий	259.8	15.2	549.0	32.1	518.7	30.3	385.8	22.6	1713.3

Таблица 3

Годовое распределение стока основных рек Ширвана (в период 1961...2017 гг.)

Реки и пункты	(Рустамов С.Г., Кашкай Р.М., 1989) Q _{ср} , м ³ /с	1960...1990 годы средний многолетний расход воды за Q _{1ср} , м ³ /с	1991...2017 годы средний многолетни й расход воды Q _{2ср} , м ³ /с	Сравниени е с I периодом, Q _{Δср} , м ³ /с	Сравнение с I периодом, Q _{Δср} %
	условно- естественный сток	I период	II период		
Дашагильчай - с. Баш Дашагыл	3.02	3.02	2.98	-0.04	-1.3
Тиканлычай - с. Тиканлы	3.50	3.40	3.45	+0.05	+1.5
Алиджанчай – с. Каябаши	4.95	6.12	5.56	-0.56	-9.2
Турянчай – п. Суговшагы	17.3	7.65	8.74	+1.09	+14.2
Демирапаранчай – г. Габала	4.38	5.10	6.15	+1.05	+20.6
Гойчай – с. Буйнуз	8.95	8.58	9.02	+0.44	+5.1
Гойчай – г. Гойчай	14.1	11,9	11,8	0.1	0
Гирдиманчай - Гаранохур	7.70	5.61	4.19	-1.42	-25.0
Агсучай-Агсу	1.96	1.71	1.44	-0.27	-15.8

В Турянчае и Демирапаранчае по сравнению с I периодом (Q_{1ср}) 1960...1990 гг. во II периоде (Q_{2ср}) в 1991...2017 гг. наблюдалось увеличение расхода на Q_{Δср} = 14,2 % или Q_{Δср} = 1,09 м³/с, Q_{Δср} = 20,6 % или Q_{Δср} = 1,05 м³/с соответственно. Наблюдалось снижение расхода на реки Алиджанчае, Гирдиманчае и Агсучае.

По сравнению с I периодом (Q_{Icp}) цена изменения речного стока в Алиджанчае $Q_{\Delta cp} = 9,2 \%$ или $Q_{\Delta cp} = 0,56 \text{ м}^3/\text{с}$, Гирдиманчае $Q_{\Delta cp} = 1,42 \text{ м}^3/\text{с}$ или $Q_{\Delta cp} = 25,0 \%$, Агсучае $Q_{\Delta cp} = 0,27 \text{ м}^3/\text{с}$ или $Q_{\Delta cp} = 15,8 \%$ (таблица 3).

Причин изменения норм стока рек различны, так это можно объяснить следующими

факторами: географическими условиями рек, количеством осадков выпадающих в бассейне, рельефом местности, растительностью и т.д.

На основании данных наблюдений за реками в период 1960...2017 гг. установлена многолетняя динамика изменения стоков (рисунок 3).

Это связано с широким использованием речных вод для орошения.

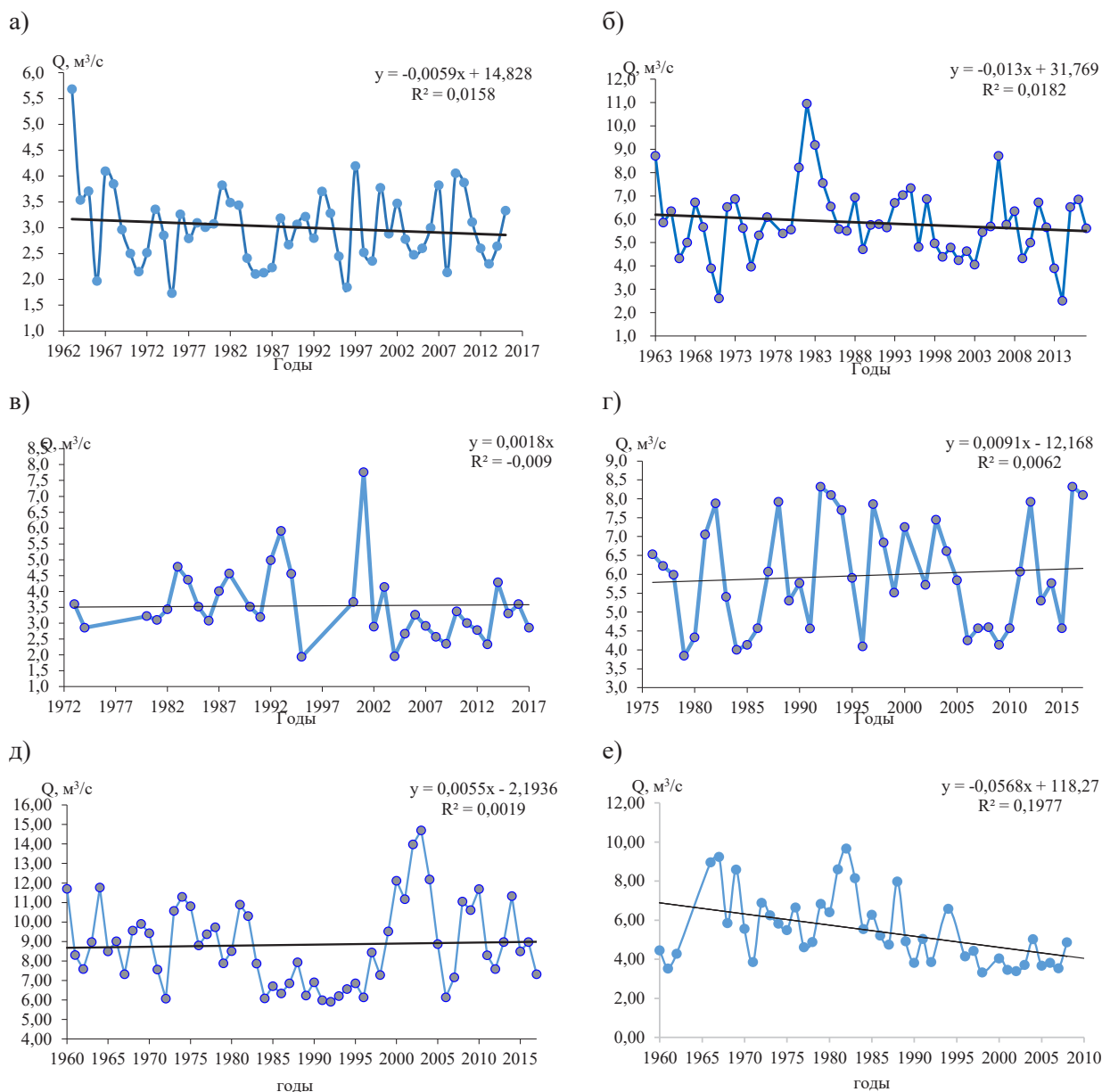


Рис.3. Линейный тренд среднегодовых расходов воды а) р. Дашагылчай; б) р. Алиджанчай; в) р. Тиканлыцай; г) р. Демирапаранцай; д) р. Гойчай; е) р. Гирдиманчай

Из графиков на рисунке 3 видно, некоторых реках линия тренда имеет увеличения или снижения. Анализ линейных трендов по данным среднегодового расхода за многолетний период показал, что небольшая отрицательная тенденция сни-

жения зафиксирована в рядах расхода Дашагильчае, Алиджанчае и Гирдиманчае.

Однако уменьшение стока на некоторых реках Ширвана не значит уменьшение водных ресурсов, а является процессом перераспределения стока по территории.

Например, в нижнем течении Алиджанчае, Турянчае, Гирдиманчае и Гойчае построены крупные оросительные каналы.

По среднегодовому расходу Демирапаранчае, зафиксирована положительная тенденция увеличения линия тренда (рисунок 3 г). Основной причиной увеличения стока является количество осадков, выпадающих в районе данного пункта. Кроме этого не исключается и систематическая ошибка при учете стока.

Наблюдается небольшая тенденция роста линия тренда в рядах расхода Тиканлычае и Гойчае (пункт Буйнуз) (рисунок 3 в, д). В обеих рек гидрологическая наблюдательная станция расположены в верхней части бассейна. На изменение годового стока влияют и высоты наблюдательных станции рек. Таким образом, речная вода в верхнем течении используется меньше. Это помогает поддерживать естественный режим в этой части бассейна.

В данной работе проанализированы многолетние значения расходов воды. В дальнейшем исследовании оценки будут проводиться по сезонам года. Причиной этого является рассмотрение влияния региональных климатических изменений на зимний или весенний режим. По исследованиям профессора Ф. Иманова, региональные изменения климата также повлияли на речные и водные ресурсы, годовой сток и режим рек нашей страны. Таким образом, увеличение происходит преимущественно при минимальном расход в зимней межени. В основном это связано с повышением средней сезонной температуры в зимние месяцы, что увеличивает таяние запасов снегов в зимний период и увеличивает расход с период межени (Иманов Ф.А., Алекбаров А.Б., 2017).

Население нашей страны за последние 50 лет увеличилось более чем в 1,9 раза, а площадь сельскохозяйственных угодий за тот же период увеличилась на 355 000 га, что требует защиты и эффективного, устойчивого использования наших ограниченных водных ресурсов (www.stat.gov.az).

Также в качестве важного условия является эффективное использование зимнего стока рек Ширвана, так как в это время речные стоки играют роль транзита и меньше используется (Мамедов А.Ш., Эйюбов И.А.2018).

Учитывая выше изложен-

ное это, возникает острая необходимость изучения зимнего стока рек, протекающих по территории исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные анализы показали, что наибольшее изменение значения расхода наблюдалось в Алиджанчае, Турянчае, Демирапаранчае, Гирдиманчае и Агсучае. В Турянчае и Демирапаранчае по сравнению с 1960...1990 гг. в 1991...2017 гг. наблюдалось увеличение расхода на 14,2 % и 20,6 % соответственно. В эти же периоды наблюдалось снижение расхода на реки Алиджанчае, Гирдиманчае и Агсучае на 9,2 %, 25 %, 15,8 % соответственно.

Причинами изменения стока рек являются ряд факторов, например, условия географического расположения рек, увлажненность бассейна, рельеф местности, растительностью и другие.

С другой стороны, уменьшение водных ресурсов некоторых реках Ширвана связана с процессом перераспределения стока по территории, в связи с их использованием для орошения. Например, в нижнем течении Алиджанчае, Турянчае, Гирдиманчае и Гойчае построены крупные оросительные каналы.

Также, наблюдается небольшая тенденция роста линия тренда в рядах расхода воды на реках Тиканлычае и Гойчае (пункт Буйнуз), которые расположены в верхней части бассейна.

В дальнейшем такие оценки будут проводиться в зимний или весенний периоды. Причиной является, рассмотрение влияния региональных климатических изменений на зимний или весенний режим стока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эйюбов И.А. Эффективное использование зимнего стока рек в Огуз-Габалинском районе // Географическое общество НАНА. – Т. 10, № 3. – 2022. С. 125-130.
2. Махмудов Р.Н. Региональные изменения климата и речной сток в Азербайджане // Водные проблемы Наука и технологии. – Т. 1 (19). - 2022. - С.7-17.
3. Махмудов Р.Н. Водные ресурсы Азербайджанской Республики. - Баку, 2003. - 24 с.
4. Мамедов А.Ш., Эйюбов И.А. Подготовка технических мероприятий для восстановления уровня подземных вод бассейна Дашагылчай // Гидрометеорология и экология. - № 2. - 2018. – С. 181-191.
5. Иманов Ф.А., Алекбаров А.Б. Современные изменения и комплексное управление водными ресурсами Азербайджана. – Баку: Муртаджим, 2017. - 352 с.

6. Иманов Ф.А. Водные ресурсы и их использование в трансграничном бассейне р. Куры. - Санкт-Петербург, 2016. - 163 с.
7. Рустамов С.Г., Кашкай Р.М. Водный баланс Азербайджанской ССР. – Баку: Элм, 1978. – 110 с.
8. Рустамов С.Г., Кашкай Р.М. Водные ресурсы Азербайджанской ССР. – Баку: Элм, 1989. -180 с.
9. FAO, 2009. Irrigation in the Middle East region in figures Aquastat survey 2008. FAO Water Reports No. 34. - 423 pp.
10. Transboundary Diagnostic Analysis-Update 2013. UNDP/GEF Project. Reducing Transboundary Degradation in the Kura-Aras River Basin. Baku/Tblisi/Yerevan. -2013. -P.156.
11. Комитет статистики Республики Азербайджан. [Электронный ресурс] URL: www.stat.gov.az.
- Azerbaijan Republic. – Baku, 2003. – P. 24.
4. Mamedov A.Sh., Ayyubov I.A. Preparation of technical measures to restore the groundwater level of the Dashagylchay basin // Hydrometeorology and ecology. -2018. - No. 2. – P. 181-191.
5. Imanov F.A., Alekbarov A.B. Modern changes and integrated management of water resources in Azerbaijan. – Baku: Murtajim, 2017. - P. 352.
6. Imanov F.A. Water resources and their use in the transboundary river basin Kur.-Saint Petersburg, 2016.–163p.
7. Rustamov S.G., Kashkai R.M. Water balance of the Azerbaijan SSR. – Baku: Elm, 1978. - 110 p.
8. Rustamov S.G., Kashkai R.M. Water resources of the Azerbaijan SSR. – Baku: Elm, 1989. - 180 p.
9. FAO, 2009. Irrigation in the Middle East region in figures Aquastat survey 2008. FAO Water Reports No. 34. - 423 p.
10. Transboundary Diagnostic Analysis – Update 2013. UNDP/GEF Project. Reducing Transboundary Degradation in the Kura-Aras River Basin. Baku/Tblisi/Yerevan. - 2013. - P.156
11. The state statistical committee of the Azerbaijan Republic. [Electronic resources] URL: www.stat.gov.az.

REFERENCES

1. Ayyubov I.A. Effective use of winter river flow in the Oguz-Gabala region // Geographical Society of ANAS. - 2022. - Vol. 10, No. 3. - P. 125-130.
2. Makhmudov R.N. Regional climate changes and river flow in Azerbaijan // Water problems Science and technology. - 2022. - № 1 (19). - P.7-17.
3. Makhmudov R.N. Water resources of the

ШИРВАН АУМАҒЫНДАҒЫ ӨЗЕНДЕР АҒЫНДЫСЫНЫҢ ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ ӨЗГЕРУІН БАҒАЛАУ (ӘЗІРБАЙЖАН РЕСПУБЛИКАСЫ)

И.А. Эйюбов*

*«СУКАНАЛ» Ғылыми-зерттеу және жобалау институты, Баку, Әзірбайжан Республикасы
E-mail: iftixar.eyubov@mail.ru*

Ширван бассейні өзендер теңіз деңгейінен 400...4466 м биіктікте Әзірбайжан Республикасының аумағында Үлкен Кавказдың оңтүстік бөлігінде орналасқан. Бассейннің аумағы Үлкен Кавказ тау бөктерімен қоршалған, шығыстан Агсучай өзенімен, ал батыстан Алиджанчай өзенімен шектеседі.

Зерттелетін аумақтың су ресурстары негізінен ауыл шаруашылығында, ауыз сумен жабдықтауда және т.б. пайдаланылады. Аумақтың төменгі бөлігі құрғақ аймақта орналасқандықтан, өзен сулары белгілі бір шаруашылық мақсаттарда пайдаланылады. Бұл экономикалық қызмет өзен режиміне үлкен әсер етеді. Сондықтан ауданның су ресурстары туралы есеп және оның дұрыс болжамы маңызды. Осыған байланысты маңызды мәселелердің бірі - өзендердің орташа жылдық ағынын статистикалық талдауды ғылыми зерттеу және Ширван аумағында ағып жатқан өзендер ағынының қазіргі өзгерістерін бағалау.

Жүргізілген талдау ағынның ең үлкен өзгерісі Алиджанчай, Турянчай, Демирапаранчай, Гирдиманчай және Агсучай өзендерінде байқалғанын көрсетті. Турянчай мен Демирапаранчай өзендерінде 1960...1990 жылдармен салыстырғанда қазіргі кезеңде (1991...2017 ж.) су өтімі сәйкесінше 14,2 % және 20,6 %-ға өсуі байқалады. Алайда 1991...2017 кезеңінде алдыңғы кезеңмен салыстырғанда Алиджанчай, Гирдиманчай және Агсучай өзендерінде су өтімінің сәйкесінше 9,2%, 25 %, 15,8% төмендеуі байқалды.

Түйін сөздер: су ресурстары, Ширван өзендері, шаруашылық қызмет, статистикалық анализ

ASSESSMENT OF MODERN CHANGES IN RIVER FLOW ON THE TERRITORY OF SHIRVAN (REPUBLIC OF AZERBAIJAN)**I.A. Eyyubov****SUCANAL Research and Design Institute, Baku, Republic of Azerbaijan**E-mail: iftixar.eyyubov@mail.ru*

The Shirvan River Basin is located at an altitude of 400...4466 m above sea level in the southern part of the Greater Caucasus, on the territory of the Republic of Azerbaijan. The basin is surrounded by the foothills of the Greater Caucasus, bordered on the east by the Aghsuchai River and on the west by the Alijanчай River.

The water resources of the study area are mainly used for agriculture, drinking water supply, etc. As the lower part of the area is located in the arid zone, river water is used for certain economic purposes. These economic activities have a great impact on the river regime. Therefore, it is necessary to take a serious look at the water resources of the area and to make a proper forecast. In this regard, one of the important issues is the scientific study of statistical analysis of average annual river flow and assessment of modern changes in the flow of rivers flowing through the territory of Shirvan.

The analysis carried out showed that the largest changes in the value of the flow were observed in the rivers Alijanчай, Turyanчай, Demirparanчай, Girdimanчай and Aghsuchай. In Turyanчай and Demirparanчай, an increase in discharge of 14,2 % and 20,6 %, respectively, was observed in the current period (1991...2017) compared to the period 1960...1990. Odanko River Alijanчай, Girdimanчай and Aghsuchай experienced a decrease in discharge of 9,2 %, 25 % and 15,8 % respectively

Key words: water resources, rivers of Shirvan, economic activity, statistical analysis

Сведения об авторе/Автор туралы мәліметтер/Information about author:

Эйюбов Ифтихар Адил - главный инженер проекта Научно-исследовательского и проектного института «СУКАНАЛ», Республика Азербайджан, г. Баку. пр. Москва 73, AZ1012, iftixar.eyyubov@mail.ru

Эйюбов Ифтихар Адил - «СУКАНАЛ» Ғылыми-зерттеу және жобалау институты проекттің бас инженері, Әзірбайжан Республикасы, Баку қ., Мәскеу даңғылы, 73, AZ1012, iftixar.eyyubov@mail.ru

Eyyubov Iftikhar Adil - chief engineer of the project Scientific Research and Design Institute SUKANAL», Republic of Azerbaijan, Baku. Moscow avenue 73, AZ1012, iftixar.eyyubov@mail.ru

ІЛЕ АЛАТАУЫНЫҢ ОРТАЛЫҚ БӨЛІГІНДЕГІ ӨЗЕН АЛАПТАРЫНЫҢ СЕЛ ҚАУІПТІЛІГІН БАҒАЛАУ ЖӘНЕ ЗОНАЛАУ

А.К. Мусина геогр. ғылым. канд., Ә.С. Абдуллаева*

¹ *әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан*

E-mail: assel.abdullayeva@kaznu.edu.kz

Зерттеу ауданындағы сел қауіпін басқару шаралары сел тасқынының қауіптілігі мен қауіпін бағалау және карталау, превентивті жұмыстар жүргізу, бақылау, сел қауіптілігін алдын-ала ескерту, селден қорғану имараттарын салудан тұрады. Үлкен және Кіші Алматы өзен алаптарының қарқынды игерілуіне, сондай-ақ климаттың ғаламдық жылынуына байланысты аумақтағы сел қауіптілігінің туындауы мен дамуына әсер ететін критерийлерді анықтау және олардың әсер ету дәрежесін бағалау қажеттілігі туындап отыр. Ұсынылып отырған мақалада сел қалыптастырушы факторларды және селдің туындау механизмдерін ескере отырып, сел қауіптілігінің критерийлері анықталды, сондай-ақ селдің басталу, жүріп өту және шөгу зоналарындағы сел тасқындарының түзілуіне жағдай жасайтын ерекшеліктер мен сел тасқындарының әсер ету зонасындағы реципиенттерге байланысты сел тасқындарына ұшырайтын аумақтарды анықтауға бағытталған критерийлер таңдалды. Мультикритериялық шешім қабылдау әдісі негізінде ірі масштабтағы 1:25000 сел тасқынына ұшырайтын аумақтар және қауіптілік картасы жасалды. Өзірленген карталар сел тасқынының зиянды салдарын төмендетуді, алдын-алуды, болдырмауды жоспарлауда маңызды рөл атқарады.

Түйін сөздер: Сел тасқыны, сел қауіптілігі, сел тасқынына ұшырайтын аумақтар, ГАЗ технологиялары, Жерді қашықтықтан зондтау мәліметтері, мультикритериялық шешім қабылдау әдісі, аналитикалық иерархиялық процесс

Поступила: 09.11.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2023-111-4-34-60

КІРІСПЕ

Сел тасқындары Қазақстанның шығыс, оңтүстік-шығыс және оңтүстік бөлігіндегі таулы аудандарда көрініс беретін қауіпті құбылыстардың бірі (Медеу А.Р., и др., 2018; Медеуов А.Р., и др., 1996). Сел тасқындарының қауіптілігінің дәлелі ретінде оның аталған аудандарға әкелетін зиянды салдарын келтіруге болады. Қазақстандағы сел тасқындары Антологиясындағы келтірілген мәліметтерге сүйенсек, сел тасқындары кезінде шаруашылық объектілерге нұқсан келетіндігі, тіпті адам өлімі де орын алатын жағдайлардың тіркелгендігі жөніндегі мәліметтерді келтіруге болады (Медеу А.Р. и др., 2016). Оған қоса, еліміздегі сел қалыптасу және оның әсер ету аймақтары шамамен 164 мың км² құрайтындығы, оның ішінде Алматы облысына тиесілі сел қауіпті ауданның 11 мың

км² алып жатқандығы (Баймолдаев Т., и др., 2007) адамның тіршілік етуі мен шаруашылық жүргізуіне қолайлы жерлердің аталған апатты құбылыстың әсер ету зонасының қауіптілік дәрежесін арттыра түседі.

Климаттың өзгеруі жағдайында мұздықтардың кейін шегінуі нәтижесінде биік таулы аудандардағы жаңа мореналардың босап шығуы, мұздықтық-мореналық көлдердің қалыптасуы және олардың қарқынды дамуы, көл байламының тұрақсыздығы зерттеу ауданындағы гляциалды сел қауіптілігін арттыруда (Вилесов Е.Н., 2015; Bolch T. et al., 2012; Mussina A.K. et al., 2023; Wang S. et al., 2011; Wang W. et al., 2012). Оның үстіне, климаттың ғаламдық жылынуы негізінде биік таулы аймақтағы нөлдік изотерманың жоғарылауы есебінен нөсерлі генезистегі сел тасқындарының бос-сынықты материалдардың мол қоры жинақталған аумақтарда көрініс беру

ықтималдығы нәсерлі селдердің қауіптілігін еселей түспек (Баймолдаев Т. и др., 2007; Медеу А.Р. и др., 2018). Осылайша, Іле Алатауының орталық бөлігіндегі елді-мекендер, шаруашылық объектілер мен инфрақұрылым түрлері потенциалды қауіп аймағының тікелей реципиенттеріне айналды.

Сол себепті, таулы және тауалды аудандардың қарқынды игеріліп, адамның шаруашылық іс-әрекетінің әсер ету қарқыны мен ареалының артуына байланысты, сондай-ақ селден қорғану мақсатына салынған имараттардың тозуына немесе болашақта күтілетін сел тасқындарына төтеп бере алмайды деген қауіптердің (Медеу А.Р. и др., 2020; Яфязова Р.К., 2007) болуына байланысты сел қауіптілігі, сел тасқындарына ұшырайтын аудандар және сел қауіп жөніндегі ұғымдарды саралап, солардың негізінде қарастыралатын аудан картасының жаңа нұсқаларын жасау қажеттілігі туындады (Степанов Б.С. и др., 2014).

Қазақстанда сел қауіпін зерттеу және оны басқару, бағалау мәселелері Медеу А.Р. жетекшілігімен «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ-да көтеріліп, жалғасын тауып келеді. «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ-да жүзеге асқан алғашқы зерттеу жұмыстары шеңберінде сел тасқындарының әсер ету қауіпін бағалаудың әдістемесі әзірленді (Медеу А.Р., 2009; Медеу А.Р. и др., 2003; Тасболат Б. и др., 2015).

Сел тасқындарының әсер ету қауіпін бағалаудың әдістемелік негіздері табиғи қоршаған ортаға әсер ету қауіпін бағалау әдістерін, қауіпсіздік теориясы (секьюритология), жүйенің тұрақтылық теориясы, рискология, менеджмент әдістерін жаратылыстану ғылымдары негізінде синергетикалық тәсілді қолдану арқылы дайындалған (Медеуов А.Р., 2002). Осы уақытқа дейін сел құбылысына қатысты қауіптілік және қауіп ұғымдары негізінде Қазақстанның сел қауіпті аудандарына ХХ ғасырдың 70 жж. аяғынан 80 жж. дейін белсенді зерттеу жұмыстары жүргізілді (Медеуов А. и др., 1993; Медеуов А.Р. и Нурланов М.Т., 1996). Зерттеулер нәтижесінде сел тасқынының қалыптасуына әсер етуші гидрометеорологиялық, геологиялық, геоморфологиялық факторлар анықталып, сел ошақтары мен сел тасқынының пайда болу

механизмдері жіктелді (Медеу А.Р., 2011). Сонымен қатар, А.Р. Медеу, Н.Ф. Колотилин зерттеулерін ғылыми талдау негізінде апатты сел тасқындары сипаттамаларын қауіптілік дәрежесі бойынша типтерге жіктеді. Сел қауіпті аудандарды типтеу 3 негізгі факторлар бойынша жүзеге асырылды, олар I – сел қалыптасуының табиғи факторлары, II – сел тасқындарының генетикалық және динамикалық сипаттамалары, III - процестің энергетикалық көрсеткіштері. Әзірленген типтеуді негізге ала отырып, 1989 ж. алғашқы рет Қазақстанның таулы және тауалды аудандарының сел қауіптілік дәрежесін фондық бағалау мақсатында карталар жасалды (Колотилин Н.Ф. и др., 1989). (Колотилин Н.Ф. и др., 1989). Сел қауіптілік картасын әзірлеу барысында сел қауіпті аудандағы жүріп өткен сел тасқынының көлемі, сел өтімі, сел қайталанғыштығы, сел тасқынының энергетикалық класы, жер сілкінісінің әсер ету күші, (балл есебімен) сияқты факторлар ескеріле отырып, сел қауіптілігі 5 дәреже бойынша көрсетілді (Медеу А.Р., 2009). 1996 ж. ҚазҒЗГМИ жүргізген зерттеулерде аумақтың сел қауіптілігі сел ошақтарының және сел алаптарының сандық сипаттамалары, фильтрация коэффициенттерінің мәндері, жауын-шашынның тәуліктік қабаты немесе мореналық көлдің ақтарылу мүмкіндігі, сел тасқындарының өтімі және көлемі, селдің тығыздығы және генезисі бойынша типі негізінде бағаланып, нәтижесінде ҚР аумағының сел қауіптілік картасы жасалды (Карта селевой опасности территории Республики Казахстан, 1996). Кейінірек бұл жұмыстар жалғасып, ҚР-ның төтенше жағдайларының табиғи және техногенді қауіптіліктері мен қауіптері Атласында жарық көрді (Медеу А.Р., 2009). Атап айтқанда, Қазақстанның таулы және тауалды аудандарының 1:7 500 000 масштабндағы сел қауіптілік картасында сел тасқындарының таралу дәрежесі орналасу биіктігі (м есебімен), еңістік (° есебімен), сел ошақтарының таралу коэффициенті, жауын-шашынның жылдық суммасы (мм есебімен) критерийлерінің негізінде 5 категорияға жіктелді. Жекелеген тау жоталары мен таулы аудандарына арналған 1:1 500 000 масштабтағы сел қауіптілік картасында жүріп өткен сел

тасқындарының өтімдері ($\text{м}^3/\text{с}$ есебімен), сел тасқындарының қайталанғыштығы (жыл есебімен) және сел алаптарының алып жатқан ауданы (% есебімен) көрсеткіштері негізінде сел қауіптілігі бағаланды. Ол өз кезегінде жүріп өткен сел тасқыны көлемінің (млн. м^3) көрсеткіштері негізінде Іле және Күнгей Алатауы үшін 1:350 000 масштабтыңда нақтыланды. Сел қауіптілігін бағалау жұмыстары мұнымен шектелмейді. Мысалы, (Медеу А.Р., 2011) жұмысында квалиметриялық әдіс негізінде 1:100 000 масштабта Іле Алатауының орталық бөлігі үшін сел қауіптілігінің картасы жасалған. Ол үшін сел тасқындарының қалыптасу орны болып табылатын сел ошақтары мен селдік арналар, сел тасқындарының жүріп өту зонасын толықтай қамтитын сел ошақтары мен селдік арналардың су жинау алаптары, сонымен қатар сел тасқындарының жайылу немесе тоқтау зонасын алып жатқан ысырынды конус объектілері айқындалып, олардың әрқайсысының өзіндік сел қауіптілік көрсеткіштері анықталды. Атап айтқанда, сел ошақтары мен селдік арналар $10...1000 \text{ м}^3/\text{с}$ және одан жоғары сел өтімдері мен қайталанғыштығы 10 жылдан 100 және одан да көп аралықты қамтитын уақыт бойынша, сел ошақтары мен селдік арналардың су жинау алаптары сел қауіптілік дәрежесі және сел қалыптасу ықпалында болатын аудандар бойынша, ысырынды конус селдік арнаның сел қауіптілік дәрежесі және селден қорғану имараттарының бар-жоқтығы бойынша сел қауіптілігінің 6 дәрежесіне жіктелген болатын. Сонымен қатар, сел қауіптілігін бағалау мақсатында 1:50 000 масштабтыңа дейін нақтыланған Үлкен және Кіші Алматы алаптарының картасы дайындалды (Медеу А.Р. и др., 2019). Оны дайындау барысында сел арналарына селдің әсер ету зоналарына және ысырынды конустарға баса назар аударылды және олар көлемі және қайталанғыштығына байланысты 4 (сел арналары мен селдің әсер ету зоналары) және 3 (ысырынды конустар) категорияға жіктелді. Бұл картаның ерекшелігіне қауіпті алапта орналасқан мореналық-мұздықтық көлдердің ақтарылу жағдайындағы сел тасқынының белгілі бір учаскелерге ағып жету уақытының есептелуін

жатқызуға болады. Барлық карталарға тән белгі олардың өткен сел тасқындарының есептік сипаттамаларға басшылыққа ала отырып жасалуында. Алайда, нивалды зонадағы мореналық кешеннің үнемі өзгеріс үстінде болуына байланысты, аумақтың сел қауіптілігін жүріп өткен сел тасқындарының сипаттамалары арқылы бағалау климаттың ғаламдық жылыну жағдайында орын алып жатқан өзгерістердің үстемеленуі аясында өзектілігін жоғалтып отыр (Freu H. et al., 2018). Сол себепті, гляциалды және нөсерлі сел тасқындарының қалыптасуы жағдайында сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды, сел қауіпін алдын-алу және одан қорғануды тиімді жоспарлау үшін зерттеу аумағын кешенді бағалау қажеттілігі туындады (Freu H. et al., 2018). Қазіргі таңда, потенциалды сел қауіптілігін бағалау мақсатында ГАЖ технологияларының, Жерді қашықтықтан зондау мәліметтерінің жылдам, әрі уақытылы шешім қабылдау мақсатында пайдаланылу аясы артуда (Mussina A.K. et al., 2022; Mussina, Zhanabayeva, 2016). Сол себепті, Іле Алатауының орталық бөлігінің сел қауіптілігі мен сел тасқынына ұшырауы мүмкін аумақтарын анықтау үшін ГАЖ негізіндегі мультикритериялық әдіс қолданылды (González-Prida et al., 2014; Saranya et al., 2021).

Табиғи ортаның қазіргі өзгерістерін сипаттайтын көрсеткіштерді ГАЖ ортасында өңдеу арқылы аталған әдіс көмегімен Іле Алатауының орталық бөлігіндегі сел алаптарының 1:25 000 масштабтыңдағы сел қауіптілік және сел қауіпін ұшырау карталары жасалды.

Нақтылай келе, мақаланың негізгі мақсаты сел қалыптастырушы факторларды мультикритериялық талдау негізінде сел қауіптілігі мен сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды бағалау арқылы зерттеу ауданын қауіптілік дәрежесі бойынша зоналау. Зерттеу нәтижелері аумақтағы сел қауіпін басқару шешімдерін қабылдау кезінде және сел қауіпін ұшырауы мүмкін болатын аумақтарды болжау кезінде қажет болуы мүмкін. Сондай-ақ, қол жеткізілген нәтижелер сел қауіпті аумақта жүзеге асырылуы қажет шаралар мен салынуы мүмкін болатын қорғаныс имараттарын жобалау және жоспарлау кезінде оңтайлы,

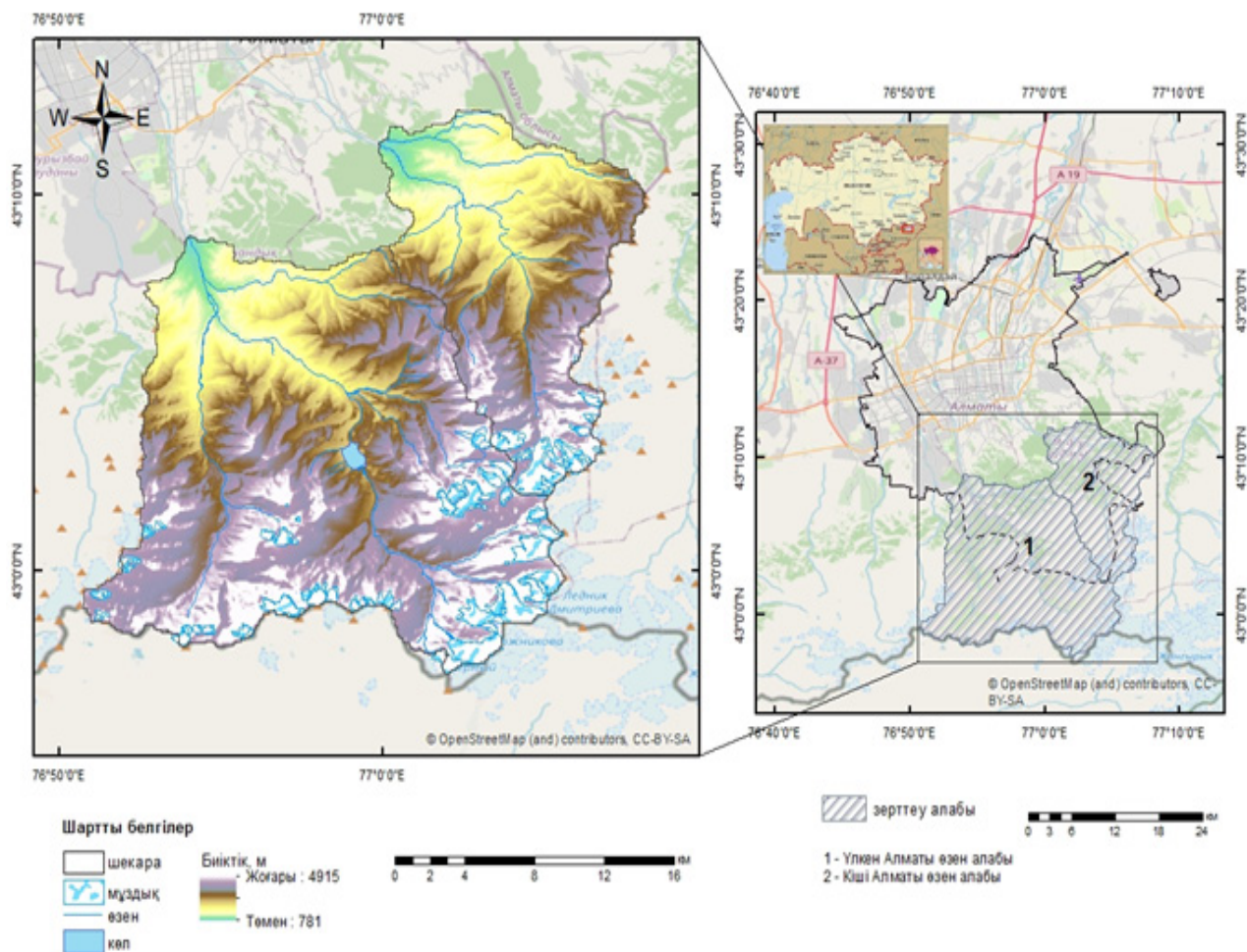
әрі ұтымды шешімдер қабылдауға мүмкіндік беретіндігі сөзсіз. Ал, ол өз кезегінде халықты сел тасқындарының апатты әсерінен аман алып қалу мақсатында жүзеге асырылатын қорғану және алдын алу жұмыстарының дұрыс, әрі уақытылы жүзеге асуының негізі болып табылады.

ЗЕРТТЕУ АУДАНЫ

Іле Алатауы – батысында Ұзынқарғалы өзені алабынан бастап, шығысында Шілік өзені алабына дейін созылып жатқан абсолютті биіктігі 4973 м-ді құрайтын Тянь-Шаньның солтүстік беткейіндегі тау жотасы (Chigrinets A.G. et al., 2020). Іле Алатауы күрделі жер бедерімен және экодинамикалық процесстердің қарқынды дамуымен ерекшеленеді (Daiurov M. et al., 2018). Зерттеу ауданы температура мен жауын-шашынның маусымдық ауытқуымен ерекшеленетін, климаттық жағдайлары қатаң биік таулы нивальды аймақта орналасқан (Shahgedanova

M. et al., 2020).

Іле Алатауының солтүстік беткейінің орталық бөлігін Үлкен және Кіші Алматы өзен алаптары алып жатыр (1-сурет). Зерттелініп отырған аудан төтенше жағдайлар атласындағы (Медеу А.Р., 2009) сел қауіптілік картасына сәйкес сел қауіптілігі жоғары ауданға жатады. Аталған өзен алаптарында жалпы ауданы 90 мың м² құрайтын 26 мұздықтық-мореналық көлдер, аэрофотосуреттер мен ғарыштық суреттерді дешифрлеу негізінде анықталған 105 сел ошағы орналасқан (Mussina A.K. et al., 2023). Мореналық-мұздықтық көлдердің таралу аймағы 3000...3900 м аралығын алып жатса, ал сел ошақтарының көрініс беру диапазоны 1158-3900 м аралығын қамтиды (Молдахметов М.М. т.б., 2012). Олардың таралуы зерттеу ауданындағы гляциалды және нөсерлі сел тасқындарының қалыптасу зоналарының негізгі шекарасын айқындайды (Медеу А.Р. и др., 2018; Молдахметов М.М. т.б., 2010; Medeu A. et al., 2020).



Сур. 1. Үлкен Алматы және Кіші Алматы өзен алаптары

ЗЕРТТЕУ МӘЛІМЕТТЕРІ МЕН ӘДІСТЕРІ

Сел тасқындары көп факторлы процесс болғандықтан, олардың қалыптасуы бірнеше факторлардың қабаттасып орын алуы нәтижесінде көрініс береді (Степанов Б.С. и др., 2014). Зерттеу аумағындағы сел қалыптасуына ықпал ететін факторларды талдау арқылы сел қауіптілігін айқындаушы басты критерийлер таңдалды. Әрбір критерийдің сел қауіптілігіне әсер ету үлесі аналитикалық иерархиялық процесс әдісі көмегімен анықталып, ГАЖ бағдарламасы ортасында оверлейлік талдау құралы көмегімен өңделді.

Мәліметтер көзі

Сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды және аумақтағы потенциалды қауіптілікті бағалауға қажетті картографиялық, қашықтықтан зондтау, статистикалық, далалық зерттеу және әдеби мәліметтер қолданылды (2-сурет). Зерттеулерді жүргізу үшін, ең алдымен, кеңістікті кескіндеу мүмкіндігі жоғары, біздің жағдайымызда 12,5 м-ге тең жер бедерінің сандық моделі пайдаланылды (ASF Data Search, w.p.). Зерттеу ауданындағы жер беті жамылғысы мен жерді пайдалану шарттарын бейнелейтін Sentinel-2 жолсеріктесінің 2021 жылдың түсірілімі бойынша өңделген кеңістікті кескіндеу мүмкіндігі 10 м болатын (Sentinel-2 10-Meter Land Use/Land Cover, w.p.) суреттер талданды. Сел қауіпті кезеңдегі жауын-шашын жиынтығының мәндері CHELSA ғаламдық климаттық базасынан (Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas (CHELSA), w.p., Karger D.N. et al., 2017) алынды. Көлдердің таралуын айқындау мақсатында қолданылған NDWI (Normalized Difference Water Index) және аумақтағы өсімдік жамылғысының сандық және сапалық көрсеткішін анықтайтын NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) индекстеріне талдау жасау үшін 2021 жылы 24 шілдеде түсірілген кеңістіктік кескіндеу мүмкіндігі 10 м болатын Sentinel-2 ғарыштық түсірілімі пайдаланылды (Copernicus Data Space Ecosystem, w.p.). Зерттеу ауданындағы топырақ жамылғысының құрамы мен механикалық құрылымы «Ө.О.Оспанов атындағы Қазақ топырақтану және агрохимия ғылыми-зерттеу институты» ЖШС-і әзірлеген

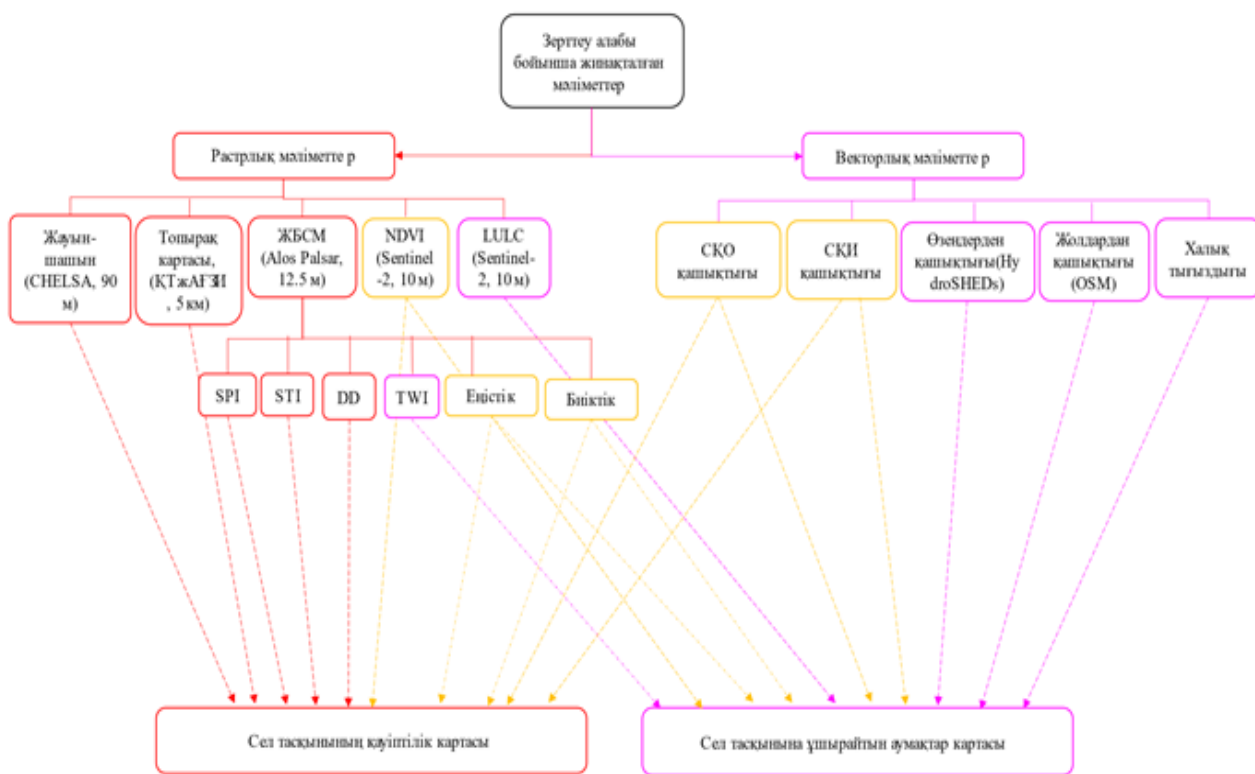
Жетісу алабының 1:500 000 масштабтағы топырақ картасы арқылы анықталды (Жетісу алабының топырақ картасы, 2005)). Зерттеу алабындағы су объектілері мен инфраструктура кешенінің векторлық қабаттары HydroSHEDs (HydroSHEDS database, w.p.) және Open Street Map коммерциялық емес веб-картографиялық жобасынан жүктеліп алынды (OpenStreetMap, w.p.). Сел ошақтарының зерттеу ауданындағы биіктік бойынша үлестірілуі (Молдахметов М.М. т.б., 2012) алынды. Үлкен және Кіші Алматы өзен алаптарындағы халықтың орналасу тығыздығы Алматы қаласының цифраравизациялау басқармасымен жасалған (Алматы қаласы цифрландыру басқармасының қолдауымен «Digital Almaty», w.p.) «Алматы қаласының халық тығыздығы» картасынан алынды. Сонымен қатар, имараттардың орналасу координаталары, Алматы қаласының Төтенше жағдайлар департаментінен алынды (Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар басқармасы, б. д.).

Сел қауіптілігіне әсер етуші факторларды талдау негізінде айқындалған критерийлер

Зерттеу ауданындағы сел қалыптастырушы факторларды талдау нәтижелері сел қауіптілігінің негізгі критерийлерін және олардың әсер ету деңгейлерін анықтауға мүмкіндік берді. Әрбір критерий ArcGIS 10.8 бағдарламасында өңделіп, олардың сел қауіптілік дәрежесі бойынша зерттеу ауданы 5 зонаға: аса жоғары (5), жоғары (4), орташа (3), төмен (2), өте төмен (1) бөлінді.

1. Сел қауіпті объектілерден қашықтығы. Бұл критерийдің қауіптілік дәрежесін анықтау үшін зерттеу алабындағы мореналық көлдердің және сел ошақтарының саны мен орналасу координаталары анықталды.

1.1 Көлдерден қашықтығы (Distance from moraine lakes). Мұздықтық-мореналық көлдер мұздану процесі байқалатын биік таулы аймақтарда кездеседі (Harrison S. et al., 2018). Сел қауіптілігінің туындауына негіз болатын басты фактор олардың ақтарылуы. Мұздықтық-мореналық көлдердің ақтарылу қаупі оның морфометриялық сипаттамаларына, көлдегі жиналған су көлеміне, сонымен қатар көл байламы мен оны көмкеріп жатқан тау жыныстарының механикалық құрамына тәуелді (Medeu A.R. et al., 2022). Ал, мұндай



Сур. 2. Сел тасқынының қалыптасуына әсер ететін критерийлердің тізімі

жағдайлар зерттеу ауданындағы бірқатар мореналық көлдерге тән. Сол себепті, мореналық көлдерден қашықтықты есептеу үшін Sentinel-2 ғарыштық түсірілімін пайдалана отырып, NDWI көмегімен мореналық көлдердің таралу аймағы анықталды. NDWI индексі – су объектілерін белгілеп көрсететін, сонымен

бірге өсімдіктер мен топырақтың басқа да ерекшеліктерін тежейтін жасыл және жақын инфрақызыл спектрлік жолақтар арасындағы қатынастардың қалыптандырылған индексі (Muneeb F. et al., 2021; Prakash C. et.al, 2017; Qi M. et.al, 2020):

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \tag{1}$$

мұндағы, NIR – жақын инфрақызыл аймақтағы көрініс, GREEN – жасыл аймақтағы көрініс.

Мореналық көлдерден алыстаған сайын, гляциалды сел тасқындарының қалыптасу ықтималдылығының төмендеуіне байланысты қауіптілік дәрежесі төмендейді. Ал, сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау кезінде, қалыптасқан гляциалды сел тасқындарының есептік параметрлерінің, әсер ету дәрежесінің артуына байланысты қауіптілік дәрежесі арта түседі (Медеу А.Р. и др., 2016). Мысалы, 15.07.1973 ж. Кіші Алматы өзен алабында №2 және №3 көлдердің ақтарылуы нәтижесінде қалыптасқан сел тасқынының сел өтімі 10 км-ден кейін 7...10 мың м³/с құраған. Ал, Б.С. Ниязов и А.С. Деговец жекелеген тұстамалар бойынша сел өтімінің келесі

мәндерін береді: «Мыңжылқы» тұстамасында – 324 м³/с; «Тұйықсу қақпасы» тұстамасында (2,5 км бұзылымнан төмен) – 2300 м³/с, «Сарысай» тұстамасында – 3200 м³/с; «Медеу» сел қоймасына кіре беріс жердегі тұстамада – 5180 м³/с.

1.2 Сел ошақтарынан қашықтығы (Distance from mudflow centers). Зерттеу ауданында гляциалды сел тасқындарымен қоса, нөсерлі сел тасқындары да жиі көрініс береді (Медеу А.Р., и др., 2018). Аталған аумақта қалыптасқан сел тасқындарының 80%-дан астамы нөсерлі генезистегі сел тасқындарының үлесіне тиесілі (Баймолдаев Т.А. и др., 2018). Бос-сынықты материалдардың едәуір қоры бар және еңістік мәндері 10...55° аралығын құрайтын учаскелер – сел ошақтары

сел қауіптілігін бағалауда аса маңызды (Медеу А.Р., 2011; Медеу А.Р. и др., 2018; Медеуов А. и др., 1993). Сел ошақтарынан алыстаған сайын, нөсерлі сел тасқынының қалыптасу ықтималдылығы төмендеуіне байланысты, қауіптілік дәрежесі де төмендейді. Сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау кезінде, қалыптасқан нөсерлі сел тасқындарының есептік параметрлері мен әсер ету дәрежесінің төмендеуіне байланысты қауіптілік дәрежесі төмендей түседі. Мысалы, 08...09.07.1950 ж. Үлкен Алматы өзен алабында нөсер жаңбырдың жаууы нәтижесінде қалыптасқан сел тасқындарының өтімдері келесідей болған: ең жоғары сел өтімі – 1160 м³/с, «Құмбел-саға» тұстамасында – 1000 м³/с шамасында, Аюсай өзені бойынша - 300 м³/с, Алматы қаласы маңында – 100...120 м³/с жуық (Медеу А.Р. и др., 2016).

2. Жауын-шашын (Precipitation). Жауын-шашын мөлшері сел тасқыны қауіптілігінің жоғарылауына әсер ететін тағы бір фактор. Жауын-шашынның таралуы тек аумақ бойынша ғана емес, сонымен қатар биіктік белдеу бойынша әркелкі (Li X. et al., 2022). Бұған ылғал тасымалдаушы ауа массаларының жолында батыстан шығысқа қарай созылған тау жоталарының табиғи шекара түзуі септігін тигізеді (Du X. et al., 2022). Жауын-шашынның биіктік бойынша таралуы аумақтағы нөлдік изотерманың өзгерісіне тікелей тәуелді. Мысалы, Кіші Алматы өзен алабындағы нөлдік изотерманың 4500 м биіктікте байқалуы кезінде жауын-шашынның ең жоғары мөлшерінің өзгеруі мардымсыз және бұл өз кезегінде қуатты сел тасқындарының қалыптасуына ықпал етеді (Медеу А.Р., 2011). Жауын-шашын мөлшерінің биіктік бойынша өзгеруінің басты себебі тау беткейлеріндегі атмосфералық факторлардың әрекеттілігі, сондай-ақ термикалық және динамикалық фронттардың күшеюі арқылы түсіндіріледі (Яфязова Р.К., 2007). Сонымен қатар, жауын-шашынның түсуі өзен ағындысының жоғарылауына және термокарстты процестердің қарқынды көрініс беруіне алып келеді. Зерттеу аумағының метеорологиялық станциялармен нашар қамтылуына байланысты, жауын-шашын мөлшерінің мәндері CHELSA мәліметтер базасынан алынып, өңделді.

3. Топырақ жамылғысы (Soil). Сел тасқынының тығыздығы мен сел массасы көлемінің негізгі құраушысы болып табылатын топырақтардың гранулометриялық және минералогиялық құрамы сел қауіптілігіне әсер ететін факторлардың бірі болып табылады (Степанов Б.С. и др., 2014). Топырақ грунттарының инфильтрациялық және фильтрациялық сипаттамалары жауын-шашын түсуімен бірге айтарлықтай дәрежеде ағынды сипатын анықтайды (Соколов С.И. и др., 1962). Инфильтрациялық сипаты төмен және жауын-шашын түсу қарқыны жоғары болған жағдайда беттік ағынды өтімдерінің шекті мәннен асып түсуіне және эрозиялы-ығыспалық құбылыстардың туындауына алып келеді (Saadi Y. et al., 2016). Инфильтрациялық сипаттамалары жоғары және толассыз жауған жауын-шашын топырақ грунттарының қалың қабатының ылғалдануын қамтамасыз етіп, ығыспалы сел құбылыстарының көрініс беруіне жағдай жасайды, ал олардың толықтай сумен қанығуы тізбекті сел процестерінің жандануына алып келеді. Зерттеліп отырған аумақ бойынша топырақ жамылғысын сел қауіптілігін анықтау мақсатында бағалау 1:500 000 масштабтағы Жетісу алабының топырақ картасы (Жетісу алабының топырақ картасы, 2005) арқылы жүзеге асырылды.

4. Биіктік (Elevation). Биіктік белгілері немесе жер бедері сел қалыптастыру процесінде маңызды рөл атқарады. Эрозиялық процестер нәтижесінде түзілген бедердің теріс пішіндері сел тасқындарының пайда болуы және даму ошағы болып табылады. Сондай-ақ, сел тасқындары өте қатты ылғалданған бос сынықты массалардың ығысуы нәтижесінде бедердің оң пішіндерінің шегінде қалыптасуы мүмкін. Зерттеліп отырған аумақ геоморфологиялық тұрғыда (Медеу А.Р., 2011; Медеуов А. и др., 1993; Медеуов А.Р. и др., 1996) жіктемесіне сәйкес 4 белдеуге бөлінген: а) 1000...1700 м аралығында тілімдену дәрежесі әртүрлі аласа таулы; ә) 1600...2900 м аралығы қарқынды тілімденген орташа таулы; б) 2800...3300 м аралығы таулы құрылымдарының мұздықтық және қарлы өңделген қалдық пішініндегі тік беткейлі биік таулы; в) 3200...3400 м, 5000 м дейін жартасты-мұздықты биік таулы. Қазіргі уақытта 2800...3300 м аралығын қамтитын

жас регрессивті эрозияның даму аумағы және селдің қатты материалдармен негізгі қоректену учаскесіне айналуға. Биік таулы белдеудің геологиялық және климаттық факторларының геоморфологиялық факторларымен біріккен жиынтығы мұнда жаппай көп мөлшердегі сынықты материалдар жинақталуын айқындап қоймай, сонымен қатар тасқын энергиясының анағұрлым жоғары көрсеткіштеріне ие болып келетін селдердің қалыптасуын қамтамасыз етеді (Петрушина М.Н., 2015). Сондықтан да, биіктік белгілерін қауіптілік дәрежесі бойынша жіктеу кезінде, аталған белдеу «аса жоғары» категория ретінде танылды. Сәйкесінше, қауіптілігі жоғары, орташа, және төмен категориялар 3200...3400 м, 5000 м дейін, 1600...2900 м, 1000...1700 м аралықтарын қамтыды. Биіктік белгілері жөніндегі зерттеу аумағына қатысты мәліметтер кеңістікті кескіндеу мүмкіндігі 12,5 м құрайтын жер бедерінің сандық моделі негізінде ALOS PALSAR мәліметтер базасынан алынды.

5. Еңістік (Slope). Сел тасқындары бос сынықты материалдардың еңістік арқылы сұйық күйде орын ауыстыруымен байланысты. Сондықтан да, сел тасқынының қауіптілігін және сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау кезінде еңістік мәндерінің маңызы зор (Xiao L. et al., 2020). Сондай-ақ, сел тасқындары «су – бос сынықты материал – еңістік» жүйесінің тепе-теңдігі бұзылуы нәтижесінде, яғни аталған параметрлердің бірінің шекті мәннен асып түсу жағдайында туындайтындықтан, сел қауіптілігін анықтауда бұл параметрдің рөлі жоғары екендігін атап өткен жөн. Еңістіктің мәні жоғары болған сайын, сел тасқынының жылдамдығы, тығыздығы артып, сел тасқынының биіктігі (деңгейі) жоғарылай түседі. Степанов Б.С. және Яфязова Р.К. зерттеулері (2014) бойынша сел тасқындары жиі қалыптасатын орташа және биік таулы белдеудегі (2200...3400 м) еңістігі ең жоғары аумақтар мақала шеңберінде қарастырылып отырған Үлкен және Кіші Алматы өзен алаптарына тиесілі. Еңістіктің қауіптілік дәрежесі анықтау үшін 12,5 кеңістіктік кескіндеу мүмкіндігіне ие ALOS PALSAR ЖБСМ-і қолданылды.

6. Ағын қуатының индексі (Stream

power index). SPI - ағын судың эрозиялық күшінің өлшемі болып табылады. Бұл өлшем қандай да бір топографиялық беттегі потенциалды су эрозиясын сипаттау үшін қолданылады (Dutal H., 2023). Су жинау алабының ауданы және еңістік мәндері жоғарылаған сайын, жоғарыдан төмен қарай келетін су мөлшері мен олардың жылдамдығы да арта түседі. Сол себепті, арна маңы эрозияға ұшырап, бос сынықты материалдардың едәуір мөлшері ағын арқылы тасымалдана отырып, ағын қуаты индексі мен эрозия қаупінің артуына алып келеді. Ағынның қуаттылық факторын бағалау арқылы су қорының бос сынықты материалдармен араласу аумақтары анықталып (2), зерттеліп отырған аудан қауіптілік дәрежесі бойынша зоналарға бөлінді.

$$SPI = \ln(A \cdot \tan \beta) \quad (2)$$

мұндағы, A – су жинау алабының меншікті ауданы, β – еңістік градиенті.

7. Бос сынықты материалдардың тасымалдану индексі (Sediment transport index). Сел тасқыны процесіне арнадағы грунттың қатты бөлшектерін немесе сел массасының, сондай-ақ оның құраушыларының шөгудімен сипатталатын сел қоспасының арналық қозғалысы деген анықтама берілген (Ennaji N. et al., 2022). Мур және Берч (Moore I.D. et al., 1986) сипаттаған бос сынықты материалдардың тасымалдану индексі - арна маңындағы эрозияға ұшыраған және бос сынықты материалдардың шоғырланған аумақтарын сипаттайды. Бос сынықты материалдардың тасымалдану индексінің ең жоғары мәндері тік беткейлер мен су жинау алабының эрозияға ұшыраған төменгі бөліктеріне тән (Di B.F. et al., 2008). Ал бұл индекстің төмен мәндері шөгінділердің баяу қозғалысын сипаттайды, сол себептен де, шөгінділердің жинақталуы өсімдік жамылғысына бай, су жинау алабының жоғарғы бөлігіне тән. Бұл индекс ландшафт эрозиясын жақсы сипаттайды, сондықтан бос сынықты материалдардың биік таулы аумақтан су шаятын және шөгінділер жинақталатын ауданға шоғырлануын көрсетеді. Бос сынықты материалдардың су жинау алабы бойынша тасымалдануына гравитация, еңістік және шөгінділердің шоғырлануы сияқты факторлар әсер етеді (3):

$$STI = (m + 1) \times (A / 22.13)^m \times \sin(\beta / 0.0896) \quad (3)$$

мұндағы, A - су жинау алабының меншікті ауданы, β – жергілікті жердің еңістігі, m – аудан үлесінің көрсеткіші, әдетте, ол 0,6-ға тең, n – еңістіктің құлау көрсеткіші, ол, әдетте, 1,3-ке тең.

8. Өзен желісінің жиілігі (Drainage Density) - алаптағы өзен желісі ұзындығының алап ауданына қатынасы (D , км/км²). Бұл критерий аудан шегіндегі гидрографиялық желінің даму дәрежесін көрсетеді. Өзен желісінің жиілігі жауын-шашынның мөлшеріне, геологиялық құрылымына, жер бедеріне, топырақ пен өсімдік жамылғысының сипатына байланысты (Ouma Y.O. et al., 2014). Өзен желісінің жиілігі топырақтың инфильтрациялық қабілеті төмендеген сайын жоғарылайды (Dragičević N. et al., 2019). Өзен желісінің жиілігі жоғары аудандар сел тасқынының қалыптасу және жүріп өту зонасына айналады (Петрушина М.Н., 2015). Сонымен қатар, өзен желісі жиілігінің ең жоғары мәндері жауын-шашын мол түсетін биік таулы аудандарға тән. Сондықтан сел тасқыны қауіптілік деңгейін анықтауда өзен желісінің жиілігі маңызды фактор болып табылады.

9. Өсімдік жамылғысының

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (4)$$

мұндағы NIR – жақын инфрақызыл аймақтағы көрініс, RED – қызыл аймақтағы көрініс.

10. Имараттан қашықтығы. Сел тасқындарының алдын алу, оның зиянды салдарын төмендету немесе жою мақсатында зерттеу аумағындағы Үлкен және Кіші Алматы өзен алаптарында сел тасқынынан қорғайтын имараттар салынған. Бұл имараттар аумақтың сел тасқынына ұшырау дәрежесін төмендетуге ықпал етеді. Имараттардың орналасу координаттары мұрағаттық және ведомстволық есептерден алынды.

Сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау критерийлері

Сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау үшін басты критерийлер ретінде сел қауіптілігін анықтауда қолданылған сел қауіпті объектілер (мұздықтық-мореналық көлдер (1) мен сел ошақтары (2)), биіктік (5) және еңістік (6) көрсеткіштері мен өсімдік жамылғысымен (10) қатар, зерттеу ауданындағы шаруашылық объектілер, тұрғын үйлер, халық санының тығыздығы,

қалыптандырылған индексі (Normalized difference vegetation index) – зерттеу ауданындағы өсімдіктердің саны мен сапасының сандық көрсеткіші. Өсімдік жамылғысының эрозияға қарсы әрекеті қалың қабатты шымдардың орын алуынан байқалады. Шымдар мен ағаш тамырлары беткейлік беттік ағындының эрозиялану әрекетін бәсеңдетіп, деллювиалды және коллювиалды шөгінділердің бекуіне жағдай жасайды (Dutal H, 2023). Ал ол өз кезегінде, аумақтың эрозияға ұшырау қабілетін айтарлықтай төмендетіп, сел тасқыны қуаттылығының төмендеуіне әсерін тигізеді. NDVI мәндері «-1» мен «0» аралығында болса, онда зерттеу ауданында инфрақұрылым объектілері мен қар, су, топырақ жамылғысы мен тау жыныстарының таралғандығын көрсетсе, «0» мен «1» аралығы өсімдік жамылғысына тиесілі (Doan V.L. et al., 2023). Осыған орай, зерттеліп отырған ауданның өсімдік жамылғысы кеңістіктік кескіндеу мүмкіндігі 10 м-ге ие Sentinel-2 ғарыштық түсірілімдерінің негізінде келесі формула арқылы анықталды (4).

топографиялық ылғалдылық индексі, олардың өзеннен, жол тораптарынан және селден қорғану имараттарынан қашықтығы алынды.

1. Жерді пайдалану және жер беті жамылғысы (LULC) – ағынды сулардың пайда болуы, инфильтрация және булану сияқты гидрологиялық процестердің кейбір компоненттеріне тікелей немесе жанама әсер етеді (Ouma Y.O. et al., 2014). Сол себепті, LULC арқылы зерттеу ауданындағы су объектілері, ауылшаруашылық, вегетациялық және тақыр жерлер, шаруашылық орындарының орналасу аумақтары анықталды. Соның ішінде, ауданның жерді пайдалану сұлбасы тұрғылықты халықтың жерді пайдалану түрі мен аудандағы табиғи процестер айқындалды. LULC мәндері кеңістіктік кескіндеу мүмкіндігі 10 м болатын Sentinel-2 ғарыштық түсірілімі арқылы анықталды.

2. Өзендерден қашықтығы. Шаруашылық объектілерін апатты сел тасқындарының салдарынан қорғау үшін ең алдымен сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау қажет.

Сел тасқынына ұшырайтын аумақтарға олардың өзендерден қашықтығы қатты әсер етеді, сел тасқындары сызықтық құбылыс болғандықтан, су объектілерінен алыстаған сайын, сел тасқынына ұшырау дәрежесі азайып, оларға жақын жерлердің қауіптілік дәрежесі жоғарылай түседі (Edamo M.L. et al., 2022). Зерттеу аумағындағы өзендер желісі «HydroSHEDS» базасының «HydroRIVERS» топтамасынан алынды.

3. Жолдардан қашықтығы.

Сел тасқындары өзінің жүру жолында негізінен автомобиль және темір жолдарға, көпірлерге, суару жүйелеріне, электр желілеріне, ғимараттар мен құрылыстарға зиян келтіретіндігі белгілі (Chen J. et al., 2023). Сондықтан да, жолдардан қашықтықты есептеу сел қаупін басқару кезінде жүзеге асырылатын маңызды қадамдардың бірі. Жол желісі – сел тасқыны кезінде зардап шеккен елді мекендер үшін төтенше жағдайларды жою үшін, яғни халықты эвакуациялау кезінде оның маңыздылығы артады, сол себептенде сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау кезінде жолдардың қауіптен алыс-жақындығын алдын-ала айқындап алған жөн. Зерттеу аумағына қатысты жол желісі мәліметтері «OpenStreetMap» ашық қолданыстағы жобадан алынды.

4. Халықтың тығыздығы – 1 км² аумақта тұратын халық саны. Зерттеу аумағы толықтай дерлік Алматы қаласы аумағын қамтығандықтан, Қазақстан бойынша халық тығыздығы жоғары аумаққа жатады. Сел тасқынының әсер ету зонасындағы халық санының тығыздығы сел тасқынына ұшырау деңгейіне тікелей әсер етеді, яғни халық саны тығыз орналасқан аумақтар, аумақтың сел тасқынына ұшырау мүмкіндігін арттыра түседі. Үлкен және Кіші өзен алаптары бойынша халық саны тығыздығының мәндері Алматы қаласының цифравизация басқармасынан алынды.

5. Ы л ғ а л д ы л ы қ т ы ң топографиялық индексі (TWI) – қандай да бір аумақтың тұрақты жағдайындағы ылғалдылықтың индексі болып табылады. Бұл аумақтағы су жинақталу тенденциясын сипаттайтын, гидрологиялық процесстерді сандық бағалау кезінде қолданылатын кеңінен таралған индекс (Ballarín C.,

2017). Ылғалдылықтың топографиялық индексі гидрологиялық процестерге кеңістіктік масштаб эффектісін зерттеу үшін қолданылады (Dutal H, 2023). Ол су жинау алабының әлеуетті ылғалдылығын көрсетіп, төмендегі формула арқылы анықталады (5):

$$TWI = \ln(As/\tan(\beta)) \quad (5)$$

мұндағы As – ағынды қалыптасуына үлес қосатын нақты аудан, β – градиент немесе еңістік. Бұл индекстің үлкен мәндері ылғалдың жинақталуына, оның топырақ құрамындағы мол мөлшеріне сәйкес келеді.

Аналитикалық иерархиялық процесс (АНП) әдісі арқылы әрбір критерийдің үлес салмағын анықтау

Зерттеліп отырған аудандағы сел тасқынына ұшырайтын аумақтар және сел тасқыны қауіптілігін анықтау барысында, әрбір критерийдің әсер ету үлес салмағын анықтау үшін шешім қабылдаудың математикалық моделі - аналитикалық иерархиялық процесс (Analytical hierarchy process (АНП)) қолданылды (Long Ngo, 2019). Оны басқаша шешім қабылдауды жеңілдетуге бағытталған компоненттер иерархиясын қамтитын мультикритериялық шешім қабылдау процесі деп те атайды (Saranya T. et al., 2021). АНП моделінің жұмыс істеу принципі келесідей: біріншіден, сел тасқынының қауіптілігіне және сел тасқынына ұшырайтын аумақтарға әсер етуші критерийлерінің иерархиясы анықталады. Содан соң иерархиядағы элементтердің әрбір жұбы үшін бір элементтің екіншісіне қатысты маңыздылығы оларды таңдау шкаласының негізінде жұптық салыстыру арқылы анықталады (Ершова Н.М., 2015).

АНП моделі көптеген айнымалылар немесе критерийлердің басымдылығын анықтау және таңдау кезіндегі күрделі орталарда шешім қабылдаудың тиімді, әрі қолдануға оңай әдістемесі болып табылады (Leal J.E., 2020). Ол жолдар мен бағандардан құралған жұптық матрица негізінде жүзеге асырылады. Бағандар мен жолдардағы критерийлердің салмағы маңыздылық шкаласындағы (Саати Т.Л., 1993) 1...9 аралығындағы мәндердің қатынасы арқылы анықталады (1-кесте). Критерийлердің әрқайсысының маңыздылық шкаласы

Кесте – 1

Қауіптілік дәрежесін анықтауда пайдаланылған маңыздылық шкаласы (Саати Т.Л. бойынша)

Маңыздылық шкаласы	Анықтамасы	Түсініктемесі
1	Маңыздылығы бірдей	Екі элементтің әсер ету деңгейі бірдей
3	Маңыздылығы орташа	Бір элементтің әсер ету деңгейі екіншісінен сәл артық
5	Маңыздылығы жоғары	Бір элементтің әсер ету деңгейі екінші элементтен жоғары
7	Маңыздылығы өте жоғары	Бір элементтің әсер ету деңгейі екінші элементтен өте жоғары
9	Маңыздылығы экстремалды	Бір элементтің әсер ету деңгейі екінші элементтен экстремалды жоғары
2,4,6,8 аралық мәндерді өрнектеуге болады		

бойынша мәндері таңдалып, сәйкесінше ұшырайтын аумақтарға қатысты бағанда орналасқан жекелеген критерийлермен критерийлердің әсер ету дәрежесі анықталады. басымдылығы салыстырылады. Әрбір Нәтижесінде критерийлердің критерийдің келесі деңгейге келетін критерийге үлес салмақтарын есептеу үшін қатысты маңыздылығы анықталып, сел қолданылатын жұптық қатынастардың қауіптілігіне немесе сел тасқындарына матрицалары құрастырылды (2...3-кесте).

Кесте – 2

Сел қауіптілік дәрежесін анықтаудағы критерийлер бойынша тұрғызылған жұптық қатынастар матрицалары

Критерийлер		СҚО қашықтығы	Биіктік	Еңістік	Жауын-шашын	Өзен желісінің жиілігі	SPI	STI	Топырақ	NDVI	СҚИ қашықтығы
	Маңыздылық шкаласы	1	1	2	3	5	4	7	6	4	6
СҚО қашықтығы	1	1.00	1.00	2.00	3.00	5.00	4.00	7.00	6.00	4.00	6.00
Биіктік	1	1.00	1.00	2.00	3.00	5.00	4.00	7.00	6.00	4.00	6.00
Еңістік	2	0.50	0.50	1.00	1.50	2.50	2.00	3.50	3.00	2.00	3.00
Жауын-шашын	3	0.33	0.33	0.67	1.00	1.67	1.33	2.33	2.00	1.33	2.00
Өзен желісінің жиілігі	5	0.20	0.20	0.40	0.60	1.00	0.80	1.40	1.20	0.80	1.20
SPI	4	0.25	0.25	0.50	0.75	1.25	1.00	1.75	1.50	1.00	1.50
STI	7	0.14	0.14	0.29	0.43	0.71	0.57	1.00	0.86	0.57	0.86
Топырақ	6	0.17	0.17	0.33	0.50	0.83	0.67	1.17	1.00	0.67	1.00
NDVI	4	0.25	0.25	0.50	0.75	1.25	1.00	1.75	1.50	1.00	1.50
СҚИ қашықтығы	6	0.17	0.17	0.33	0.50	0.83	0.67	1.17	1.00	0.67	1.00

Жұптық қатынастар матрицасын шыққан сандардың геометриялық орташа тұрғызу кезінде әрбір критерийдің маңыздылық шкаласы бойынша мәндері таңдалады. Ол үшін (Саати Т.Л., 1993):

1. Әр жолдың элементтерін қосу

Таңдалған мәндердің арақатынасы арқылы арқылы және оны барлық элементтердің

Кесте – 3

Сел тасқынына ұшырау дәрежесін анықтаудағы критерийлер бойынша тұрғызылған жұптық қатынастар матрицалары

Критерийлер	Өзендерден қашықтығы	LULC	Халықтығыздығы	СҚО қашықтығы	Еністік	Жолдардан қашықтығы	Биіктік	TWI	NDVI	СҚИ қашықтығы	
	Маңыздылық шкаласы	4	2	2	1	4	1	1	5	3	6
Өзендерден қашықтығы	4	1.00	0.50	0.50	0.25	1.00	0.25	0.25	1.25	0.75	1.50
LULC	2	2.00	1.00	1.00	0.50	2.00	0.50	0.50	2.50	1.50	3.00
Халықтығыздығы	2	2.00	1.00	1.00	0.50	2.00	0.50	0.50	2.50	1.50	3.00
СҚО қашықтығы	1	4.00	2.00	2.00	1.00	4.00	1.00	1.00	5.00	3.00	6.00
Еністік	4	1.00	0.50	0.50	0.25	1.00	0.25	0.25	1.25	0.75	1.50
Жолдардан қашықтығы	1	4.00	2.00	2.00	1.00	4.00	1.00	1.00	5.00	3.00	6.00
Биіктік	1	4.00	2.00	2.00	1.00	4.00	1.00	1.00	5.00	3.00	6.00
TWI	5	0.80	0.40	0.40	0.20	0.80	0.20	0.20	1.00	0.60	1.20
NDVI	3	1.33	0.67	0.67	0.33	1.33	0.33	0.33	1.67	1.00	2.00
СҚИ қашықтығы	6	0.67	0.33	0.33	0.17	0.67	0.17	0.17	0.83	0.50	1.00

қосындысына бөлу арқылы қалыптандыру (нормализовать) керек; алынған нәтижелердің қосындысы 1-ге тең болады. Алынған вектордың бірінші элементі бірінші объектінің басымдығын көрсетеді, екіншісі - екінші объект және т. б.

2. Әр бағанның элементтерін қосып, алынған нәтижелердің (қосындылардың) кері мәндерін алу керек. Әрбір элемент қосындысы 1-ге тең болатындай етіп, қалыптандыру керек, ол үшін кері шаманың әрқайсысын барлық кері шамалардың қосындысына бөліге болады.

3. Әр бағанның элементтерін сол бағанның элементтерінің қосындысына бөлу керек (яғни бағанды қалыптандыру керек), содан кейін алынған әрбір жолдың элементтерін қосып, қосындыны жол элементтерінің санына бөлу керек. Бұл қалыптандырылған бағандар бойынша орташалау процесі.

4. Әр жолдың n элементтерін көбейтіп, n-ші дәрежелі түбір астынан шығару керек. Алынған сандарды қалыптандыру керек. Бұл процесті келесі формуланың көмегімен өрнектеуге болады (6):

$$GM_{\bar{y}} = \sqrt[n]{y_1 y_2 y_3 \dots y_n} \tag{6}$$

Сел қауіптілігі мен сел тасқындарына ұшырайтын аумақтарға қатысты әрбір критерийлер бойынша ГАЗ ортасында жекелеген қабаттар жасалып, қауіптілік пен сел тасқынына ұшырау мүмкіндігінің 1-5-ке дейінгі дәрежелері мен олардың әрбір критерийге қатысты анықталған үлес салмағы негізінде қабаттарды қабаттастыру (overlay) арқылы сел қауіптілігі мен сел тасқынына ұшырайтын аумақтар дәрежесі бағаланды.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Сел қауіптілігі (hazard) дегеніміз зиян келтіруі мүмкін құбылыстардың, оқиғалардың, процестердің көрініс беру мүмкіндігі (Медеу А.Р., 2011; Медеу А.Р. и др., 2018; Медеуов А. и др., 1993; Медеуов А.Р. и др., 1996). Қауіптілік қауіп арқылы айқындалады. Қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін қауіпті талдау және бағалау қажет.

Гладкевич, Терский, Фролова (Гладкевич Г.И. и др., 2012) зерттеулеріне сүйеніп отырып, сел қауіптілігін қалыптасу және жүріп өту уақыты мен орны айқын әлеуетті қиратушы күшке ие сел құбылысының көрініс беру ықтималдығы деп түсіндіруге болады. Сел қауіптілігі аумақтағы сел қалыптастырушы факторлардың кешені арқылы анықталады, ол өз кезегінде, сел тасқынының дамуы мен қарқындылығына әсер етеді.

Сел тасқынына ұшырау мүмкіндігі (vulnerability) әлеуетті сел тасқынының жүріп өтуі нәтижесінде туындайтын шығын дәрежесі (Гладкевич Г.И. и др., 2012). Шығын түрлері, әдетте, адам өлімімен және шаруашылық орындардың, соның ішінде, ғимараттар, құрылыстар, инфрақұрылым, мәдени құндылықтар, мүліктер, экономикалық қызметтердің бұзылуымен байланысты. Сел тасқынына ұшырау мүмкіндігі сел қауіптілігіне әлеуметтік, физикалық, экономикалық құрылымдардың қарсы тұра алу қабілетінің функциясы болып табылады.

Сондай-ақ, ұшырау мүмкіндігі (МГЭИК, 2012) зерттеулеріне сәйкес, аумақтың немесе белгілі бір учаскенің жағымсыз әсерлерге бейімділігі ретінде қарастырылған. Ұшырау мүмкіндігі динамикалық сипаттама, ол түрлі масштабта уақыт және кеңістік бойынша өзгеріп отырады, сонымен қатар экономикалық, географиялық, демографиялық, мәдени, институционалды, басқарушылық және экологиялық факторларға тәуелді болады. Ұшырау мүмкіндігі қауіпті құбылыстарға қатысты шығын түсінігімен тікелей байланысты, дегенмен, әлі күнге дейін толыққанды зерттеулер арқылы бағаланбаған. Сондай-ақ, қазақстандық зерттеулерде (Медеу А.Р. и др., 2004, 2019; Медеу А.Р. и др., 2003) сел тасқындарына қатысты қауіптілік және қауіп ұғымдары кеңінен қолданылып, сел тасқындарына ұшырауы мүмкін аумақтарды анықтау назардан сырт қалған.

Ұшырау мүмкіндігі – кез келген материалдық объектінің белгілі бір генезистегі, қарқындылықтағы апатты құбылыстың жүріп өту нәтижесінде табиғи немесе белгіленген функцияларын орындау қабілетін ішінара немесе толық жоғалту қасиеті ретінде анықталады (Бурова В.Н., 2012). Объектілердің апатқа ұшырау мүмкіндігін зерттеу

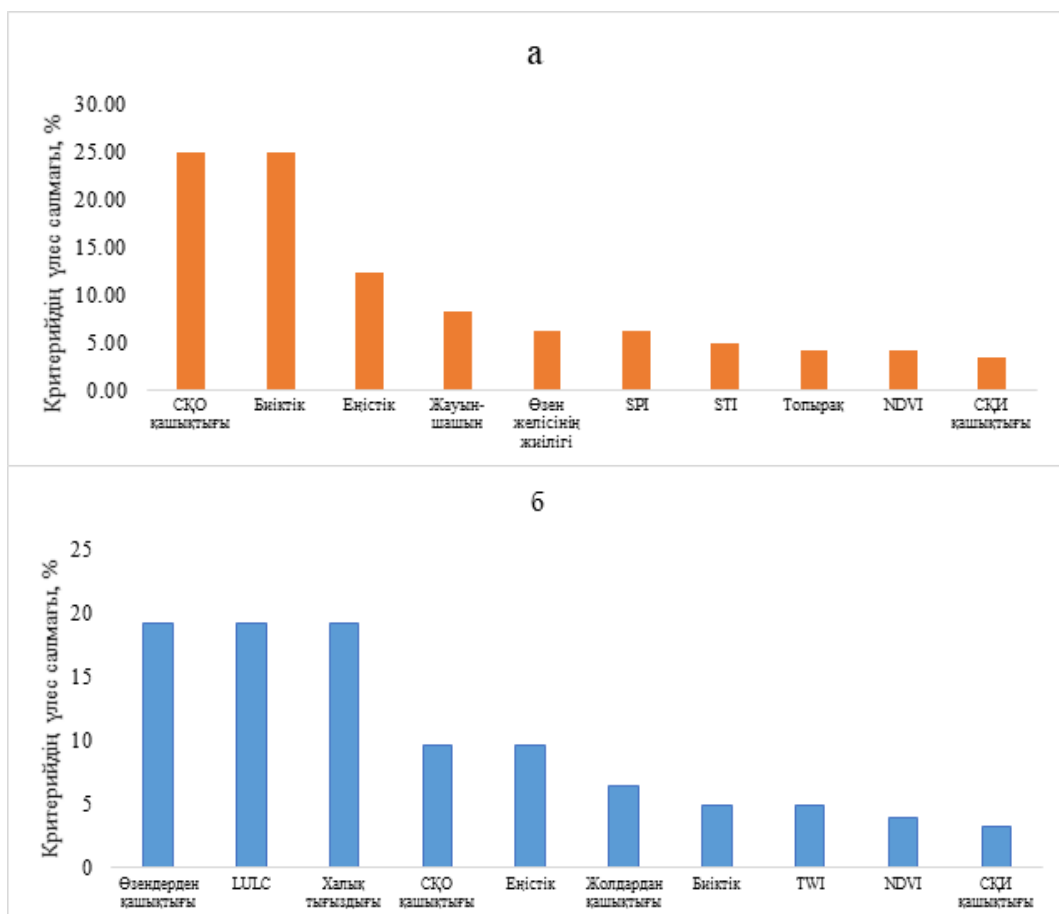
нақты объектілерден, яғни «төменнен» жүзеге асырылады. Ұшырау көрсеткіштері жоғары дәрежелі объект шегіндегі бастапқы объект-элементтердің құрылымдық қатынастарын ескере отырып, келесі дәреженің жинақталған көрсеткіштеріне біріктіріледі. Ұшырау мүмкіндігін бағалау мақсатында объектілерді типтеу зиянды әсер етудің түрі мен механизмімен анықталады және жұмыстың детальдылық деңгейін ескере отырып, апатты табиғи және техно-табиғи процестердің әрқайсысына қатысты жүзеге асырылады.

Қазіргі уақытта сел тасқынына ұшырайтын аумақтағы шаруашылық объектілерді анықтау қиынға соғады. Бұл қауіпті табиғи құбылыстардың келтірген шығын мөлшері туралы статистикалық мәліметтердің жеткіліксіз болуымен, сондай-ақ оларды бағалаудың әртүрлі деңгейлерінде сел тасқындарының әсер ету зонасындағы реципиенттердің сел тасқындарына төтеп беру мүмкіндігін көрсететін модельдердің жеткіліксіз әзірленуімен байланысты. Алайда, бұл зерттеуде Үлкен және Кіші Алматы өзен алаптарындағы сел тасқынына ұшырауы мүмкін объектілердің мәліметтері жинақталып, зерттеу ауданы үшін алғашқы рет сел тасқынына ұшырайтын аумақтар картасы жасалды.

Сел тасқынының қауіптілігі және сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау мақсатында таңдалған критерийлердің үлес салмағы ArcGIS 10.8 бағдарламасындағы АНР функциясы негізінде есептелді (За, ә-сурет).

Сел тасқынының қауіптілігін анықтауда бағаланған критерийлердің маңыздылық дәрежесі

Сел тасқындары «су – бос сынықты материал – еңістік» жүйесінің тепе-теңдігі бұзылуы нәтижесінде туындайтындықтан, сел тасқынының қауіптілік критерийлерін таңдау кезінде: сел тасқынының «су» құраушысын анықтаушы критерийлер ретінде мұздықтық-мореналық көлдерден қашықтығы, жауын-шашын мөлшері, өзен желісінің жиілігі, ағынды қуатының индексі сияқты критерийлер алынды. Сел тасқынының қатты құраушысын құрайтын «бос-сынықты материалдар» топырақ жамылғысы, сел ошақтарынан қашықтығы, бос сынықты материалдардың



Сур. 3. Аналитикалық иерархиялық процесс арқылы анықталған критерийлердің үлес салмағы

а) сел қауіптілігін анықтаудағы критерийлер

ә) сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтаудағы критерийлер

тасымалдану индексі арқылы айқындалды. Сел тасқынының қалыптасуына ықпал ететін «еңістікті» анықтаушы критерийлер ретінде биіктік және еңістік мәндері алынды. Өсімдік жамылғысының қалыптандырылған индексі мен имараттан қашықтығы сел тасқынының қауіптілік дәрежесіне теріс әсер ететін критерийлер ретінде пайдаланылды.

Кіші Алматы мен Үлкен Алматы өзен алаптарындағы сел тасқынының қауіптілігін анықтау барысында қолданылған критерийлердің маңыздылық дәрежелері 4-кестеде көрсетіліп, олардың негізінде 1:25000 масштабтағы карта тұрғызылды (4-сурет).

Сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтауда бағаланған критерийлердің үлес салмағы

Сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау олардың көрініс беру ауданы мен әсер ету зонасындағы реципиенттерге негізделді. Көрініс беру ауданы сел алаптары шегінде

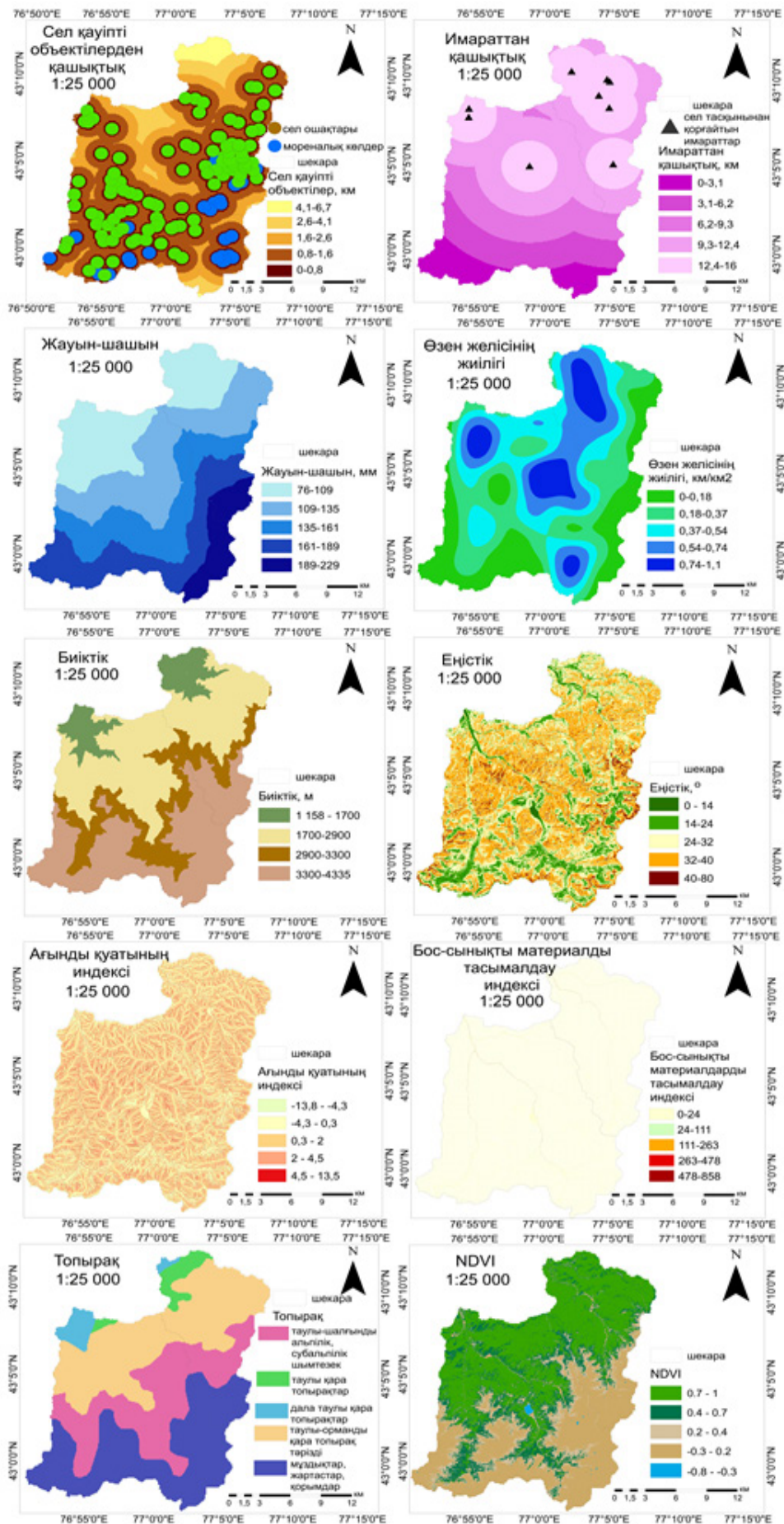
анықталды. Классикалық сел алабы сел тасқындары қалыптасу (басталу), тасымалдау (транзит), шөгу (аккумуляция) зоналарын қамтиды (Молдахметов М.М. т.б., 2012). Сел қауіпті объектілерден қашықтығы, биіктік, еңістік сияқты критерийлер сел алабының қалыптасу (басталу) зонасын сипаттаса, TWI, өзендерден қашықтығы, NDVI критерийлері тасымалдау (транзит) зонасындағы сел қауіпін ұшырау дәрежесін айқындаса, имараттардан қашықтығы шөгу (аккумуляция) зонасының сипатын көрсетеді. Ал әсер ету зонасындағы реципиенттер ретінде халық тығыздығы, жолдан қашықтығы және LULC сияқты критерийлер таңдалды.

Сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды анықтау критерийлерінің маңыздылық дәрежелері 5-кестеде келтірілген.

Сел тасқынына ұшырайтын аумақтар критерийлерінің үлес салмағын анықтау барысында 1:25000 масштабтағы сел тасқынына ұшырайтын аумақтар картасы тұрғызылды (5-сурет).

Сел қауіптілігі критерийлерінің маңыздылық дәрежесі

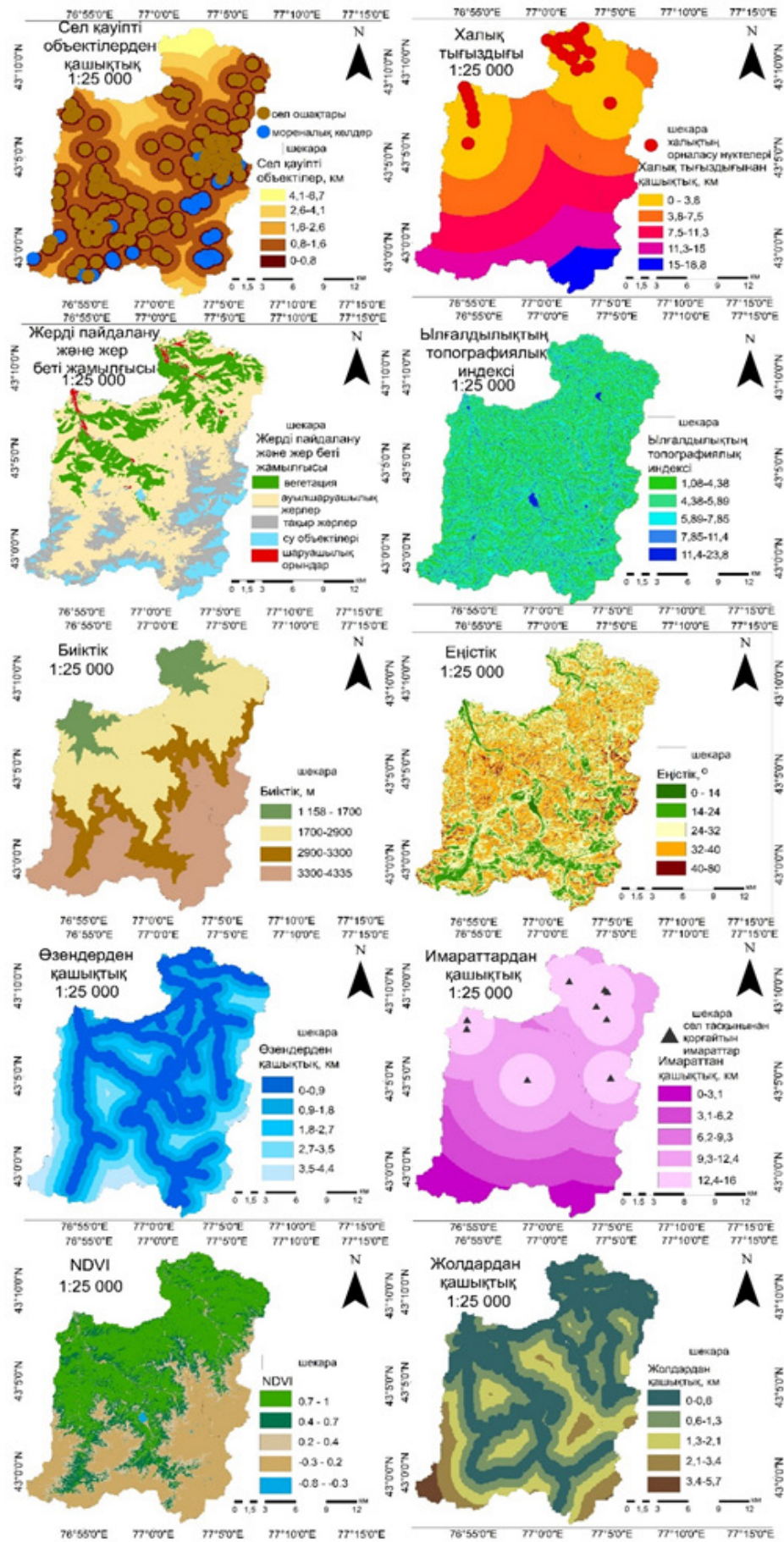
Сел қауіптілігінің критерийлері	Критерийлердің өлшем бірліктері	Критерийлердің қауіптілік дәрежесі			Қауіпті учаске ауданы	
		мәндері	сипаттамасы	категориясы	км ²	%
Сел қауіпті объектілерден қашықтығы	км	0...0,8	өте жоғары	5	174,1	43,8
		0,8...1,6	жоғары	4	119,5	30
		1,6...2,6	орташа	3	65,5	16,5
		2,6...4,1	төмен	2	27,1	6,8
		4,1...6,7	аса төмен	1	11,6	2,9
Жауын-шашын мөлшері	мм	76...109	аса төмен	1	99	24,9
		109...135	төмен	2	108,1	27,2
		135...161	орташа	3	79,8	20,1
		161...189	жоғары	4	76,3	19,2
		189...229	өте жоғары	5	34,5	8,7
Топырақ жамылғысы	денгей	таулы-шалғынды альпілік, субальпілік шымтезек шаймаланған таулы қара топырақтар	аса төмен	1	104,3	26,2
		дала таулы қара топырақтар	төмен	2	14,4	3,6
		таулы-орманды қара топырақ тәрізді	орташа	3	12,5	3,1
		мұздықтар, жартастар, қорымдар	жоғары	4	135,4	34
			өте жоғары	5	131,2	33
Биіктік	м	1158...1700	төмен	2	38,8	9,8
		1700...2900	орташа	3	135,2	34
		2900...3300	өте жоғары	5	72,9	18,3
		3300...4335	жоғары	4	150,8	37,9
Еңістік	°	0...14	аса төмен	1	8,8	2,2
		14...24	төмен	2	60	15,1
		24...32	орташа	3	162,4	40,8
		32...40	жоғары	4	152,3	38,3
		40...80	өте жоғары	5	14,4	3,6
Ағынды қуатының индексі		-13,8...-4,3	аса төмен	1	395	99,3
		-4,3...0,3	төмен	2	2	0,5
		0,3...2	орташа	3	0,5	0,1
		2...4,5	жоғары	4	0,3	0,1
		4,5...13,5	өте жоғары	5	0,1	0
Бос сынықты материалдардың тасымалдану индексі		0...24	аса төмен	1	395	99,3
		24...111	төмен	2	2	0,5
		111...263	орташа	3	0,5	0,1
		263...478	жоғары	4	0,3	0,1
		478...858	өте жоғары	5	0,1	0
Өзен желісінің жиілігі	км/км ²	0...0,18	аса төмен	1	91	22,9
		0,18...0,37	төмен	2	105,2	26,5
		0,37...0,54	орташа	3	93,5	23,5
		0,54...0,74	жоғары	4	68,4	17,2
		0,74...1,1	өте жоғары	5	39,7	10
NDVI	денгей	-0,8...-0,3	өте жоғары	5	0,8	0,2
		-0,3...0,2	жоғары	4	125,1	31,5
		0,2...0,4	орташа	3	43,9	11
		0,4...0,7	төмен	2	63,9	16,1
		0,7...1	аса төмен	1	164,1	41,3
Имараттан қашықтығы	км	0...3,1	өте жоғары	5	35,3	8,9
		3,1...6,2	жоғары	4	56,5	14,2
		6,2...9,3	орташа	3	59,9	15,1
		9,3...12,4	төмен	2	128	32,2
		12,4...16	аса төмен	1	118,1	29,7



Сур. 4. Сел қауіптілігі критерийлері

Сел тасқынына ұшырайтын аумақтар критерийлерінің маңыздылық дәрежесі

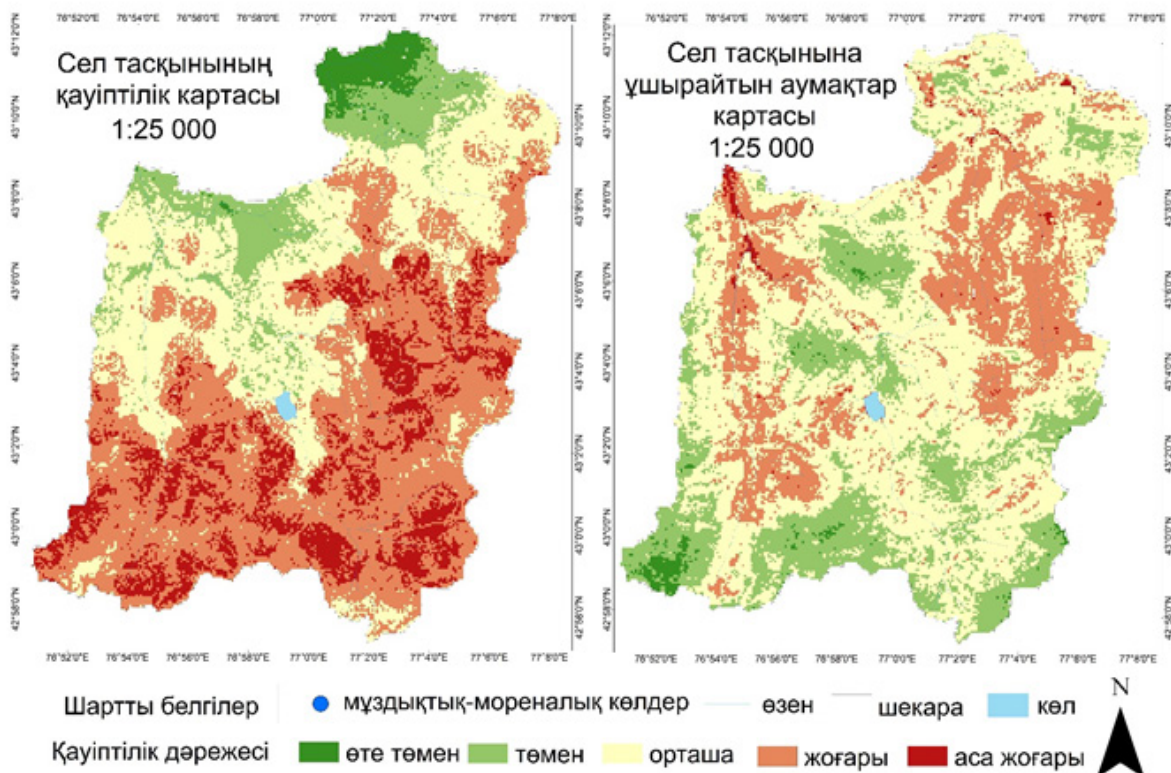
Сел тасқынына ұшырайтын критерийлері	Критерийлердің өлшем бірліктері	Критерийлердің қауіптілік дәрежесі			Сел тасқынына ұшыраған учаске ауданы	
		мәндері	сипаттамасы	категориясы	км ²	%
Сел қауіпті объектілерден қашықтығы	км	0...0,8	өте жоғары	5	174,1	43,8
		0,8...1,6	жоғары	4	119,5	30
		1,6...2,6	орташа	3	65,5	16,5
		2,6...4,1	төмен	2	27,1	6,8
		4,1...6,7	аса төмен	1	11,6	2,9
Халық тығыздығы	адам/км ²	0...3,8	өте жоғары	5	114,7	28,8
		3,8...7,5	жоғары	4	99,4	25
		7,5...11,3	орташа	3	81	20,4
		11,3...15	төмен	2	73,5	18,5
		15...18,8	аса төмен	1	29,2	7,3
LULC		вегетация	аса төмен	1	79,7	20
		ауылшаруашылық жерлер	төмен	2	205,6	51,7
		тақыр жер	орташа	3	75,9	19,1
		су объектілері	жоғары	4	33,2	8,3
		шаруашылық орындар	өте жоғары	5	3,5	0,9
Биіктік	м	1158...1700	төмен	2	38,8	9,8
		1700...2900	орташа	3	135,2	34
		2900...3300	өте жоғары	5	72,9	18,3
		3300...4335	жоғары	4	150,8	37,9
Еңістік	°	0...14	аса төмен	1	8,8	2,2
		14...24	төмен	2	60	15,1
		24...32	орташа	3	162,4	40,8
		32...40	жоғары	4	152,3	38,3
		40...80	өте жоғары	5	14,4	3,6
Имараттан қашықтық	км	0...3,1	өте жоғары	5	35,3	8,9
		3,1...6,2	жоғары	4	56,5	14,2
		6,2...9,3	орташа	3	59,9	15,1
		9,3...12,4	төмен	2	128	32,2
Өзеннен қашықтық	км	12,4...16	аса төмен	1	118,1	29,7
		0...0,9	өте жоғары	5	150,8	37,9
		0,9...1,8	жоғары	4	109,2	27,5
		1,8...2,7	орташа	3	73,7	18,5
		2,7...3,5	төмен	2	48,3	12,1
Жолдан қашықтық	км	3,5...4,4	аса төмен	1	15,7	3,9
		0...0,6	өте жоғары	5	174,1	43,8
		0,6...1,3	жоғары	4	118	29,7
		1,3...2,1	орташа	3	70,7	17,8
		2,1...3,4	төмен	2	28,9	7,3
NDVI	денгей	3,4...5,7	аса төмен	1	6,1	1,5
		-0,8...-0,3	өте жоғары	5	164,1	41,3
		-0,3...0,2	жоғары	4	63,9	16,1
		0,2...0,4	орташа	3	43,9	11
		0,4...0,7	төмен	2	125,1	31,5
TWI		0,7...1	аса төмен	1	0,8	0,2
		1,08...4,38	аса төмен	1	106	26,6
		4,38...5,89	төмен	2	172,1	43,3
		5,89...7,85	орташа	3	87,3	22
		7,85...11,4	жоғары	4	25	6,3
		11,4...23,8	өте жоғары	5	7,4	1,9



Сур. 5. Сел тасқынына ұшырайтын аумақтарды бағалау критерийлері

Жоғарыда келтірілген критерийлер АНР әдісі негізінде талданып, қауіптілік дәрежесі бойынша жіктеліп (reclass), ГАЗ ортасындағы «Weighted Overlay» функциясы арқылы қабаттастырылды. Әрбір критерийді маңыздылық дәрежесі бойынша қабаттастыру арқылы зерттеу ауданындағы сел тасқынының қауіптілік картасы және сел тасқынына ұшырайтын аумақтар картасы (1:25 000) жасалды (6-сурет). Өзірленген карта бойынша зерттеу аумағы қауіптілік дәрежесі бойынша 5 категорияға

(1-аса төмен, 2-төмен, 3-орташа, 4-жоғары, 5-өте жоғары) жіктелді. Жалпы ауданы 397,8 км² құрайтын Үлкен және Кіші Алматы өзен алаптарындағы қауіптілігі өте жоғары аумақ – 116,2 км², жоғары – 103,2 км², орташа – 90,9 км², төмен – 63,4 км², өте төмен – 24,2 км² тең. Ал, зерттеу ауданының сел тасқынына ұшырау мүмкіндігі бойынша өте жоғары аумақ – 52,9 км², жоғары – 100,5 км², орташа – 116,5 км², төмен – 93,7 км², өте төмен – 34,6 км² құрады.



Сур. 6. Үлкен және Кіші Алматы өзен алабындағы сел тасқынының қауіптілік және сел тасқынына ұшырайтын аумақтар картасы

ҚОРЫТЫНДЫ

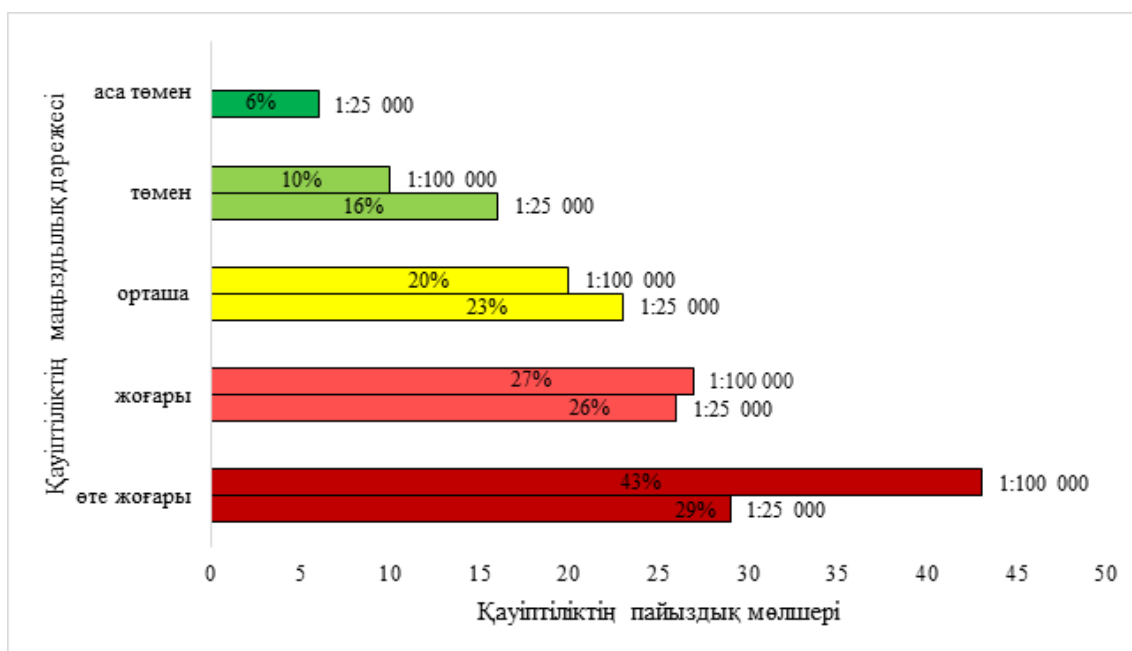
Үлкен және Кіші Алматы өзен алаптары еліміздегі сел құбылыстары белсенді қалыптасатын аумақтарының бірі (Медеу А.Р., 2009). Сондай-ақ зерттеу ауданының етегінде еліміздегі қарқынды игерілген, 2 миллион халқы бар (Бюро национальной статистики агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан, в.п.), шаруашылық, экономикалық және мәдени орындардың ортасы болып табылатын Алматы қаласы орналасқан. Сол себептен де, зерттеліп отырған аудан селдік тұрғыдан жете зерттелген ауданға жатады (Молдахметов М.М. т.б., 2011). Оған дәлел ретінде соңғы жылдары жүзеге асы-

рылған, мемлекет тарапынан қаржыландырылған ғылыми жобалар мен ізденістерді келтіруге болады.

Солардың бірі ретінде география және су қауіпсіздігі институты мамандарының 2011 ж. әзірлеген Үлкен және Кіші Алматы алаптары үшін сел қауіптілігінің 1:100 000 масштабтағы картасының нәтижелері (Медеу А.Р. и др., 2018; Медеу А.Р. и др., 2019; Медеу А.Р. и др., 2020) басшылыққа алынды.

Мақаланы әзірлеу барысында қол жеткізілген нәтижелерді жоғарыда аталған Іле Алатауының сел қауіптілігі (1:100 000) картасының фрагментті нәтижелерімен салыстыру

төмендегіні көрсетті (7-сурет).



Сур. 7. Іле Алатауының сел қауіптілігі (1:100 000) картасының фрагментті нәтижелерін қол жеткізілген Үлкен және Кіші Алматы өзен алабының сел қауіптілігі (1:25 000) картасымен салыстыру нәтижелері

Салыстыру нәтижесі (Медеу А.Р. и др., 2018; Медеу А.Р. и др., 2019; Медеу А.Р. и др., 2020) келтірілген карталарда қауіптілігі «аса төмен» категория ретінде ысырынды конус аумағын немесе суайрық сызығы бойынша таудан шыға беріс жерден кейінгі учаскелерді көрсетті. Сондай-ақ қауіптілігі «аса жоғары» категорияға жататын аумақтардың жалпы үлесі 43% құраса, АНР әдісі бойынша анықталған қауіптілігі «өте жоғары» аумақ 29 % құрады. Ал, қауіптілік дәрежесі «төмен», «орташа», «жоғары» категориялар бойынша аумақтар үлес салмағының айырмашылығы мардымсыз.

Ұсынылып отырған мақала аясында сел қаупін (mudflow risk) бағалаудың негізгі құраушылары болып саналатын сел қауіптілігі мен сел тасқынына ұшырайтына аумақтарды анықтау мүмкіндіктері мен жолдары қарастырылған.

Климаттың ғаламдық жылынуы жағдайында биік таулы аймақтағы гидрометеорологиялық, гляциологиялық, геоморфологиялық, геоботаникалық өзгерістердің әсерінен зерттеу ауданындағы сел тасқыны қаупін қайта бағалауды қарастырған жөн. Ол үшін ұсынылып отырған мақаладағы қашықтықтан зондтау және ГАЗ технологияларын қолдану жолдары, сондай-ақ мәліметтерді талдау әдістері сел қаупін бағалауда сенімді нәтиже берері анық.

Сел қаупін бағалау сел қауіптілігі мен сел

тасқынына ұшырайтын аудандарды есепке алу негізінде жүзеге асырылуы керек. Ал сел қаупі дегеніміз белгілі бір уақыт аралығында нақты бір ауданда сел қауіптілігінің орын алуымен байланысты күтілетін шығындар арқылы түсіндіріледі (Гладкевич Г.И. и др., 2012).

Сел қаупі – аумақтағы әлеуметтік, экологиялық және экономикалық сфераларға сел тасқынының теріс әсер ету қауіптілігі. Қандай да бір аумақтағы сел қаупінің шамасы қуаттылығы әр түрлі сел тасқындарының қалыптасу ықтималдығына (қалыптасу қаупі) және олардың адамға, табиғатқа, шаруашылық объектілеріне келтіретін ықтимал шығынына (әсер ету қаупі) байланысты (Акимов В.А. и др., 2004; Медеу А.Р., и др., 2018; Медеу А.Р. и др., 2004; Медеу А.Р., 2003; Тасболат Б. и др., 2015).

Мультикритериялық шешім қабылдау әдісі арқылы біріктірілген сел тасқынының қауіптілік картасы және сел тасқынына ұшырайтын аумақтар картасы апатты сел тасқыны кезінде әрекет ету және авариялық-құтқару қызметтерін ұйымдастырумен айналысатын ұйымдар үшін пайдалы ресурс бола алады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. Риски в природе, техносфере, обществе и экономике // Деловой экспресс, 2004 г.

2. Алматы қаласы цифрландыру басқармасының қолдауымен «Digital Almaty». <https://digital-almaty.kz/ru/content/karta-naseleniya-goroda-almaty>
3. Баймолдаев Т., Виноходов В. Казселезащита: оперативные меры до и после стихии // Алматы: Бастау, 2007 г.
4. Баймолдаев Т.А., Касенов М.К., Мусина А.К., Раймбекова Ж.Т. Пространственно-временной анализ распределения селевых явлений и пути предупреждения и снижения их разрушительных воздействий в горных и предгорных районах Казахстана // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 5-й Международной конференции, 2018 г.
5. Бурова В.Н., Заиканов В.Г., Заиканова И.Н., Минакова Т.Б., Пырченко В.А., Булдакова Е.В., Сависько И.С. Подходы к оценке уязвимости объектов экономики и территорий при возникновении ЧС природного характера // В Мавлянова Н.Г. (Ред.), Проблемы снижения природных опасностей и рисков. Материалы Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК-2012» (с. 279–284). Российский университет дружбы народов, 2012 г.
6. Бюро национальной статистики агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. <https://stat.gov.kz/ru/region/>
7. Вилесов Е.Н. Изменение состояния оледенения Северного макросклона Иле Алатау за 60 лет (1955...2015 гг.) // Гидрометеорология и экология, №3, 2015 г., с. 56–68.
8. Гладкевич Г.И., Терский П.Н., Фролова Н.Л. Оценка опасности наводнений на территории Российской Федерации // Водное хозяйство России, №2, 2012 г., с. 29–44.
9. Ершова Н.М. Принятие решений на основе метода анализа иерархий // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, №9(210), 2015 г., с. 39–46.
10. Карта селевой опасности территории Республики Казахстан // Алматы, 2015 г.
11. Колотилин Н.Ф., Медеуов А., Тютюкова Н.А., Рындина В.Р., Попов Н.В. Карта фоновой оценки селеопасности территории Казахской ССР // 1989 г.
12. Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар министрлігі <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer?lang=kk>
13. Медеу, А. Р., Благовещенский, В. П., Ранова, С. У., Касаткин, Н. Е., Касенов, М. К., Раймбекова, Ж. Т. Система противоселевых мероприятий в Заилийском Алатау // В Черноморец С.С., Висхаджиева К.С. (Ред.), Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 6-й Международной конференции, с. 39–48, 2020 г.
14. Медеу А.Р. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций // Алматы: Институт географии, 2009 г.
15. Медеу А.Р. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Основы управления // Том 1, Алматы: Институт географии, 2011 г.
16. Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Ранова С.У., Гуляева Т.С., Жданов В.В., Танбаева А.А., Касаткина Т.А., Диких И.А. Селебезопасность Республики Казахстан: научное обоснование системы обеспечения селебезопасности в горных и предгорных районах Иле Алатау // Отчет о научно-исследовательской работе, 2018 г.
17. Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Ранова С.У., Гуляева Т.С., Жданов В.В., Танбаева А.А., Касаткина Т.А., Диких И.А. Селебезопасность Республики Казахстан: научное обоснование системы обеспечения селебезопасности в горных и предгорных районах Иле Алатау // Отчет о научно-исследовательской работе, 2019 г.
18. Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Ранова С.У., Гуляева Т.С., Жданов В.В., Танбаева А.А., Касаткина Т.А., Диких И.А. Селебезопасность Республики Казахстан: научное обоснование системы обеспечения селебезопасности в горных и предгорных районах Иле Алатау // Отчет о научно-исследовательской работе, 2020 г.
19. Медеу А.Р., Баймолдаев Т.А., & Киренская Т.Л. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Антология селевых явлений и их исследования // Том 4, Алматы: Институт географии, 2016 г.
20. Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Баймолдаев Т.А., Киренская Т.Л., Степанов Б.С. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Основы мониторинга в Иле Алатау // Том 2, Алматы: Институт географии, 2018 г.
21. Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Ранова С.У. Оценка и картографирование селевой опасности в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ), №3(60), 2019 г. с. 9–13.
22. Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Степанов Б.С., Ранова С.У., Камалбекова А.Н., Султанбекова Б.М. Мониторинг селевой опасности в Иле Алатау. Вопросы географии и геоэкологии, №2, 2018 г., с. 52–60.
23. Медеу А.Р., Киренская Т.Л. Селевые риски и методы их оценки // Материалы Международного симпозиума «Геологический риск: оценка и уменьшение», 2003 г., с. 14–17.
24. Медеу А.Р., Киренская Т.Л., Тасболат Б., Есжанова А.С., Аскарова М.А. Оценка риска селевого воздействия // Вестник КазНУ. Серия географическая., №2, 2004 г., с.104–108.
25. Медеуов А., Колотилин Н.Ф., Керемкулов В.А. Сели Казахстана // Алматы, 1993 г.
26. Медеуов А.Р. Научные основы управления селевыми процессами сейсмоактивных горных геосистем Казахстана // [Автореф. ... доктора геогр. наук.], 2002 г.
27. Медеуов А.Р., Нурланов М.Т. Селевые явления сейсмоактивных территорий Казахстана (Проблемы управления) // Каржы-каражат, Алматы, 1996 г.
28. Молдахметов М. М., Мусина А.Қ.. Сел қауіпін ауыздықтау процесін ұйымдастыру // КазҰУ хабаршысы. География сериясы, №1(30), 2010 ж., б. 83–88.
29. Молдахметов М.М., Мусина А.К. Қазақстан Республикасы сел қауіпті аудандарының зерттелгенділігін бағалау жөнінде // КазҰУ хабаршысы. География сериясы, №2(33), 2011 ж., б. 34–37.
30. Молдахметов М.М., Мусина А.К., & Айдарбеков Д.Ж. Іле Алатауындағы сел ошақтарының биіктік белдеу бойынша үлестірілуі // Гидрометеорология және экология, №2, 2012 ж., б. 192–202.

31. Ө.О.Оспанов атындағы Қазақ топырақта-ну және агрохимия ғылыми-зерттеу институ-ты. (2005). Жетісу алабының топырақ картасы.
32. Петрушина М.Н. Влияние лавинной и селевой активности на современное состояние ландшафтов Западного Кавказа // Вестник Московского государственного гуманитарного университета им. М.А. Шолохова. Серия «Социально-экологические технологии», №1(2), 2015 г.
33. Саати Т. Метод анализа иерархий // Перевод с английского Р.Г. Вачнадзе, Москва «Радио и связь», 1993 г.
34. Соколов С.И., Ассинг И.А., Курмангалиев А.Б., Серпиков С.К. Почвы Алма-Атинской области // Институт почвоведения, 1962 г.
35. Специальный доклад межправительственной группы экспертов по изменению климата. Управление рисками экстремальных явлений и бедствий для содействия адаптации к изменению климата // 2012 г.
36. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Селевые процессы и селетехнические сооружения // Том 3, Алматы: Институт географии, 2014 г.
37. Тасболат Б., Уразбаев А.К., Мұса К.Ш., Кожобекова З. Картографическое районирование селевого риска (на примере горных и предгорных районов Юго-Восточного Казахстана) // Вестник КазНУ. Серия Географическая, №1(40), 2015 г., с. 273–280.
38. Яфязова Р.К. Природа селей Заилийского Алатау: Проблемы адаптации // Алматы, 2007 г.
39. ASF Data Search. <https://search.asf.alaska.edu/>
40. Ballerine, C. Topographic Wetness Index Urban Flooding Awareness Act Action Support Will and DuPage Counties // Illinois Topographic Wetness Index Urban Flooding Awareness Act Action Support, 2017.
41. Bolch T., Peters J., Yegorov A., Pradhan B., Buchroithner M., Blagoveshchensky V. Identification of potentially dangerous glacial lakes in the northern Tien Shan. *Natural Hazards*, №59, 2012, pp. 1691–1714. https://doi.org/10.1007/978-3-642-25495-6_12
42. Chen J., Gao H., Han L., Yu R., Mei G. Susceptibility Analysis of Glacier Debris Flow Based on Remote Sensing Imagery and Deep Learning: A Case Study along the G318 Linzhi Section. *Sensors*, №23(14), 2023. <https://doi.org/10.3390/s23146608>
43. Chigrinets, A. G., Duskeyev, K. K., Mazur, L. P., Chigrinets, L. Y., Akhmetova, S. T., Mussina, A. K. Evaluation and Dynamics of the Glacial Runoff of the Rivers of the Ile Alatau Northern Slope in the Context of Global Warming. *International Journal of Engineering Research and Technology*, №13(3), 2020, pp. 419–426.
44. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas (CHELSA). <https://chelsa-climate.org/downloads/>
45. Copernicus Data Space Ecosystem. <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
46. Daiyrov M., Narama C., Yamanokuchi T., Tadono T., Kääb A., Ukita J. Regional geomorphological conditions related to recent changes of glacial lakes in the Issyk-Kul basin, Northern Tien Shan. *Geosciences (Switzerland)*, №8(3), 2018. <https://doi.org/10.3390/geosciences8030099>
47. Di, B.F., Chen, N.S., Cui, P., Li, Z.L., He, Y.P., Gao, Y.C. GIS-based risk analysis of debris flow: an application in Sichuan, southwest China // *International Journal of Sediment Research*, 23(2), 2008, pp. 138–148.
48. Doan V.L., Nguyen B.Q., Pham H.T., Nguyen C.C., Nguyen C. T. Effect of time-variant NDVI on landside susceptibility: A case study in Quang Ngai province, Vietnam // *Open Geosciences*, №15(1), 2023. <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0550>
49. Dragičević, N., Karleuša, B., & Ožanić, N. Different approaches to estimation of drainage density and their effect on the Erosion Potential Method // *Water (Switzerland)*, №11(3), 2019. <https://doi.org/10.3390/w11030593>
50. Du H., Xia J., Yan Y., Lu Y., Li J. Spatiotemporal Variations of Extreme Precipitation in Wuling Mountain Area (China) and Their Connection to Potential Driving Factors // *Sustainability (Switzerland)*, №14(14), 2022. <https://doi.org/10.3390/su14148312>
51. Dupal, H. An Index Based Assessment of Debris Flow Susceptibility by Using SPI (Stream Power Index) and TWI (Topographic Wetness Index) // 2nd International conference on innovative academic studies, 2023, pp. 633–640.
52. Dupal, H. Land Use Change and Its Effects on NDVI The Case of Espiye District // *Türkiye. International academic studies conference*, №203, 2023.
53. Edamo, M. L., Bushira, K., Ukumo, T. Y. Flood susceptibility mapping in the Bilate catchment, Ethiopia // *H2Open Journal*, №5(4), 2022, pp. 691–712. <https://doi.org/10.2166/h2oj.2022.128>
54. Ennaji Nadia, Ouakhir Hasan, Halouan Said, Abahrour Mohamed. Sediment Transport Index (STI) modeling using the GIS at Small Agricultural Catchment // *International Journal of Innovative Research in Sciences and Engineering Studies (IJIRSES)*, №2(11), 2022, pp. 16–20.
55. Frey, H., Huggel, C., Chisolm, R.E., Baer, P., McArdeil, B., Cochachin, A., Portocarrero, C. Multi-Source Glacial Lake Outburst Flood Hazard Assessment and Mapping for Huaraz, Cordillera Blanca, Peru // *Frontiers in Earth Science*, №6, 2018. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00256>
56. González-Prida, V., Viveros, P., Barbera, L., Márquez, A. C. Dynamic analytic hierarchy process: AHP method adapted to a changing environment // *Journal of Manufacturing Technology Management*, №25(4), 2014, pp. 457–475. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2013-0030>
57. Harrison S., Kargel J.S., Huggel C., Reynolds J., Shugar D.H., Betts R.A., Emmer A., Glasser N., Haritashya U.K., Klimeš J., Reinhardt L., Schaub Y., Wiltshire A., Regmi D., Vilímek V. Climate change and the global pattern of moraine-dammed glacial lake outburst floods // *Cryosphere*, №12(4), 2018, pp. 1195–1209. <https://doi.org/10.5194/tc-12-1195-2018>
58. HydroSHEDS database. <https://www.hydrosheds.org/products/hydrodrivers>
59. Moore I.D., Burch G.J. Modelling Erosion and Deposition: Topographic Effects // *Transactions of the ASAE*, №29(6), 1986, pp. 1624–1630. <https://doi.org/10.13031/2013.30363>
60. Karger D.N., Conrad O., Böhner J., Kawohl T., Kreft H., Soria-Auza R.W., Zimmermann N.E., Linder H.P., Kessler M. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas // *Scientific Data*

- №4(1), 2017. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
61. Leal J.E. AHP-express: A simplified version of the analytical hierarchy process method // *MethodsX*, №7, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.11.021>
62. Li X., He X., Li X., Du Y., Yang G., Li D., Xu W. Spatiotemporal Evaluation and Estimation of Precipitation of Multi-Source Precipitation Products in Arid Areas of Northwest China—A Case Study of Tianshan Mountains. *Water (Switzerland)*, №14(16), 2022. <https://doi.org/10.3390/w14162566>
63. Long Ngo. Approximation Method of Analytic Hierarchy Process (AHP) as developed by Dr T.L. Saaty and others // *Agriculture and Allied Sciences*, 2019. <https://doi.org/10.31220/osf.io/87xr4>
64. Medeu A., Blagoveshchensky V., Gulyayeva T., Ranova S. Assessment and Mapping of Mudflow Hazard and Mudflow Risk in the Territory of Almaty // “Abstracts of The Second Eurasian RISK-2020 Conference and Symposium”, 2020. <https://doi.org/10.21467/abstracts.93>
65. Medeu A.R., Popov N.V., Blagoveshchenskiy V.P., Askarova M.A., Medeu A.A., Ranova S.U., Kamalbekova A., Bolch T. Moraine-dammed glacial lakes and threat of glacial debris flows in South-East Kazakhstan // *Earth-Science Reviews*, №229, Elsevier B.V, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103999>
66. Muneeb F., Baig S.U., Khan J.A., Khokhar M.F. Inventory and glacial susceptibility of glacial lakes in hunza river basin, western karakorum // *Remote Sensing*, №13(9), 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13091794>
67. Mussina A. K., Abdullayeva A.S., Barandun M. The importance of conducting research methods to assess the state of glacial-moraine lakes // *NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical sciences.*, №6(456), 2022, pp. 147–155. <https://doi.org/10.32014/2518-170X.24568>
68. Mussina A.K., Raimbekova Zh.T., Shahgedanova M., Barandun M., Narbayeva K.T., Abdullayeva A.S., Nysanbayeva A.S. Mountain Resilience: A Tool for Mudflow Risk Management in the Ile Alatau Mountains, Kazakhstan // *Mountain Research and Development*, №43(1), 2023. pp. 1-10. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-22-00004>
69. Mussina, A.K., Zhanabayeva Zh.A. GIS-technology in the management of mudflow risk // *Journal of Geography and Environmental Management*, №42(1), 2016, pp. 140–146. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2016.1.29370>
70. OpenStreetMap. <https://download.geofabrik.de/asia.html>
71. Ouma, Y.O., Tateishi R. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: Methodological overview and case study assessment // *Water (Switzerland)*, №6(6), 2014, pp. 1515–1545. <https://doi.org/10.3390/w606151572>
72. Prakash C., Nagarajan R. Glacial lake inventory and evolution in northwestern indian himalaya // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, №10(12), 2017, pp. 5284–5294. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2767098>
73. Qi M., Liu S., Yao X., Grünwald R., Gao Y., Duan H., Liu J. Lake inventory and potentially dangerous glacial lakes in the Nyang Qu Basin of China between 1970 and 2016 // *Journal of Mountain Science*, №17(4), 2020, pp. 851–870. <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5675-574>
74. Saadi Y., Suroso A., Putra I.B. Identification of Suspended Sediment Concentration in Stream Network // *Applied Mechanics and Materials*, №845, 2016, pp. 3–9. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm75>
75. Saranya T., Saravanan S., Jennifer J.J., Singh L. Assessment of groundwater vulnerability in highly industrialized Noyyal basin using AHP-DRASTIC and Geographic Information System // *Disaster Resilience and Sustainability*, 2021, pp. 151–170. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85195-4.00009-376>
76. Sentinel-2 10-Meter Land Use/Land Cover. <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/>
77. Shahgedanova M., Afzal M., Hagg W., Kapitsa V., Kasatkin N., Mayr E., Rybak O., Saidaliyeva Z., Severskiy I., Usmanova Z., Wade A., Yaitskaya N., Zhumabayev D. Emptying water towers? Impacts of future climate and glacier change on river discharge in the northern Tien Shan, Central Asia // *Water (Switzerland)*, №12(3), 2020. <https://doi.org/10.3390/w120306278>
78. Wang S., Zhang M., Li Z., Wang F., Li H., Li Y., Huang X. Glacier area variation and climate change in the Chinese Tianshan Mountains since 1960 // *Journal of Geographical Sciences*, №21(2), 2011, pp. 263–273. <https://doi.org/10.1007/s11442-011-0843-879>
79. Wang W., Yao T., Yang W., Joswiak D., Zhu M. Methods for assessing regional glacial lake variation and hazard in the southeastern Tibetan Plateau: A case study from the Boshula mountain range, China. *Environmental Earth Sciences*, №67(5), 2012, pp. 1441–1450. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1589-z80>
80. Xiao L., Zhang Y., Ge T., Wang C., Wei M. Analysis, Assessment and Early Warning of Mudflow Disasters along the Shigatse Section of the China-Nepal Highway // *Open Geosciences*, №12(1), 2020, pp. 44–58. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0004>

REFERENCES

1. Akimov V.A., Lesnykh V.V., Radaev N.N. Riski v prirode, tekhnosfere, obshchestve i ekonomike // *Delovoi ekspres*, 2004 g.
2. Almaty қаласы tsifrlandyru басқармасының қолдауымен «Digital Almaty». <https://digital-almaty.kz/ru/content/karta-naseleniya-goroda-almaty>
3. Baimoldaev T, Vinokhodov V. Kazselezashchita: operativnye mery do i posle stikhii // Almaty: Bastau, 2007 g.
4. Baimoldaev T.A., Kasenov M.K., Musina A.K., Raimbekova Zh.T. Prostranstvenno-vremennoi analiz raspredeleniya selevykh yavlenii i puti preduprezhdeniya i snizheniya ikh razrushitel'nykh vozdeistvii v gornyykh i predgornyykh raionakh Kazakhstana // *Selevye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zashchita. Trudy 5-i Mezhdunarodnoi konferentsii*, 2018 g.
5. Burova V.N., Zaikanov V.G., Zaikanova I.N., Minakova T.B., Pyrchenko V.A., Buldakova E.V., Savis'ko I.S. Podkhody k otsenke uyazvimosti ob'ektov ekonomiki i territorii pri vozniknovenii ChS prirodnogo kharaktera // V Mavlyanova N.G. (Red.), *Problemy snizheniya prirodnyykh*

- opasnostei i riskov. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «GEORISK-2012» (ss. 279–284). Rossiiskii universitet druzhby narodov, 2012 g.
6. Byuro natsional'noi statistiki agentstva po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazakhstan. <https://stat.gov.kz/ru/region/>
7. Vilesov E.N. Izmenenie sostoyaniya oledeneniya Severnogo makrosklona Ile Alatau za 60 let (1955...2015 gg.)//Gidrometeorologiya i ekologiya, №3, 2015 g., s. 56–68.
8. Gladkevich G.I., Terskii P.N., Frolova N.L. Otsenka opasnosti navodnenii na territorii Rossiiskoi Federatsii // Vodnoe khozyaistvo Rossii, №2, 2012 g., s. 29–44.
9. Ershova N.M. Prinyatie reshenii na osnove metoda analiza ierarkhii // Visnik Pridniprov's'koï derzhavnoi akademii budivnistva ta arkhitekturi, №9(210), 2015 g., s. 39–46.
10. Karta selevoi opasnosti territorii Respubliki Kazakhstan // Almaty, 2015 g.
11. Kolotilin N.F., Medeuov A., Tyut'kova N.A., Ryndina V.R., Popov N.V. Karta fonovoi otsenki seleopasnosti territorii Kazakhskoi SSR // 1989 g.
12. Kazakstan Respublikasy Tötenshe zhardailar ministriligi <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer?lang=kk>
13. Medeu, A. R., Blagoveshchenskii, V. P., Ranova, S. U., Kasatkin, N. E., Kasenov, M. K., Raimbekova, Zh. T. Sistema protivoselevykh meropriyatii v Zailiiskom Alatau // V Chernomorets S.S., Viskhadzhieva K.S. (Red.), Selevye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zashchita. Trudy 6-i Mezhdunarodnoi konferentsii, s. 39–48, 2020 g.
14. Medeu A.R. Atlas prirodnykh i tekhnogennykh opasnostei i riskov chrezvychainykh situatsii // Almaty: Institut geografii, 2009 g.
15. Medeu A.R. Selevye yavleniya Yugo-Vostochnogo Kazakhstana: Osnovy upravleniya // Tom 1, Almaty: Institut geografii, 2011 g.
16. Medeu A.R., Blagoveshchenskii V.P., Ranova S.U., Gulyaeva T.S., Zhdanov V.V., Tanbaeva A.A., Kasatkina T.A., Dikikh I.A. Selebezopasnost' Respubliki Kazakhstan: nauchnoe obosnovanie sistemy obespecheniya selebezopasnosti v gornykh i predgornykh raionakh Ile Alatau // Otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote, 2018 g.
17. Medeu A.R., Blagoveshchenskii V.P., Ranova S.U., Gulyaeva T.S., Zhdanov V.V., Tanbaeva A.A., Kasatkina T.A., Dikikh I.A. Selebezopasnost' Respubliki Kazakhstan: nauchnoe obosnovanie sistemy obespecheniya selebezopasnosti v gornykh i predgornykh raionakh Ile Alatau // Otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote, 2019 g.
18. Medeu A.R., Blagoveshchenskii V.P., Ranova S.U., Gulyaeva T.S., Zhdanov V.V., Tanbaeva A.A., Kasatkina T.A., Dikikh I.A. Selebezopasnost' Respubliki Kazakhstan: nauchnoe obosnovanie sistemy obespecheniya selebezopasnosti v gornykh i predgornykh raionakh Ile Alatau // Otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote, 2020 g.
19. Medeu A.R., Baimoldaev T.A., & Kirenskaya T.L. Selevye yavleniya Yugo-Vostochnogo Kazakhstana: Antologiya selevykh yavlenii i ikh issledovaniya // Tom 4, Almaty: Institut geografii, 2016 g.
20. Medeu A.R., Blagoveshchenskii V.P., Baimoldaev T.A., Kirenskaya T.L., Stepanov B.S. Selevye yavleniya Yugo-Vostochnogo Kazakhstana: Osnovy monitoringa v Ile Alatau // Tom 2, Almaty: Institut geografii, 2018 g.
21. Medeu A.R., Blagoveshchenskii V.P., Ranova S.U. Otsenka i kartografirovanie selevoi opasnosti v basseinakh rek Kishi i Ulken Almaty // Evraziiskii Soyuz Uchenykh (ESU), №3(60), 2019 g. s. 9–13.
22. Medeu A.R., Blagoveshchenskii V.P., Stepanov B.S., Ranova S.U., Kamalbekova A.N., Sultanbekova B.M. Monitoring selevoi opasnosti v Ile Alatau. Voprosy geografii i geoekologii, №2, 2018 g., s. 52–60.
23. Medeu A.R., Kirenskaya T.L. Selevye riski i metody ikh otsenki // Materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Geologicheskii risk: otsenka i umen'shenie», 2003 g., s. 14–17.
24. Medeu A.R., Kirenskaya T.L., Tasbolat B., Eszhanova A.S., Askarova M.A. Otsenka riska selevogo vozdeistviya // Vestnik KazNU. Seriya geograficheskaya., №2, 2004 g., s. 104–108.
25. Medeuov A., Kolotilin N.F., Keremkulov V.A. Seli Kazakhstana // Almaty, 1993 g.
26. Medeuov A.R. Nauchnye osnovy upravleniya selevyimi protsessami seismoaktivnykh gornykh geosistem Kazakhstana // [Avtoref. ... doktora geogr. nauk.], 2002 g.
27. Medeuov A.R., Nurlanov M.T. Selevye yavleniya seismoaktivnykh territorii Kazakhstana (Problemy upravleniya) // Karzhy-karazhat, Almaty, 1996 g.
28. Moldakhmetov M. M., Musina A.K. Sel kaupin auyzdyktau protsesin yiymdastyru // KazYU khabarshysy. Geografiya seriyasy, №1(30), 2010 zh., b. 83–88.
29. Moldakhmetov M.M., Musina A.K. Kazakstan Respublikasy sel kauipti audandarynyn zerttelgendiligin baralau zheninde // KazYU khabarshysy. Geografiya seriyasy, №2(33), 2011 zh., b. 34–37.
30. Moldakhmetov M.M., Musina A.K., & Aidarbekov D.Zh. Ile Alatauyndary sel oshaktarynyn biiktik beldeu boiynsha ylestirilui // Gidrometeorologiya zhane ekologiya, №2, 2012 zh., b. 192–202.
31. Ə.O. Ospanov atyndary Kazak topyraktanu zhane agrokimiya rylymi-zertteu instituty. (2005). Zhetisu alabynyn topyrak kartasy.
32. Petrushina M.N. Vliyanie lavinnoi i selevoi aktivnosti na sovremennoe sostoyanie landshaftov Zapadnogo Kavkaza // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo gumanitarnogo universiteta im. M.A. Sholokhova. Seriya «Sotsial'no-ekologicheskie tekhnologii», №1(2), 2015 g.
33. Saati T. Metod analiza ierarkhii // Perevod s angliiskogo R.G Vachnadze, Moskva «Radio i svyaz'», 1993 g.
34. Sokolov S.I., Assing I.A., Kurmangaliev A.B., Serpikov S.K. Pochvy Alma-Atinskoi oblasti // Institut pochvovedeniya, 1962 g.
35. Spetsial'nyi doklad mezhpriatel'stvennoi gruppy ekspertov po izmeneniyu klimata. Upravlenie riskami ekstremal'nykh yavlenii i bedstvii dlya sodeistviya adaptatsii k izmeneniyu klimata // 2012 g.
36. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. Selevye yavleniya Yugo-Vostochnogo Kazakhstana: Selevye protsessy i seletekhnicheskie sooruzheniya // Tom 3, Almaty: Institut geografii, 2014 g.
37. Tasbolat B., Urazbaev A.K., Mısa K.Sh., Kozhabekova Z. Kartograficheskoe raionirovanie selevogo riska (na primere gornykh i predgornykh raionov Yugo-Vostochnogo Kazakhstana) // Vestnik KazNU. Seriya Geograficheskaya, №1(40), 2015 g., s. 273–280.
38. Yafyazova R.K. Priroda selei Zailiiskogo Alatau: Problemy adaptatsii // Almaty, 2007 g.

39. ASF Data Search. <https://search.asf.alaska.edu/>
40. Ballerine, C. Topographic Wetness Index Urban Flooding Awareness Act Action Support Will and DuPage Counties // Illinois Topographic Wetness Index Urban Flooding Awareness Act Action Support, 2017.
41. Bolch T., Peters J., Yegorov A., Pradhan B., Buchroithner M., Blagoveshchensky V. Identification of potentially dangerous glacial lakes in the northern Tien Shan. *Natural Hazards*, №59, 2012, pp. 1691–1714. https://doi.org/10.1007/978-3-642-25495-6_12
42. Chen J., Gao H., Han L., Yu R., Mei G. Susceptibility Analysis of Glacier Debris Flow Based on Remote Sensing Imagery and Deep Learning: A Case Study along the G318 Linzhi Section. *Sensors*, №23(14), 2023. <https://doi.org/10.3390/s23146608>
43. Chigrinets, A. G., Duskayev, K. K., Mazur, L. P., Chigrinets, L. Y., Akhmetova, S. T., Mussina, A. K. Evaluation and Dynamics of the Glacial Runoff of the Rivers of the Ile Alatau Northern Slope in the Context of Global Warming. *International Journal of Engineering Research and Technology*, №13(3), 2020, pp. 419–426.
44. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas (CHELSA). <https://chelsa-climate.org/downloads/>
45. Copernicus Data Space Ecosystem. <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
46. Daiyrov M., Narama C., Yamanokuchi T., Tadono T., Kääh A., Ukita J. Regional geomorphological conditions related to recent changes of glacial lakes in the Issyk-Kul basin, Northern Tien Shan. *Geosciences (Switzerland)*, №8(3), 2018. <https://doi.org/10.3390/geosciences8030099>
47. Di, B.F., Chen, N.S., Cui, P., Li, Z.L., He, Y.P., Gao, Y.C. GIS-based risk analysis of debris flow: an application in Sichuan, southwest China // *International Journal of Sediment Research*, 23(2), 2008, pp. 138–148.
48. Doan V.L., Nguyen B.Q., Pham H.T., Nguyen C.C., Nguyen C. T. Effect of time-variant NDVI on landside susceptibility: A case study in Quang Ngai province, Vietnam // *Open Geosciences*, №15(1), 2023. <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0550>
49. Dragičević, N., Karleuša, B., & Ožanić, N. Different approaches to estimation of drainage density and their effect on the Erosion Potential Method // *Water (Switzerland)*, №11(3), 2019. <https://doi.org/10.3390/w11030593>
50. Du H., Xia J., Yan Y., Lu Y., Li J. Spatiotemporal Variations of Extreme Precipitation in Wuling Mountain Area (China) and Their Connection to Potential Driving Factors // *Sustainability (Switzerland)*, №14(14), 2022. <https://doi.org/10.3390/su14148312>
51. Dugal, H. An Index Based Assessment of Debris Flow Susceptibility by Using SPI (Stream Power Index) and TWI (Topographic Wetness Index) // 2nd International conference on innovative academic studies, 2023, pp. 633–640.
52. Dugal, H. Land Use Change and Its Effects on NDVI The Case of Espiye District // *Türkiye. International academic studies conference*, №203, 2023.
53. Edamo, M. L., Bushira, K., Ukumo, T. Y. Flood susceptibility mapping in the Bilate catchment, Ethiopia // *H2Open Journal*, №5(4), 2022, pp. 691–712. <https://doi.org/10.2166/h2oj.2022.128>
54. Ennaji Nadia, Ouakhir Hasan, Halouan Said, Abahrour Mohamed. Sediment Transport Index (STI) modeling using the GIS at Small Agricultural Catchment // *International Journal of Innovative Research in Sciences and Engineering Studies (IJIRSES)*, №2(11), 2022, pp. 16–20.
55. Frey, H., Huggel, C., Chisolm, R.E., Baer, P., McArdell, B., Cochachin, A., Portocarrero, C. Multi-Source Glacial Lake Outburst Flood Hazard Assessment and Mapping for Huaraz, Cordillera Blanca, Peru // *Frontiers in Earth Science*, №6, 2018. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00256>
56. González-Prida, V., Viveros, P., Barbera, L., Márquez, A. C. Dynamic analytic hierarchy process: AHP method adapted to a changing environment // *Journal of Manufacturing Technology Management*, №25(4), 2014, pp. 457–475. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2013-0030>
57. Harrison S., Kargel J.S., Huggel C., Reynolds J., Shugar D.H., Betts R.A., Emmer A., Glasser N., Haritashya U.K., Klimeš J., Reinhardt L., Schaub Y., Wiltshire A., Regmi D., Vilímek V. Climate change and the global pattern of moraine-dammed glacial lake outburst floods // *Cryosphere*, №12(4), 2018, pp. 1195–1209. <https://doi.org/10.5194/tc-12-1195-2018>
58. HydroSHEDS database. https://www.hydrosheds.org/products/hydro_rivers
59. Moore I.D., Burch G.J. Modelling Erosion and Deposition: Topographic Effects // *Transactions of the ASAE*, №29(6), 1986, pp. 1624–1630. <https://doi.org/10.13031/2013.30363>
60. Karger D.N., Conrad O., Böhner J., Kawohl T., Kreft H., Soria-Auza R.W., Zimmermann N.E., Linder H.P., Kessler M. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas // *Scientific Data*, №4(1), 2017. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
61. Leal J.E. AHP-express: A simplified version of the analytical hierarchy process method // *MethodsX*, №7, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.11.021>
62. Li X., He X., Li X., Du Y., Yang G., Li D., Xu W. Spatiotemporal Evaluation and Estimation of Precipitation of Multi-Source Precipitation Products in Arid Areas of Northwest China—A Case Study of Tianshan Mountains. *Water (Switzerland)*, №14(16), 2022. <https://doi.org/10.3390/w14162566>
63. Long Ngo. Approximation Method of Analytic Hierarchy Process (AHP) as developed by Dr T.L. Saaty and others // *Agriculture and Allied Sciences*, 2019. <https://doi.org/10.31220/osf.io/87xr4>
64. Medeu A., Blagoveshchensky V., Gulyayeva T., Ranova S. Assessment and Mapping of Mudflow Hazard and Mudflow Risk in the Territory of Almaty // “Abstracts of The Second Eurasian RISK-2020 Conference and Symposium”, 2020. <https://doi.org/10.21467/abstracts.93>
65. Medeu A.R., Popov N.V., Blagoveshchenskiy V.P., Askarova M.A., Medeu A.A., Ranova S.U., Kamalbekova A., Bolch T. Moraine-dammed glacial lakes and threat of glacial debris flows in South-East Kazakhstan // *Earth-Science Reviews*, №229, Elsevier B.V, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103999>
66. Muneeb F., Baig S.U., Khan J.A., Khokhar M.F. Inventory and glof susceptibility of glacial lakes in hunza river basin, western karakorum // *Remote Sensing*, №13(9), 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13091794>
67. Mussina A. K., Abdullayeva A.S., Barandun M. The importance of conducting research methods to assess the state of glacial-moraine lakes // *NEWS of the National*

- Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical sciences., №6(456), 2022, pp. 147–155. <https://doi.org/doi.org/10.32014/2518-170X.24568>.
68. Mussina A.K., Raimbekova Zh.T., Shahgedanova M., Barandun M., Narbayeva K.T., Abdullayeva A.S., Nysanbayeva A.S. Mountain Resilience: A Tool for Mudflow Risk Management in the Ile Alatau Mountains, Kazakhstan // Mountain Research and Development, №43(1), 2023. pp. 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-22-0000469>.
69. Mussina, A.K., Zhanabayeva Zh.A. GIS-technology in the management of mudflow risk // Journal of Geography and Environmental Management, №42(1), 2016, pp. 140–146. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2016.1.29370>.
70. OpenStreetMap. <https://download.geofabrik.de/asia.html>
71. Ouma, Y.O., Tateishi R. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: Methodological overview and case study assessment // Water (Switzerland), №6(6), 2014, pp. 1515–1545. <https://doi.org/10.3390/w606151572>.
72. Prakash C., Nagarajan R. Glacial lake inventory and evolution in northwestern indian himalaya // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, №10(12), 2017, pp. 5284–5294. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.276709873>.
73. Qi M., Liu S., Yao X., Grünwald R., Gao Y., Duan H., Liu J. Lake inventory and potentially dangerous glacial lakes in the Nyang Qu Basin of China between 1970 and 2016 // Journal of Mountain Science, №17(4), 2020, pp. 851–870. <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5675-574>.
74. Saadi Y., Suroso A., Putra I.B. Identification of Suspended Sediment Concentration in Stream Network // Applied Mechanics and Materials, №845, 2016, pp. 3–9. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm75>.
75. Saranya T., Saravanan S., Jennifer J.J., Singh L. Assessment of groundwater vulnerability in highly industrialized Noyyal basin using AHP-DRASTIC and Geographic Information System // Disaster Resilience and Sustainability, 2021, pp. 151–170. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85195-4.00009-376>.
76. Sentinel-2 10-Meter Land Use/Land Cover. <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/>
77. Shahgedanova M., Afzal M., Hagg W., Kapitsa V., Kasatkin N., Mayr E., Rybak O., Saidaliyeva Z., Severskiy I., Usmanova Z., Wade A., Yaitskaya N., Zhumabayev D. Emptying water towers? Impacts of future climate and glacier change on river discharge in the northern Tien Shan, Central Asia // Water (Switzerland), №12(3), 2020. <https://doi.org/10.3390/w1203062778>.
78. Wang S., Zhang M., Li Z., Wang F., Li H., Li Y., Huang X. Glacier area variation and climate change in the Chinese Tianshan Mountains since 1960 // Journal of Geographical Sciences, №21(2), 2011, pp. 263–273. <https://doi.org/10.1007/s11442-011-0843-879>.
79. Wang W., Yao T., Yang W., Joswiak D., Zhu M. Methods for assessing regional glacial lake variation and hazard in the southeastern Tibetan Plateau: A case study from the Boshula mountain range, China. Environmental Earth Sciences, №67(5), 2012, pp. 1441–1450. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1589-z80>.
80. Xiao L., Zhang Y., Ge T., Wang C., Wei M. Analysis, Assessment and Early Warning of Mudflow Disasters along the Shigatse Section of the China-Nepal Highway // Open Geosciences, №12(1), 2020, pp. 44–58. <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0004>

ОЦЕНКА И ЗОНИРОВАНИЕ СЕЛЕВОЙ ОПАСНОСТИ В БАССЕЙНАХ РЕК ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ІЛЕ АЛАТАУ

А.К Мусина. к.ғ.н., Ә.С. Абдуллаева*

¹ *Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан*
E-mail: abdullayeva.assel@kaznu.kz

Мероприятия по управлению селевыми рисками на исследуемой территории состоят из оценки и картирования селевой опасности и риска, проведения превентивных работ, мониторинга, раннего предупреждения, строительства селезащитных сооружений. Глобальное потепление климата и интенсивное освоение бассейнов рек Улькен и Киши Алматы создали необходимость определения критериев, влияющих на возникновение и развитие селевой опасности на территории, и оценки степени их воздействия. В данной статье определены критерии селевой опасности с учетом селеформирующих факторов и механизмов возникновения селевого потока, также критерии направленные на определение уязвимости территории к селевому потоку за счет особенностей, создающих условия для формирования селевого потока в зонах зарождения, транзита, отложения селевого потока, с учетом реципиентов в зоне воздействия селевого потока. В результате была создана крупномасштабная (1:25000) карта селевой опасности и уязвимости территории к селевому потоку на основе многокритериального метода принятия решений. Разработанные карты играют важную роль в планировании мероприятий по

уменьшению, предупреждению и предотвращению негативных последствий селевого потока.

Ключевые слова: селевой поток, селевая опасность, уязвимость, ГИС-технологии, данные дистанционного зондирования Земли, мультикритериальный метод принятия решений, аналитический иерархический процесс

ASSESSMENT AND ZONING OF MUDFLOW HAZARD IN RIVER BASINS OF THE ILE ALATAU CENTRAL PART

A.K. Mussina candidate of the geographical sciences, **A.S. Abdullayeva***

¹ *Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*
E-mail: abdullayeva.assel@kaznu.kz

Mudflow risk management measures in the study area consist of assessment and mapping of mudflow hazard and risk, preventive measures, monitoring, early warning, construction of mudflow protection structures. Due to global warming and intensive development of the Ulken and Kishi Almaty river basins, it became necessary to determine the criteria affecting the occurrence and development of mudflow hazards in the territory and assess the degree of their impact. This article defines the criteria of mudflow hazard, taking into account the mudflow-forming factors and mechanisms of the mudflow occurrence, as well as criteria aimed at determining the vulnerability of the territory to a mudflow due to the features that create conditions for the formation of a mudflow in the zones of origin, transit, deposition of a mudflow, as well as recipients in the zone of impact of a mudflow. As a result, a large-scale (1:25000) map of the mudflow hazard and vulnerability of the territory was created on the basis of a multi-criteria decision-making method. The developed maps play an important role in planning actions to reduce, early warning and prevent the negative consequences of mudflow.

Key words: mudflow, mudflow hazard, mudflow vulnerability, GIS technologies, remote sensing data, multi-criteria decision-making method, analytical hierarchical process

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

Мусина Айну́р Каировна – география ғылымдарының кандидаты, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ аға оқытушысы, Алматы, әл-Фараби 71, ainur.musina@kaznu.edu.kz
Абдуллаева Әсел Сәбитқызы – әл-Фараби атындағы ҚазҰУ оқытушысы, Алматы, әл-Фараби 71, assel.abdullayeva@kaznu.edu.kz

Мусина Айну́р Каировна – кандидат географических наук, старший преподаватель КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, аль-Фараби 71, ainur.musina@kaznu.edu.kz
Абдуллаева Әсел Сәбитқызы – преподаватель КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, аль-Фараби 71, assel.abdullayeva@kaznu.edu.kz

Musina Ainur Kairovna - candidate of Geographical Sciences, senior lecturer of al-Farabi KazNU, Almaty, al-Farabi 71, ainur.musina@kaznu.edu.kz

Abdullaeva Assel Sabitovna - lecturer of al-Farabi KazNU, Almaty, al-Farabi 71, assel.abdullayeva@kaznu.edu.kz

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАВОДНЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА

М.А. Алагуджаева¹, С.Р. Садвакасова^{2*} к.г.н., Б.Б. Елбасиева², А.А. Аимбетов¹

¹АО «Қазақстан Ғарыш Сапары», Астана, Қазақстан

²Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Астана, Қазақстан

E-mail: saltik81@mail.ru

В данной статье приведены результаты анализа причин формирования наводнений в бассейнах рек Нура и Есиль на территории Республики Казахстан за период 1960...2023 гг. в условиях современных климатических изменений. Показано, что продолжительность половодья и рек Нура-Сарысуского бассейна зависит от величины бассейна, его залесенности, заболоченности, наличия озер, величины снегозапасов к началу половодья и характера весны.

Ключевые слова: водные ресурсы, климатические изменения, наводнения, затопления

Поступила: 15.11.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2023-111-4-61-73

ВВЕДЕНИЕ

Наводнения принадлежат к числу наиболее опасных для человека природных явлений. По числу жертв и причиняемым ущербам наводнения занимают одно из первых мест среди стихийных бедствий. Статистика свидетельствует: по площади распространения, суммарному среднему годовому ущербу и повторяемости в масштабах нашей страны наводнения занимают первое место в ряду других стихийных бедствий. Что же касается человеческих жертв и удельного материального ущерба, то есть ущерба, приходящегося на единицу пораженной площади, то в этом отношении наводнения занимают второе место после землетрясений (Акимов и др., 2009; Крицкий С.Н. и др., 1982).

Целью исследования является изучение условий формирования наводнений на территории Центрального Казахстана.

Водные объекты отличаются друг от друга различными условиями формирования стока воды. По условиям формирования стока и, следовательно, по условиям возникновения делятся на четыре группы:

- максимальное формирование стока в результате весеннего таяния снега на равнинах;
- максимальное формирование стока в результате таяния горных снегов и ледников;

- максимальное формирование стока в результате выпадения интенсивных дождей;
- максимальное формирование стока в результате совместного влияния снеготаяния и выпадение обильных осадков (Акимов В.А., 2009).

Наводнения в Казахстане отмечаются почти ежегодно, но распространение и масштаб год от года варьируются весьма существенно, примерно 1 раз в 50...100 лет на реках Казахстана случаются катастрофические наводнения. Так было, например, весной 1993 года, когда в связи с избыточными снегозапасами, резким и значительным потеплением с одновременным выпадением сильных дождей катастрофические талодождевые паводки сформировались практически на всех равнинных реках республики. При этом от наводнений пострадали 669 населенных пунктов, погибло 6 человек, эвакуировано 12,7 тыс. человек (Нежиховский Р.А., 1988). Затопленными и разрушенными оказались 7 тыс. домов общей площадью 635 тыс. м². Затоплению также подверглись 50 тыс. га посевных площадей, 2,3 тыс. животноводческих помещений, погибло 66 тыс. голов скота, пришли в негодность 875 км автомобильных дорог, 718 км линий электропередач, 275 км линий связи, 513 гидротехнических сооружений и др. (Информационно-методический

сборник материалов по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне, 2015; Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций, 2010).

Проведенный краткий анализ последствий наводнений предопределяет необходимость поиска новых методов обеспечения социальной, экономической и экологической защиты населения и территории страны от вредного воздействия вод.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ходе исследования изучены характеристики рек Нура-Сарысуского бассейна (Центральный Казахстан). Обработаны и собраны данные по нескольким метеостанциям и 59 гидрологическим постам. Анализ условий формирования наводнений охватывает многолетний период с 1960 по 2023 годы, включая оперативные данные (kazhydromet.kz). Выполнен анализ гидрологических данных, таких как максимальные расходы и среднемесячные расходы воды за многолетний период, ежедневные и максимальные значения уровней воды за многолетний период, водохозяйственные данные, были собраны данные по водохранилищам (технические характеристики и сбросы воды в период половодья и т.д.). Также дана оценка динамике изменения и характеристике половодья Центрального Казахстана. К ним относятся такие показатели как максимальные расходы в период половодья с указанием дат наступления за исторический период, дата начала и окончания половодья, продолжительность половодья, суммарный слой стока половодья и объём стока за половодья.

Продолжительность половодья рек Нура-Сарысуского бассейна зависит от величины бассейна, его залесенности, заболоченности, наличия озер, величины снегозапасов к началу половодья и характера весны.

Для изучения условий формирования и развития ЭГЯ в связи с изменением климатических характеристик на территорию бассейнов крупных рек Центрального Казахстана выполнен анализ таких показателей как, количество выпавших жидких осадков

за осенний период предыдущего года, количество выпавших твердых осадков в зимний период, высота снежного покрова к началу половодья, запас воды в снеге, температура воздуха в период снеготаяния, глубина промерзания почвы, влагозапасы почвы и интенсивность снеготаяние. Оценка условий формирования наводнений выполнялась в два этапа:

1. Выборка и оценка гидрологических показателей, характеризующие потенциальное затопление при прохождении наводнений, вероятность событий и степень воздействия на население и объекты экономики. Используются достаточно универсальные для рек Нура и Есиль характеристики, отражающие природные факторы опасности наводнений.

2. Определен комплекс социально-экономических показателей, отражающих, с одной стороны, материальные ресурсы, с другой стороны, оценку потенциальных ущербов в случае затопления в период прохождения наводнений.

Комплекс гидрологических показателей включал следующие характеристики:

– Максимальное превышение уровней начала затопления прибрежных территорий (м).

– Вероятность уровней начала затопления прибрежных территорий (%) в зависимости от (P) от 0,1 % до 25 % обеспеченности рассчитывается, исходя из многолетних наблюдений за максимальными уровнями воды на гидрологических постах и информации о паводкоопасных зонах.

– Суммарная продолжительность наводнений (сут).

– Доля затопляемой площади (%) (Семенов В.А. и др., 1985).

Тип кривой руслоформирующих расходов воды определяет опасность русловых и пойменных переформирований в речных долинах, которые могут существенным образом сказываться на хозяйственной деятельности на поймах. Зависит от геоморфологического и морфодинамического типа русла. Выделены два крупных типа интервалов руслоформирующих расходов воды: они проходят в пойменных бровках либо при выходе воды на пойму. Величина уязвимости, необходимая для определения

риска наводнений, связана со степенью хозяйственного освоения затопляемых территорий в зонах различной обеспеченности и степенью воздействия рассматриваемого природного явления.

Для оценки условий формирования наводнений выделены следующие факторы для бассейнов исследуемых крупных рек:

- изменение температуры воздуха в положительную сторону, в следствии чего начинается таяние снега;
- интенсивное таяния снежного покрова (талые воды);
- осадки;
- увлажнение (влажность) почвы;
- глубина промерзания и оттаивания грунта;
- запасы воды в снеге;
- ветер (нагонные явления);
- ледовые явления (заторы и зажоры) (исходные гидрологические и метеорологические данные получены из официального сайта РГП «Казгидромет»);
- антропогенное воздействие (прорыв плотин, сбросы с водохранилищ и т.д.).

Опыт работы зарубежных специалистов показывает, что эффективная защита от риска наводнений возможна при такой системе функционирования государственной власти, когда задействованы все уровни (республиканский, и местный) и роль низовых звеньев (органов местного самоуправления), находящихся ближе всего к конкретному человеку, является основополагающей.

Таким образом, методология анализа и управления деятельностью в области предупреждения и ликвидации наводнений должна разрабатываться и осуществляться на основе теории рисков, которая является научным инструментом для поддержки принятия управленческих решений практически во всех сферах человеческой деятельности (Бужин В.А., 2008).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Климатические и метеорологические показатели играют особо важную роль формировании и развитии наводнений, в частности половодья.

Для изучения условий формирования

и развития наводнений в связи с изменением климатических характеристик на территорию бассейнов крупных рек Центрального Казахстана использованы такие показатели как, количество выпавших жидких осадков за осенний период предыдущего года, количество выпавших твердых осадков в зимний период, высота снежного покрова к началу половодья, запас воды в снеге, температура воздуха в период снеготаяния, глубина промерзания почвы, влагозапасы почвы и интенсивность снеготаяния. Данные о периодах снеготаяния и половодья приведены в таблице 1.

Карагандинская область разделена на три суббассейна: реки Нура, реки Сарысу и озера Балхаш. На территории суббассейна реки Нура в период 5 % обеспеченности 2017 году предшествующая к ней осень была весьма влажной, суммарное количество осадков за осень 2016 года составила в верховьях реки Нура, территория от истока реки до гидропоста Коргалжын 60...100 мм, в низовьях реки Нура, от гидропоста Коргалжын до устья суммарное значение осадков за осень 2016 года составляет 50...90 мм. Увлажненность почвы на территории реки Нура составляет от 90 до 110 %. Количество твердых осадков за зиму (с ноября 2016 по март 2017 года) на реке Нура составила 50...70 мм. В верховьях реки период снеготаяние начинается намного раньше, чем в низовьях реки, и имеет более ярко выраженный характер. В верховьях значение интенсивности снеготаяние составляет 3...4,5 °С, в низовьях 1,5...3,2 °С. Запас воды в снеге в верховьях реки Нура составляет 90...110 %, в низовьях 80...90 %.

На территории суббассейна реки Сарысу в период 5 % обеспеченности 2015 году предшествующая к ней осень была сухой, суммарное количество осадков за осень 2014 года составила 40...70 мм. Увлажненность почвы на территории реки Сарысу составляет от 50 до 80 %. Количество твердых осадков за зиму (с ноября 2014 по март 2015 года) март 2015 года) на реке Сарысу была достаточно большой и составила 90...110 мм. Значение интенсивности снеготаяние составляет 2,2...4,2 °С. Запас воды в снеге составляет 70...100 %. Значение 5 % обеспеченности уровня находится выше значение опасной

Таблица 1

Периоды изменение гидрологических явлений крупных рек Центрального Казахстана при обеспеченности P=5%

Река	период снеготаяния	период половодья
Нура (от истока до гидропоста Коргалжын)	20.03.2017...31.03.2017	1.04.2017 ...10.05.2017
Нура (от гидропоста Коргалжын до устья)	20.04.2017...3.05. 2017	4.05.2017...10.07.2017
Сарысу	20.03.2015...26.03.2015	26.03.2015...25.04.2015

отметки максимального уровня воды, при этом следует отметить, что это самый высокий уровень за весь период наблюдения.

Гидропост аул Акмешит расположен ниже Самаркандского и Ынтымакских водохранилищ. Сток реки Нура ниже Самаркандского водохранилища зарегулирован с 1939 года. Ниже гидропоста аул Акмешит расположены следующие населенные пункты: Первое Мая, Габидена Мустафина, Акмешит, Тассуат, Карим Мынбаев, Заречное, Кызылшилик, Нура, Карой, Байтуган и тд. Отметка нуля поста равна 411,35 м БС. Значение опасного уровня воды составляет 420,95 м БС. Уровень воды при P = 5 % обеспеченности равна 422,23 м БС (расход 1041 м³/с). За последние

20 лет уровень воды на гидропосту Акмешит несколько раз превышал опасную отметку, то есть в 2017 и 2019 годах. По данным рисунка 1 можно заметить, что на гидропосту Акмешит с периода регулирования стока уровень воды поднимался выше 5 % обеспеченности всего 1 раз. В 2015 году уровень воды поднялся до 422,23 м БС, расход воды составил 1041 м³/с.

На территории суббассейна реки Сарысу в период 5 % обеспеченности 2015 году предшествующая к ней осень была сухой, суммарное количество осадков за осень 2014 года составила 40...70 мм. Увлажненность почвы на территории реки Сарысу составляет от 50 до 80 %. Количество твердых осадков за зиму (с ноября 2014 по март 2015 года) на реке Сарысу

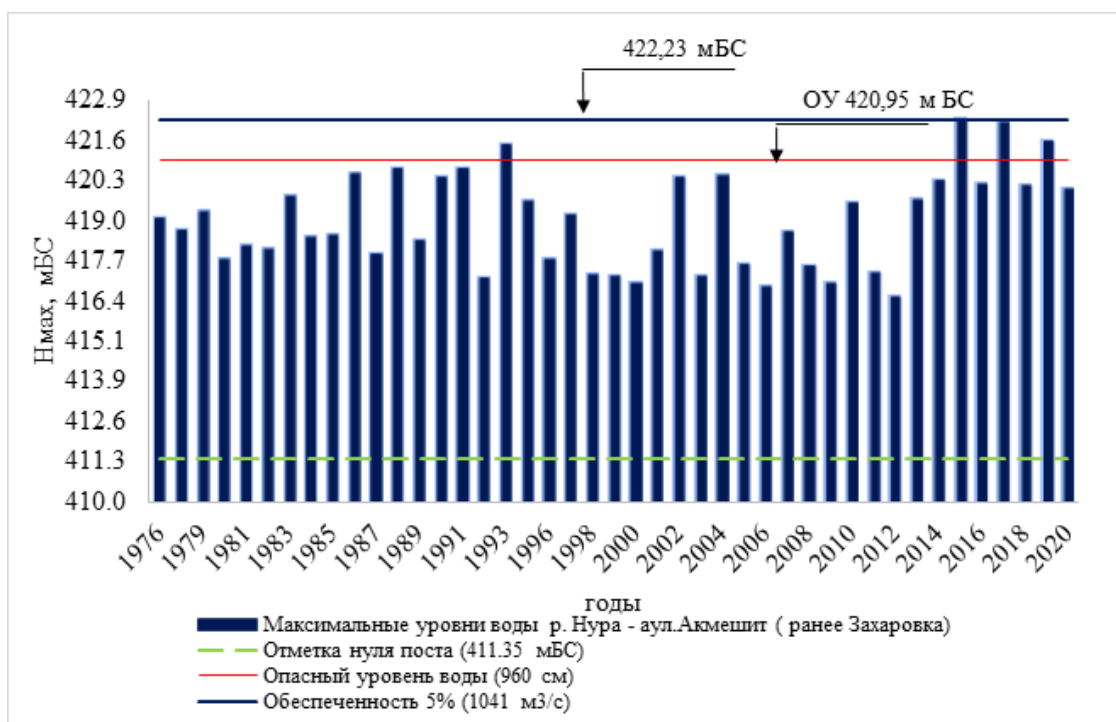


Рис.1. Динамика максимальных уровней воды за многолетний период на р.Нура в створе а.Акмешит

была достаточно большой и составила 90...110 мм. Значение интенсивности снеготаяния составляет 2,2...4,2 °С. Запас воды в снеге составляет 70...100 %. Значение 5 % обеспеченности уровня находится выше значение опасной

отметки, и в 2015 году (год $P = 5\%$) наблюдается значительное превышение опасной отметки максимального уровня воды, при этом следует отметить, что это самый высокий уровень за весь период наблюдения (рисунка 2).

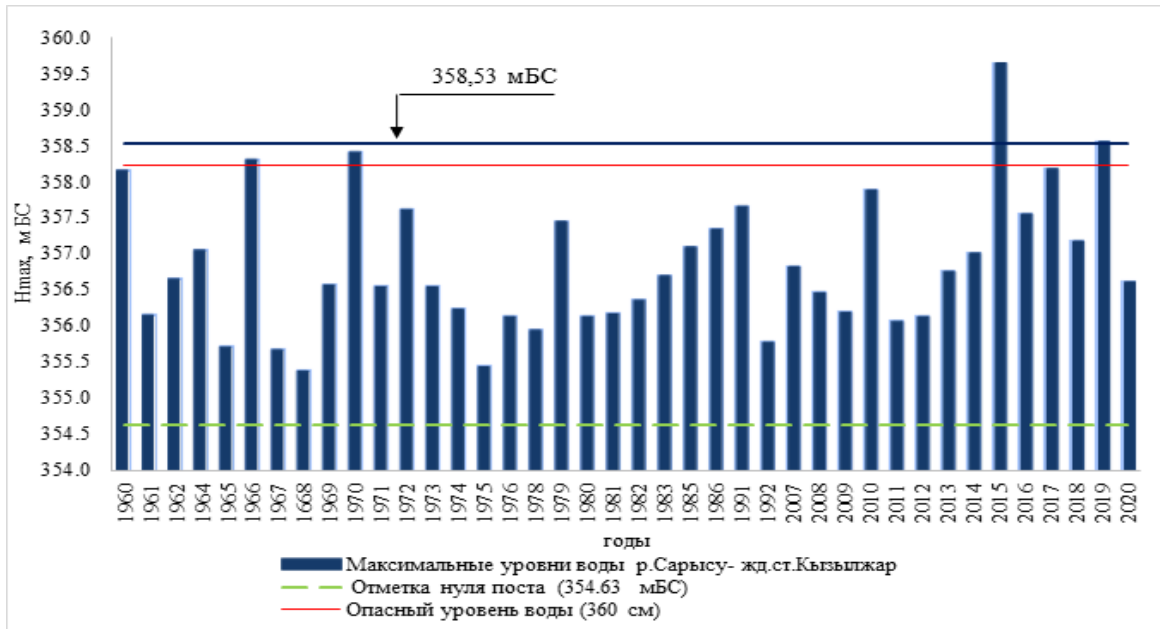


Рис.2. Динамика максимальных уровней воды за многолетний период р.Сарысу у жд.ст. Кызылжар

Для изучения условий формирования и развития наводнений в связи с изменением климатических характеристик на территорию бассейнов крупных рек Центрального Казахстана изучены такие показатели как, количество выпавших жидких осадков за осенний период предыдущего года, количество выпавших твердых осадков в зимний период, высота снежного покрова к началу половодья, запас воды в снеге, температура воздуха в период снеготаяния, глубина промерзания почвы, влагозапасы почвы и интенсивность снеготаяния.

Климатические (метеорологические) показатели играют не малую роль в формировании наводнении. На рисунке 3 показано временное распределение метеорологических показателей (среднегодовая температура воздуха и суммарно годовые осадки) за многолетний период.

По динамике метеорологических данных Центрального Казахстана представленных на рисунках 4 и 5, следует отметить систематическое временное изменение характеристик (скачки и перепады суммарно годовых осадков и среднегодовых температур).

По временному распределению метеорологических показателей, в частности суммарных осадков можно отметить, что многоводные и маловодные годы периодический имеют переходящую фазу от одной к другой.

Суммарное количество многолетних осадков на территории суббассейна реки Нура составляет 320 мм, а на территории суббассейна реки Сарысу составляет 186 мм.

В бассейне реки Сарысу в период снеготаяния и паводков количество атмосферных осадков достигает 31 мм. Значения интенсивности снеготаяния колеблются от -5,5 до 3,1 tmax °С, наименьшие значения характерны для бассейна реки Сарысу. В среднем за наблюдаемые годы осеннее увлажнение почвы перед паводком в данных территориях колеблется от 30 до 100 %. В бассейне рек Сарысу и Нура не наблюдается возникновение опасных заторов и заторных явлений. Рассматривая каждый показатель и его весовой коэффициент в интегральной величине, можно сделать вывод, что наибольшее фактическое воздействие на территории, входящие в группу со средним влиянием природных факторов на формирование

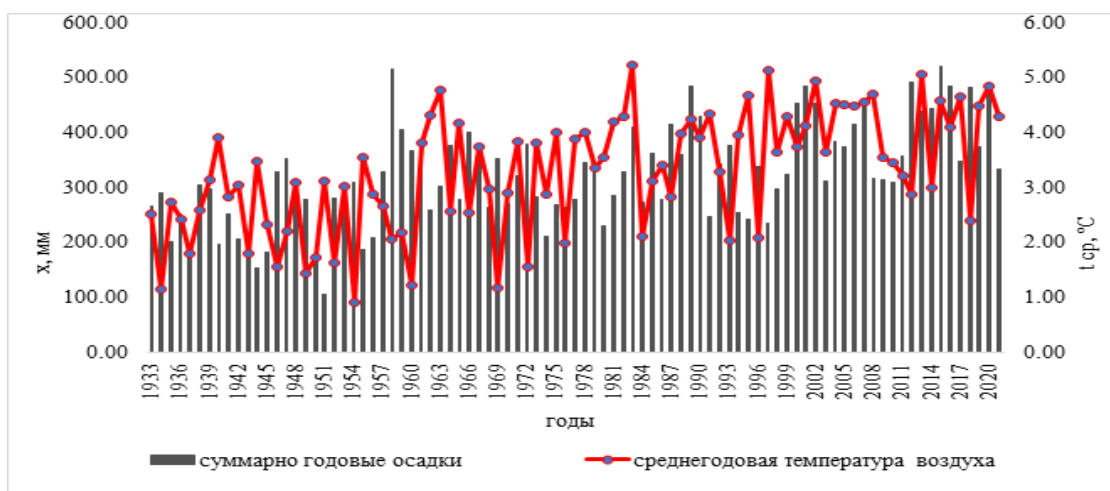


Рис.3. Динамика распределения метеорологических показателей на территории Центрального Казахстана (МС Караганда) за многолетний период (1933...2021 гг.)

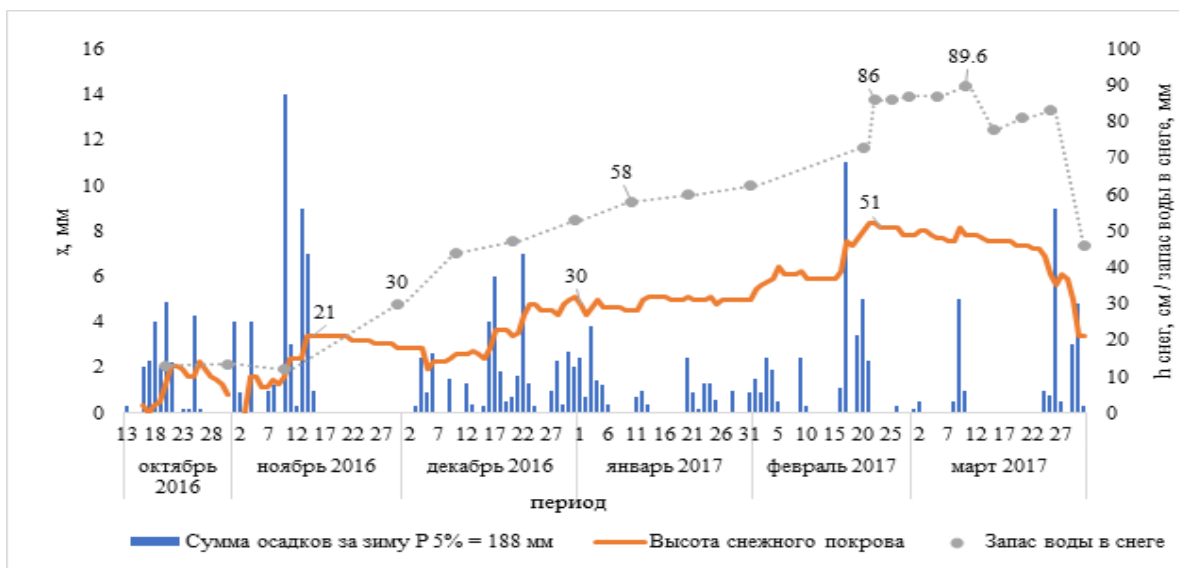


Рис.4. Временное распределение метеорологических показателей (осенние и зимние осадки) на территории Центрального Казахстана (МС Караганда) при P=5 %

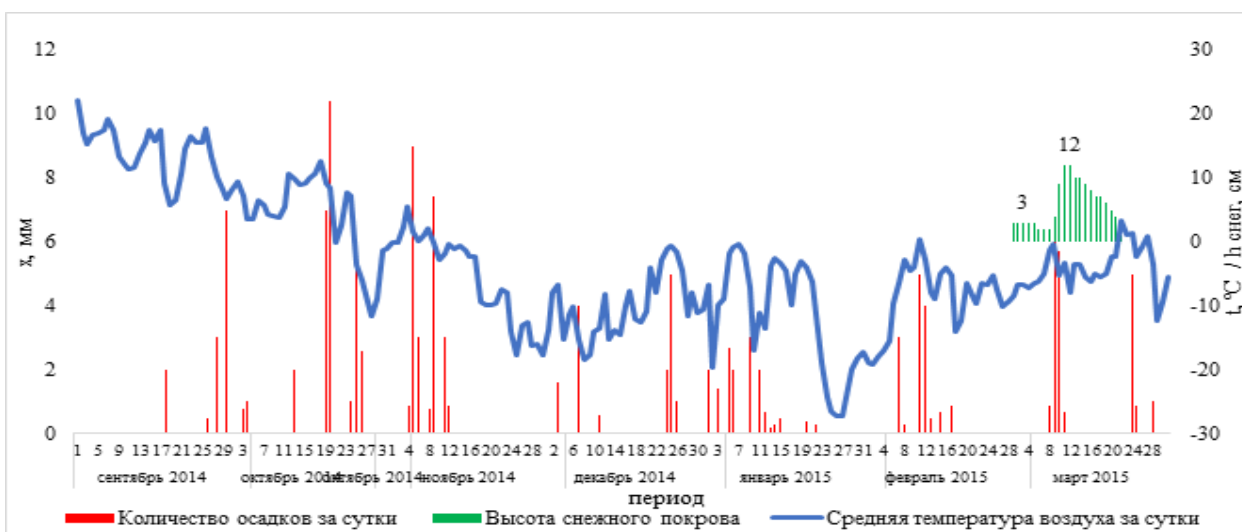


Рис.5. Динамика изменение климатических характеристик на бассейне реки Сарысу при обеспеченности P=5 % (данные за 2014...2015 гг. метеостанции Жезказган)

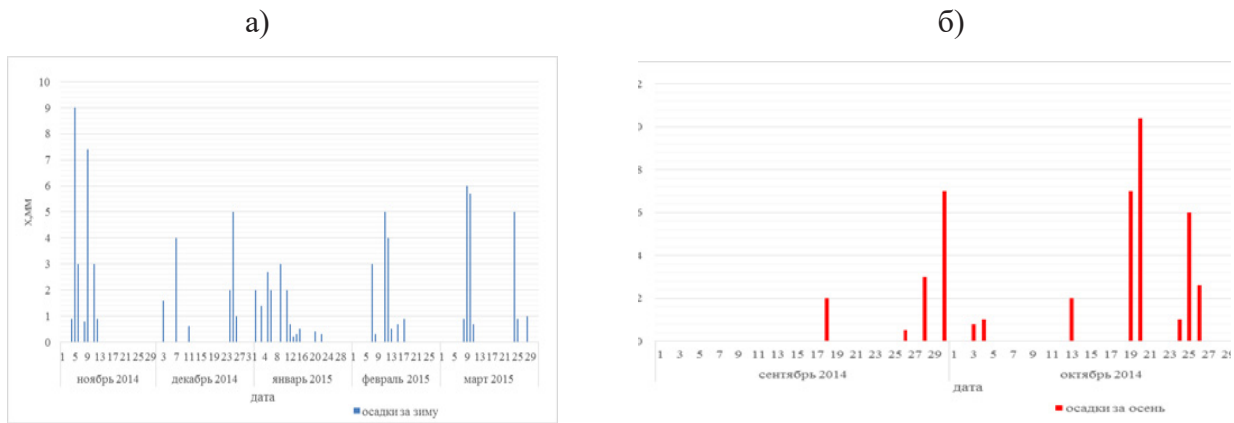


Рис.6. Динамика изменение климатических характеристик на бассейне реки Сарысу при обеспеченности $P=5\%$ (данные за 2014 г. метеостанции Жезказган): а) осадки за зиму 2014...2015 гг., б) осадки за осень 2014 г.

наводнений, оказывают запасы воды в снежном покрове перед началом весеннего таяния, количество атмосферных осадков в период таяния снега и паводков и интенсивность снеготаяния.

На рис.7 приведено пространственное распределение и повышение уровня воды в период половодья на реке Нура до 5 % обеспеченности расходов воды, которые были за счет климатических факторов, таких как обильные жидкие осадки в осенний период предшествующего года. В этот период на территории Центрального Казахстана предшествующая к ней осень была умеренно влажной, суммарное количество осадков за осень предшествующего года составила в верховьях реки Нура, территория от истока реки до гидропоста Коргалжын 40...80 мм (например, на МС Караганда 44,1 мм), в низовьях реки Нура, от гидропоста Коргалжын Карагандинской области до устья суммарное значение осадков за осень составляло 31...60 мм. Суммарное количество атмосферных осадков за осенний период на территории Улытауской области (г. Жезказган) составило 34,7 мм. За счет таких жидких осадков почва насытилась осенью водой, тем самым увеличив влагозапасы почвы.

Следующим рассматривался период выпадения твердых осадков на территории Центрального Казахстана, который приходится на период с декабря по март. Суммарное количество твердых осадков за зимний период на территории Карагандинской области (г.Караганда) составляет 188 мм, на территории суббассейна р.Нура варьируется от 90...190 мм, на территории же Улытауской

области (г.Жезказган) равно 97,9 мм (рис.8).

На рисунке 9 приведено распределение глубины промерзания грунта перед началом паводка на территории Центрального Казахстана (по данным метеостанции г. Караганда) при 5 % обеспеченности расходов воды.

С устойчивым установлением отрицательной температуры начинается промерзание грунта. Глубина промерзания грунта является одним из важных показателей в формировании паводка, так как за счет оттаявших вод зависит сброс дополнительного стока с грунта в русло реки. Максимальная глубина промерзания грунта перед паводком на территории Карагандинской области за исследуемый период составила 80...100 см, на территории г.Караганда – 81 см (как видно из рисунка 9). Наиболее высокое значение промерзания грунта наблюдалось на МС Бесоба с отметкой 121...130 см.

Глубина промерзания грунта перед паводком на территории Улытауской области намечалось на уровне 40...70 см, на территории г.Жезказган составило 47 см. Максимально высокое значение наблюдалось с отметкой 80 см на МС Кызылжар.

Одним из значимых характеристик, влияющих на изменение стока воды при половодьях и паводках, является снеготаяние. Снеготаяния в бассейнах рек начинается с изменения температуры воздуха с отрицательной градацией на положительную. На территории суббассейна Нура переход в положительную сторону начался с 24 марта. 29 марта температура воздуха нагревается до 3,2 °C и далее начинают идти дожди.

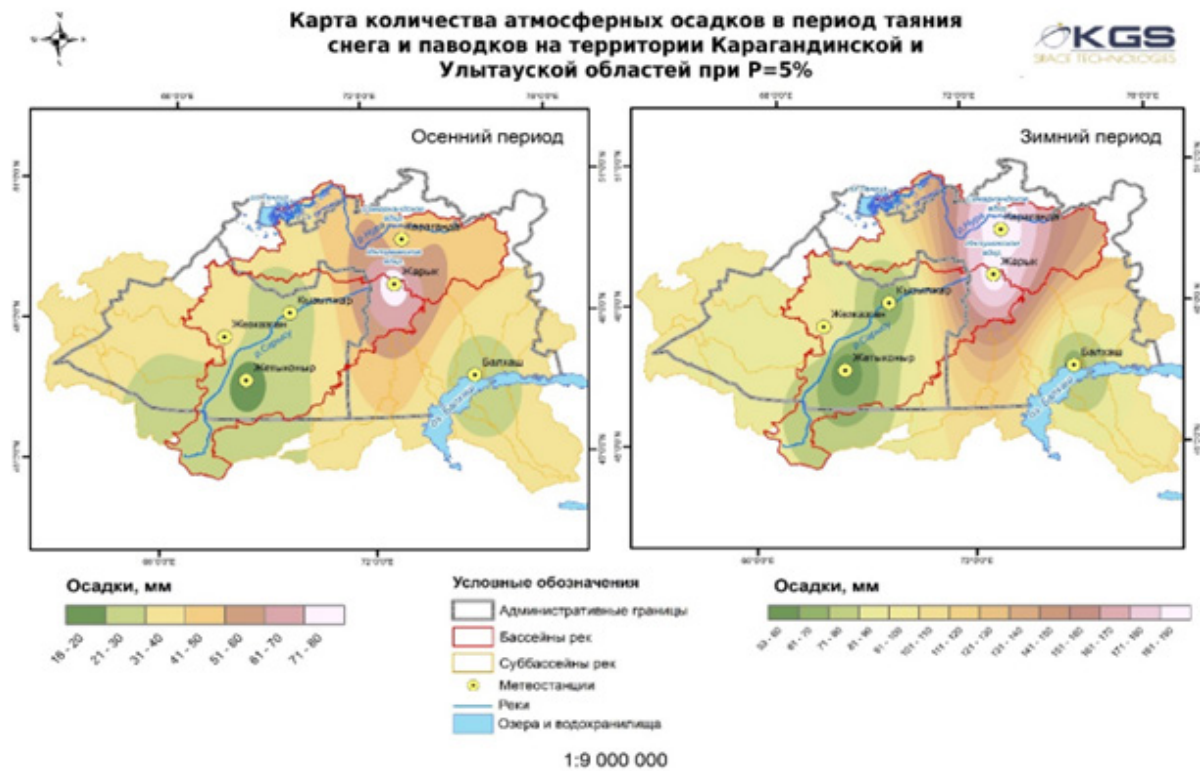


Рис.7. Карта количества атмосферных осадков на территории Центрального Казахстана при P=5%

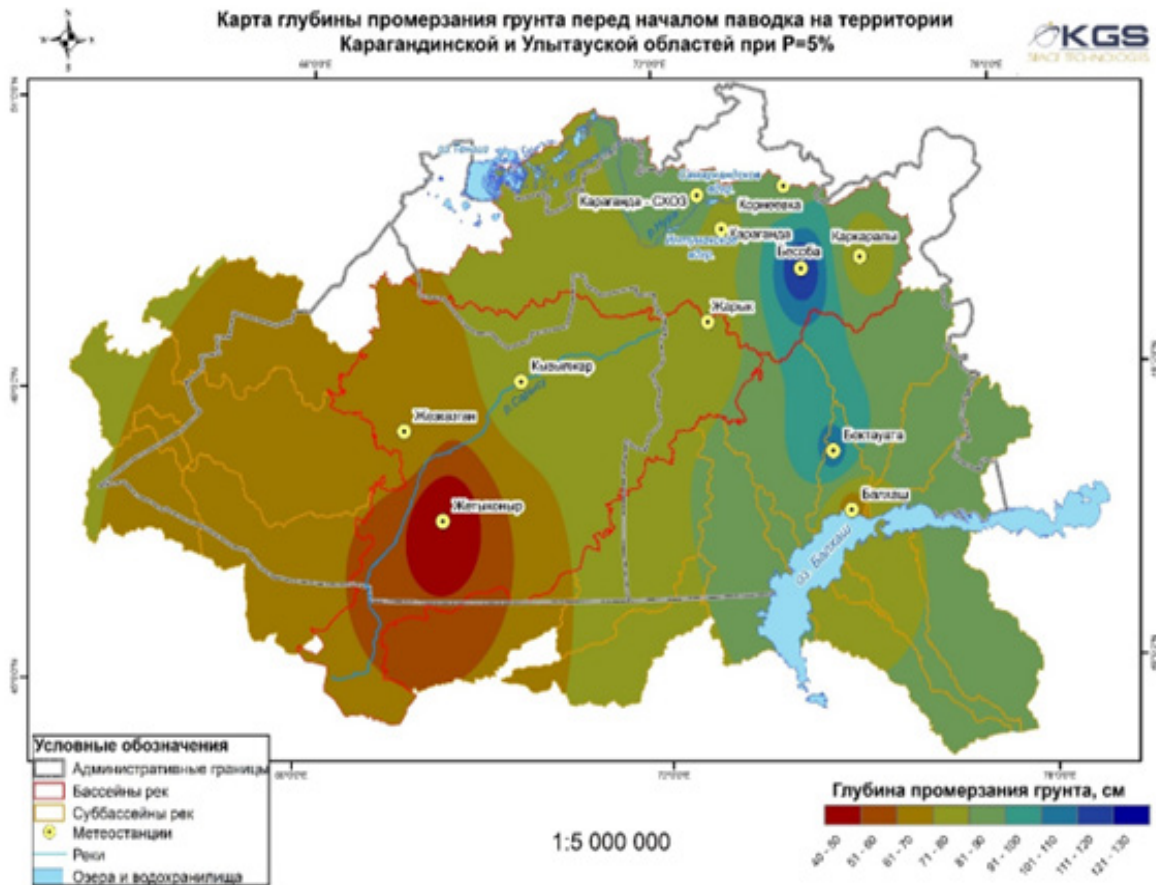


Рис.8. Карта глубины промерзания грунта перед началом паводка на территории Центрального Казахстана при P=5%

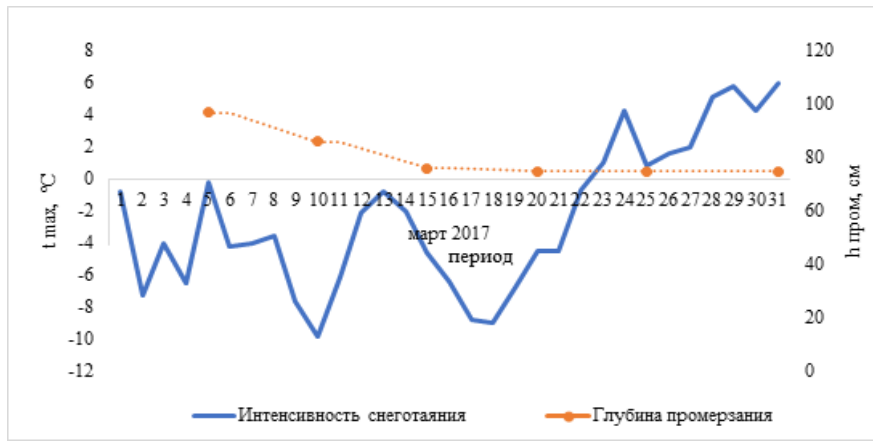


Рис.9. Временное распределение глубины промерзания грунта перед началом паводка на территории Центрального Казахстана (МС Караганда) при $P=5\%$

Средняя годовая многолетняя температура воздуха на территории суббассейна реки Нура составила 2,54 °С. Значение средней годовой многолетней температуры воздуха на территории суббассейна реки Сарысу составило 5,95 °С. На карте (рисунок 10) отображены температурные коэффициенты, рассчитанные по методу Комарова В.Д., для расчета интенсивности снеготаяния. В верховьях реки период снеготая-

ния начинается намного раньше, чем в низовьях реки, и имеет более ярко выраженный характер. В верховьях, значение интенсивности снеготаяния составляет 1,6...2,2 °С, в низовьях – 0,2...0,9 °С (рисунок 11). На формирование паводка не малую роль оказывает лесистость региона. Среднее значение лесистости на территории Центрального Казахстана составляет 1,74 %.

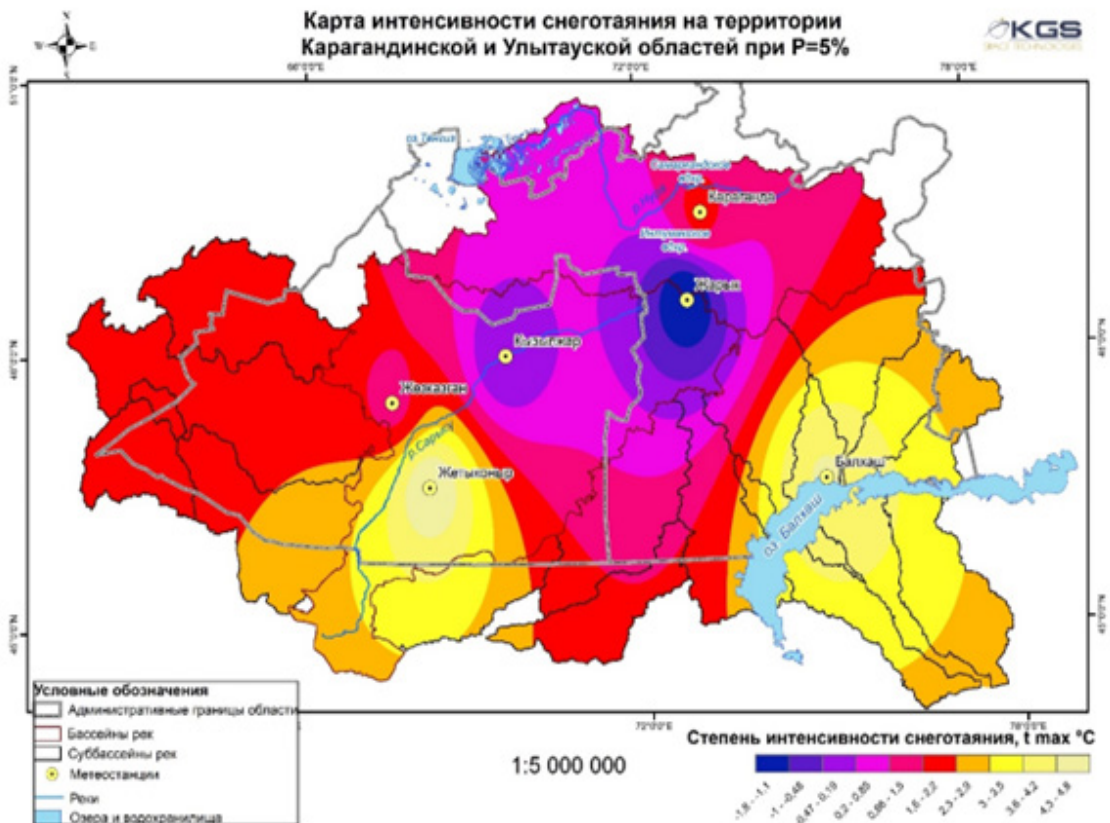


Рис.10. Карта интенсивности снеготаяния на территории Центрального Казахстана при $P=5\%$

Наибольшее значение лесистости наблюдается в Улытауской области (0,46...2,7 %) На основе анализа осредненного коэффициента показателя лесистости по бассейнам и суббассейнам рек Нура и Сарысу. Наиболее плотный лесной покров (искусственные лесопосадки, парки и т.д.) приходится на территории адми-

нистративного округа п.Каракалинск, коэффициент лесистости которого составляет 8,49 %. На территории Карагандинской области среднее значение лесистости составляет от 1,6...2,7 %. На территории г. Караганда коэффициент лесистости составляет 3,71 %.

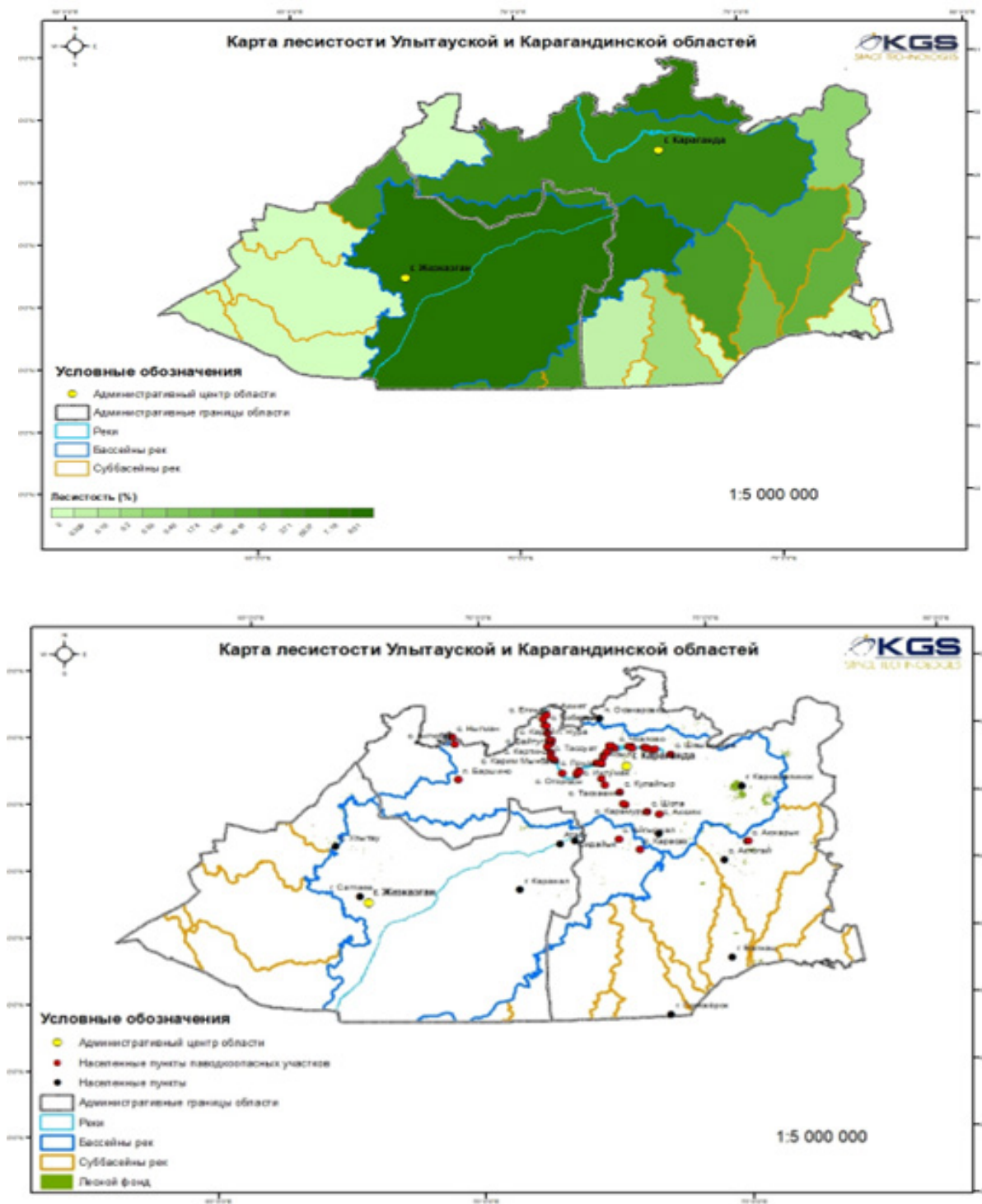


Рис.11. Карта лесистости на территории Центрального Казахстана при P=5%.
 а – показатели лесистости осредненные по бассейнам и суббассейнам рек Нура и Сарысу;
 б – коэффициенты лесистости, отображающие плотность лесного фонда исследуемой территории

Среднее значение увлажнённости почвы на территории Центрального Казахстана (рисунок 12) составляет от 90 до 110 %. Наибольшее значение увлажненности почвы наблюдается в Карагандинской области. На

территории г.Караганда увлажнение почвы варьирует от 90 до 100 %. В Улытауской области среднее значение составляет от 40 до 70 %, а у по территории города Жезказган увлажнение почвы составляет 50...60 %.

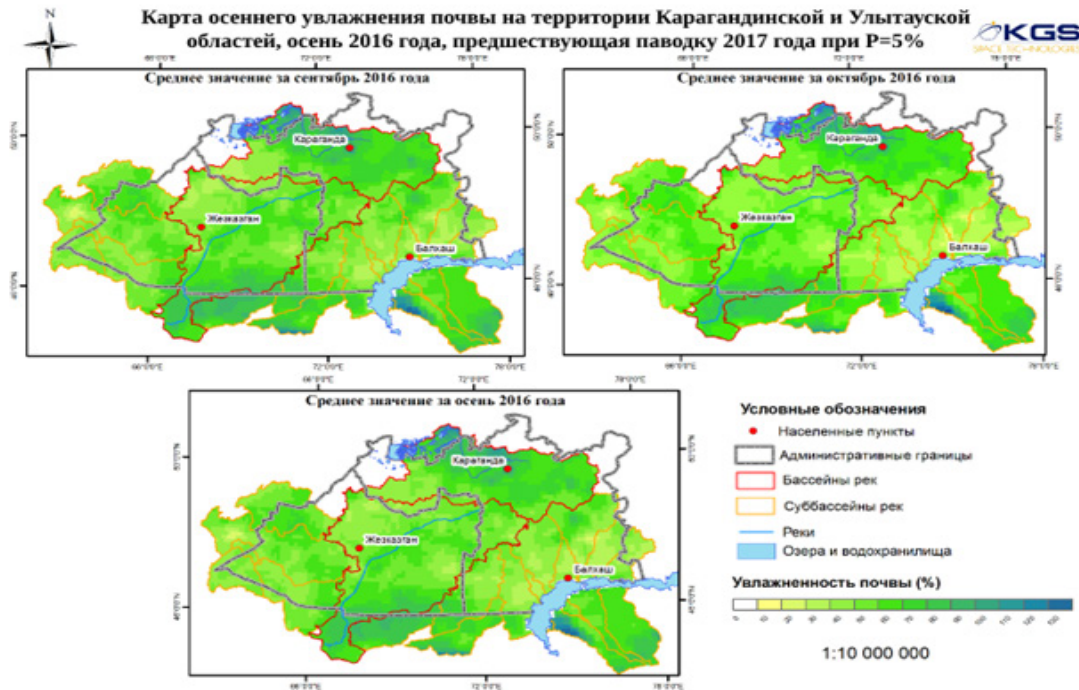


Рис.12. Карта осеннего увлажнения почвы на территории Центрального Казахстана при P=5 %

С переходом температуры с отрицательной стороны в положительную начинается увеличение запасов воды в снеге. Изменение запасов воды в снежном покрове перед началом весеннего снеготаяния на исследуемой территории показано на рисунке 13. Запас воды в снеге в верховьях реки Нура составляет 90...110%, в низовьях 80...90 %. Начинается увеличение уровня воды на реках Нура и Сарысу, повышается запас воды в снеге и параллельно идет процесс таяние снеге на территории бассейна рек Нура и Сарысу. Уже увеличивающемуся объёму воды на русле реки дополнительно поверхностным стокам начинает поступать оттаявшие талые воды и через подземный сток излишние запасы воды из почвы. Все это в симбиозе привело к катастрофически высокому объёму и уровню воды в русле, в следствии чего вода, превысив опасную отметку начала выходить на пойму.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результат анализа стока рек Нура и

Сарысу показал, что большая часть стока рек формируется в период весеннего половодья, сток значительно снижен в межень, русло местами пересыхает, что приводит в дальнейшем к уменьшению пропускной способности русла реки.

Повышение уровня воды в период половодья на реке Нура до обеспеченности 5 % в 2017 году были за счет факторов обильных жидких осадков. За счет жидких осадков почва максимально впитала влагу осенью, тем самым это привело к тому, что следующей весной доля потерь на фильтрацию была минимальной и большая часть талого стока аккумулировалась в русле реки. Все эти факторы привели к резкому увеличению уровня воды на реке Нура, к катастрофически высокому объёму и уровню воды в русле, в следствие чего вода начала выходить на пойму и затапливать населенные пункты.

Факторами повышение уровня воды в период половодья на реке Сарысу стали

очень обильные выпадавшие твердые осадки. В период снеготаяния наблюдались обильные дожди, которые наряду с интенсивным снеготаянием привели к резкому подъему воды в период паводка.

Выводы:

1. На основе интегральной оценки природных факторов установлено, что относительно умеренное (среднее) влияние природных факторов на формирование наводнений в исследуемом регионе возрастает с севера на юг.

2. Установлено, что степень природных факторов, влияющих на формирование наводнений определяется контрастностью ландшафтно-формирующих процессов.

3. В целом же, на территории исследования преобладают системы со слабой и со средней степенью влияния природных факторов на формирование наводнений.

4. Предложенная методика интегральной оценки природных факторов, влияющих на формирование наводнений наиболее полно отражает основные факторы влияния и степень потенциальной природной устойчивости бассейнов и суббассейнов региона исследования.

5. Результаты исследования служат одним из показателей интегральной оценки уязвимости региона исследования к наводнениям.

Финансирование:

Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования по заказу Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (BR 10965352).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов В.А., Дурнев Р.А., Соколов Ю.И. Опасные гидрометеорологические явления на территории России – М.: ВНИИ ГОЧС, 2009.
2. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами. – М., изд. Наука, 1982. - 271 с.
3. Нежиховский Р.А. Наводнения на реках и озерах – Л.:1988. – 183 с.
4. Информационно-методический сборник материалов по чрезвычайным ситуациям и

гражданской обороне. – Алматы, - 2015. - 120 с.

5. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций, Министерство образования и науки РК, Министерство по чрезвычайным ситуациям РК, ТОО «Институт географии». Алматы, 2010 г.

6. Метеорологическая и гидрологическая базы данных - Казгидромет (kazhydromet.kz)

7. Семенов В.А., Кобозева Г.Л., Коршунов А.А., Волков А.А., Шамин С.И. К вопросу создания информационного обеспечения оценки климатически обусловленных изменений повторяемости опасных и неблагоприятных гидрологических явлений на реках/Труды ВНИИГМИ-МЦД, В.174. - Обнинск, ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД. - 2010 г. - 280 с.

8. Румянцев В.А., Бовыкин И.В. Пространственно-временные закономерности колебаний стока рек Евразии. – Л.: Наука, 1985 – 148 с.

9. Бузин В.А. Опасные гидрологические явления: учебное пособие для вузов. - Санкт-Петербург: РГМУ,2008. – 227 с.

REFERENCES

1. Akimov V.A., Durnev R.A., Sokolov Yu.I. Opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya na territorii Rossii – M.: VNI GOChS, 2009.
2. Kritskii S.N., Menkel' M.F. Hidrologicheskie osnovy upravleniya vodokhoziaistvennymi sistemami. – M., izd. Nauka, 1982. - 271 s.
3. Nezhikhovskii R.A. Navodneniya na rekakh i ozerakh – L.:1988. – 183 s.
4. Informatsionno-metodicheskii sbornik materialov po chrezvychainym situatsiyam i grazhdanskoi oborone. – Almaty, - 2015. - 120 s.
5. Atlas prirodnykh i tekhnogennykh opasnostei i riskov chrezvychainykh situatsii, Ministerstvo obrazovaniya i nauki RK, Ministerstvo po chrezvychainym situatsiyam RK, TOO «Institut geografii». Almaty, 2010 g.
6. Meteorologicheskaya i gidrologicheskaya bazy dannykh - Kazgidromet (kazhydromet.kz)
7. Semenov V.A., Kobozeva G.L., Korshunov A.A., Volkov A.A., Shamin S.I. K voprosu sozdaniya informatsionnogo obespecheniya otsenki klimaticheskii obuslovlennykh izmenenii povtoryaemosti opasnykh i neblagopriyatnykh gidrologicheskikh yavlenii na rekakh/Trudy VNIIGMI-MTsD, V.174. - Obninsk, FGBU VNIIGMI-MTsD. - 2010 g. - 280 s.
8. Rumyantsev V.A., Bovykin I.V. Prostranstvenno-vremennye zakonomernosti kolebanii stoka rek Evrazii. – L.: Nauka, 1985 – 148 s.
9. Buzin V.A. Opasnye gidrologicheskie yavleniya: uchebnoe posobie dlya vuzov. - Sankt-Peterburg: RGMU, 2008. – 227 s.

ОРТАЛЫҚ ҚАЗАҚСТАН АУМАҒЫНДА СУ ТАСҚЫНЫНЫҢ ҚАЛЫПТАСУ ЖАҒДАЙЛАРЫ

М.А.Алағуджаева¹, С.Р.Садвакасова² геогр.ғылым.канд., Б.Б.Елбасиева², А.А. Аимбетов¹

¹ «Қазақстан Ғарыш Сапары» АҚ, Астана, Қазақстан

² Л.Н.Гумилев атын. Еуразия Ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

E-mail: saltik81@mail.ru

Бұл мақалада қазіргі климаттық өзгерістер жағдайында 1960...2023 жылдар кезеңінде Қазақстан Республикасының аумағында Нұра және Есіл өзендерінің бассейндерінде су тасқынының пайда болу себептерін талдау нәтижелері келтірілген. Нұра-Сарысу бассейнінің су тасқыны мен өзендерінің ұзақтығы бассейнің көлеміне, оның ормандылығына, батпақтануына, көлдердің болуына, су тасқыны басталғанға дейін қар қорының мөлшеріне және көктемнің сипатына байланысты екендігі көрсетілген.

Түйін сөздер: су ресурстары, климаттың өзгеруі, су тасу, су басу

CONDITIONS FOR THE FORMATION OF FLOODS IN THE TERRITORY OF CENTRAL KAZAKHSTAN

M.A. Alagudzhaeva¹, S.R. Sadvakassova^{2*} candidate of the geographical sciences, **B.B. Yelbasieva², A.A. Aimbetov¹**

¹ JSC «Kazakhstan Space Travel», Astana, Kazakhstan

² Eurasian National University named after L.N. Gumilev, Astana, Kazakhstan

E-mail: saltik81@mail.ru

This article presents the results of the analysis of the causes of the formation of floods in the basins of the Nura and Yesil rivers in the territory of the Republic of Kazakhstan for the period 1960...2023 in the conditions of modern climatic changes. It is shown that the duration of the flood and the rivers of the Nur-Sarys basin depends on the size of the basin, its forest cover, swampiness, the presence of lakes, the amount of snow reserves at the beginning of the flood and the nature of spring.

Key words: water resources, climate change, floods, flooding.

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

М.А.Алагуджаева – PhD, Ведущий инженер, АО «НК «Қазақстан Ғарыш Сапары», г. Астана, пр.Туран, 89, manira_ter@mail.ru

С.Р.Садвакасова – к.ғ.н., и.о.доцента, ЕНУ им.Л.Н.Гумилева, г.Астана, ул.К.Мунайтпасова 13, saltik81@mail.ru

Б.Б.Елбасиева – старший преподаватель ЕНУ им.Л.Н.Гумилева, г.Астана, ул.К.Мунайтпасова 13, baljan_2303@mail.ru

Аимбетов А.А. – Председатель, АО « НК «Қазақстан Ғарыш Сапары», г. Астана, пр.Туран, 89, kense@gharysh.kz

М.А.Алагуджаева – PhD, «Қазақстан Ғарыш Сапары» ҰК» АҚ, Астана қ., Тұран даң, 89, manira_ter@mail.ru

С.Р.Садвакасова – г.ғ.к., доцент м.а., Л.Н.Гумилев ат. ЕҰУ, Астана қ., Қ.Мұнайтпасов к., 13., saltik81@mail.ru

Б.Б.Елбасиева – аға оқытушы, Л.Н.Гумилев ат. ЕҰУ, Астана қ., Қ.Мұнайтпасов к., 13, baljan_2303@mail.ru

Аимбетов А.А. – Төраға, «Қазақстан Ғарыш Сапары» ҰК» АҚ, Астана қ., Тұран даң, 89, kense@gharysh.kz

M.A. Alagudzhaeva - Ph.D., JSC «Kazakhstan Space Travel», Astana, Turan Ave., 89, manira_ter@mail.ru

S.R. Sadvakassova - Ph.D., acting associate professor, Eurasian National University named after L.N. Gumilev, Astana, 13 K.Munaitpasova street, saltik81@mail.ru

B.B. Yelbasieva - Senior Lecturer, Eurasian National University named after L.N. Gumilev, Astana, 13 K. Munaitpasova street, baljan_2303@mail.ru

Aimbetov A.A. – Chairman, JSC «Kazakhstan Space Travel», Astana, Turan Ave., 89, kense@gharysh.kz

ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ЦИФРОВОЕ ПРОГНОЗНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА НА ОСНОВЕ ВЫСОКОДЕТАЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА

М.А.Алагуджаева¹, С.Р.Садвакасова*² к.г.н., Б.Б.Елбасиева², А.А.Аимбетов¹

¹АО «Қазақстан Ғарыш Сапары», Астана, Қазақстан

²Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Астана, Қазақстан

E-mail: saltik81@mail.ru

В исследовании приведены результаты оценки пространственного распределения наводнений, прогнозирования и моделирования зон затоплений территорий, оказывающихся под водой, в результате изменения гидрологического состояния водных объектов.

Ключевые слова: Экстремальные гидрологические явления, паводок, частота повторяемости наводнений, противопаводковые мероприятия, космические снимки, управление наводнениями

Поступила: 15.11.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2023-111-4-74-84

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на принимаемые меры, проблема прогнозирования и моделирования природных и техногенных катастроф в настоящее время является одной из самых важных и актуальных. В частности, опасность возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с затоплением территорий, остается очень высокой, продолжает увеличиваться количество пострадавших и экономический ущерб от наводнений (Красногорская Н.Н. и др., 2012).

В настоящее время без средств автоматизации не достичь высокого качества и скорости выполнения работ по моделированию и прогнозированию природных процессов и явлений, а также связанных с ними чрезвычайных ситуаций. В связи с развитием информационных технологий наступил период, когда нужно решать комплексные задачи по управлению половодьями и паводками для защиты населения и объектов экономики от наводнений с интеграцией разнородных информационных ресурсов из различных источников на основе общего, системного принципа. Идеально отвечают такой потребности геоинформационные системы (ГИС). ГИС, с одной стороны, родственны системам управления базами данных (СУБД), а с другой – графическим пакетом, прежде всего системам автоматизированного

проектирования (САПР). Они позволяют привязывать базы данных к графическим объектам, то есть данные к пространственному положению объектов. А задачи, связанные с прогнозированием и оценкой последствий чрезвычайных ситуаций, требуют именно такого подхода (Семенов В.А. и др., 2010).

Целью данного исследования является обеспечение безопасности от воздействия экстремальных гидрологических явлений территории Северного Казахстана.

1. Для обработки значительного объема информации о пространственно-распределенных объектах в период динамически изменяющейся паводковой ситуации и последующего оперативного принятия противопаводковых мер необходимо автоматизировать процесс расчета параметров зон затоплений. Однако ограниченное число гидрологических постов и недостаточное качество информации о водных объектах и рельефе местности снижает достоверность оценок текущей и прогнозируемой паводковой ситуации на всей территории страны в целом. Ввиду этого более полезными оказываются космические системы наблюдения, способные предоставлять оптические и радиолокационные космические снимки с фактическими изображениями зон затопления в оперативном режиме с высоким пространственным разрешением. Указанное обстоятельство повышает оперативность и адекватность

предпринимаемых мер по снижению вредного воздействия паводковой ситуации на промышленность (Авакян А.Б. и др., 2012).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методика прогнозного цифрового моделирования состоит из нескольких этапов:

1) Подготовлены исходные данные, такие как, высокодетальная цифровая модель рельефа с пространственным разрешением 5 метров и 0,5 метров, ЦМР SRTM с разрешением 30 м на пиксель, а также цифровая модель рельефа на основе изолиний, отметок высот масштаба 1:25000, топографической съемки и результатов полевых исследований в частности батиметрии с разрешением 10 м на пиксель и гидротехнических сооружений. Определена линия водораздела, площадь водосбора и сухие русла временных водотоков, питающие основное русло исследуемых рек в период паводка (Терский П.Н. и др., 2017).

2) Определены ключевые участки для гидродинамического моделирования и выполнены полевые изыскания по батиметрической съемке и обследованию гидротехнических сооружений, объектов инфраструктуры.

3) Рассчитана математическая основа моделирования, выполнены гидрологические расчеты по стоку и уровневому режиму для изученных рек в зависимости от применяемого вида моделей.

4) В ходе апробации модели по 6 сценарным прогнозам определена наиболее подходящая ЦМР для выполнения поставленной задачи. На основе цифровой модели рельефа создана модель ModelBuilder (алгоритма инструментов ArcToolbox) для автоматизации методики моделирования паводка с применением данных космической съемки, наземных батиметрических работ и геоинформационных технологий. У каждой из программ есть свои преимущества и недостатки при расчете и моделировании.

5) Рассчитана погрешность прогнозного цифрового моделирования.

Для моделирования регионов применяется бассейновый подход, Северо-Казахстанская область относится к Есильскому водохозяйственному бассейну. Для более

детального исследования каждый бассейн разделен на суббассейны. Применены методы гидрологического и гидродинамического расчета, при наличии и отсутствии материалов наблюдений (Евстигнеев В.М., 2012).

В результате выполненных работ получены модели сценариев затопления населенных пунктов от 0,1% до 25% обеспеченности на территории Северного Казахстана. Исходя из результатов полученных моделей прослеживаются определенные закономерности формирования и прохождения наводнения на территории Северного Казахстана.

В ArcGIS выполнено два метода гидрологического цифрового прогнозного моделирования русел крупных рек в створах населенных пунктов области (ключевые участки), подверженного разрушаемому воздействию экстремальных гидрологических явлений в годы 25%, 20%, 10%, 5%, 1% и 0,1% обеспеченности. Методика гидрологического моделирования основана на применении цифровых моделей рельефа высокого пространственного разрешения (0,5 метров для равнинной местности и 2,5 метров для горной местности), общераспространенной цифровой модели рельефа SRTM, высот полученных по данным гидропоста, а также пространственной модели, разработанной для прогнозирования сценариев затопления. Таким образом, моделирование в оценке точности проведено по двум видам: с применением высокодетальной ЦМР и общераспространенной ЦМР SRTM.

Необходимым условием моделирования является предварительная векторизация оси русла реки, обозначение створов в местах меандрирования русла реки, а также обозначение мест пересечения оси русла и створов с помощью точечного слоя. При этом, створы векторизовались перпендикулярно к оси русла, без пересечения между собой.

Далее в модель введены параметры входных данных гидропостов по уровню воды в годы различной водообеспеченности и запущен процесс моделирования.

По завершению процесса моделирования получены векторные изображения сценариев гидрологического цифрового прогнозного моделирования.

На основе полученных векторных данных разработаны карты гидрологического цифрового прогнозного моделирования разлива воды на ключевых участках Акмолинской, Северо-Казахстанской областей, подверженных разрушаемому воздействию экстремальных гидрологических явлений при различной степени обеспеченности.

Третий вид моделирования выполняется в специализированном программном обеспечении HEC-RAS произведено гидродинамическое цифровое прогнозное моделирование русла рек на 7 ключевых участках в створах населенных пунктов области (ключевые участки), подверженного разрушаемому воздействию экстремальных гидрологических явлений в годы 25 %, 20 %, 10 %, 5 % обеспеченности, результаты картирования представлены на рисунке 2.

Методология работ основана на построении цифровой модели речной долины с учетом гидротехнических сооружений, дамб и мостов. В работе использованы следующие исходные данные: высокодетальные цифровые модели рельефа (0,5, 1 и 2,5 метра), результаты полевого обследования по дешифрированию гидротехнических сооружений и результаты батиметрической съемки и данные по расходам воды (kazhydromet.kz) (Тертышников А.В., 2010). Основной водной артерией Северного Казахстана является река Есиль, она же и основная причина затопления населенных пунктов данного региона. Река Есиль протекает на территории двух областей: Акмолинская и Северо-Казахстанские области. По ЦМР с разрешением 2,5 метров: в общей сложности гидрологическим моделированием с применением ЦМР высокого разрешения в Акмолинской области РК охвачено 69 населенных пунктов области, расположенных вблизи рек с выраженной поймой на равнинной местности, из которых 64 города подвержены подтоплению в годы с 0,1 % обеспеченности, 48 н.п. – в годы с 1 % обеспеченностью, 33 н.п. – в годы с 5 % обеспеченностью, 28 н.п. – в годы с 10 % обеспеченностью, 13 н.п. – в годы с 20 % обеспеченностью и 10 н.п. – в годы с 25 % обеспеченности. Также, 2 города подвержены подтоплению в годы с 0,1 и 1 % обеспеченности и 1 город – в годы при

обеспеченности 5 % и 10 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В г.Астана при 20 % обеспеченности угроза затопления не значительны. При обеспеченности 10 % угроза затопления в малой степени грозить мкр Уркер, мкр Коктал и близи жд вокзала Нурлы Жол. При 5 % обеспеченности затопления мкр Уркер, мкр Коктал и близи жд. вокзала Нурлы Жол становятся значительными. При 0,1 % и 1 % обеспеченности высокая угроза затопления мкр Уркер, мкр Коктал, близи жд вокзала Нурлы Жол а также частично грозит территории близи Акорды. Ниже приведены карты затопления разными методами г.Астана при обеспеченности расходов воды от 0,1 % до 20 % (рисунок 1).

Но бывают и исключения, когда выход воды на пойму может начаться при более малых обеспеченностях, как например на реке Жабай – приток реки Есиль. В г.Атбасар, расположенный на берегу реки Жабай затопление населенного пункта происходит при 25 % обеспеченности. Причина этому плотное застройки территории долины и поймы реки. Карты моделирования стока реки Жабай в створе г. Атбасар представлены на рисунке 2.

В Северо-Казахстанской области затопления населенных пунктов часто происходят на застройках (жилые и не жилые помещения) расположенных на долине и пойменной части реки. Затопления таких населенных пунктов происходит в годы 10 % обеспеченности и выше, то есть в среднем наблюдаются раз в 10...20 лет.

На территории реки Есиль до водохранилища Сергеевка затопления населенных пунктов происходит крайне редко, при обеспеченности 0,1 % и 1 %, то есть раз 100 лет. Например, село Жанажол и Ыбыраев – Шал-акынского района.

Ниже водохранилищ Сергеевка и Петропавловск, то есть на территории Кызылжарского района затопления регулярно наблюдаются более чем в 20 населенных пунктах. Затопления наблюдаются уже при 10 %, а некоторых частях района при 20 % обеспеченности.

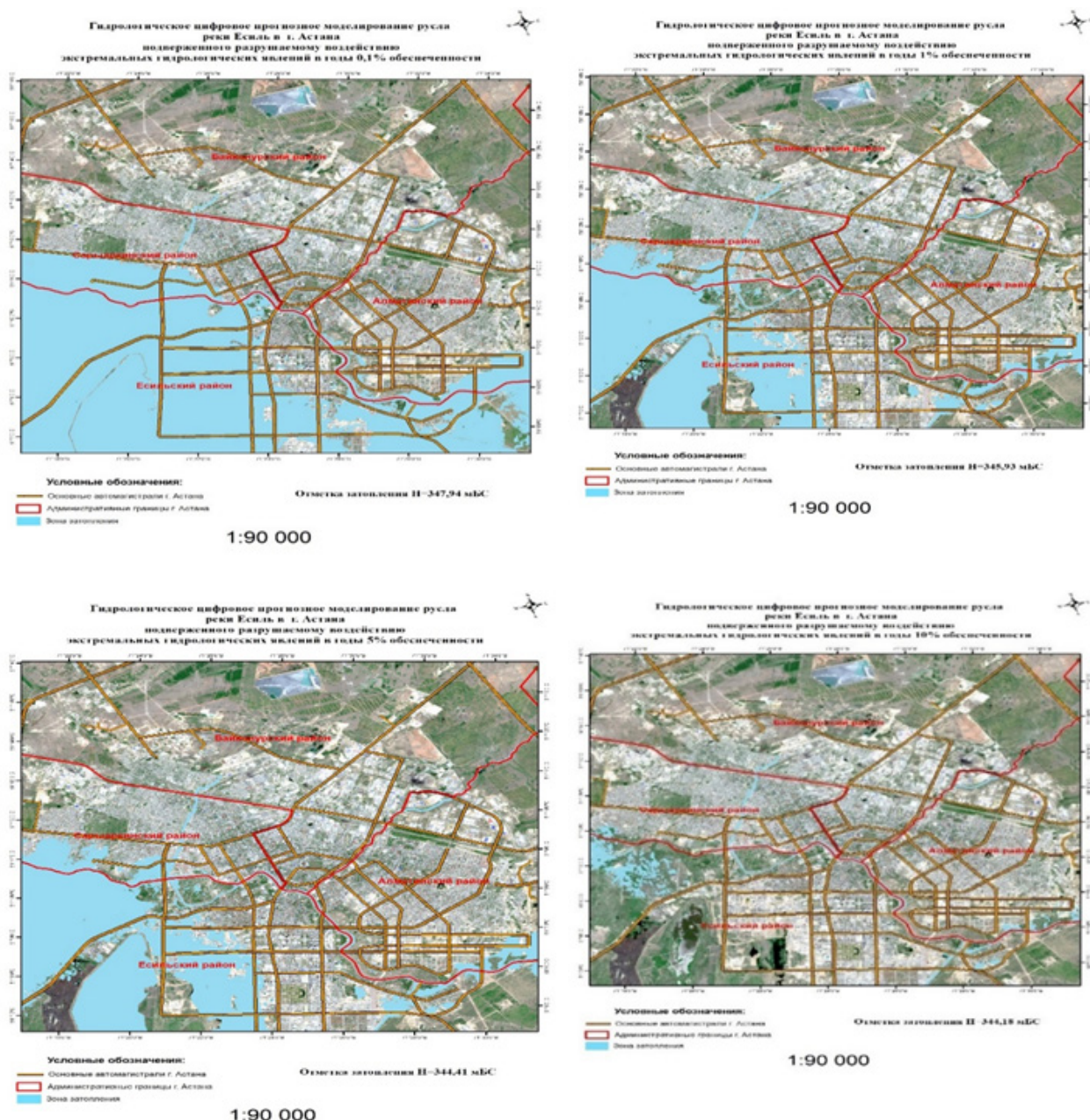


Рис.1. Карты затопления разными методами г. Астана при обеспеченности от 0,1 % до 20 %

Повторяемость таких затоплений раз в 5...10 лет.

Кроме реки Есиль затопления могут происходить на притоках, таких как реки Бабук Бурлык и Акканбурлык. К таким относятся населенные пункты Гусаковка, Карсак, Константиновка, Матвеевка, Андреевка и другие. В данных населенных пунктах затопления происходят крайне редко, при обеспеченности 0,1 % и 1 %, то есть раз 100 лет.

Затопления таких населенных пунктов происходят в годы 10% обеспеченности и выше, то есть в среднем наблюдаются раз в 10...20 лет.

В 2017 году повышение уровня воды реки Жабай на гидропосту Атбасар наблюдалась с 11 апреля. На данном участке выход воды на пойму начинается при отметке воды 276,98 м БС (при уровне 6,50 м). 14 апреля отметка воды на реке Жабай составило 277,32 м БС (6,84 м), тем самым уровень воды превысил опасную отметку, что в свою очередь привело к выходу воды на пойму. Максимальная высокая отметка наблюдалась 17 апреля отметка воды на реке Жабай составило 279,34 м БС (8,86 м). Продолжительность выхода воды

на пойму составило 8 дней (с 14 по 21 апреля).

На карте (рис.3) приведены территории затопления села Покровка за 19 апреля. Общая площадь села Покровка составляет 304.1 га, площадь затопления населенного пункта составило 21,74 га, то есть в период половодья

7,15 % от участка населенного пункта были затоплены. Причиной затопления территории населенного пункта по данным карт ДЗЗ являются повышения уровня воды в период половодья и застройки пойменной части реки Жабай.

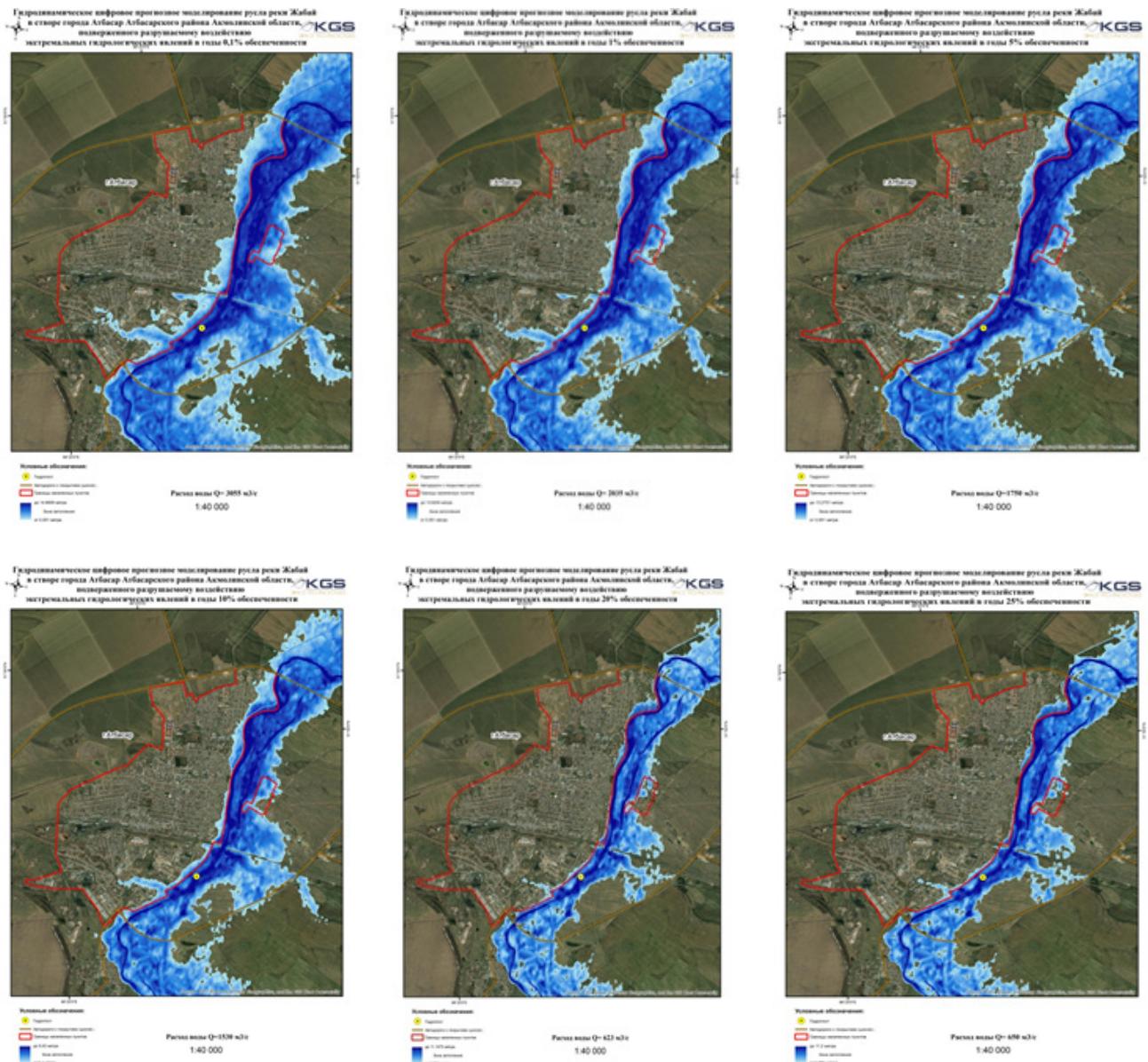


Рис.2. Прогнозное моделирование стока реки Жабай в створе г.Атбасар Акмолинской области обеспеченности от 0,1 % до 25 %

По многолетней динамике сезонного стока реки Жабай на гидропосту Балкашино заметно что начала половодья реки наблюдается в начала или середине апреля. В некоторые anomalно теплые годы за счет раннего повышения температуры воздуха начала половодья может начинаться в конце марта. Средняя продолжительность затопления составляет 1...2 суток. Повторяемость затопления (уровня

выше опасной отметки) за многолетний период наблюдения (1960...2020 гг.) на данном участке реки Жабай составило 2 раза, то есть повторяемость один раз в 30 лет. Но данная динамика повторяемости может изменяться в определенные anomalные многоводные или же маловодные годы (рисунок 4). Максимальная глубина затопления составляет 0,48 м,

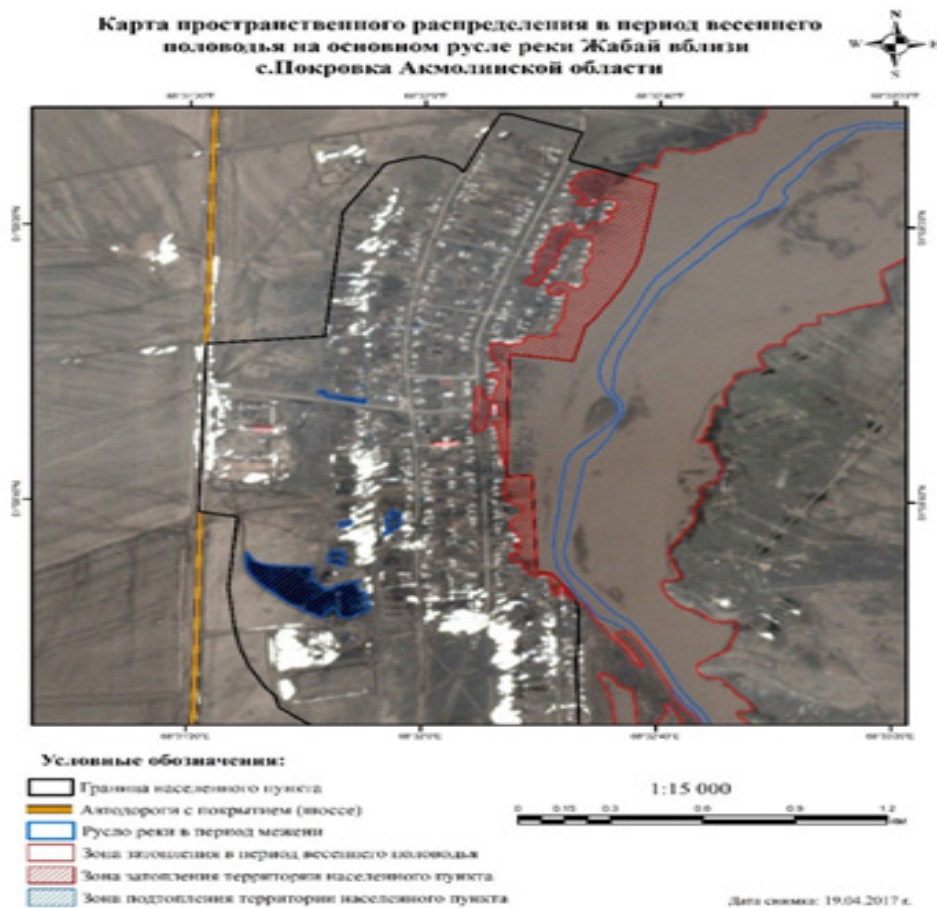


Рис.3. Пространственное распределение наводнений

средняя глубина затопления за многолетний период равна 0,4 м.

На карте (рисунок 5) приведены зоны затопления села территории Ягодное за 18 апреля 2017 года. Общая площадь села Ягодное составляет 61,3 га, площадь затопления населенного пункта составило 36,66 га, то есть в период половодья 59,81 % от участка населенного пункта были затоплены. Причиной затопления территории населенного пункта по данным ДЗЗ являются повышения уровня воды в период половодья и застройки пойменной части реки Калкутан.

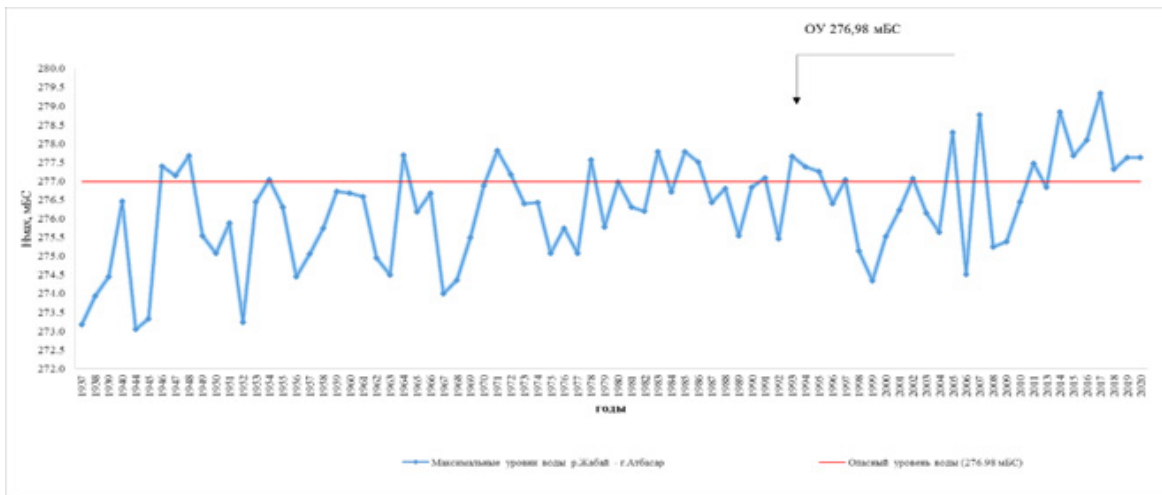
2017 году повышение уровня воды реки Есиль на гидропосту Петропавловск наблюдалась с 20 апреля. На данном участке выход воды на пойму начинается при отметке воды 94,4 м усл (при уровне 9,40 м). 21 апреля отметка воды на реке Есиль составило 94,41 м усл (9,41 м), тем самым уровень воды превысил опасную отметку, что в свою очередь привело к выходу воды на пойму. Максимально высокий уровень наблюдался 6 мая, отметка воды на реке Есиль составило 96,93 м усл

(11,93 м). Продолжительность выхода воды на пойму составило 43 дня (с 21 апреля по 2 июня).

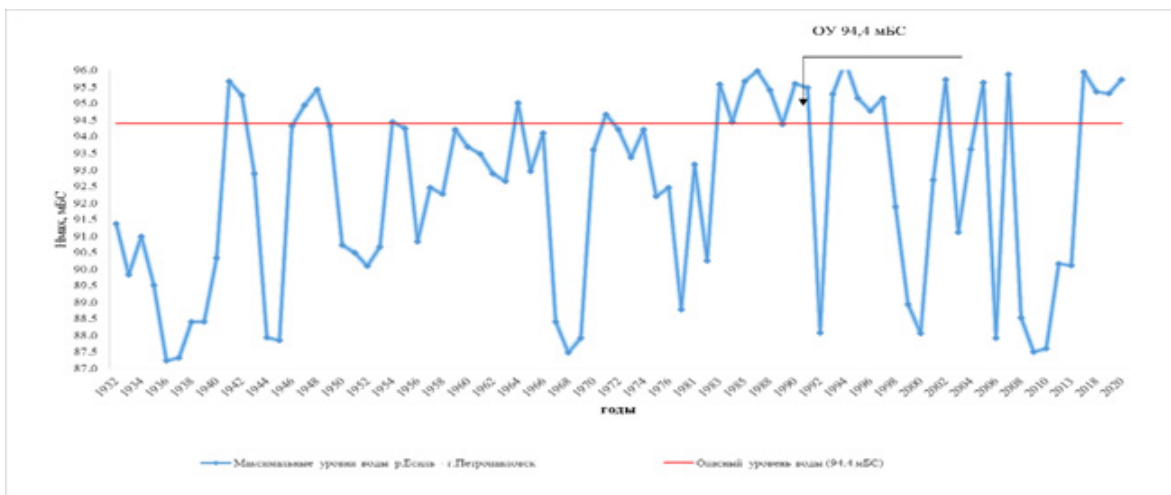
На карте приведены зона затопления территории города Петропавловск за 29 апреля 2020 года (рисунок 6). Общая площадь города Петропавловск составляет 12212,8 га, площадь затопления населенного пункта составило 1867,9 га, то есть в период половодья 15,3 % от участка населенного пункта были затоплены. Причиной затопления территории населенного пункта по данным карт ДЗЗ являются повышения уровня воды в период половодья и застройки пойменной части реки Есиль.

По многолетней динамике сезонного стока реки Есиль на гидропосту Петропавловск заметно что начала половодья реки наблюдается в третьей декаде апреля или в начале мая. В некоторые аномально теплые годы за счет раннего повышения температуры воздуха начала половодья может начинаться в середине апреля. Средняя продолжительность затопления составляет 31...32 дня. Повторяемость затопления (уровня выше опасной отметки)

Река Жабай в створе г. Атбасар



река Есиль в створе г. Петропавловск



река Есиль в створе г. Астана

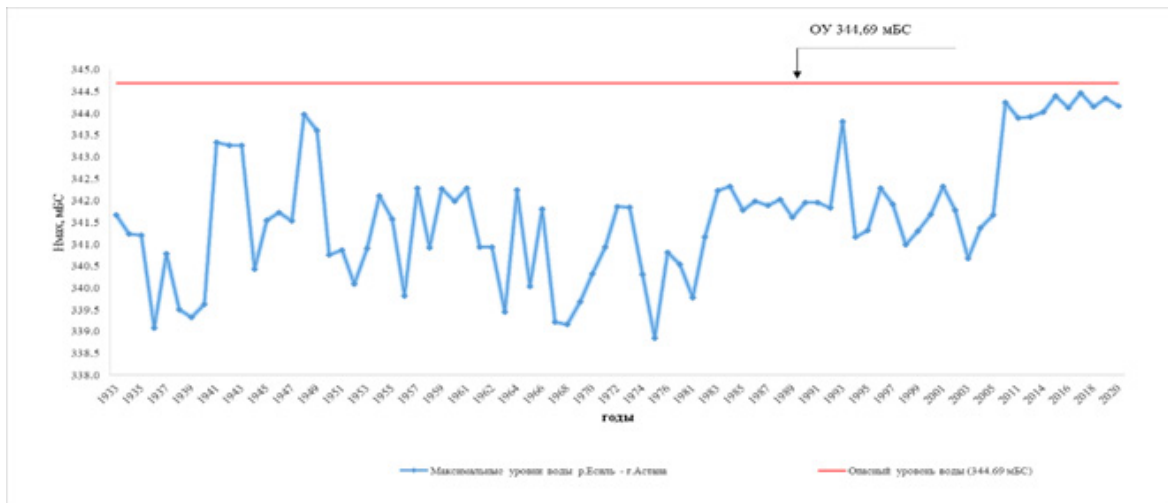


Рис.4. Динамика многолетнего максимального уровня воды на реках Есиль и Жабай

за многолетний период наблюдения (1932-2020 гг.) на данном участке реки Есиль составило 25 раз, то есть повторяемость один раз

в 4 года. Но данная динамика повторяемости может изменяться в определенные аномальные многоводные или же маловодные годы.

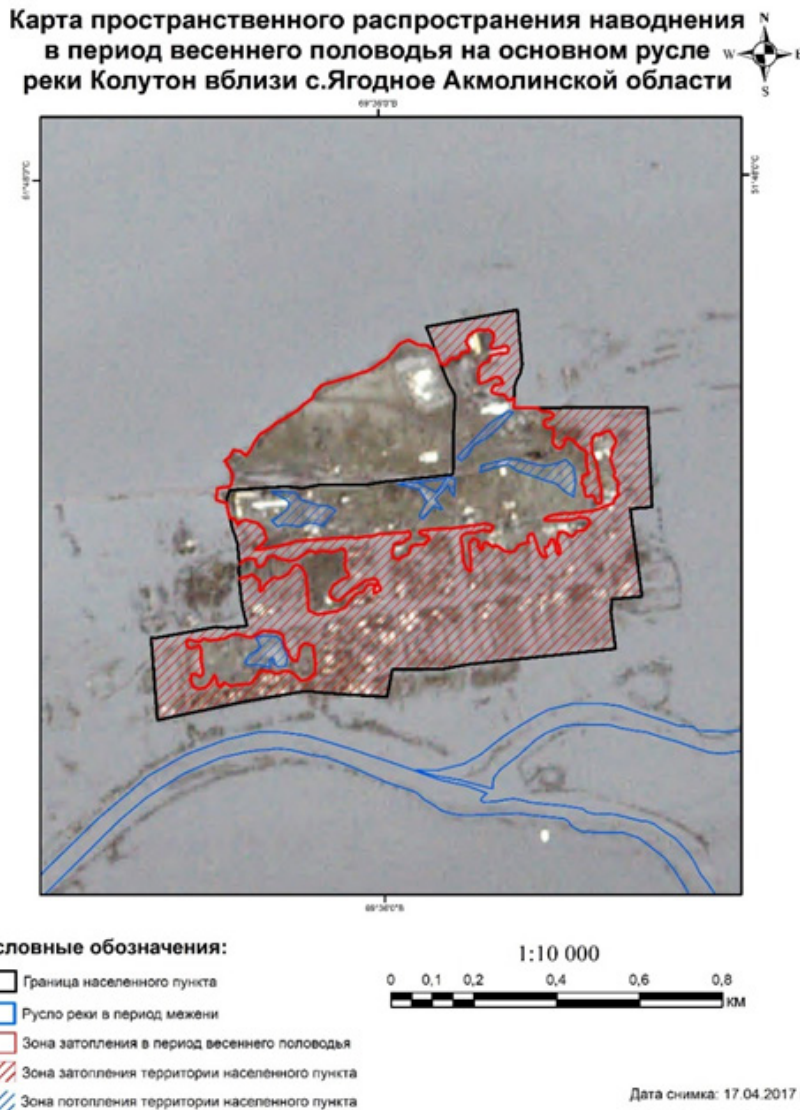


Рис.5. Пространственное распределение зоны затопления территории села Ягодное

Максимальная глубина затопления составляет 1,86 м, средняя глубина затопления за многолетний период равна 0,97 м.

В Акмолинской области у истока реки Есиль, то есть на территории от истока реки до Астанинского водохранилища и после Астанинского водохранилища наводнения населенных пунктов происходит по следующим причинам:

1. Заливаются застройки (жилые и не жилые) расположенные на старых руслах. Данные русла пересохшие или же засыпанные. В многоводные годы вода проходит руслу временных водотоков, пересыхающих в межень и затапливает населенный пункт. В виде примера можно привести село Койгельды в Аршалинском районе. Такое явление часто происходит в годы 5% и выше обе-

спеченности, которые в данном населенном пункте наблюдаются в среднем раз 20 лет.

2. Подтапливаются застройки (жилые и не жилые) расположенные на пойменной части реки. В многоводные годы во время увеличения уровня воды на реке параллельно происходит повышение грунтовых вод пойменной части реки. Так как на пойме расположены жилые или не жилые помещения их начинают топить. К таким селам относятся: Разъезд 42, Жанаесиль, Караменды батыр, Родина, Кошкарбаева и другие.

3. Ниже Астанинского водохранилища причиной затопления является высокая субурбанизация, которое наблюдается последние несколько десятилетий.



Рис.6. Пространственное распределение зоны затопления территории города Петропавловск

Застройки домов на долине и пойме реки являются наибольшей причиной затопления в периоды половодья. К таким населенным пунктам относятся: Борисовка, Караколь, Атбасар, Покровка, Самарка, Тельмана и другие. Затопления таких населенных пунктов происходит в годы 10 % обеспеченности и выше, то есть в среднем наблюдаются раз в 10 лет (Авакян и др., 1991; Терский и др., 2017; Евстигнеев, 2012).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты моделирования различных сценариев наводнении проверены на погрешность. Анализ погрешности моделирования на ключевом участке г. Атбасар, осуществлен путем сравнения прогнозной модели с фактически прошедшим паводком в годы 10 % обеспеченности и рассчитан инструментом C1ip. Анализ моделирования показал достаточно высокую точность моделирования (97,5 %) и соответственно низкую погрешность (2,5 %). Высокая точность моделирования на ключевом участке реки Жабай Акмолинской области обусловлена наличием высокодетаальной цифровой модели рельефа,

учетом всех гидротехнических сооружений и проведением батиметрической съемки дна, а также достаточным количеством гидропостов в регионе. По результатам расчетов, погрешность моделей не превышают 20 %, то есть качество сценариев достаточно достоверно.

Наиболее высокой зоне риска от наводнений расположен г.Петропавловск. При 25 % обеспеченности на реке Есиль в районе г.Петропавловск начинается выход воды на пойму. При 10 и 20 % обеспеченности начинают затоплять дома расположенные на окраине города. При 5 % обеспеченности и выше начинается затопления определенной части города и близко к пойме расположенных населенных пунктов, входящих в административную единицу г.Петропавловск.

Финансирование

Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования по заказу Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (BR 10965352).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красногорская Н.Н., Нафикова Э.В., Ферাপонтов Ю.И. Оценка и прогнозирование экстремальных гидрологических ситуаций // Современные проблемы науки и образования №39. 2012. №1. – 14 с.
2. Семенов В.А., Кобозева Г.Л., Коршунов А.А., Волков А.А., Шамин С.И. К вопросу создания информационного обеспечения оценки климатически обусловленных изменений повторяемости опасных и неблагоприятных гидрологических явлений на реках. Труды ВНИИГМИ-МЦД. В.174. 2010 г.
3. Авакян А.Б., Полюшкин А.А. /Наводнения: проблемы определения ущербов и защиты // Водные ресурсы. 1991. № 4. С. 114–125.
4. Гладкевич Г.И., Терский П.Н., Фролова Н.Л. /Оценка опасности наводнений на территории РФ // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. - 2012. - № 2. - С. 29-46.
5. Терский П.Н., Фатхи М.О., Цыпленков А.С. и др. Определение границ зон затопления рек города Москвы. Геориск. – 2017. - №3.- С. 20–29.
6. Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты. Учебно-методические материалы по направлению 021600-Гидрометеорология. – МАКС Пресс, М, 2012. - С. 247–264.
7. Тертышников А.В. Оперативный космический мониторинг ЧС: история, состояние и перспективы. / А.В. Тертышников, А.А. Кучейко // Земля из космоса. №4. 2010. - С. 7-10.

REFERENCES

1. Krasnogorskaya N.N., Nafikova E.V., Ferapontov Yu.I. Assessment and forecasting of extreme hydrological situations // Modern problems of science and education №39. 2012. №1. – 14 S.
2. Semenov V.A., Kobozeva G.L., Korshunov A.A., Volkov A.A., Shamin S.I. On the issue of creating information support for assessing climate-related changes in the recurrence of dangerous and adverse hydrological phenomena on rivers. Proceedings of VNIIGMI-ICD. V.174. 2010
3. Avakian A.B., Polyushkin A.A. /Floods: problems of damage determination and protection // Water resources. 1991. No. 4. pp. 114-125.
4. Gladkevich G.I., Tersky P.N., Frolova N.L. / Assessment of flood danger in the territory of the Russian Federation // Water management in Russia: problems, technologies, management. - 2012. - No. 2. - pp. 29-46.
5. Tersky P.N., Fathi M.O., Tsyplenkov A.S. et al. /Defining the boundaries of the flood zones of the rivers of the city of Moscow // Georisk. - 2017. - No. 3. - pp. 20-29.
6. Evstigneev V.M./ River flow and hydrological calculations//Educational and methodological materials in the direction 021600. - Hydrometeorology. - MAKS-Press M, 2012. - pp. 247-264.
7. Tertyshnikov A.V. Operational space monitoring of emergencies: history, state and prospects. /A.V. Tertyshnikov, A.A. Kuceyko // Earth from space. No.4. 2010. pp. 7-10.

РЕЛЬЕФТІҢ ЖОҒАРЫ ЕГЖЕЙ ТЕГЖЕЙЛІ ЦИФРЛЫҚ МОДЕЛІ НЕГІЗІНДЕ СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН АУМАҒЫНЫҢ СУ БАСУ АЙМАҚТАРЫН ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ЦИФРЛЫҚ БОЛЖАМДЫ МОДЕЛЬДЕУ

М.А.Алагуджаева¹, С.Р.Садвакасова*² геогр.ғылым.канд., Б.Б.Елбасиева², А.А. Аимбетов¹

¹ «Қазақстан Ғарыш Сапары» АҚ, Астана, Қазақстан

²Л.Н.Гумилев атын. Еуразия Ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

E-mail: saltik81@mail.ru

Зерттеу су объектілерінің гидрологиялық жағдайының өзгеруі нәтижесінде су астындағы аумақтардың су басу аймақтарын болжау және модельдеу, су тасқынының кеңістіктік таралуын бағалау нәтижелерін ұсынады.

Түйін сөздер: төтенше гидрологиялық оқиғалар, су тасқыны, су тасқынының жиілігі, су тасқынына қарсы шаралар, спутниктік суреттер, су тасқынын басқару

HYDROLOGICAL DIGITAL PREDICTIVE MODELING OF FLOOD ZONES IN THE TERRITORY OF NORTHERN KAZAKHSTAN BASED ON A HIGHLY DETAILED DIGITAL RELIEF MODEL

М.А. Alagudzhaeva¹, S.R. Sadvakassova*² candidate of the geographical sciences, B.B. Yelbasieva², A.A. Aimbetov¹

¹ JSC «Kazakhstan Space Travel», Astana, Kazakhstan

² Eurasian National University named after L.N. Gumilev, Astana, Kazakhstan

E-mail: saltik81@mail.ru

The study presents the results of assessing the spatial distribution of floods, forecasting and modeling flood zones of territories under water as a result of changes in the hydrological state of water bodies.

Key words: Extreme hydrological events, flood, flood frequency, flood control measures, satellite imagery, flood management

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

М.А.Алагуджаева – PhD, Ведущий инженер, АО «НК «Қазақстан Ғарыш Сапары», г. Астана, пр.Туран, 89, manira_ter@mail.ru

С.Р.Садвакасова – к.ғ.н., и.о.доцента, ЕНУ им.Л.Н.Гумилева, г.Астана, ул.К.Мунайтпасова 13, saltik81@mail.ru

Б.Б.Елбасиева – старший преподаватель ЕНУ им.Л.Н.Гумилева, г.Астана, ул.К.Мунайтпасова 13, baljan_2303@mail.ru

Аимбетов А.А. – Председатель, АО «НК «Қазақстан Ғарыш Сапары», г. Астана, пр.Туран, 89, kense@gharysh.kz

М.А.Алагуджаева – PhD, «Қазақстан Ғарыш Сапары» ҰК» АҚ, Астана қ., Тұран даң, 89, manira_ter@mail.ru

С.Р.Садвакасова – ғ.ғ.к., доцент м.а., Л.Н.Гумилев ат. ЕҰУ, Астана қ., Қ.Мұнайтпасов к., 13., saltik81@mail.ru

Б.Б.Елбасиева – аға оқытушы, Л.Н.Гумилев ат. ЕҰУ, Астана қ., Қ.Мұнайтпасов к., 13, baljan_2303@mail.ru

Аимбетов А.А. – Төраға, «Қазақстан Ғарыш Сапары» ҰК» АҚ, Астана қ., Тұран даң, 89, kense@gharysh.kz

M.A. Alagudzhaeva - Ph.D., JSC «Kazakhstan Space Travel», Astana, Turan Ave., 89, manira_ter@mail.ru

S.R. Sadvakassova - Ph.D., acting associate professor, Eurasian National University named after L.N. Gumilev, Astana, 13 K.Munaitpasova street, saltik81@mail.ru

B.B. Yelbasieva - Senior Lecturer, Eurasian National University named after L.N. Gumilev, Astana, 13 K. Munaitpasova street, baljan_2303@mail.ru

Aimbetov A.A. – Chairman, JSC «Kazakhstan Space Travel», Astana, Turan Ave., 89, kense@gharysh.kz

УДК 504.75; 620.98; 054.75

МРНТИ 87.05.31; 87.17.15

К РАСЧЕТАМ АНТРОПОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ ИЗ ИСТОЧНИКОВ И АБСОРБЦИИ ПОГЛОТИТЕЛЯМИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЛЕСНОМ И СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ ДЛЯ ЕЖЕГОДНОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ДОКЛАДА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Л.В. Лебедь¹ к.т.н., Д. А. Касенова¹, А.С. Есекина¹, З.Р. Токпаев^{*1}, Н.К.Сулейменов²,А.Н. Быков³, Н.И. Васильченко⁴¹АО «Жасыл даму» МЭПР РК, Алматы, Казахстан²ГКП «Казахское лесохозяйственное предприятие» КЛХДВЗ МЭПР РК, Алматы, Казахстан³ГУ «РНМЦ Агрехимической службы» МСХ РК, Астана, Казахстан⁴НАО «Правительство для граждан» МЦРИАП РК, Астана, Казахстан

E-mail: zufartokpaev@mail.ru

Представленные в статье результаты получены в процессе подготовки Национального доклада о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции (поглощения) парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, в части землепользования. Доклад ежегодно представляется Республикой Казахстан, как стороной Рамочной Конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН). Предварительно выполняемые расчеты динамики углекислого газа (CO₂), связанного с землепользованием в Республике Казахстан за 1991...2020 гг., показали, что его поглощение из атмосферы природными экосистемами могло составлять от 3 до 50...60 млн. тонн в год, и выбросы в атмосферу – от 10 до 45 млн. тонн/год. В процессе исследований выполнен детальный анализ существующей в стране системы наземного мониторинга землепользования и земельных ресурсов с расчетами антропогенных потоков CO₂ на различных территориальных уровнях. Полученные результаты подтверждают возможность расчетов парниковых газов на зональном и областном уровнях. Тем самым подтверждается возможность дополнительного контроля расчетов потоков парниковых газов, связанных с землепользованием и оценки потенциала возможного увеличения объемов поглощения для природных экосистем (Лесные площади и Пастбища) и снижения выбросов для агроэкосистемы Возделываемые земли.

Ключевые слова: парниковые газы, лесное хозяйство, возделываемые земли, пастбища

Поступила: 25.09.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2023-111-4-85-103

ВВЕДЕНИЕ

Цель исследования – улучшение отчётности для кадастра парниковых газов в части землепользования, представляемого ежегодно в национальный доклад Республики Казахстан как стороны Рамочной конвенции ООН об изменении климата.

В процессе исследований выполнены задачи по анализу существующей в стране системы наземного мониторинга земельных ресурсов, а также по оценке информационного обеспечения расчетов парниковых газов, связанных с землепользованием.

Рассчитаны выбросы/абсорбция CO₂ в части землепользования за 1990...2020 гг. на базе государственных архивов с данными наземного мониторинга земель и разрабатываемых алгоритмов расчета потоков CO₂ для лесных площадей и сельскохозяйственных угодий, представляемых на различных уровнях.

На диаграмме, представленной на рисунке 1 показано, что основные объемы выбросов в атмосферу приходились на категорию землепользования Возделываемые земли. Такие категории как Лесные площади, Пастбища, включая Сенокосы, обеспечивали в основном поглощение CO₂

из атмосферы за период исследований.

Как показали исследования, достаточно выраженные годовые изменения запасов накопленного углерода в экосистемах, с неоднократной сменой знака направленности потоков углерода, можно объяснить экстенсивным характером ведения сельского хозяйства и землепользования в стране в 1990...2020 годы, связанным с затянувшимися социально-экономическими реформами, сменой форм собственности на землю как на природный ресурс, недостаточной согласованностью государственных структур для развития системного мониторинга

природных ресурсов. и землепользования. В этом случае не менее важно было также оценить региональное распространение потоков углерода на территории страны для выработки оптимальных решений управления земель по категории Возделываемые земли с целью снижения выбросов в атмосферу, а также для объективной оценки потенциала возможного увеличения абсорбции углерода по категориям Лесные площади и Пастбища. Распределение сельскохозяйственных угодий и лесов на территории Республики Казахстан, включая кустарники, наглядно показано на карте, представленной на рисунке 2.

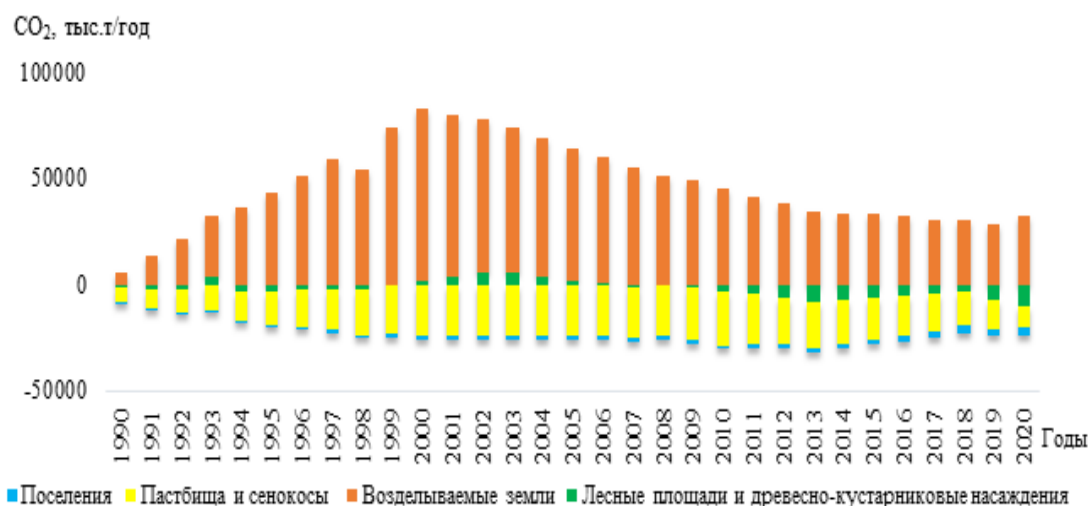


Рис.1. Динамика углерода в CO₂ эквиваленте (тыс. тонн/год) для лесных и сельскохозяйственных земель на территории Республики Казахстан по расчетам за 1990...2020 гг. (Национальный доклад, 2022)

Природные пастбища и сенокосы распространяются на все природные зоны: от лесостепной на севере до южных пустынь на равнине, поднимаясь в горах на востоке, юго-востоке и юге до субальпийских зон (рисунок 2). В сухих степях на пастбищах господствует преимущественно злаковые виды растительности на зональных почвах. В пустынях преобладают разнотравное кустарниковое сообщество с участием солянковых. И эфемеров на бурых, серо-бурых глинистых, часто заслоненных и песчаных почвах. В горных районах преимущественно распространены деревянистыми кустарниковые деревья. Луга преимущественно как сенокосы представлены злаковыми видами

и разнотравьем, распространены в поймах речных рек, естественных понижениях, а также в горных долинах. Первичная продукция на пастбищах составляет от 0,5 т/га до 16 т/га на равнине и до 30 т/га в горах. Содержание гумуса в верхнем горизонте почвы изменяется на пастбищах от 1 % и менее (песчаные пустыни) до 18...12 % (горная местность).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Расчеты выбросов и абсорбции CO₂ для лесов и сельскохозяйственных угодий выполнялись на базе национальной системы инвентаризации парниковых газов, включая государственные архивы имеющейся в стране информации.

Методической основой послужили Руководящие принципы МГЭИК, 2006 (Руководящие принципы, 2006) и Уточнения 2019 года к Руководящим принципам МГЭИК, 2006 (Уточнения, 2019). В процессе расчетов динамики углерода для категории земель Лесные площади использовались конверсионные коэффициенты рассчитываемые предварительно по областям (Таблица 1).

Основное внимание при этом уделяется вопросам: представления земель как объекта антропогенного воздействия, а также обеспечения полноты баланса углерода при расчетах для отдельных экосистем с учетом необходимой детальности представления и в зависимости от наличия исходной информации в стране. В соответствии с методологией для представления и достижения максимальной полноты информации для конкретного объекта землепользования применяются смешанные подходы и алгоритмы расчета, в частности на уровне 1 (уровень страны), уровне 2 (региональный уровень) и уровне 3 (полное пространственно-

территориальное обеспечение расчетами).

В процессе расчетов основные категории землепользования представляются единой широкой категорией, остающейся как прежняя, с детальной внутренней стратификацией земель на отдельные подкатегории. Как формы управления для конкретной категории земли они могут представлять: категория Лесные площади - естественный лес, искусственно созданный лес путем посадок и посева культуры, кустарниковые насаждения без деревьев (защита), не лесопокрываемые площади и другие подкатегории; категория Возделываемые земли - пахотнопригодные земли, пашня остающаяся в севообороте, пашня выведенная временно в залежь (пастбища), пашня возвращенная в севооборот, многолетние насаждения; категория Пастбища - естественные пастбища или улучшенные, обеспеченные водой для скота или не обеспеченные, слабо используемые или умеренно используемые, средне сбитые или сильно сбитые и другие подкатегории.

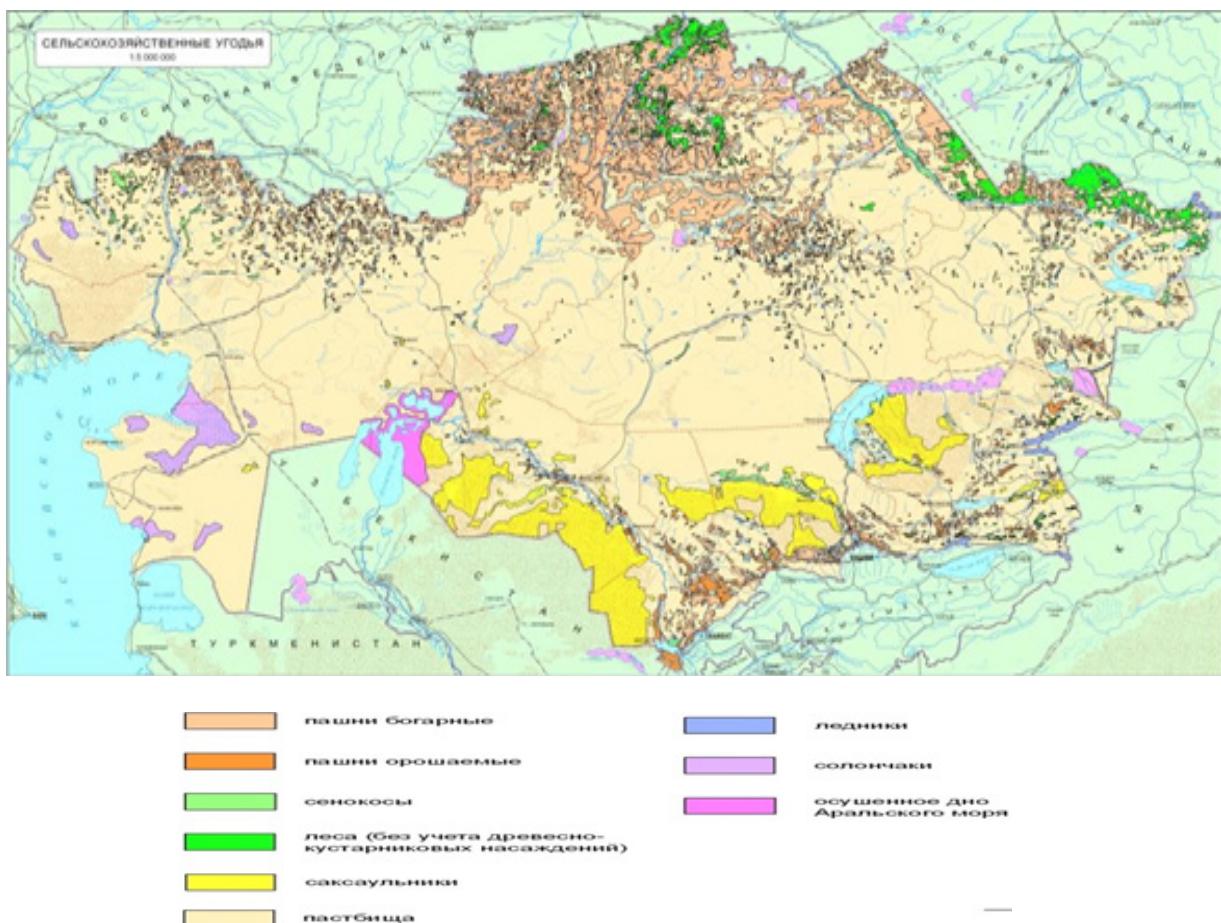


Рис.2. Распределение лесных, сельскохозяйственных и прочих угодий на территории Республики Казахстан (Национальный атлас, 2006)

Полнота расчета достигается учетом углерода, перераспределяющегося по основным резервуарам накопления:

- Лесные площади (живая биомасса, валежник, лесная подстилка, почва);
- Возделываемые земли (почва, биомасса (в случае временного восстановления растительности на пашне));
- Пастбища (надземная живая биомасса, мертвая биомасса, почва).

Для оценки запасов углерода в древесине используются прямые методы расчетов углерода. Запас углерода в почве, в валежнике, лесной подстилке надземной и подземной биомассе оценивается с использованием эмпирических формул или для упрощения задачи конверсионных коэффициентов (таблица 1).

Расчеты динамики углерода для отдельных подкатегорий земли и основных категорий выполняются в границах административных областей с последующим обобщением результатов на уровне областей и страны в целом.

Наземный мониторинг земель Земельного Фонда РК. Государственный кадастр земельных ресурсов

Для оценки динамики накопления углерода и абсорбции (выбросов) CO₂, связанных с землепользованием в Казахстане, применяются государственные систематизированные статистические показатели использования земельного фонда, культурно-технического состояния земель и почвенно-растительных ресурсов.

В лесном хозяйстве используются материалы единовременного учета (таксации) лесов Государственного и частного Лесного фонда. Систематический учет лесов выполняется ГРКП «Казахское лесоустроительное предприятие» КЛХЖМ МЭПР РК, в соответствии с Лесным кодексом, 2003 г., Инструкцией проведения лесоустройстве, 2012 г., Правилами учета лесов (Лесной кодекс, 2003; Инструкция, 2005; Нормативы, 1987). Основной метод учета - метод классов возраста.

В качестве входной информации в процессе оценки динамики углерода для категории Возделываемые земли применяются результаты регионального мониторинга пахотных земель, исполнитель ГУ «РНМЦ Агрохимической службы» МСХ РК. В соответствии с Правилами (Правила, 2014; Ме-

тодическое руководство, 2007) почвенные обследования выполняются путем отбора объединенных проб почвы в пределах элементарного участка площадью 75 га (для орашаемой пашни на площади 10 га), выделяемого в границах Плана землепользования.

Также используется Государственный земельный кадастр Комитета управления земельными ресурсами, обобщающий сведения государственного учета земель в соответствии с Правилами учета земель (Правила, 2014), Земельным кодексом РК (Земельный кодекс, 2003), балансы земель областей, городов республиканского значения, данные земельного кадастра и мониторинга, результаты государственного контроля за использованием земель и их охраной. В соответствии с Правилами учета земли и ведения государственного земельного кадастра, 2014, представляются материалы почвенных обследований, НАО «Государственная корпорация Правительство для граждан», выполняемых на территориально-зональной сети пунктов наблюдений, которые могут использоваться для оценки и контроля углеродного баланса категории земель «Возделываемые земли». Сеть представлена стационарными и полустационарными площадками (СПН, ПСПН). Количество площадок, заложенных на 2020 год, составляло СПН 60, ПСПН 98, в первую очередь на пашнях – наиболее ценных сельскохозяйственных угодьях, а также на пастбищных землях в соответствии с Научно-методическими указаниями по мониторингу земли Республики Казахстан (Указания, 1994).

Также из наземной информации привлекаются исторические проверенные материалы из не государственных структур. В частности, для получения эталонов углерода в резервуаре «Биомасса» естественной растительности используются Карты биологической продуктивности экосистем на территории Казахстана, трансформированные из Карт продуктивности Северной Евразии, 1993 год (Базилевич, 1994). В процессе подготовки карт продуктивности, наравне с другими данными, использовались материалы полевых геоботанических исследований, которые в разные периоды проводились на территории Казахстана, также другие современные источники (Аналитический отчет, 2019; Дюсенбеков, 2005).

Таблица 1

Конверсионные коэффициенты для расчета запаса углерода в резервуарах фитомассы и валежника по группам пород и возрастным группам деревьев и кустарников государственного Лесного фонда по областям Республики Казахстан за 1990...2020 гг.

Породы	Классы	Резервуар	Области										Туркестанская	Мангистауская		
			Акмолинская	Актюбинская	Алматынская	Атырауская	ВКО	Жамбылская	ЗКО	Карагандинская	Костанайская	Кызылординская			Павлодарская	СКО
Хвойные	Молодняк 1-й и 2-й категор	фитомасса	0,664	0,614	0,58	0,535	0,63	0,614	0,614	0,098	0,615	0,615	0,615	0,629	0,615	0,629
		валежник	0,06	0,098	0,068	0,08	0,09	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098
	Средневозрастные	фитомасса	0,665	0,665	0,622	0,683	0,67	0,665	0,665	0,665	0,665	0,665	0,665	0,674	0,665	0,674
		валежник	0,05	0,057	0,045	0,065	0,04	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,042	0,057	0,042
	Припевающие	фитомасса	0,712	0,712	0,66	0,73	0,72	0,712	0,712	0,712	0,712	0,712	0,712	0,718	0,712	0,718
		валежник	0,025	0,031	0,03	0,04	0,04	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,004	0,031	0,004
	Спелые и перестойные	фитомасса	0,712	0,712	0,66	0,73	0,72	0,712	0,712	0,712	0,712	0,712	0,712	0,718	0,712	0,718
		валежник	0,015	0,016	0,016	0,015	0,04	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,004	0,016	0,004
	Молодняк 1-й и 2-й категор	фитомасса	0,79	0,688	0,695	0,678	0,69	0,575	0,78	0,79	0,724	0,724	0,724	0,955	0,724	0,955
		валежник	0,085	0,07	0,14	0,18	0,17	0,13	0,07	0,21	0,11	0,11	0,11	0,18	0,11	0,18
Средневозрастные	фитомасса	0,825	0,617	0,728	0,708	0,725	0,71	0,81	0,827	0,703	0,754	0,754	1,012	0,754	1,012	
	валежник	0,07	0,065	0,078	0,095	0,08	0,07	0,07	0,12	0,15	0,075	0,075	0,095	0,075	0,095	
Припевающие	фитомасса	0,86	0,76	0,76	0,736	0,775	0,735	0,85	0,855	0,73	0,798	0,798	1,07	0,798	1,07	
	валежник	0,05	0,04	0,06	0,04	0,038	0,04	0,04	0,07	0,055	0,035	0,035	0,04	0,035	0,04	
Спелые и перестойные	фитомасса	0,86	0,76	0,76	0,736	0,775	0,735	0,85	0,855	0,73	0,798	0,798	1,07	0,798	1,07	
	валежник	0,022	0,025	0,024	0,035	0,032	0,03	0,025	0,055	0,045	0,025	0,025	0,065	0,025	0,065	
Саксаул		фитомасса	-	1,17	1,17	1,17	1,17	-	-	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	
		валежник	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048
Твердолиственные	Молодняк 1-й и 2-й категор	фитомасса	0,958	0,955	0,957	0,957	0,955	0,958	0,955	0,957	0,955	0,968	0,955	0,955	0,955	0,955
		валежник	0,11	0,21	0,14	0,214	0,15	0,115	0,07	0,21	0,21	0,15	0,21	0,21	0,21	0,038
	Средневозрастные	фитомасса	1,08	1,012	1,015	1,015	1,012	1,02	1,02	1,017	1,015	1,065	1,051	0,708	1,065	1,147
		валежник	0,095	0,12	0,085	0,124	0,1	0,085	0,06	0,012	0,12	0,085	0,12	0,12	0,085	0,12
	Припевающие	фитомасса	1,02	1,07	1,08	1,08	1,05	1,085	1,07	1,08	1,07	1,16	1,147	0,736	1,16	1,147
		валежник	0,07	0,07	0,069	0,07	0,07	0,05	0,04	0,07	0,07	0,069	0,07	0,05	0,069	0,05
Спелые и перестойные	фитомасса	1,02	1,07	1,08	1,08	1,05	1,085	1,07	1,08	1,07	1,16	1,147	0,736	1,16	1,147	
	валежник	0,042	0,05	0,04	0,055	0,043	0,05	0,03	0,05	0,05	0,043	0,055	0,055	0,043	0,055	

Надежной информацией для получения эталонов углерода в резервуаре его накопления – почвы служат многолетние материалы почвенных исследований из областных справочников Почвы Казахстана, которые были подготовлены коллективами ученых из Института почвоведения АН КазССР в период 1960...1967 гг. (Почвы, 1960) и др.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ И АНАЛИЗА

Лесные площади и древесно-кустарниковые насаждения

Лес по ФАО определяется как участки земли с лесным покровом, покрытым не менее 10 % (Руководящие принципы, 2006). В соответствии с Лесным кодексом Республики Казахстан, лес – природный комплекс, формирующийся на определенной территории на основе совокупности древесной и кустарниковой растительности и других комплексов живой природы. В соответствии с Инструкцией лесостроительства (Инструкция, 2012), лесные угодья – участки земли площадью 0,005 га, покрытые древесной и кустарниковой растительностью, включая древесно-кустарниковые насаждения, участки с не сомкнувшимися лесными культурами.

По состоянию лесов на 2020 год Лесной фонд Республики Казахстан распределялся в следующем порядке: особо охраняемые природные территории (ООПТ) – 2835,6 тыс. га (лесопокрытые 2231,6 тыс. га), Лес-

ные земли Государственного лесного фонда – 16185,5 тыс. га (10846,2 тыс. га. лесопокрытые). Из них поле и лесозащитные леса с площадью 13970 тыс. га (лесопокрытые 92607 тыс. га), защитные лесонасаждения на полосах отвода жилищных и автомобильных дорог и сооружений. Всего Лесные земли государственного фонда Республики Казахстан составляли на 2020 год общую площадь 1908,5 тыс. га (лесопокрытых 13121 тыс. га).

За последние 20 лет общая площадь лесных пород увеличивалась с 20 760 тыс. га до 30 058 тыс. га, в основном за счет возврата в его состав земель лесохозяйственных предприятий, ранее переданных во временное пользование сельскохозяйственных субъектов (Аналитический отчет, 2019). Лесопокрытые площади на 2020 год составляли 13 121,7 тыс. га с запасом древесины 456,81 млн. м³ с увеличением за счет расширенного объема работ по лесовозобновлению путем посевов и посадок искусственных лесов, предотвращения лесных пожаров, регулирования площадей рубок делового леса.

Запасы углерода обобщенные для лесов Государственного Лесного фонда Республики Казахстан, рассчитанные по отдельным резервуарам его накопления, как годовые изменения, наглядно представлены на рисунке 3.

Из них на высокопродуктивные хвойные леса, распространенных преимущественно в северо-западных областях, приходилось 1792,5 тыс. га с объемом древесины 274,5 млн. м³,



Рис.3. Динамика накопления углерода лесами (тыс тонн /год) на землях Лесного Фонда Республики Казахстан, рассчитанная по резервуарам его накопления за 1989...2020 гг.

на мягколиственные - 1552,8 тыс. га (140,96 млн м³ древесины), твердолиственные – 104,7 тыс. га (древесины 41,9 млн. м³), саксауловые леса на площадях пустыни 6492,3 тыс га (16,75 млн м³ древесины) Алматинская, Жамбылская, Туркестанская области (таблица 2).

О динамике запаса углерода в лесах Республики Казахстан рассчитываемых по результатам системного их мониторинга можно судить из таблицы 3 на примере лесов Алматинской области, произрастающих в резко отличительных условиях горной местности и пустыни, а также из рисунков 3, 4. Рассчитанные за 1990...2020 годы запасы углерода для лесов Алматинской области пополнялись

за счет стабильного поглощения CO₂ из атмосферы. При этом, как видно из таблицы 2 темпы накопления углерода увеличивались с 297,3 до 1120,8 тыс тонн/год (хвойно-лиственные) и с 25,7 до 312,0 тыс. тонн/год (саксауловые) т.е. запасы углерода в лесах изменялись в 4...5 раз и более за этот период .

О региональном распределении общих запасов углерода накопленного лесами на территории Казахстана по всем областям можно наглядно судить из рисунка 4.

Из анализа рисунков 3, 4 можно сделать следующие заключение: 1.Для большинства областей на территории Казахстана получена в 1993...2008 годы

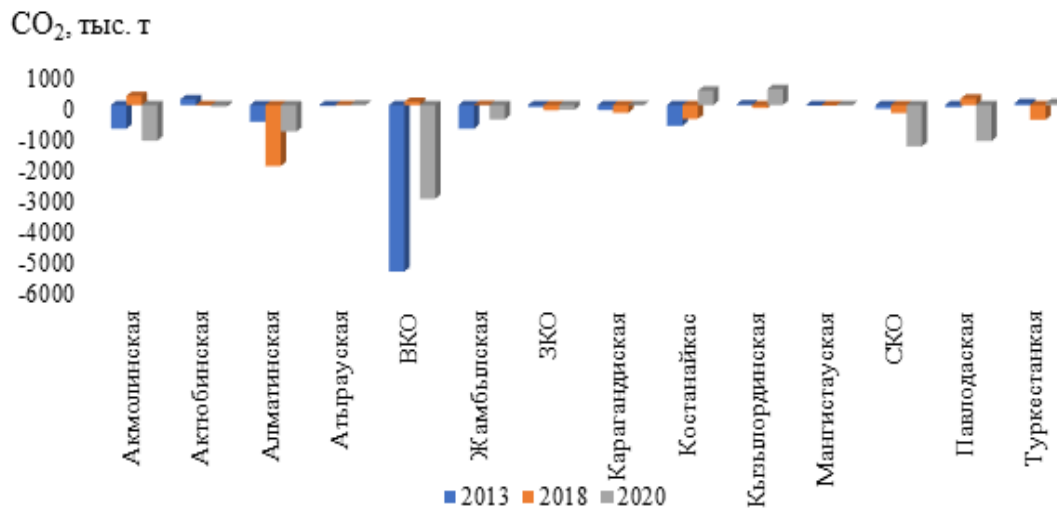


Рис.4. Региональное распределения углерода в лесах Казахстана по областям

разнознаковая направленность потоков CO₂ в лесных экосистемах, что можно объяснить невысокими запасами древесины в лесах, значительной площадью распространения лесных пожаров, несанкционированными рубками деловой древесины в этот период.

2. После 2008 года для большинства областей на территории Казахстана отмечалось постепенное увеличение годовых объемов абсорбированного CO₂ лесами, с максимальными величинами от 38 до 1665 тыс тонн /год для северных областей (Северо-Казахстанская, Павлодарская Акмолинская, Костанайская), а также до 2286 тыс тонн /год для юго – восточных и южных областей (Алматинская, Восточно-Казахстанская, Кызылординская). В том числе для Акмолинской области

значительное увеличение объемов абсорбированного из атмосферы CO₂ с 8,1 до 1155 тыс тонн /год связано с расширением площади искусственных лесов (зеленый пояс города Астана). Для Кызылординской области относительно высокий потенциал поглощения CO₂ саксауловыми лесами после 2008 года отмечается за счет лесомелиорации обнаженного дна Аральского моря (ОДА). Суммарное поглощение CO₂ лесами на землях Лесного фонда Республики Казахстан за 2020 год составляло 6909,9 тыс. тонн /год (хвойно-лиственные) и 3284,6 тыс. тонн/год (саксауловые).

Возделываемые земли В соответствии с Земельным кодексом Республики Казахстан (Кодекс, 2003), земельные угоды по виду обработки и режиму пользования

в сельском хозяйстве подразделяются на пашню, многолетние насаждения, залежь, сенокосы и пастбища, по использованию в лесном хозяйстве – лесные площади. В ключевую категорию деятельности, связанную с землепользованием, в соответствии с МГЭИК, 2006, категория *Возделываемые земли (CL)*, включаются пахотные и пахотнопригодные земли, которые находились не менее 20 лет в севообороте, а также многолетние насаждения. Национальные определения их соответствуют следующему определению (Земельный кодекс от 20 июня 2003 года № 442):

Пашня – земельный участок, систематически обрабатываемый и используемый под посевы сельскохозяйственных культур, включая посевы многолетних трав, а также чистые пары. К пашне не относятся земельные участки, занятые посевами предварительных культур, распаханых с целью коренного улучшения.

Залежь – участок земли, который ранее находился в составе пашни и более одного года, начиная с осени, не используется для посева сельскохозяйственных культур и не подготовлен под пар.

Многолетние насаждения – земельные участки, используемые под искусственно-созданные древесные, кустарниковые многолетние насаждения, предназначенные для получения урожая плодово-ягодной, технической или лекарственной продукции.

В Республике Казахстан числится 61,2 млн. га пахотнопригодных земель, из которых 52,9 млн. га размещаются на равнинной территории в степной зоне и 8,3 млн. га в предгорной и горной зонах (Карта на рисунке 2). Наиболее плодородные земли, в основном черноземы на площади 16,8 млн. га (содержание гумуса 4...6 % в пахотном горизонте почвы), каштановые на площади 27 млн. га (гумуса 3...4 % и более), а также предгорные сероземные, горные каштановые и черноземные почвы (гумус от 1,5...2,0 % и более), распахивались в последние 150 лет. В конце прошлого века (1989 год) общая площадь пахотных земель достигала 35,6 млн. га. Наибольшие ее площади в структуре земельного фонда Республики Казахстан приходились на земли сельскохозяйственного назначения. В период реформирования сельскохозяйственных предприятий (1991...2005 гг.) площадь этих

земель по республике сокращалась на 136,2 млн. га. В последующем, с 2006 года площадь земель сельскохозяйственного назначения ежегодно возрастала и за 2020 год составляла 108,56 млн. га. В категории этих земель находятся наиболее ценные в сельскохозяйственном отношении земли республики, в том числе 98,0 % пашни, включая 91,1 % орошаемой, 42,2 % – многолетних насаждений, 48,2 % – залежи, 45,4 % сенокосов и пастбищ.

За исследуемый период 1990...2020 гг., общие выбросы углерода в атмосферу, связанные с землепользованием, в основном ежегодно обеспечивались за счет выбросов категории земель «Возделываемые земли». Их максимальные величины достигали более 80000 тысяч тонн /год (рисунок 1). В период реформ (1991...2005 гг.) часть пахотных земель выводилась из севооборота, в основном в земли запаса как залежь и пастбищные земли. На 2000 г., площадь пашни в севообороте сокращалась до 21,4 тысяч га, с последующим частичным восстановлением, в основном после 2010 года. О динамике пахотных земель в РК за 1989...2020 гг. можно судить на примере Акмолинской области (таблица 4).

Анализ эмпирических данных о динамике почвенного гумуса для пахотных земель РК (рисунок 5) показал, что за последние 30 лет его содержание в пахотном горизонте почвы снижалось на 30 %, т.е. в среднем на 1 % в год. О содержания гумуса в пахотном горизонте почвы и рассчитанных запасах углерода можно судить на примере Акмолинской области (таблица 5).

Из рисунка 5 видно, что наибольшее снижение содержания гумуса в почве пахотных земель, остающихся в севообороте (до 40 % в среднем на область), в сравнении с 2020 г., приходилось на северные области: Северо-Казахстанскую, Акмолинскую, также Восточно-Казахстанскую, с высокопродуктивными черноземными почвами. Менее выражено снижение содержания почвенного гумуса (в отдельные годы до 8...9 % в среднем на область) отмечалось для южных областей – Жамбылской, Туркестанской и Кызылординской, со значительным участием орошаемой пашни, относительно обеспечиваемой азотными удобрениями.

Таблица 2

Распределение лесных угодий по площади, запасу древесины на корню и изменений запаса углерода в лесах Алмагинской области за 1988...2021 гг.

Годы	Площадь, тыс га										Запас древесины									
	Всего лесные угодья		Лесопокрытые	Несомкнувшиеся культуры	Вырубке	Гари	Прогалины	Хвойные		Мягколиственные		Твердолиственные		Саксаульники		Прочие		Кустарники		
	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	млн. м ³	тыс. га	млн. м ³	тыс. га	млн. м ³	тыс. га	млн. м ³	тыс. га	млн. м ³	тыс. га	млн. м ³	тыс. га	млн. м ³
1988	1679,8	586,9	59,1	57	16,8	832,67	153,9	29220	36	2520	3,3	1920	940,5	1620	13,7	240	380	2000		
1993	1642,8	554,8	37,5	31,6	10,5	733,88	159,5	30340	38,8	2770	5,5	270	883,4	1600	13	240	338	1740		
1998	1806,1	643,5	15,9	6,3	4,2	775,00	171	31634	38,2	2540,1	5,9	313,2	1494	3147	35,5	868	393	2322		
2003	2662,2	661,76	16,4	5,4	4,7	797,1	169,4	32531,8	37,6	2829,1	5,8	304,8	1135,5	2875,8	48,4	1377	400,5	2087		
2008	2633,4	671,2	10	10	5	804,5	168,9	32655,2	39,7	3034,5	5,5	301	1130,5	2854	48,7	1377	408,4	2172		
2013	2683,9	716,9	11,1	10	10,4	798,7	171,9	32794,5	41,9	4724,4	5,6	321,1	1135	2841,4	68,3	1481	429,1	1948		
2018	2702,6	748,4	6,7	1,2	10	754,3	201,9	41167,7	41,6	4862	5,4	408,4	1180,2	2969,4	68,9	1491	430,6	1954		
2021	2723,8	773,3	3,22	0,5	43,1	669,7	213,8	44923,9	45,1	3580	7,3	505,3	1232,6	3755,6	47,3	1010	459,8	1970		

Таблица 3

Запас углерода для лесных угодий с перераспределением по резервуарам накопления, рассчитанный на примере Алмагинской области за 1988...2021 гг.

Годы	Хвойно-лиственные, включая кустарники										Саксаульники										Всего Поглощение (-) / высвобождение (+) CO ₂ , тыс. тонн/год			
	Всего запас		Тыс. га		Фито-масса т/га		Валежник /га		Подстилка /га		Почва, т/га		тыс. тонн		тыс. га		Фитомасса т/га		Почва, т/га		Хвойно-лиственные, кустарники		Саксаульники	
	тыс. га	тыс. тонн	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га	тыс. га
1988	1527,4	12708	1527,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	940,5	0,0	46,4	13456,67	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1998	2137,5	14162,8	2137,5	331,9	22,5	24,22	-264,90	24,22	24,22	1494	181,0	14,860	90,2	21376,15	113,78	21376,15	113,78	113,78	113,78	113,78	113,78	113,78	113,78	-417,21
2008	1801,8	14627,1	1801,8	45,2	-1,9	6,41	-171,07	6,41	6,41	1130,5	-2,6	-0,200	81,8	16175,47	-121,39	16175,47	-121,39	-121,39	-121,39	-121,39	-121,39	-121,39	-121,39	445,092
2018	1928,6	18032,9	1928,6	951,9	135,1	117,98	993,85	117,98	117,98	1180,2	15,0	26,220	85,1	16886,30	2198,81	16886,30	2198,81	2198,81	2198,81	2198,81	2198,81	2198,81	2198,81	-8062,3
2021	2005,9	18781,6	2005,9	249,6	-5,0	31,33	398,95	31,33	31,33	1293,2	152,4	-36,467	94,4	17636,04	674,80	17636,04	674,80	674,80	674,80	674,80	674,80	674,80	674,80	-2474,3

Таблица 4

Представление пахотных земель в рамках широкой категории «Возделываемые земли» для расчетов динамики годового изменения запаса углерода в почве на примере Акмолинской области за 1989...2020 гг.

Категория, под категории	Годы						
	1989	1991	2000	2006	2013	2018	2020
Акмолинская область							
Пашня	6403	6403	4532	5169	5489	6032	6040
Пашня в севообороте	-	6383	4532	4532	4532	4532	4532
Пашня, выведенная в залежь (запас)	-	20	1571	1169	756	370	347
Пашня, возвращённая в севооборот	-	-	281	1044	1137	1	0
Пашня, возвращённая в севооборот	-	-	-	637	956	1500	1508

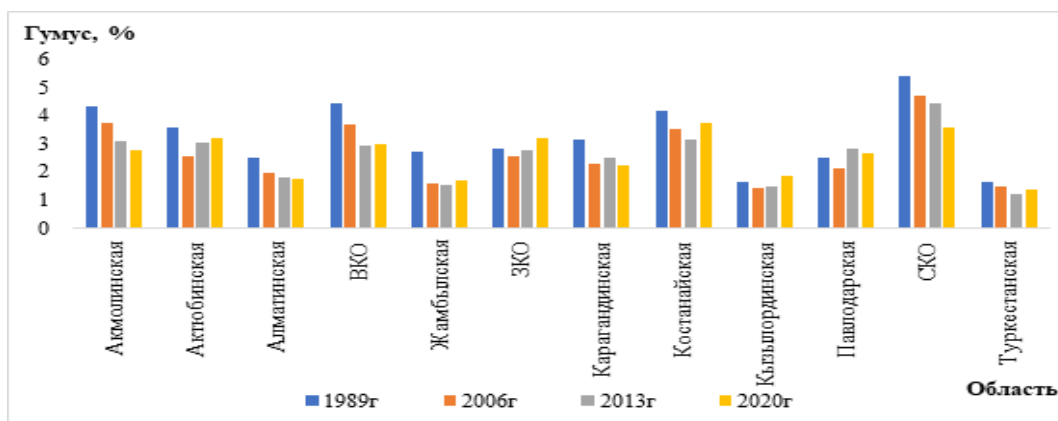


Рис.5. Содержание в почве гумуса на пашне в разрезе областей Республики Казахстан по результатам химических обследований за 1989...2020 гг.

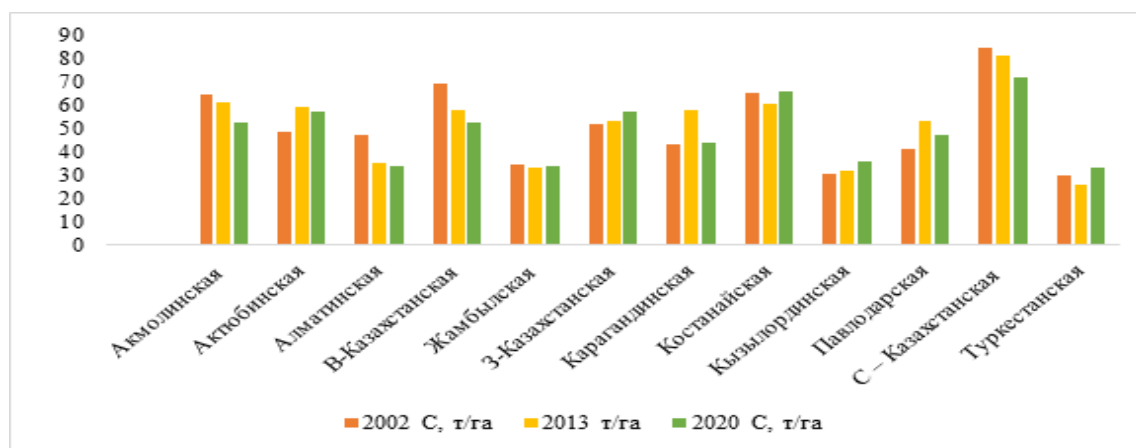


Рис.6. Динамика запаса углерода (т/га) по областям за 2002...2020 гг.

Отдельные случаи снижения содержания гумуса в почве пахотных земель, остающихся в севообороте, приходились на Западно-Казахстанскую, Павлодарскую, Актобинскую области с менее продуктивными каштановыми и светло-каштановыми почвами, которые в первую очередь были выведены из севооборота.

Запасы накопленного в почве углерода на пашне, рассчитанные в разрезе областей Казахстана показаны в таблице 5 (Акмолинская область) и на рисунке 6.

Полученные за последние годы дополнительно эмпирические данные о содержании гумуса в пахотном горизонте почвы по результатам агрохимических обследований пахотных земель позволили впервые выполнить за 1989...2020 гг. раз агрегированные расчеты динамики изменения запасов почвенного углерода на уровне административных областей РК (всего 12 областей) с учетом почвенных разностей территории.

Таблица 5

Динамика содержания гумуса в почве по результатам агрохимических обследований полей Акмолинской области за 1989...2020 гг. и рассчитанные запасы углерода, т/га в почве пахотных землях, остающихся в севообороте

Область, тип почвы	1989 г.***			2002...2006 гг.			2007...2013 гг.			2015 ... 2020 гг.		
	Площадь пашни, тыс га	Гумус, %	С, т/га	Площадь обследования, тыс га	Гумус, %	С, т/га	Площадь обследования, тыс га	Гумус, %	С, т/га	Площадь обследования, тыс га	Гумус, %	С, т/га
Черноземы обыкновен.				340,4	5,15		457,8	5		769,5	4,3	74,5
Черноземы южные				622,6	4,05		646,2	3,8		1513,7	3,3	57,8
Темно каштановые				504,2	3,34		1128,6	2,98		1925,6	2,6	47,9
Каштановые				929,6	2,85		383,9	2,66		963,9	2,2	41,7
Светлокаштановые							145,9	2,28		101,9	2,2	36,8
Итого по области	6385	4,81	87	2416,8	3,55	64,5	2771,4	3,41	52,6	5274,7	3,0	53,3

Наглядный пример расчета региональных годовых изменений запасов углерода для категории Возделываемые земли (Акмолинская область) показан в таблице 6.

Аналогично были рассчитаны на региональном уровне годовые величины абсорбции / высвобождения CO₂ для пахотных земель Казахстана за указанный период.

Особый интерес вызывают результаты региональной оценки запаса углерода в почве пахотных земель с использованием альтернативной независимой информации из государственного архива сети мониторинговых площадок (СПН, ПСПН) за 1992...2020 гг. Как видно из таблицы (таблица 7), независимые расчеты подтверждают тренды изменения содержания в почве гумуса пахотных земель, которые соответственно по почвам составляют в среднем за указанный период: 12...20 % (черноземы), 9-18 % (каштановые), 10...15 % (предгорные сероземы), 10...16 % (предгорные каштановые и черноземы). Средне областные величины

среднегодовых величин изменения содержания почвенного гумуса колебались по территории страны от 0 до 33 %, что близко к результатам оценки динамики почвенного гумуса по материалам агрохимических обследований пахотных земель и не превышали суммарную ошибку определения его содержания в почве.

Также результатами наблюдения на сети СПН и ПСПН подтверждаются случаи повсеместного восстановления запаса органического вещества в почве на участках пашни, выведенных в запас (залежь и пастбища). Результаты полевых исследований представлены в таблице 8. Для этих случаев среднегодовые величины увеличения содержания гумуса в почве верхних ее горизонтов составляли 0,085% и запаса углерода от 0,28 до 0,9 т/га в зависимости от типа почвы и сроков вывода участка земли из севооборота. Наиболее интенсивно органическое вещество накапливается в почве в первые годы после вывода пашни из севооборота за счет

Таблица 6

Динамика изменения годовых запасов углерода в почве пахотных земель, рассчитанного с использованием результатов агрохимических обследований сельскохозяйственных земель на территории Акмолинской области с 1989 по 2020 годы

Го-ды	Пашня в севообороте			Пашня, выведенная в залежь (пастбища)			Пашня, возвращенная в севооборот			Всего пашня и пахотнопригодные земли		
	площадь, тыс га	запас углерода, т/га	изменение запаса, тыс т./год	площадь, тыс га	запас углерода, т/га	изменение запаса, тыс т./год	площадь, тыс га	запас углерода, т/га	изменение запаса, тыс т./год	площадь, тыс га	изменение запаса, тыс т./год	Эмиссия/поглощение CO ₂ , тыс т./год
Акмолинская область												
1989	6383	87,0	-							6383		
2000	4532	76,0	- 19172	1851,2	81,00	13632			0,00	6383	- 5540	503013
2006	4532	64,5	- 8686,3	1388,2	83,00	- 5788	683	81,0	2206,1	6383	- 12268	44983
2013	4532	61,2	-2136,5	894,2	85,00	- 5602	978	83,0	2249,8	6383	-5489	20126
2020	4532	52,6	- 5567,9	343,2	87,00	- 6593	1493	85,0	3976,6	6383	- 8184	30008

органики обильного опада высокостебельных бурьянистых видов сорной растительности (Нурмухамбетова, 2002; Пермитина, 2012). Полученные результаты использовались для последующих расчетов, связанных с восстановлением углерода на пашне, выводимой из севооборота.

Представление земель с целью последующей оценки динамики углерода для категории землепользования *Возделываемые земли*, выполнялась в соответствии с (Руководящие принципы, 2006; Уточнения, 2019), на 2-ом и 3-ем уровнях расчетов с элементами 1-го. В процессе расчетов широкая категория землепользования «*Возделываемые земли*» была стратифицирована в отдельные подка-

тегории: пашня, остающаяся в севообороте, пашня, выведенная из севооборота (на период от 3,7 до 18 лет) в залежь и пастбища (земли запаса), пашня, возвращаемая в севооборот; многолетние насаждения. Для дополнительного контроля расчетов в качестве исходных использовались регулярные данные о содержании гумуса в почве и физико-химические показатели почвы из государственных земельных кадастров МСХ РК и МЦИАК РК.

Поглощение/эмиссия CO₂ для возделываемых земель, в соответствии с РП МГЭИК, 2006, оценивались по изменению запаса органического углерода в почве. Запас углерода в почве вычислялся с использованием уравнения:

$$MC(t) = 0.01 G \cdot V \cdot K1 \cdot K2 \cdot (1 - K3) \quad (1)$$

где, MC (t) - содержание углерода в поверхностном горизонте почвы 0...0,3 м на площади земли один гектар на год t, тонн / га; G - содержание гумуса (%) в горизонте почвы 0...0,3 м; V - объемная масса почвы в горизонте 0...0,3 м, тонн/м³; K1- объем почвенной массы на площади один гектар равный 3000 м³; K2- содержание углерода в органическом веществе равно 0,58, безразмерная величина; K3 - доля крупных фракций в почве > 2 мм.

Для расчета запаса углерода в почвах агроэкосистемы применялись национальные «эталонные» органического углерода в почве и коэффициенты влияния режима управления и обработки почвы (Почвы, 1960; Руководящие принципы, 2006).

Изменение запаса углерода в резервуарах «почва» для пашни, выводимой последовательно из севооборота после 1990 года, оценивалось, как произведение «установившихся» величин запаса углерода и коэффициента режима управления землей. Национальные «эталонные» почвенного углерода с учетом почвенных разностей и местных природных условий получены из архива Почвенные и растительные ресурсы РК, который формируется в АО Жасыл даму» МЭПР РК в рамках подготовки Национального доклада, раздел по землепользованию.

В соответствии с РП МГЭИК, 2000 (Руководящие принципы, 2000), неопределенность расчетов выбросов/поглощения углекислого газа для категории землепользования *Воз-*

делываемые земли может быть представлена как сумма неопределенности оценки деятельности E (%), принята равной ± 5 % и неопределенности оценки выбросов / поглощений F (%). Неопределенность оценки выбросов / поглощений F (%) выведена из частных ошибок получения исходной информации: ± 30 % – отбор почвенных проб на гумус в процессе полевых исследований; ± 1.5 % – лабораторное определение содержания гумуса в пробах почвы. Отсюда суммарная неопределенность расчетов баланса углерода в почве для категории *Возделываемые земли* может составлять ± 35,03 %.

Пастбища

В Казахстане категория земель *Пастбища* (G) по площади и по вкладу в Национальный бюджет углерода и его годовых изменений является ключевой. Как преобладающий вид сельскохозяйственных угодий с площадью 184 млн. га, включает 5,9 млн. улучшенных пастбищ, 5,18 млн. сенокосов (Аналитический отчет, 2019). Первичная продукция на пастбищах составляет от 0,5 т/га да до 16 т/га на равнине и до 30 т/га в горах. Содержание гумуса в верхнем горизонте почвы изменяется на пастбищах от 1 % и менее (песчаные пустыни) до 18...12 % (горная местность). Природные пастбища и сенокосы, являясь источником дешёвых кормов для животноводства Казахстана, также вносят свой вклад в бюджет углерода, в зависимости от способов их использования. Способы использования *Пастбищ* как

природного ресурса на протяжении веков формировались в зависимости от социально-экономических взаимоотношений в обществе в следующей последовательности: кочевой, полукочевой, отгонно-пастбищный (равнина) сезонно-пастбищный (горная местность), а также современный «бессистемный» способ использования пастбищ и в перспективе – загонный способ использования пастбищ в

системе пастбищеоборота (Жамбакин, 1995).

В период развитого отгонно-пастбищного животноводства в Казахстане (по 1990 год) и в первые годы бессистемного ведения пастбищного хозяйства (1991...2005 гг.) используемые площади пастбищ уменьшались в 3 раза, общее количество выпасаемого скота на пастбищах изменялось в 2 раза.

Таблица 7

Динамика гумуса в почве пахотных земель по результатам наблюдений на стационарных (полустационарных) экологических площадках территориально-зональной сети мониторинга земель сельскохозяйственного назначения РК за 1993...2020 гг.

Годы	Содержание гумуса (%) в почве (горизонт 0...0,3 м) по типам почвы на примере Акмолинской области					
	Средне областное	Черноземы обыкн.	Черноземы южн.	Лугово черноземные	Темно каштановые	Каштановые
1993...1996	-	-	3,26	-	-	-
1996...2002	3,46	4,66	3,05	-	2,60	2,22
2002...2006	3,02	4,48	3,02	-	2,34	2,25
2006...2013	2,82	4,30	2,82	-	2,08	1,92
2013...2020	2,31	4,22	2,47	-	-	1,86

Таблица 8

Динамика гумуса в почве пахотных земель по результатам наблюдений на стационарных (полустационарных) экологических площадках территориально-зональной сети мониторинга земель сельскохозяйственного назначения РК за 1993...2020 гг.

Тип почвы	Годовое увеличение в почве (0...30 см)		Распределение СПН (ПСПН) по административным областям
	гумуса (%)	углерода (т/га)	
Черноземы обыкновенные	0,029	0,54	С- Казахстанская: СПН -14; ПСПН -22 Актюбинская: ПСПН -8; Алматинская: ПСПН -28; Павлодарская: СПН -7,60; ПСПН -3, 49
Черноземы южные	0,015	0,28	
Темно-каштановые	0,036	0,68	Акмолинская: ПСПН -60,73; Актюбинская-ПСПН -7; З-Казахстанская: ПСПН -17; В-Казахстанская: ПСПН -11, Карагандинская: ПСПН -15, 24, 25, 26,27,47, 49, 50
Каштановые	0,030	0,57	Павлодарская: СПН -4, 51, 55, ПСПН -2,52
Светло-каштановые	0,026	0,49	В-Казахстанская: СПН П -5
Лугово- черноземные	0,018	0,34	Павлодарская: ПСПН -51
Лугово- каштановые	0,025	0,48	Акмолинская: ПСПН -95; В-Казахстанская СПН -11
Сероземы светлые	0,021	0,42	Алматинская: ПСПН -19, 21; Жамбылская: СПН -22
Сероземы обыкновен.	0,026	0,52	Алматинская: ПСПН -17,19,20
Лугово- сероземные	0,045	0,90	Жамбылская: СПН -20,22
Предгор. каштановые	0,023	-	Жамбылская: СПН -23
Пойменно- луговые	0,080	-	Жамбылская: СПН -15

Источник данных - НАО «Государственная корпорация «Правительство для граждан» МЦРИАП РК

Такие резкие колебания в использовании пастбищ были связаны с изменением форм собственности на землю и разрушением прежней отгонно-пастбищной системы выпаса скота, в том числе разрушения структуры водобеспеченности скота на пастбищах выпаса-

емого в условиях сухого и жаркого климата.

На 1990 год площадь используемых пастбищ в Казахстане составляла 182,1 млн га, из них 5,91 млн га улучшенных и 5,11 млн га сенокосы.

Представления земель выполняются в пределах широкой категории с детальной

детальной внутренней систематизацией земель на уровне 8 подкатегорий, остающихся в «прежней» категории и отражающих режим управления землей в условиях экстенсивного землепользования (таблица 9).

После 1990 года режим управления пастбищными землями в РК существенно изменялся с изменением форм собственности и землеустройства, разрушением системы выпаса и колодцев для водопоя скота. Около 70 % площадей природных пастбищ и 50 % сенокосов было изъято из пользования и выведено в земли запаса, что способствовало частичному восстановлению пастбищной растительности, увеличению проективного покрытия, биопродукции и кормовых запасов на этих землях. Одновременно на ограниченной территории пастбищ, где осуществлялся интенсивный выпас животных (в особенности на присельских пастбищах), нагрузка скота возрастала и составляла по расчетам за 2021 год 1,136 условных голов овец на гектар площади, что существенно превышало среднереспубликанскую величину хозяйственной нагрузки на выпасаемые пастбища за 1990 год.

Результаты оценки поглощения/эмиссии парниковых газов для природных пастбищ и сенокосов за 1990...2021 гг. представлены в обобщенной форме в таблице 9. Из таблицы видно, что в условиях продолжающегося экстенсивного хозяйственного использования пастбищных и сенокосных угодий в РК, за последние два десятилетия для природной пастбищной экосистемы сохранялся потенциал поглощения CO₂ за счет площадей пастбищ остающихся в запасе, а также на землях

ООПТ, Лесного фонда, землях в ведении других ведомств и других государств и на землях с отсутствием водообеспечения для выпасаемого скота, как одного из основных условий их использования. Общее количество поглощения CO₂ для категории землепользования Пастбища составляло по расчетам за 2021 год -25531,6 тысяч тонн/год при сохраняющейся его величине за 1990 год на уровне -6539,0 тыс. тонн/год (таблица 9). При этом авторами допускалось, что в условиях отгонно-пастбищной системы использования пастбищ, практически просуществовавшей до 1990 года, поглощение углерода на пастбищных угодьях в объеме 6893,3 тыс. тонн /год на 1990 год обеспечивалось в основном за счет улучшенных участков пастбищ, площадь которых к 1990 году составляла порядка 5,9 млн га.

Наиболее значительные величины поглощения CO₂ пастбищами приходятся на Мангистаускую, Атыраускую, Западно-Казахстанскую, Костанайскую, Карагандинскую области с обширными площадями пустынных и полупустынных пастбищ и минимальными нагрузками скота.

Методологические вопросы, используемая информация. Расчеты парниковых газов за 1990...2021 годы для ключевой категории Пастбища выполнялись в соответствии с Руководящими принципами (Руководящие принципы, 2006; Улучшения, 2019), с учетом местных условий и имеющейся статистической информации.

Представление пастбищных земель для расчетов углерода выполнялись аналогично структуре

Таблица 9

Динамика поглощения (-) / эмиссии (+) CO₂ для категории земель Пастбища на территории Республики Казахстан по расчетам за 1990...2021 гг.

Годы	Площадь, тыс. га	Изменение запаса углерода, тыс. т/ год			Поглощение (-) / эмиссия (+), тыс. т/год CO ₂
		Фитомасса	МОВ	Почва	
1990	187232,3	626	444,00	810,00	-6539,0
1995	189809,0	2479,5	1316,50	4451,30	-24504,6
2000	192096,5	4333	2188,90	8092,60	-43767,0
2005	193484,7	2948,2	1490,40	3016,00	-29923,3
2010	193535,2	1663,3	791,90	-2060,70	-5751,2
2015	191652,5	1861,3	1123,90	752,50	-10185,4
2020	189450,6	2159,3	1456,00	3565,80	-23629,1
2021	189111,6	1569,7	1156,60	5115,80	-25531,6

структуре распределения пастбищных земель в составе Земельного фонда Республики Казахстан, что оправдывается условиями современного «бессистемного» использования пастбищ (таблица 10)

Таблица 10

Представление пастбищных земель Казахстана по подкатегориям управления за 1991...2021 гг. и базовые конверсионные коэффициенты для расчетов динамики углерода «бессистемный»

Категории и подкатегории пастбищ	Коэффициенты конверсии (базовые) для расчета запасов углерода (F_1 ; F_2)	Годы				
		1990	2000	2010	2020	2021
А Общая площадь пастбищ		182126	187081	188361	184318	183994
1.0 Земли сельскохозяйственного назначения		155236	61280	60943,7	75599	80595
1.1 В том числе обводненные		138800,0	40580,0	38160,8	45940,0	48494,2
1.1.1 Пастбища сбитые	$F_1=0,60$; $F_2=0,70$;	24425,0	9589,0	6718,6	6305,0	6194,0
1.1.2 Пастбища улучшенные используются	$F_1=1,1...0,80$; $F_2=0,82...0,90$;	5900,0	2602,4	3959,0	4013,0	4012,1
1.1.3 Пастбища природные используются умеренно деградированные	$F_1=0,80$; $F_2=0,90$;	108475,0	28388,6	27483,2	35622,0	38288,1
1.2 Пастбища не обводненные, используются слабо	$F_1=0,98$; $F_2=0,99$;	16435,7	20700,4	22782,9	29659,1	32100,4
2.1 Земли населенных пунктов. Пастбища интенсивно используются	$F_1=0,60$; $F_2=0,70$;	2700,0	17536,0	20406,4	20820,0	20931,0
3.0 Земли запаса, не используемые		10344,0	93484,0	88122,7	71972,0	66608,6
3.1 Пашня, временно выведенная в пастбища		0,0	5950,0	6416,5	5237,6	5067,4
3.У. Пастбища улучшенные	$F_1=1,0...0,95$; $F_2=0,82...0,93$;	0,0	2251,3	2059,4	1746,4	1686,8
3.2 Пастбища природные	$F_1=0,8...0,95$; $F_2=0,90...0,93$;	10344,0	85282,7	79646,8	64988,0	59854,4
4.1 Земли иных ведомств. Пастбища используются слабо	$F_1=0,98$; $F_2=0,99$;	13130,7	12798,4	12346,6	10723,9	10682,0
5.1 Земли в аренде др. государств. пастбища слабо используются	$F_1=0,98$; $F_2=0,99$;	789,3	1983,0	6542,5	5186,7	5177,0
6.1 Сенокосы	$F_1=0,98$; $F_2=1,0$;	5106,3	5015,5	5174,2	5132,6	5117,4

* - данные (Лебедь, 2014) и аналогичные за другие годы

Запасы углерода и годовые их изменения рассчитывались с использованием смешанных подходов технического уровня 2, в сочетании с уровнем 1. В основу методики расчета углерода положен метод баланса. Годовые изменения расчёта углерода рассчитываются из разницы объемов углерода в два момента времени, накапливаемого в системе с использованием эталонов углерода и конверсионных коэффициентов их изменений (Лебедь, 2014; Руководящие принципы, 2006). Для эталонов углерода, используемых для оценки динамики углерода на национальном уровне, запасы составляли 2,77 тонн/га – живая биомасса, 4,11 тонн/га – мертвая биомасса и 51,3 тонн/га – почва минеральная, поверхностный горизонт 0...30 см.

В качестве исходной информации использовались надежные статистические данные из Государственного архива земельных ресурсов МСХ РК (Аналитический отчет, 2019 и др.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в статье научные результаты касаются улучшения отчетности для кадастра выбросов из источников и абсорбции углекислого газа (CO_2), связанных с землепользованием, которые ежегодно представляются в национальный доклад Республики Казахстан как стороной Конвенции РКИК ООН. В частности, авторами оценена динамика углерода и выбросы/поглощения CO_2 для ключевых категорий Лесные площади,

Возделываемые земли, Пастбища в условиях экстенсивного ведения сельского хозяйства и землепользования за 1990...2021 гг. В процессе расчетов использовалась систематизированная статистическая информация из Государственных кадастров по землепользованию и природным ресурсам.

Полученные результаты подтверждают возможность оценки выбросов/поглощения парниковых газов на Втором уровне методологического подхода с представлением результатов на региональном (областном) уровне, с использованием имеющейся информации в Республике Казахстан.

Для представления в перспективе на Третьем методологическом уровне ландшафтных единиц крупного масштаба требуется использовать космическую информацию среднего и крупного масштабов съемок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальный атлас Республики Национальный Казахстан. - Том 3. Окружающая среда и экология. - Алматы, 2006.
2. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов, т.4. Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования, МГЭИК, 2006.
3. Уточнения 2019 к Руководящим принципам национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 2006, МГЭИК, 2019
4. Лесной кодекс Республики Казахстан (утвержден от 8 июля 2003 года, № 477-II).
5. Инструкция проведения лесоустройства в Государственном лесном фонде, КЛХЖМ МЭГПР РК, Астана, 2012.
6. Нормативы для таксации лесов Казахстана. - Алма-Ата. - Кайнар, 1987. 320 с.
7. Инструкция проведения лесоустройства РК (утверждены приказом Председателя Комитета лесного и охотничьего хозяйства Министерства сельского хозяйства РК. 5 декабря 2005 года N 268).
8. Правила проведения агрохимического обследования почв. Астана. 2014.
9. Методическое руководство по проведению агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий. Алматы, КазНИИП и А, 2007 г. РК, 2007, 45 с.
10. Правила учета земель и ведения государственного земельного кадастра. Астана. 2014.
11. Земельный кодекс Республики Казахстан. 2003. Астана.
12. Научно-методические указания по мониторингу земель Республики Казахстан. Государственный комитет по земельным отношениям и землеустройству. Алматы, 1994.
13. Базилевич Н. И. Первичная продуктивность природных экосистем Северо-восточной Евразии, Москва. Наука, 1994, - 312с.
14. Сводный аналитический отчет о состоянии и использовании земель Республи-

- ки Казахстан за 2020 год, Астана, 2019г. 290 с.
15. Геоботанические работы в системе землеустройства Республики Казахстан (состояние и перспективы) / под общей редакцией З.Д. Дюсенбекова. - Астана. 2005.
16. Почвы Казахской ССР, выпуск 1. Северо-Казахстанская область. Алма-Ата, 1960.
17. Лебедь Л. В., Иорганский А. И. К зональному распределению почвенного углерода в Казахстане // Научно-технический журнал «Гидрометеорология и Экология» №1, 2014г. с.132-143.
18. Инструкция проведения лесоустройства, КЛХЖМ МЭГПР РК, Астана, 2012.
19. Нурмухамбетова Г. Д. Эколого-геоботаническая характеристика сорной растительности степной зоны (Костанайская область) // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук, Алматы, 2002.
20. Пермитина Т. Ф., Огарь Н. П. Оценка антропогенной деградации почв Актюбинской области // Материалы Международной научно-практической конференции «Рациональное использование почвенных ресурсов и их экология». - Алматы, 2012.
21. Руководящие указания по эффективной практике и учете факторов неопределенности в национальных кадастрах парниковых газов, РУЭП 2000.
22. Жамбакин Ж. А. Пастбища Казахстана. Технология использования. - Алматы. - Кайнар, 1995.
23. Лебедь Л. В. Опустынивание пастбищ и динамика углеродопоглощения в условиях экстенсивного землепользования в Казахстане // Материалы 1-ой Международной научно-практической конференции «Опустынивание Центральной Азии: оценка, прогноз, управление», Астана, Казахстан, 25- 27 сентября 2014 г., с. 325- 332.

REFERENCES

1. Natsional'nyi atlas Respubliki Natsional'nyi Kazakhstan. - Tom 3. Okruzhayushchaya sreda i ekologiya. - Almaty, 2006.
2. Rukovodyashchie printsipy natsional'nykh inventarizatsii parnikovoykh gazov, t.4. Sel'skoe khozyaistvo, lesnoe khozyaistvo i drugie vidy zemlepol'zovaniya, MGEIK, 2006.
3. Utochneniya 2019 k Rukovodyaschim principam nacionalnih inventarizatsii parnikovih gazov MGEIK. -2019.
4. Lesnoi kodeks Respubliki Kazakhstan (utverzhdn ot 8 iyulya 2003 goda, № 477-II).
5. Instruktsiya provedeniya lesoustroistva v Gosudarstvennom lesnom fonde, KLKhZhM MEGPR RK, Astana, 2012.
6. Normativy dlya taksatsii lesov Kazakhstan. - Alma-Ata. - Kainar, 1987. 320 p.
7. Instruktsiya provedeniya lesoustroistva RK (utverzhdny prikazom Predsedatelya Komiteta lesnogo i okhotnich'ego khozyaistva Ministerstva sel'skogo khozyaistva RK. 5 dekabrya 2005 goda N 268).
8. Pravila provedeniya agrokhimicheskogo obsledovaniya pochv. Astana. 2014.
9. Metodicheskoe rukovodstvo po provedeniyu agrokhimicheskogo obsledovaniya pochv sel'skokhozyaistvennykh ugodii. Almaty, KazNIIP i A, 2007g. RK, 2007, 45 p.
10. Pravila ucheta zemel' i vedeniya gosudarstvennogo zemel'nogo kadastra. Astana. 2014.

11. Zemel'nyi kodeks Respubliki Kazakhstan. 2003. Astana.
12. Nauchno metodicheskie ukazaniya po monitoringu zemel' Respubliki Kazakhstan. Gosudarstvennyi komitet po zemel'nyim otnosheniyam i zemleustroistvu. Almaty, 1994.
13. Bazilevich N. I. Pervichnaya produktivnost' prirodnykh ekosistem Severo-vostochnoi Evrazii, Moskva. Nauka, 1994, - 312 p.
14. Svodnyi analiticheskii otchet o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' Respubliki Kazakhstan za 2020 god, Astana, 2019. - 290 p.
15. Geobotanicheskie raboty v sisteme zemleustroistva Respubliki Kazakhstan (sostoyanie i perspektivy) / pod obshchei redaktsiei Z.D. Dyusenbekova. - Astana. 2005.
16. Pochvy Kazakhskoi SSR, vypusk 1. Severo Kazakhstanskaya oblast'. Alma-Ata, 1960.
17. Lebed L. V., Iorganskii A. I. K zonalnomu raspredeleniyu pochvennogo ugleroda v Kazakhstane // Nauchno-tehnicheskii zhurnal «Gidrometeorologiya i Ekologiya» №1, 2014. p. 132-143.
18. Instruksiya provedeniya lesoustroistva, KLKhZhM MEGPR RK, Astana, 2012.
19. Nurmukhambetova G. D. Ekologo-geobotanicheskaya kharakteristika sornoi rastitel'nosti stepnoi zony (Kostanaiskaya oblast') // Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata biologicheskikh nauk, Almaty, 2002.
20. Permitina T. F., Ogar' N. P. Otsenka antropogennoi degradatsii pochv Aktyubinskoi oblasti //Materialy Mezhdunarodnoi nauchno- prakticheskoi konferentsii «Ratsional'noe ispol'zovanie pochvennykh resursov i ikh ekologiya». - Almaty, 2012.
21. Rukovodyashchie ukazaniya po effektivnoi praktike i uchete faktorov neopredelennosti v natsional'nykh kadastrakh parnikovyykh gazov, RUEP 2000.
22. Zhambakin Zh. A. Pastbishcha Kazakhstana. Tekhnologiya ispol'zovaniya. - Almaty. - Kainar, 1995.
23. Lebed' L. V. Opustynivanie pastbishch i dinamika uglerodopogloshcheniya v usloviyakh ekstensivnogo zemlepol'zovaniya v Kazakhstane // Materialy 1-oi Mezhdunarodnoi nauchno- prakticheskoi konferentsii «Opustynivanie Tsentral'noi Azii: otsenka, prognoz, upravlenie», Astana, Kazakhstan, 25-27 sentyabrya 2014, p. 325- 332.

ОРМАН ЖӘНЕ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫНДАҒЫ АНТРОПОГЕНДІК ШЫҒАРЫНДЫЛАР КӨЗІ ЖӘНЕ ПАРНИКТІК ГАЗДАРДЫ СІҢГІГІШТЕМЕН АБСОРБЦИЯЛАУДЫ ЕСЕПТЕУ НЕГІЗІНДЕ ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ЖЫЛ САЙЫНҒЫ ҰЛТТЫҚ БАЯНДАМАСЫ ҮШІН

Л.В. Лебедь¹ Г.Ф.К., **Д. А. Касенова¹**, **А.С. Есекина¹**, **З.Р. Токпаев¹**, **Н.К.Сулейменов²**, **А.Н. Быков³**, **Н.И. Васильченко⁴**

¹АО «Жасыл даму» ҚР ЭТРМ, Алматы, Қазақстан

²РМҚК «Қазақ Орман Орналастыру Кәсіпорны» КЛХДВЗ ОШЖДК ҚР ЭТРМ, Алматы, Қазақстан

³Қазақстан Республикасы ауыл шаруашылығы министрлігінің «Агрехимия қызметі Республикалық ғылыми-әдістемелік орталығы» Республикалық мемлекеттік мекемесі, Астана, Қазақстан

⁴«Азаматтарға арналған үкімет» мемлекеттік корпорациясы» КЕАҚ, Астана, Қазақстан
E-mail: zufartokpaev@mail.ru

Мақалада келтірілген нәтижелер Монреаль хаттамасымен реттелмейтін парниктік газдардың жер пайдалану бөлігінде көздерден антропогендік шығарындылар және сіңіру (сіңіру) кадастры туралы Ұлттық баяндаманы дайындау процесінде алынды. Баяндаманы Қазақстан Республикасы жыл сайын БҰҰ-ның Климаттың өзгеруі туралы негіздемелік конвенциясының (БҰҰ ӨКК) тарабы ретінде ұсынады. Қазақстан Республикасында жерді пайдаланумен байланысты көмірқышқыл газының (СО₂) динамикасының 1991...2020 ж.алдын ала орындалған есептеулері оның атмосферадан табиғи экожүйелермен сіңуі жылына 3-тен 50-60 млн. тоннаға дейін болуы мүмкін екенін көрсетті, ал атмосфераға шығарындылар - жылына 10-нан 45 млн. тоннаға дейін. Зерттеу барысында әртүрлі аумақтық деңгейлердегі СО₂ антропогендік ағындарын есептей отырып, жер пайдалану мен жер ресурстарының жер үсті мониторингінің елдегі қолданыстағы жүйесіне егжей-тегжейлі талдау жасалды. Алынған нәтижелер аймақтық және облыстық деңгейде парниктік газдарды есептеу мүмкіндігін растайды. Осылайша, жерді пайдалануға байланысты парниктік газдар ағындарының есептеулерін қосымша бақылау және табиғи экожүйелер (Орман алқаптары мен Жайылымдар) үшін сіңіру көлемінің ықтимал ұлғаю әлеуетін бағалау және

Өңделген жерлерде агроэкожүйе үшін шығарындыларды азайту мүмкіндігі расталады.

Түйін сөздер: парниктік газдар, орман шаруашылығы, егістік алқаптар, жайылымдар

FOR THE CALCULATIONS OF ANTHROPOGENIC EMISSIONS FROM SOURCES AND REMOVALS BY SINKS OF GREEN HOUSE GASES IN FORESTRY AND AGRICULTURE FOR THE ANNUAL NATIONAL REPORT OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

L.V. Lebed¹ candidate of the geographical sciences, **D.A. Kassenova¹**, **A.S. Yessekina¹**, **Z.R. Tokpayev¹**, **N.K. Suleimenov²**, **A.N. Bykov³**, **N.I. Vasilchenko⁴**

¹JSC “Zhasyl Damu” MENR RK, Almaty, Kazakhstan

²RSE “Kazakh Forestry Enterprise” FWC MENR RK, Almaty, Kazakhstan

³State Institution “RSMC Agrochemical Service” MA RK, Astana, Kazakhstan

⁴Specialized «State-owned corporation «Government for citizens» NJSC RK, Astana, Kazakhstan

E-mail: zufartokpaev@mail.ru

The results presented in the article were obtained in the process of preparing the National Report on the inventory of anthropogenic emissions from sources and absorption of greenhouse gases not regulated by the Montreal Protocol, in terms of land use. The report is submitted annually by the Republic of Kazakhstan, as a party to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Preliminary calculations of the dynamics of carbon dioxide (CO₂) associated with land use in the Republic of Kazakhstan for 1991...2020 showed that its absorption from the atmosphere by natural ecosystems could range from 3 to 50...60 million tons per year, and emissions into the atmosphere – from 10 to 45 million tons/year. In the process of research, a detailed analysis of the country’s existing system of ground-based monitoring of land use and land resources was carried out with calculations of anthropogenic CO₂ flows at various territorial levels. The results obtained confirm the possibility of calculating greenhouse gases at the zonal and regional levels. This confirms the possibility of additional control of calculations of greenhouse gas fluxes associated with land use and assessment of the potential for a possible increase in absorption volumes for natural ecosystems (Forests and Pastures) and reductions in emissions for the Croplands agroecosystem.

Key words: greenhouse gases, forestry, cropland, grassland

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

Лебедь Любовь Васильевна – кандидат географических наук, Национальный эксперт, Алматы, lebed@inbox.ru, г. Алматы

Касенова Дана Адилхановна – менеджер Департамента инвентаризации парниковых газов, АО «Жасыл даму», Астана, danbocha@mail.ru

Есекина Айман Сериковна - Директор Департамента инвентаризации парниковых газов, АО «Жасыл даму», Астана, res.85@mail.ru

Токпаев Zufar Решатович – главный менеджер Департамента инвентаризации парниковых газов, АО «Жасыл даму», Алматы, <https://orcid.org/0009-0007-1414-2607>, zufartokpaev@mail.ru

Сулейменов Нурлан Куанышович – Заместитель директора РГКП Казахское лесоустроительное предприятие, Алматы, n.suleimenov@mail.ru

Александр Николаевич Быков – ГУ «РНМ Агрохимическая служба» МСХ РК, Астана

Николай Иванович Васильченко – кандидат сельскохозяйственных наук, эксперт НАО «Государственная корпорация «Правительство для граждан», Астана, vasilchenko-nikolay@mail.ru

Лебедь Любовь Васильевна - география ғылымдарының кандидаты, ұлттық сарапшы, Алматы, lebed@inbox.

Қасенова Дана Әділханқызы – «Жасыл даму» ақ парниктік газдарды түгендеу департаментінің менеджері, Астана, danbocha@mail.ru

Есекина Айман Серікқызы – «Жасыл даму» ақ парниктік газдарды түгендеу департаментінің директоры, Астана, res.85@mail.ru

Токпаев Zufar Решатұлы - парниктік газдарды түгендеу департаментінің бас менеджері, «Жасыл даму» АҚ, Алматы, <https://orcid.org/0009-0007-1414-2607>, zufartokpaev@mail.ru

Сүлейменов Нұрлан Қуанышұлы – Қазақ орман орналастыру кәсіпорны РМҚК директорының орынбасары, Алматы, n.suleimenov@mail.ru

Александр Николаевич Быков - Қазақстан Республикасы ауыл шаруашылығы министрлігінің «Агрохимия қызметі Республикалық ғылыми-әдістемелік орталығы» Республикалық мемлекеттік мекемесі, Астана

Николай Иванович Васильченко - ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, «Азаматтарға арналған үкімет «мемлекеттік корпорациясы» КЕАҚ сарапшысы, Астана, vassilchenko-nikolay@mail.ru

Lebed Lyubov Vasilyevna – Candidate of Geographical Sciences, National Expert, Almaty, llebed@inbox.ru

Kassenova Dana Adilkhanovna – Manager of the Greenhouse Gas Inventory Department, JSC “Zhasyl Damu”, Astana, danbocha@mail.ru

Yessekina Ayman Serikovna – Director of the Greenhouse Gas Inventory Department, Zhasyl Damu JSC, Astana, res.85@mail.ru

Tokpaev Zufar Reshatovich – Chief Manager of the Greenhouse Gas Inventory Department, JSC “Zhasyl Damu”, Almaty city, <https://orcid.org/0009-0007-1414-2607>, zufartokpaev@mail.ru

Suleimenov Nurlan Kuanyshovich – Deputy Director of the RSE Kazakh Forestry Enterprise, Almaty, n.suleimenov@mail.ru

Alexander Nikolaevich Bykov - State Institution “RSMC Agrochemical Service”, Astana

Nikolay Ivanovich Vasilchenko – Candidate of Agricultural Sciences, expert of NAO «State Corporation «Government for Citizens», Astana, vassilchenko-nikolay@mail.ru

ФОРСАЙТ-МЕТОДОЛОГИЯ И ЕЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ ВОДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

А.К. Куришбаев^{1,2} доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Д.М. Бурлибаева³ * доктор PhD, Ж.М. Сагин^{4,5} профессор, К. Тусупова^{6,7} доктор PhD, К.Д. Алиханов¹ доктор PhD, асоц. профессор

¹Национальная Академия Наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан

³Институт географии и водной безопасности Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, Алматы, Казахстан

⁴Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан

⁵Western Michigan University, Kalamazoo, USA

⁶Сатпаев Университет, Алматы, Казахстан

⁷Lund University, Lund, Sweden

E-mail: diana.burlibayeva@yandex.kz

Водная безопасность тесно связана с продовольственной безопасностью и национальной безопасностью в целом. Учитывая трансграничность водных ресурсов Казахстана и особенности географического положения страны, вопрос водной безопасности является одним из ключевых в обеспечении устойчивого развития государства. В статье представлен краткий обзор применяемых в форсайте методов исследования, их наилучших комбинаций для получения стабильных результатов. В ней, также, приведены позитивные примеры применения форсайт-исследований экономически развитыми странами в формировании стратегии управления водными ресурсами. Рассматриваются вопросы актуальности и взаимосвязи форсайт-исследований и водной безопасности Казахстана, перспективы их использования для управления водными ресурсами страны в будущем.

Ключевые слова: форсайт-исследования, библиографический обзор, водная безопасность, управление водными ресурсами, уменьшение водного стресса

Поступила: 27.10.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2023-111-4-104-112

ВВЕДЕНИЕ

Форсайт – это новое направление исследований в регионе Центральной Азии. Согласно Кембриджскому словарю (Cambridge Dictionary) форсайт – это умение правильно судить о том, что произойдет в будущем, и планировать свои действия на основе этих знаний. Форсайт отличается от прогнозирования многогранным учетом различных факторов.

Водная безопасность – понятие емкое и включает в себя множество составных элементов. По определению ООН «водная безопасность» – это способность населения обеспечивать устойчивый доступ к достаточным объемам воды приемлемого качества для поддержания жизнедеятельности, благосостояния людей

и социально-экономического развития с целью защиты от передающихся через воду загрязнений и связанных с водой бедствий, а также для сохранения экосистем в климате мира и политической стабильности (Water Security & the Global Water Agenda, 2013; Глобальная группа высокого уровня по вопросам воды и мира, 2017).

На территории Казахстана имеются восемь водохозяйственных бассейнов, семь из которых являются трансграничными, причем на территории Казахстана располагаются транзитные или устьевые участки. В связи с этим вопрос водной безопасности страны – один из наиболее приоритетных на сегодняшний день. Обеспечение населения качественными водными ресурсами для различных целей, прежде всего – питьевых,

– одна из основных задач водной отрасли Республики.

В связи с вышеизложенным, результаты форсайт-исследований в контексте водной безопасности Казахстана могут стать основой стратегического планирования развития водохозяйственной отрасли страны. Глобальное изменение климата, и, как следствие, увеличивающийся водный дефицит в регионе Центральной Азии, диктуют необходимость планирования использования водных ресурсов на основе новых водосберегающих технологий. Предвидение актуальных направлений поможет своевременно поддержать их развитие с последующим внедрением в отрасль.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Что представляет собой форсайт? В чем его суть? Какие методы используются для проведения форсайт-исследований? Ответы на эти вопросы можно получить из материала, представленного ниже.

Суть форсайт-исследований состоит в использовании набора различных методов для прогноза и конструирования будущих направлений развития отрасли. Методология (совокупность методов) выбирается на основании целей и задач конкретного проекта. В форсайт-исследованиях не существует «идеального» набора методов для конкретной предметной области. Как правило, используется 5-6 методов, причем очень важна последовательность применения методов (Шашанов, 2016).

Методы форсайта разделяются по способу анализа:

- количественные (анализ больших данных, бенчмаркинг, библиометрия, патентный анализ, моделирование);
- качественные (мозговой штурм, экспертные панели, прогноз гения, глубинные интервью, деревья цепей, сценарии, научная фантастика, слабые сигналы и события-джокеры);
- смешанные (Дельфи, критические технологии, опрос, технологические дорожные карты, STEEPV-анализ и анализ стейкхолдеров).

Насегодняшний день в мировой практике существует большое количество методов форсайт-исследований. Однако, как было

упомянуто ранее, в форсайт-исследованиях важна компоновка и последовательность применения методов.

Примером такой последовательности, используемой при форсайт-исследованиях, может быть следующая методология: сканирование – Дельфи – события-джокеры – панели граждан – экспертные панели – SWOT-анализ. На каждой стадии определяются свои цели и задачи (Шашанов, 2016):

- 1) сканирование – детальный анализ основных проблем по исследуемой теме;
- 2) Дельфи – масштабное исследование с целью оценки вероятности появления и возможного эффекта факторов, выявленных в процессе сканирования;
- 3) события-джокеры – определение возможных событий, которые способны радикально изменить вероятный ход событий;
- 4) панели граждан – выявление проблем с точки зрения общества;
- 5) экспертные панели – профильные специалисты обсуждают возможные варианты будущего на основе результатов, полученных на предыдущих этапах;
- 6) SWOT-анализ – синтез результатов проекта с выявлением сильных и слабых сторон исследуемой области, будущих возможностей и угроз.

Таким образом, форсайт-исследования – это методология долгосрочного планирования и определения перспективных направлений развития области исследования. В форсайт-исследованиях нет шаблонного подхода к изучению различных сфер деятельности. Это, своего рода, творческий процесс, зависящий от тематики, целей и задач исследования.

Форсайт-исследования в формировании стратегии управления водными ресурсами развитых стран

Страны-участники Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) – экономически развитые страны – уделяют форсайт-исследованиям большое внимание. Ежегодно (начиная с 2020 г.) Европейской комиссией публикуется Отчет о стратегическом предвидении (Strategic Foresight Report), где тематики развития водохозяйственной отрасли и водной безопасности постоянно освещаются.

В первом форсайт докладе Европейской комиссии 2020 г. (2020 Strategic Foresight Report) были описаны четыре направления развития устойчивой Европы. В третьем направлении The Green Dimension («Зеленое измерение») описана нарастающая проблематика качества воды, что является одной из составляющих водной безопасности. Согласно исследованиям, будущие профессии, связанные с «регенерацией воды», т.е. очисткой сточной воды после использования и ее дальнейшим использованием (повторным/оборотным) будут очень востребованы. В докладе 2021 г. (2021 Strategic Foresight Report), который отражает «Возможности и свободу действий ЕС», первый раздел посвящен вопросам изменения климата и другим экологическим проблемам. В данном разделе высказана доктрина о том, что изменение климата окажет серьезные последствия на окружающую среду, здоровье,

продовольственную и водную безопасность, а также на безопасность развития человечества.

В докладе отмечено, что давление на водную и продовольственную безопасность будет продолжать расти. Согласно исследованиям, на данный момент в некоторых частях Европы люди уже испытывают средний и высокий уровень водного дефицита (хотя территория ЕС находится в зоне достаточного увлажнения). В труде представлен вывод о том, что в ближайшие годы дефицит воды станет особенно проблематичным со стороны южного соседства ЕС, что скажется на потоках миграции из вододефицитных районов в страны ЕС (рисунок 1). Проблема нестабильной водной безопасности в странах ЕС может косвенно повлиять на отсутствие продовольственной безопасности и «ценовые шоки», т.к. в последствии приведет к конкуренции за наличные водные ресурсы и плодородную землю.

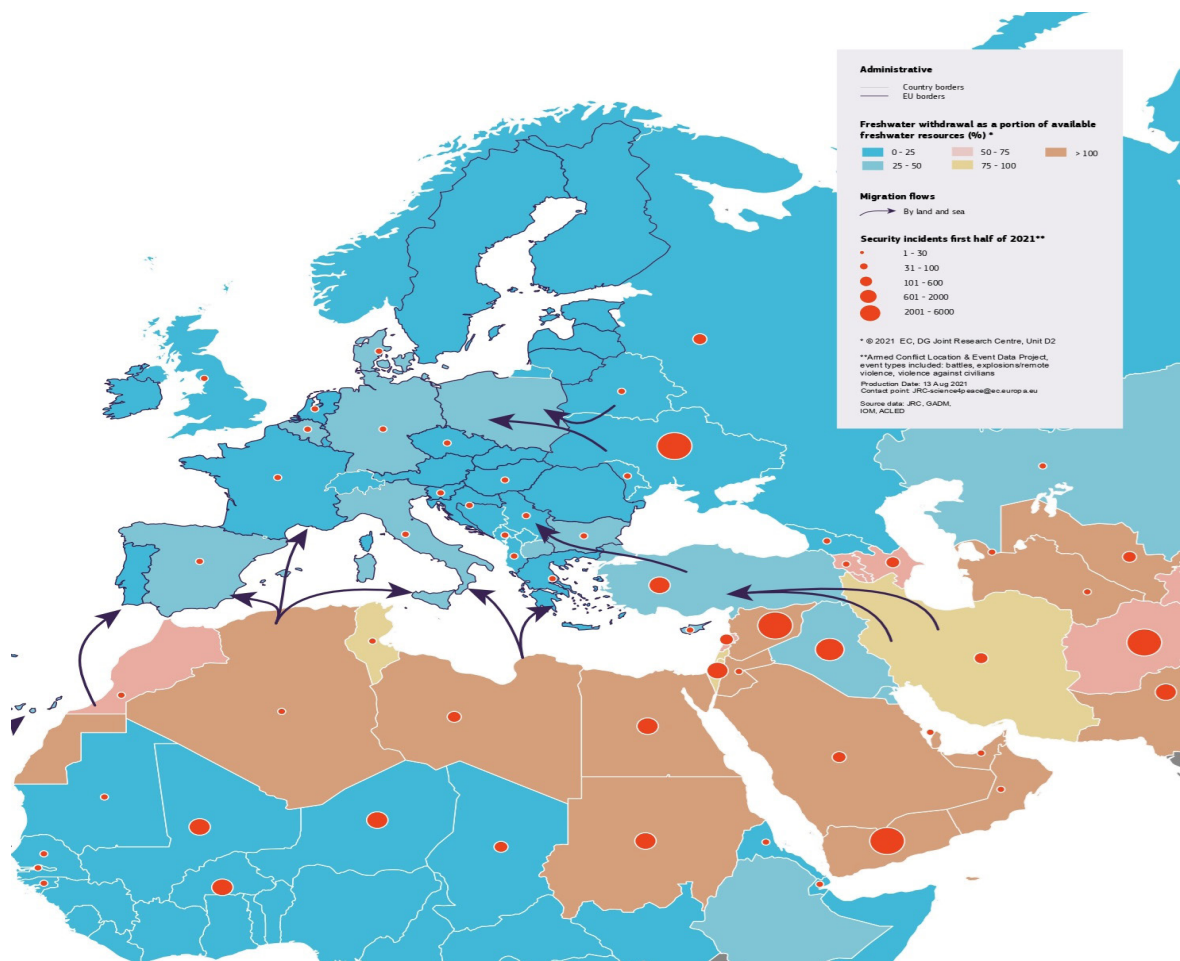


Рис.1. Водный стресс, конфликты и миграция (European Commission (2021); 2021 Strategic Foresight Report)

В форсайт докладе Европейской комиссии 2022 г. (2022 Strategic Foresight Report) отражена тема объединенного зеленого и цифрового перехода в новом геополитическом контексте. По прогнозным данным к 2050 г. население Земли достигнет 9,7 миллиарда человек, что, несомненно, приведет к увеличению мирового водопотребления, а это, в свою очередь, отрицательно скажется на уже нестабильной мировой водной безопасности.

Форсайт доклад 2023 г. посвящен устойчивости и благополучию людей в центре открытой стратегической автономии Европы (2023 Strategic Foresight Report). В докладе отмечено, что ресурсы планеты Земли ограничены, и уже на данный момент 72 % европейских компаний и предприятий зависят от одного из следующих факторов: чистая вода, здоровая почва, леса. Важность проблем изменения круговорота воды и ее качественных характеристик уже вынесена Европейской комиссией на первое место.

В Европе существует Европейская Форсайт Платформа (the European Foresight Platform – EFP), которая работает при поддержке Европейской комиссии. Целью данной платформы является создание глобальной сети, объединяющей различных специалистов для обмена знаниями в форсайт-исследованиях, прогнозировании и других методах исследований будущего.

На платформе ЕФП (EFP) опубликованы результаты форсайт-исследований «Водная безопасность Египта – будущее видение 2030 года с использованием метода Дельфи» (EFP Brief No. 252). Данное исследование было направлено на выявление, анализ и прогнозирование потенциальных возможностей водной безопасности Египта как основы для выработки пилотных решений, направленных на предотвращение проблем и кризисов, а также на разработку комплекса мер, обеспечивающих достижение водной безопасности. Данное исследование проводилось в 2009...2010 гг. Центром исследований будущего при Центре информации и поддержки принятия решений Кабинета министров Египта. Основная водная артерия Египта – река Нил, которая является трансграничной, протекая по территории таких стран, как Уганда, Южный Судан, Судан и Египет. Река Нил обеспечивает 80 % общего

объема годового стока в Египте. На территории Египта расположена нижняя часть бассейна реки, что ограничивает возможности управления ее стоком. Поэтому вопрос водной безопасности страны стоит на первом месте в национальной повестке дня. Исследование было проведено для выявления основных факторов неопределенности, которые будут влиять на водную безопасность в будущем, а также для прогнозирования потенциала этих факторов неопределенности, их различных ожидаемых последствий и предлагаемых рекомендаций. Для проведения исследования был разработан специальный веб-сайт для доступа 25 экспертов в сфере водного хозяйства, экономики и политики. На основе теоретического обзора с применением методики Дельфи были выявлены восемь факторов, влияющих на водную безопасность Египта:

1) Сложность межгосударственных отношений между странами бассейна Нила. Существующие соглашения о водodelении 1929 и 1959 гг. постоянно подвергаются попыткам их оспорить.

2) Влияние внешнеполитических сил. Внешние силы США и Израиля оказывают влияние на международное взаимодействие в странах бассейна Нил не в сторону урегулирования. Европейские страны и Япония, наоборот, выступают за водное сотрудничество в данном бассейне.

3) Последствия отделения Южного Судана. Мнения экспертов в данном вопросе сильно разнятся.

4) Переход к орошаемому земледелию и минимизация давления на чистую воду. Переход на орошаемое земледелие потребует значительного финансирования, которое косвенно может дестабилизировать политическую обстановку и увеличить напряженность соседствующих стран.

5) Изменения в экономике. Главная особенность стран бассейна Нила (за исключением Египта) – крайняя бедность, которая отражается на возможностях обеспечения водной инфраструктуры.

6) Водохранилища и водоконтролирующие сооружения. Влияние новых сооружений на квоты на воду для Египта.

7) Влияние изменения климата на водные ресурсы бассейна Нила.

Повышение температуры скажется на объеме испарения и пространственному перераспределению осадков, которые в настоящий момент используются для сельского хозяйства.

В результате данного форсайт-исследования был сделан вывод, что водный дефицит в бассейне Нила будет увеличиваться, а политическая обстановка региона будет накаляться. Поскольку с момента проведения форсайт-исследования прошло уже более 10 лет, можно заключить, что выводы исследования были правдивыми. Это подтверждается докладом UNICEF за 2021 г. (UNICEF Annual Report 2021), где отмечено, что в Египте наблюдается острая нехватка воды. Ежегодный дефицит водных ресурсов в Египте составляет около 7 км³, и страна может остаться без воды уже к 2025 г.

Форсайт-исследования и водная безопасность Казахстана

Водная безопасность, как уже упоминалось, – понятие емкое и публикаций на тему водной безопасности Казахстана достаточно. Однако, трактовка понятия «водной безопасности» различна не только в разных странах, но и внутри страны, в зависимости от профиля специальности конкретного эксперта, кто высказал свое авторское определение. По итогу получается некое «однобокое» определение «водной безопасности». Например, в труде (Assubayeva, A., Xenarios, S., Li, A., Fazli, S., 2022) говорится об основной проблематике – о самом понятии «Водной безопасности», что данное понятие является довольно абстрактным без четко установленных и измеримых показателей. В статье отражены причины отсутствия единого понятия «Водной безопасности» Центральной Азии – это ряд социально-экономических, экологических и трансграничных аспектов. В труде была сделана попытка обобщить концепцию водной безопасности в ЦА, как она воспринимается местными специалистами в области водных ресурсов. Для анализа был применен метод Дельфи, затем результаты были интерпретированы с помощью кластерного и регрессионного анализа. Данные методы были применены для лучшего понимания «уровня согласия» между специалистами по водным ресурсам по критическим аспектам водной безопасности в ЦА. Результаты исследования показали, что экономический аспект водной безопасности в ЦА – это высший при-

оритет почти для всех специалистов в области водного хозяйства; однако национальные приоритеты для каждой страны ЦА не идентичны. Следует также отметить интересный вывод библиометрического обзора данного исследования, – что ученые в понятие водной безопасности приоритет вкладывают в экологический аспект, в то время как специалисты по водному хозяйству считают приоритетным экономический аспект.

В другом труде (Xenarios, S., et al., 2020) был проведен обзор подходов и методов, которые прямо или косвенно касаются водной безопасности ЦА. Исследование было проведено с использованием методов интеллектуального анализа данных для изучения тенденций создания концепций водной безопасности региона. Результаты исследования показали, что в последнее время водная безопасности ЦА больше ассоциируется с техническими и инфраструктурными средствами для защиты людей и их имущества от опасных гидрологических явлений. Вопросы руководства и управления водными ресурсами в значительной степени игнорируются в пользу более технических подходов.

В труде «Политические риски в обеспечении водной безопасности. Опыт государств Центральной Азии: Казахстан, Таджикистан, Узбекистан» (Zhansautova, A.; Nechayeva, E.; Kazbekova, M., 2018) приведен анализ влияния политических рисков на обеспечение водной безопасности в трех странах ЦА. В статье уделено особое внимание перспективам и особенностям последующего развития водной дипломатии стран региона в условиях глобализации и мирового экономического кризиса.

Таким образом, исследования в направлении водной безопасности для Центрально-азиатского региона, и для Казахстана в частности, на сегодняшний день очень актуальны. В регионе отсутствует утвержденное понятие водной безопасности, также наблюдается отсутствие концепции водной безопасности ЦА и стратегических планов ее обеспечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для Западных стран форсайт-исследования не новы, однако для стран СНГ, в т.ч. и Казахстана, это направление новое. Форсайт-

исследования по направлению «Водная безопасность» – это актуальная область исследований для Республики Казахстан. Распределение водных ресурсов в Республике неравномерное, как по территории, так и во времени. Принадлежность территории Казахстана к транзитным участкам крупных рек и гидрографическая «зависимость» от стран, находящихся выше по течению, создают непростые условия для управления водохозяйственным комплексом страны в будущем.

Форсайт-исследования позволят выявить перспективные направления развития водохозяйственной отрасли, которые будут способствовать уменьшению водного стресса в стране. Также форсайт-исследования помогут выявить будущие трудности при использовании трансграничных водных ресурсов в регионе и, возможно, пути их решения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Данная статья публикуется в рамках Договора № 175 2023-05-30 Проведение форсайт-исследований по развитию науки в рамках реализации Национального проекта «Технологический рывок за счет цифровизации, науки и инноваций».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 2020 Strategic Foresight Report. Charting the Course Towards a More Resilient Europe. European Commission.
2. 2021 Strategic Foresight Report. The EU's capacity and freedom to act. European Commission. Brussels, 2021. 4343. ISBN 978-92-76-41139-0, DOI: 10.2792/55981.
3. 2022 Strategic Foresight Report. Twinning the Green and Digital Transitions in the New Geopolitical Context. European Commission. Brussels, 2021. ISBN 978-92-76-53819-6. ISSN 2600-5271. DOI: 10.2792/022240.
4. 2023 Strategic Foresight Report. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL. Sustainability and people's wellbeing at the heart of Europe's Open Strategic Autonomy. European Commission. Brussels, 6.7.2023 COM(2023) 376 final
5. Assubayeva, A., Xenarios, S., Li, A., Fazli, S. Assessing water security in Central Asia through a Delphi method and a clustering analysis (2022) *Frontiers in Environmental Science*, 10, статья № 970633. DOI: 10.3389/fenvs.2022.970633
6. Cambridge Dictionary [Электронный ресурс]: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/foresight>
7. European Commission (2021); *This indicator shows how much freshwater is withdrawn by economic activities, compared to the total renewable

freshwater resources available. **Armed Conflict Location & Event Data Project, event types included: battles, explosions/remote violence, violence against civilians. Source data: JRC, GADM, IOM, ACLED.

8. EFP Brief No. 252: Egypt's Water Security – Future Vision 2030 Using Delphi Method <http://foresight-platform.eu/brief/efp-brief-no-252-egypt%e2%80%99s-water-security-%e2%80%93-future-vision-2030-using-delphi-method/>
9. The European Foresight Platform [Электронный ресурс]: <http://foresight-platform.eu/>
10. UNICEF Annual Report 2021: Protecting child rights in a time of crises [Электронный ресурс]: https://reliefweb.int/report/world/unicef-annual-report-2021-protecting-child-rights-time-crises-enar?gclid=CjwKCAjwp8OpBhAFEiwAG7NaEgToultws6tCe_3cjq2uo4D4xKfHk28Y6pBHUYRMf-A6CD80CcEoeRoCQ-cQAvD_BwE
11. Water Security & the Global Water Agenda. A UN-Water Analytical Brief. United Nations University, 2013. ISBN 978-92-808-6038-2
12. Xenarios, S.; Assubayeva, A.; Xie, L.; Sehring, J.; Amirkhanov, D.; Sultanov, A.; Fazli, S. A bibliometric review of the water security concept in Central Asia (2020) *Environmental Research Letters*, T.16, Vol.1, № статьи 013001. DOI: 10.1088/1748-9326/abc717
13. Zhansautova, A.; Nechayeva, E.; Kazbekova, M. Political risks in ensuring water security. Central Asian states' experience: Kazakhstan, Tajikistan, Uzbekistan (2018) *Central Asia and the Caucasus*, T.19, Vol.4. ISSN 14046091
14. Глобальная группа высокого уровня по вопросам воды и мира. (2017 г.). Вопрос выживания (отчет). Женева: Женевский водный центр.
15. Шашанов, С. [Электронный ресурс, презентация]: Методы форсайт-исследований для оценки перспектив развития гражданского общества и третьего сектора. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» // «Долгосрочные перспективы развития сектора негосударственных некоммерческих организаций в России: подходы к оценке и их апробация планирования», 6 сентября 2016 г

REFERENCES

1. 2020 Strategic Foresight Report. Charting the Course Towards a More Resilient Europe. European Commission.
2. 2021 Strategic Foresight Report. The EU's capacity and freedom to act. European Commission. Brussels, 2021. 4343. ISBN 978-92-76-41139-0, DOI: 10.2792/55981.
3. 2022 Strategic Foresight Report. Twinning the Green and Digital Transitions in the New Geopolitical Context. European Commission. Brussels, 2021. ISBN 978-92-76-53819-6. ISSN 2600-5271. DOI: 10.2792/022240.
4. 2023 Strategic Foresight Report. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL. Sustainability and people's wellbeing at the heart of Europe's Open Strategic Autonomy. European Commission. Brussels, 6.7.2023 COM(2023) 376 final
5. Assubayeva, A., Xenarios, S., Li, A., Fazli, S. Assessing water security in Central Asia through a Delphi method and a clustering analysis

- (2022) *Frontiers in Environmental Science*, 10, статья № 970633. DOI: 10.3389/fenvs.2022.970633
6. Cambridge Dictionary <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/foresight>
7. European Commission (2021); *This indicator shows how much freshwater is withdrawn by economic activities, compared to the total renewable freshwater resources available. **Armed Conflict Location & Event Data Project, event types included: battles, explosions/remote violence, violence against civilians. Source data: JRC, GADM, IOM, ACLED.
8. EFP Brief No. 252: Egypt's Water Security – Future Vision 2030 Using Delphi Method <http://foresight-platform.eu/brief/efp-brief-no-252-egypt%e2%80%99s-water-security-%e2%80%93-future-vision-2030-using-delphi-method/>
9. The European Foresight Platform <http://foresight-platform.eu/>
10. UNICEF Annual Report 2021: Protecting child rights in a time of crises [Электронный ресурс]: https://reliefweb.int/report/world/unicef-annual-report-2021-protecting-child-rights-time-crises-enar?gclid=CjwKCAjwp8OpBhAFeiwAG7NaEgToultws6tCe_3cj2uo4D4xKfHk28Y6pBHUYRMf-A6CD80CcEoeRoCQ-cQAvD_BwE
11. Water Security & the Global Water Agenda. A UN-Water Analytical Brief. United Nations University, 2013. ISBN 978-92-808-6038-2
12. Xenarios, S.; Assubayeva, A.; Xie, L.; Sehring, J.; Amirkhanov, D.; Sultanov, A.; Fazli, S. A bibliometric review of the water security concept in Central Asia (2020) *Environmental Research Letters*, T.16, Vol.1, № статьи 013001. DOI: 10.1088/1748-9326/abc717
13. Zhansautova, A.; Nechayeva, E.; Kazbekova, M. Political risks in ensuring water security. Central Asian states' experience: Kazakhstan, Tajikistan, Uzbekistan (2018) *Central Asia and the Caucasus*, T.19, Vol.4. ISSN 14046091
14. Global'naya gruppa vysokogo urovnya po voprosam vody i mira. (2017 g.). *Vopros vyzhivaniya (otchet)*. Zheneva: Zhenevskii vodnyi tsentr.
15. Shashanov, S. *Metody forsait-issledovaniia dlya otsenki perspektiv razvitiia grazhdanskogo obshchestva i tret'ego sektora. Natsional'nyi issledovatel'skii universitet «Vysshaya shkola ekonomiki» // «Dolgosrochnye perspektivy razvitiia sektora negosudarstvennykh nekommercheskikh organizatsii v Rossii: podkhody k otsenke i ikh aprobatsiya planirovaniya», 6 sentyabrya 2016 g.*

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ СУ ҚАУІПСІЗДІГІ КОНТЕКСТІНДЕ ФОРСАЙТ-ӘДІСТЕМЕСІН ҚОЛДАНУ ЖӘНЕ ОНЫҢ МҮМКІНДІКТЕРІ

А.К. Күрішбаев¹² а.-ш.ғ.д., профессор, **Д.М. Бүрлібаева**^{3*} PhD, **Ж.М. Сагин**⁴⁵ PhD, профессор, **К. Тусупова**⁶⁷ PhD, **Қ.Д. Алиханов**¹ PhD, қауымдастырылған профессор

¹Қазақстан Республикасы Президентінің жанындағы Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы, Алматы, Қазақстан

²Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

³«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

⁴Қазақ-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

⁵Western Michigan University, Kalamazoo, USA

⁶Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан

⁷Lund University, Lund, Sweden

E-mail: diana.burlibayeva@yandex.kz

Су қауіпсіздігі азық-түлік қауіпсіздігімен және жалпы ұлттық қауіпсіздікпен тығыз байланысты. Қазақстанның су ресурстарының трансшекаралық және елдің географиялық орналасу ерекшеліктерін ескере отырып, су қауіпсіздігі мәселесі мемлекеттің орнықты дамуын қамтамасыз етудегі түйінді мәселелердің бірі болып табылады. Еңбекте форсайтта қолданылатын зерттеу әдістеріне, тұрақты нәтижелер алу үшін олардың ең үздік үйлесімдеріне қысқаша шолу жасалған. Мақалада сондай-ақ су ресурстарын басқару стратегиясын қалыптастыруда экономикасы дамыған елдердің форсайт-зерттеулерді қолдануының оң мысалдары келтірілген. Еңбекте Қазақстанның форсайт-зерттеулері мен су қауіпсіздігінің өзектілігі мен өзара байланысы, оларды болашақта елдің су ресурстарын басқару үшін қолдану перспективалары мәселелері қаралады.

Түйін сөздер: форсайт зерттеулері, библиографиялық шолу, су қауіпсіздігі, суды басқару, су стрессін азайту

FORESIGHT METHODOLOGY AND ITS APPLICATION POSSIBILITIES IN THE CONTEXT OF WATER SECURITY OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

A.K. Kurishbaev¹² Doctor of Agricultural Sciences, Professor, **D.M. Burlibayeva** PhD^{3*}, **Zh.M. Sagin** Professor⁴⁵, **K. Tussupova** PhD⁶⁷, **K.D. Alikhanov** PhD, associate professor¹

¹ National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan under the President of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

² Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan

³ Institute of Geography and Water Security of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

⁴ Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan

⁵ Western Michigan University, Kalamazoo, USA

⁶ Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

⁷ Lund University, Lund, Sweden

E-mail: diana.burlibayeva@yandex.kz

Water security is closely linked to food security and national security in general. Taking into account the transboundary nature of Kazakhstan's water resources and the peculiarities of the country's geographical location, the issue of water security is one of the key issues in sustainable development ensuring of the state. This work provides a brief overview of the research methods used in foresight and their best combinations to obtain stable results. The article also provides positive examples of the foresight research use by economically developed countries in the formation of water resources management strategies. The work examines the relevance and relationship between foresight research and water security in Kazakhstan, prospects for their use for country's water resources management in future.

Key words: foresight research, bibliographic review, water security, water resource management, water stress reduction

Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:

Куришбаев Ахылбек Кажигулович – д.с.-х.н., профессор, вице-президент Национальной Академии Наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан, г. Алматы, ул. Шевченко 28, nanrk.mzh@mail.ru; Председатель Правления-Ректор Казахского национального аграрного исследовательского университета, г. Алматы, проспект Абая 8, info@kaznaru.edu.kz

Бурлибаева Диана Маликовна – доктор PhD; старший научный сотрудник лаборатории гидрохимии и экологической токсикологии АО «Институт географии и водной безопасности», г. Алматы, ул. Пушкина 99, diana.burlibayeva@yandex.kz

Сажин Жанай – доктор PhD, профессор кафедры инженерной геоматики Казахстанско-Британского Технического университета, г. Алматы, ул. Толе би 59, j.sagin@kbtu.kz; профессор департамента геологических и экологических наук Университета Западного Мичигана, г. Каламазу (США), 1903 W Мичиган Авеню, jay.sagin@wmich.edu

Тусупова Камшат – доктор PhD, советник ректора Сатпаев университета по вопросам водной безопасности, г. Алматы, ул. Сатпаева 22, kamshat.tussupova@gmail.com; исследователь кафедры инженерии водных ресурсов Университета Лунд, г. Лунд (Швеция) SE-221 00, kamshat.tussupova@gmail.com

Алиханов Куантар Дауленович – доктор PhD, ассоциированный профессор, руководитель управления «Агробиоресурсы и экология» Национальной Академии Наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан, г. Алматы, ул. Шевченко 28, k.alikhanov.nas@gmail.com

Күрішбаев Ақылбек Қажығұлұлы – а.-ш.ғ.д., профессор, Қазақстан Республикасы Президентінің жанындағы Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының вице-президенті, Алматы қ., Шевченко к. 28, nanrk.mzh@mail.ru; Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің Басқарма Төрағасы-Ректоры, Алматы қ., Абай даңғ. 8, info@kaznaru.edu.kz

Бүрлібаева Диана Мәлікқызы – PhD; «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ Гидрохимия және қоршаған орта токсикологиясы зертханасының аға ғылыми қызметкері; жұмыс мекенжайы: Алматы қ., Пушкин к. 99; e-mail: diana.burlibayeva@yandex.kz

Сагин Жанай – доктор PhD, профессор кафедры инженерной геоматики Казахстанско-Британского Технического университета, г. Алматы, ул. Толе би 59, j.sagin@kbtu.kz; профессор департамента геологических и экологических наук Университета Западного Мичигана, г. Каламазу (США), 1903 W Michigan Avenue, jay.sagin@wmich.edu

Тусупова Камшат – доктор PhD, советник ректора Сатпаев университета по вопросам водной безопасности, г. Алматы, ул. Сатпаева 22, kamshat.tussupova@gmail.com; исследователь кафедры инженерии водных ресурсов Университета Лунд, г. Лунд (Швеция) SE-221 00, kamshat.tussupova@gmail.com

Алиханов Куантар Дауленович – доктор PhD, ассоциированный профессор, руководитель управления «Агробиоресурсы и экология» Национальной Академии Наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан, г. Алматы, ул. Шевченко 28, k.alikhanov.nas@gmail.com

Akhilbek Kurishbaev – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Vice-President of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan under the President of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Shevchenko st. 28, nanrk.mzh@mail.ru; Chairman of Board-Rector of Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Abay Ave. 8, info@kaznaru.edu.kz

Diana Burlibayeva – PhD; Senior Researcher, Laboratory of Hydrochemistry and Environmental Toxicology, JSC Institute of Geography and Water Security, Almaty, Pushkin st. 99, diana.burlibayeva@yandex.kz

Jay Sagin – PhD, Professor of the Department of Engineering Geomatics, Kazakh-British Technical University, Almaty, Tole bi st. 59, j.sagin@kbtu.kz; Professor, Department of Geological and Environmental Sciences, Western Michigan University, Kalamazoo (USA), 1903 W Michigan Ave., jay.sagin@wmich.edu

Kamshat Tussupova – PhD, Advisor to the Rector of Satpayev University on water security issues, Almaty, Satpayev st. 22, kamshat.tussupova@gmail.com; Researcher at the Department of Water Resources Engineering, Lund University, Lund (Sweden) SE-221 00, kamshat.tussupova@gmail.com

Kuantar Alikhanov – PhD, associate professor, Head of the Department «Agrobioreources and Ecology» of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan under the President of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Shevchenko st. 28, k.alikhanov.nas@gmail.com

**ВКЛАД НАЦИОНАЛЬНОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН В СЕЛЕВУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРАНЫ****Б.С. Степанов*** д.г.н.*РГП «Казгидромет», Алматы, Казахстан
E-mail: bs.stepanov@gmail.com*

В данной статье рассмотрена и проанализирована научная деятельность Национальной гидрометеорологической службы Казахстана за многолетний период по изучению зарождения, развития и деградации селей, осуществлявшаяся с целью уменьшения ущерба, наносимого селями. Исследовались особенности выпадения осадков, опорожнения поверхностных и внутриледниковых водоемов, минералогический и гранулометрический составы рыхлообломочных пород, геоморфологические условия селеформирования, повторяемость и характеристики селей. Разработаны методы расчета вязкости и пластичности селевой массы, используемые при математическом моделировании формирования селей. Разработан метод сверхкраткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса, основанный на данных о предварительном увлажнении грунта, положении нулевой изотермы и сезонной снеговой линии, текущей фактической метеорологической информации. Оправдываемость этого метода в десятки раз превышает оправдываемость метода краткосрочного прогноза селей дождевого генезиса, использовавшегося ранее. Расчет характеристик селей основан на открытии неоднозначной зависимости плотности селевой массы от уклона пути движения селя. Разработана Карта селевой опасности территории Республики Казахстан. Предложена концепция защиты от селей г. Алматы в условиях изменяющегося климата. Разработан геолого-геоморфологический метод определения генезиса конуса выноса, который позволяет оптимизировать работу по оценке риска урбанизации территорий, расположенных в горной и предгорной зонах.

Ключевые слова: сель, селеведение, метод прогноза, карта селевой опасности, расчет характеристик селей и селевой массы, проектирование селезащитных сооружений

Поступила: 27.10.23

DOI: 10.54668/2789-6323-2023-111-4-113-123

Несмотря на имеющиеся сведения о селях в бассейнах рек Заилийского (Иле) Алатау с 16 века, достоверные сведения о селях имеются с 1887 года. Во время сильного землетрясения крупные оползни в результате разжижения лесса верхней предгорной ступени трансформировались в сели. В 1921 году во время сильного дождя образовался катастрофический сель в бассейне р. Малая Алматинка (р. Киши Алматы). Этот сель нанес большой ущерб г. Верный (г. Алматы), погибло 500 человек. В 1963 году в бассейне р. Иссык (р. Есик) сформировался катастрофический сель в результате прорыва озера на леднике Жарсай. Погибли люди, значительным был и материальный ущерб (Яфязова Р.К., 2007; Яфязова Р.К., 2018). Катастрофический сель 1963 года стал толчком к проектированию селезащитных сооружений

для защиты г. Алма-Ата (г. Алматы). В 1964 году началось строительство высокогорной габрионной плотины – первой преграды селевым потокам. В 1966 году принято окончательное решение – защитить г. Алма-Ата (г. Алматы), построив плотину в урочище Медеу. Плотина, впервые в мировой практике, возводилась мощным направленным взрывом. К 1973 году селезащитная плотина была на стадии завершения, когда в результате прорыва озера на леднике Туюксу (Туйыксу) сформировался катастрофический сель. Погибли люди, потребовались большие материальные средства для ликвидации последствий этого селя (Яфязова Р.К., 2007; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2014). Это послужило тому, что постановлением №449 от 23 августа 1973 года «Об организации главного управления по строительству и эксплуатации селезащитных

сооружений при Совете министров Казахской ССР» была создана Казглавселезащита, которой исполняется 50 лет в этом году.

Проблемой селей в Национальной гидрометеорологической службе Республики Казахстан начали заниматься с 1941 года. Были собраны и частично обобщены данные о зависимости скорости потока от влекущей силы, связи ливневых паводков с осадками, другие материалы.

В 1946 году были сформулированы основные задачи селеведения и определены пути их решения: выявление условий образования селей и факторов, их обуславливающих (геология, рельеф, почва, растительность, климат); изучение характеристик селей; прогнозирование селей; разработка методов изучения селей, а также способов борьбы с ними. В практику исследования селей были введены рекогносцировочные авиа- и специализированные полевые обследования. Результаты проведенных работ позволили объяснить специфическую для селей особенность – волнообразность движения в ходе развития селевого процесса. В то же время приходит понимание необходимости комплексного изучения селей.

В 1950 году после прохождения катастрофического селя в бассейне р. Большая Алматинка (р. Улкен Алматы) сотрудники Гидрометслужбы во главе с С.П. Кавецким обследовали следы прохождения селя, дали оценку изменения характеристик селя по мере его движения (Технический отчет, 1950).

В 1954 году в Казахском научно-исследовательском гидрометеорологическом институте (КазНИГМИ) был организован Отдел селевых потоков, в котором проводились исследования по разработке методов прогноза селевой опасности. Поскольку о природе селей в те годы практически ничего не было известно, усилиями сотрудников Отдела селевых потоков удалось воспроизвести ряд небольших искусственных селей.

В 1956 году было проведено обследование следов гляциального селя в бассейне р. Малая Алматинка (р. Киши Алматы); в 1959 году и в последующих годах – обследование и анализ селевых проявлений в Джунгарском (Жетысу) Алатау (бассейн р. Текели) и Таласском Алатау; в 1958 и 1963

годах – катастрофических селевых потоков в бассейне р. Иссык (р. Есик).

На Алма-Атинской селестоковой станции Гидрометслужбы в период с 1958 по 1965 годы под руководством кандидата географических наук А.Ф. Литовченко была выполнена большая работа по выявлению особенностей выпадения ливневых дождей в бассейне р. Малая Алматинка (р. Киши Алматы). В процессе этой работы было задействовано около 100 плювиографов. Это позволило установить пространственно-временные закономерности выпадения жидких осадков, характер поверхностного и подземного стока, дать оценку влияния растительности на характеристики стока и выявить роль дождевых паводков при формировании селей (Литовченко А.Ф., 1986).

Большое внимание было уделено изучению пространственного распространения селей и систематизации данных о них. Под руководством С.П. Кавецкого (первого заведующего Отделом селевых потоков) подготовлены материалы в общесоюзное академическое издание «Сели в СССР и меры борьбы с ними» по разделу Казахстан. В разделе рассмотрены условия формирования селевых потоков, выделены наиболее опасные районы и бассейны, приведены случаи катастрофических селей, описание их последствий. Даны рекомендации по мерам борьбы с селевой опасностью.

Результаты научных разработок позволили КазНИГМИ занять одно из ведущих мест в исследовании селевых потоков. В 1958 году на КазНИГМИ было возложено методическое руководство и координация работ по изучению селевых явлений в Госкомгидромете СССР.

С 70-х годов лидирующее положение в области изучения природы селей в СССР принадлежало КазНИГМИ. На протяжении более 30 лет КазНИГМИ был головной организацией по изучению селей в Госкомгидромете СССР. Отдел селевых потоков КазНИГМИ координировал работу и оказывал методическую помощь подразделениям Госкомгидромета СССР, занимавшимся селевой проблематикой на территории: от Камчатки до Карпат и от Памира до Таймыра. Большая работа была

выполнена Отделом селевых потоков при проектировании Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, а также в интересах Министерства обороны СССР.

В 70-е годы Отдел селевых потоков состоял из трех лабораторий: прогноза и расчета характеристик селей, селеметрической, занимавшейся разработкой приборов для измерения характеристик селей, свойств селевой массы, технических средств оповещения о селевой опасности и гляциальных процессов, а также Комплексной селевой экспедиции, в задачу которой, в частности, входило методическое руководство полевыми работами подразделений Госкомгидромета СССР, занимавшихся селевой проблематикой. Общая численность Отдела селевых потоков и Комплексной селевой экспедиции достигала 70-и сотрудников. К этому времени выяснилось, что моделирование селевых процессов не имеет научного обоснования. Отсутствие достоверных критериев подобия при моделировании селевых процессов не позволяло использовать полученные результаты для познания закономерностей формирования, движения и деградации реальных селей, а также расчета их количественных характеристик. Для этого требовалось воспроизведение селевых потоков в натуральном масштабе, т.е. на 1...2 порядка превышающих масштабы предшествовавших экспериментов.

С этой целью в период с 1968 по 1972 годы в специализированном конструкторском бюро (СКБ) завода «Казгеофизприбор» выполнялся заказ КазНИГМИ на разработку приборов для измерения характеристик селей для Чемолганских экспериментов. Под руководством кандидата технических наук Б.С. Степанова (начальника бюро СКБ завода «Казгеофизприбор») были разработаны приборы для бесконтактного измерения характеристик селевых потоков и способы измерения плотности селевой массы и расхода воды в горных реках и селей: двухчастотный доплеровский измеритель уровня и скорости селевого потока, сейсмический способ измерения расхода селя, магнитометрический способ измерения плотности селевой массы. На эти приборы и способы измерения получены Авторские свидетельства СССР (А.с. 698505

СССР, М.Кл.2 G 01 S 9/04. Доплеровский измеритель дальности /Б.С. Степанов, В.М. Силлер, П.И. Коваленко и В.А. Красюков (СССР)/. – №2585600/18-09; Заявлено 01.03.78; А.с. 623136 СССР, М.Кл.2 G 01 N 9/00. Способ измерения плотности селевых потоков /Б.С.Степанов и Т.С.Степанова (СССР)/. – №2400770/18-25; Заявлено 23.08.76; Опубл. 05.09.78; Бюл. №33; А.с. 539220 СССР, М.Кл.2 G 01 F 1/66. Способ измерения расхода водных, водных наносонесущих и селевых потоков в необорудованных руслах / Б.С. Степанов, Ю.Б. Виноградов, В.А.Красюков (СССР)/. – №2127532/10; Заявлено 17.04.75; Опубл. 15.12.76; Бюл. №46; Красюков В.А. и др., 1976).

Заведующий Отдела селевых потоков КазНИГМИ доктор технических наук Ю.Б. Виноградов, осознавая чрезвычайную сложность природы селевых явлений, привлек к работе в Отдел селевых потоков специалистов различного профиля: гидрологов, метеорологов, гидрогеологов, геологов, гляциологов, геофизиков, биологов, геодезистов, физиков, математиков, радиотехников, переводчиков.

В 1972...1978 годы под руководством Ю.Б. Виноградова и при его непосредственном участии на Чемолганском полигоне впервые в мире проводились эксперименты по искусственному воспроизведению селей в натуральном масштабе. Цель этих экспериментов – выявить механизмы и условия, определяющие основные характеристики селевого потока (скорость, расход и объем) и селевой массы (плотность, вязкость и пластичность) (Виноградов Ю.Б., 1976; Степанов Б.С., 1982).

В результате экспериментов было установлено, что:

взаимодействие водного потока с рыхлообломочными породами может приводить к формированию селя с плотностью селевой массы более 2400 кг/м^3 (ранее считалась, что плотность не может превышать 1690 кг/м^3);

средняя скорость движения твердой и жидкой (водной) компонент селевой массы равны (ранее считалось, что скорость жидкой компоненты селевого потока превышает скорость движения твердой компоненты);

твердая компонента селевой массы перемещается за счет собственной потенциальной энергии (а не транспортируется жидкой компонентой, как считалось ранее);

при плотности твердой компоненты равной 2650 кг/м^3 , плотность селевой массы равная 1452 кг/м^3 разграничивает паводок, транспортирующий наносы, от селя.

Это позволило разработать методы расчета характеристик селей, необходимых для проектирования селезащитных сооружений.

Результаты экспериментов по воспроизведению селей в натуральном масштабе на Чемолганском полигоне получили мировую значимость и внесли большой вклад в науку о селях. Об экспериментах снят научно-документальный фильм «Слово о селевом потоке» (<https://www.youtube.com/watch?v=r1YNHqqGjPo>).

С 1976 года Ю.Б. Виноградов организовал периодическое издание сборников «Селевые потоки». С 1976 по 1992 годы было выпущено 12 сборников, где публиковались сотрудники Отдела селевых потоков и других организаций.

Сотрудниками Национальной гидрометеорологической службы Казахстана и Швейцарского федерального института исследований леса, снега и ландшафта (WSL) подготовлена на английском языке публикация «Natural Debris Flows and Field Experiments in Kazakhstan», содержащая материалы статей о Чемолганских экспериментах и катастрофических селях в Заилийском (Иле) Алатау, опубликованных в сборниках «Селевые потоки».

В 1976 году было издано «Руководство по изучению селевых потоков» (Руководство по изучению селевых потоков, 1976). Назначением «Руководства» является внедрение в практику работ селевых партий и станций единообразных и наиболее совершенных методов полевых исследований и наблюдений, обеспечивающих более полное изучение формирования селевых потоков.

В 1977 году издана монография Виноградова Ю.Б. «Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки» (Виноградов Ю.Б., 1977).

В 70...80-е годы под руководством Б.С. Степанова в Отделе селевых потоков КазНИГМИ большое внимание уделялось разработке методов расчета вязкости и пластичности селевой массы, размеры частиц твердой компоненты которой могли отли-

чаться в миллионы раз, гидравлической крупности частиц, а также средств измерений. По результатам исследований издана монография Степанова Б.С. «Основные характеристики селевых потоков и селевой массы. Методы измерений» (Степанов Б.С., 1982).

Результаты анализа формирования, движения и деградации селей, полевых и лабораторных исследований позволили профессору доктору географических наук Б.С. Степанову теоретически прийти к выводу о неоднозначной зависимости плотности селевого потока от уклона пути его движения и, как следствие, открыть неизвестное ранее природное явление – скачкообразное конечное увеличение плотности селевой массы при бесконечно малом увеличении угла наклона пути движения селя (эффект Степанова) (Степанов Б.С., 1992; Stepanov B.S., Yafyazova R.K., 2017; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2022). Разработанная им теория существования селевой массы позволяет осуществлять расчет характеристик селей в сложных ситуациях: слияние селя с водным потоком; селем, имеющим другой расход и плотность селевой массы; изменение ширины и глубины потока, гранулометрического состава твердой компоненты селеформирующих пород.

В 1990 году издан руководящий документ «Руководство селестокowymi станциям и гидрографическим партиям» (РД 52.30.238-89) (Руководство селестокowymi станциям и гидрографическим партиям, 1990).

В 1991 году издана монография Степанова Б.С. и Степановой Т.С. «Механика селей: Эксперимент, теория, методы расчета» (Степанов Б.С., Степанова Т.С., 1991).

В 1996 году издана «Карта селевой опасности территории Республики Казахстан» масштаба 1:1 000 000 (по заказу ГУ «Казселезащита»).

В 1998 году издано «Руководство по организации и проведению работ по изучению селей на территории Республики Казахстан» (Руководство по организации и проведению работ по изучению селей на территории Республики Казахстан, 1998).

В 2001 году выявлен и описан механизм формирования дождевых селей в рывинах (Степанов Б.С. и др., 2001; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2014).

В Национальной гидрометеорологической службе Казахстана в период с 1998 по 2010 годы разрабатывались метод краткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса для северного склона Заилийского (Иле) Алатау и метод сверхкраткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса для бассейнов рек Киши и Улкен Алматы (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2016; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2017). Принципиальным отличием метода сверхкраткосрочного прогноза селей является то, что прогноз селей основывается на информации об уже идущих осадках, в то время как более ранние методы были основаны на прогнозе осадков. Использование метода сверхкраткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса для бассейнов рек Киши и Улкен Алматы (метод Степанова-Яфязовой) в практической деятельности Казгидромета показало, что его оправдываемость в десятки раз превышает оправдываемость метода краткосрочного прогноза селей дождевого генезиса, использовавшегося ранее в Казгидромете.

РГП «Казгидромет» разработал критерии цветовых кодов (желтый, оранжевый, красный) селевой опасности дождевого генезиса, что значительно упрощает работу ДЧС г. Алматы и ГУ «Казселезащита», связанную с предупреждением населения и органы государственного управления о селевой опасности.

В конце 20 – начале 21 веков проведены научные исследования в Северном Тянь-Шане. Изучение процессов зарождения, развития и деградации селей, влияния изменения климата на селевую активность позволило доктору технических наук Р.К. Яфязовой разработать геолого-геоморфологический метод определения генезиса отложений на конусах выноса, что сделало возможным оценить изменение селевой активности в прошлом и предсказать ее изменение в условиях изменяющегося климата – основу стратегии хозяйственной деятельности и защиты населения на ближайшие десятилетия (Яфязова Р.К., 2009). Это позволило ей заложить основы палеоселеведения – нового научного направления в селеведении, хотя корифей селеведения Ю.Б. Виноградов еще в 1977 году в книге «Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки» писал: «Селеве-

дение как наука переживает младенческий возраст, что же касается «палеоселеведения», то еще неизвестно, будет ли оно создано вообще» (Виноградов Ю.Б., 1977). Результаты этих исследований были использованы при подготовке Второго Национального сообщения Республики Казахстан конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (Второе Национальное сообщение Республики Казахстан конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата, 2009).

В 2006 году была предложена концепция защиты от селей г. Алматы в условиях изменяющегося климата (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2006).

В 2007 году издана монография Яфязовой Р.К. «Природа селей Заилийского Алатау. Проблемы адаптации» (Яфязова Р.К., 2007). Впервые был изучен и описан механизм формирования водоледяных селей, образующихся на горных реках при резком понижении температуры воздуха, разработан метод прогноза водоледяных селей для северного склона Иле Алатау (Степанов Б.С. и др., 2009; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2014).

В 2009 году Яфязова Р.К. защитила докторскую диссертацию на тему «Оценка селевой активности и прогнозирование ее изменения в условиях глобального потепления климата» (Яфязова Р.К., 2009) (Яфязова Р.К. единственная в Казахстане женщина доктор наук по селевой проблеме).

Оценка изменения гидрологического режима рек, обусловленного гидротехническими сооружениями (в равной мере это относится и к изменению характеристик селей во времени и пространстве), является обязанностью Гидрометслужбы. Это позволило Гидрометслужбе рекомендовать использование энергии водного потока при контролируемом опорожнении селеопасных озер. В 1977 году сотрудниками Отдела селевых потоков КазНИГМИ была предложена методика опорожнения селеопасного озера на леднике Жарсай, прорыв которого в 1963 году привел к формированию катастрофического селя. Прорыв этого озера и формирование катастрофического селя привело к многочисленной гибели людей, нанесло большой ущерб г. Иссык (г. Есик).

Многолетние наблюдения за озером №6 на леднике Маншук Маметовой в верховьях р. Малая Алматинка (р. Киши Алматы) позволили заключить, что оно стало наиболее опасным объектом в Заилийском (Иле) Алатау. Неотложные работы по превентивному опорожнению озера №6 проводились в соответствии с распоряжением Премьер-министра Республики Казахстан от 29 апреля 1997 года. Руководство подготовительными работами и реализация мероприятий непосредственно на месте работ возлагалась на ГУ «Казселезащита» и Комитет Республики Казахстан по чрезвычайным ситуациям. Основная идея работ, предложенная Гидрометслужбой, заключалась в использовании природной энергии воды (эрозионного размыва грунта, высокой транспортирующей способности потока) для формирования искусственного эрозионного канала (вреза) в теле морены, постепенное вхождение вresa в озеро и контролируемый сброс озерных вод (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2014). В итоге выполненных аварийных работ основная задача по ликвидации селевой угрозы в бассейне р. Малая Алматинка (р. Киши Алматы) была решена.

В связи с увеличением опасности прорыва озера №6 в 2010 году сотрудники Гидрометслужбы рекомендовали проложить тракторную тропу на морене к селеопасному озеру №6 и использовать тяжелую землеройную технику и сифоны при опорожнении селеопасного озера (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2014). Эти рекомендации были внедрены ГУ «Казселезащита» и получили положительную оценку.

В 2014 году Степанов Б.С. и Яфязова Р.К. подготовили монографию «Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: селевые процессы и селетехнические сооружения» (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2014) (по заказу ТОО «Институт географии» АО «ННТХ “Парасат”»).

В 2015 году Степанов Б.С. и Яфязова Р.К. опубликовали в журнале «Гидрометеорология и экология» статью «Сдвиг парадигмы – этап развития селеведения» (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2015), в которой приведены примеры новизны и коренного изменения важнейших представлений о селевых процессах, в частности:

- взаимодействие водного потока с твердой составляющей при определенных условиях может приводить к плотности селевой массы

близкой к плотности твердой составляющей;

- сель с максимальной плотностью селевой массы, обретенной на большом уклоне, может перемещаться без распада и остановки на малом уклоне;
- открыто скачкообразное увеличение плотности селя при превышении критического значения плотности селевой массы;
- скорость движения твердой и жидкой составляющих селевой массы в среднем одинакова;
- разработан геолого-геоморфологический метод для определения генезиса конуса выноса;
- доказано существование и описан механизм формирования водоледяных селей;
- разработан метод сверхкраткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса.

Сотрудниками РГП «Казгидромет» предложены основные принципы организации мониторинга селевой опасности (Яфязова Р.К., 2018).

В 2018 году сотрудники РГП «Казгидромет» принимали участие в написании монографии «Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: основы мониторинга в Иле Алатау» (Медеу А.Р. и др., 2018).

На протяжении десятилетий проектировщики селезащитных сооружений нуждались в замене существующих нормативных правовых актов по защите от опасных геологических и гидрологических воздействий.

Специалисты Национальной гидрометеорологической службы Казахстана приняли активное участие в разработке свода правил СП РК 2.03-108-2017 «Проектирование селезащитных сооружений» (Свод правил Республики Казахстан СП РК 2.03-108-2017 «Проектирование селезащитных сооружений», 2017), в частности, было предложено:

- при определении высоты плотины (при наличии водосброса-селесброса) для грязекаменных селей рекомендуется учитывать уравнильный уклон селевых отложений (для наносоводных селей уравнильный уклон равен нулю) по методике, предложенной сотрудниками РГП «Казгидромет»;
- при определении высоты глухих селезадерживающих плотин из грунтовых материалов уравнильный уклон

отложений принимается равным нулю;

- учет уравнивающего уклона в размере $(0,5-0,7)tg\alpha$, где $tg\alpha$ – уклон естественного русла на участке селехранилища, не допускается;
- конструкция и материал клетки габиона должны соответствовать наиболее крупным фракциям твердой компоненты селевой массы, так как при разрушении габиона его содержимое вовлекается в селевой процесс, увеличивая плотность селевой массы, а также расход и объем селя;
- использование габионов для укрепления речных берегов без укрепления дна русла, при котором его углубление исключается, не допускается;
- в многоярусных водоприемниках для осмотра и ремонта водосбросных галерей и туннелей перед решетками должны предусматриваться пазы для установки шандор;
- при наличии в теле плотины транспортных или сквозных технологических туннелей либо при наличии пролетов ниже гребня для проезда транспорта плотины обязательно должны снабжаться затворами-воротами, рассчитанными на давление селевых масс;
- в ходе превентивного опорожнения селеопасных озер рекомендуется использование бульдозера и сифона (системы сифонов). Сифон предназначен для откачки воды из озера, его производительность должна превышать поступление воды в озерную котловину и др.

Сотрудниками Национальной гидрометеорологической службы Казахстана после прохождения катастрофических селей в 1963 году (Земс А.Э., 1976), в 1973 году (Виноградов Ю.Б. и др., 1976), в 1977 году (Попов В.И. и др., 1980; Лаптев В.И., 1980), в 1982 году (Тихомиров Ю.П., Шевырталов Е.П., 1985), в 1988 году (Хайдаров А.Х., Шевырталов Е.П., 1989), в 2006 году (Яфязова Р.К., 2005), в 2015 году (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2016) были установлены причины формирования селей, определены их характеристики, даны рекомендации по уменьшению ущерба, наносимого селями.

Насколько значимой и успешной была работа Отдела селевых потоков в Национальной гидрометеорологической службе Казахстана можно судить по количеству сотрудников, имевших высокую квалификацию: 16 кандидатов наук и 3 доктора наук.

В 2022 году в Казгидромете создано Управление исследования селевых процессов и прогнозирования селей, сотрудники которого ведут мониторинг условий формирования селей дождевого генезиса; подготовку и своевременный выпуск консультаций, прогнозов, штормовых предупреждений о селевой опасности дождевого генезиса; научно-исследовательские работы по разработке и совершенствованию методов прогноза селей дождевого и водолеяного генезисов для селеопасных районов Республики Казахстан.

В селеопасный период (с мая по сентябрь) Управление выпускает «Ежедневный бюллетень селевой опасности дождевого генезиса по горной территории Казахстана», сверхкраткосрочные прогнозы катастрофических селей дождевого генезиса для бассейнов рек Киши и Улкен Алматы и штормовые предупреждения. Информация о селевой опасности предоставляется Государственным органам управления различного уровня и населению Республики Казахстан.

В соответствии с Экологическим кодексом Республики Казахстан только Национальная гидрометеорологическая служба, имеющая государственную наблюдательную сеть, имеет право и обязанность давать штормовые предупреждения, несет особую ответственность.

Дальнейшее усовершенствование численных методов прогноза погоды для горной территории, установка автоматических метеорологических станций в селеопасных бассейнах во всех высотных зонах позволят повысить качество прогнозов селей дождевого генезиса. Наложение фактических и прогнозируемых осадков в горной местности на интерактивную карту селеопасных районов в реальном времени сделает прогноз селей дождевого генезиса более точным и конкретным. Это требует специально разработанных программ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 539220 СССР, М.Кл.2 G 01 F 1/66. Способ измерения расхода водных, водных наносонесущих и селевых потоков в необорудованных руслах / Б.С. Степанов, Ю.Б. Виноградов, В.А. Красюков (СССР). – №2127532/10; Заявлено 17.04.75; Опубл. 15.12.76; Бюл. №46.
2. А.с. 623136 СССР, М.Кл.2 G 01 N 9/00. Способ измерения плотности селевых потоков / Б.С. Степанов и Т.С. Степанова (СССР). – №2400770/18

- 25; Заявлено 23.08.76; Опубл. 05.09.78; Бюл. №33.
3. А.с. 698505 СССР, М.Кл.2 G 01 S 9/04. Доплеровский измеритель дальности / Б.С. Степанов, В.М. Силлер, П.И. Коваленко и В.А. Красюков (СССР)/. – №2585600/18-09; Заявлено 01.03.78.
4. Виноградов Ю.Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 154 с.
5. Виноградов Ю.Б. Искусственное воспроизведение селевых потоков на экспериментальном полигоне в бассейне р. Чемолган // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1976. – №1. – С. 3–7.
6. Виноградов Ю.Б., Земс А.Э., Хонин Р.В. Селевой поток 15 июля 1973 г. на Малой Алматинке // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1976. – №1. – С. 60–73.
7. Второе Национальное сообщение Республики Казахстан конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата, Министерство охраны окружающей среды Республики Казахстан, – Астана, 2009 – 192 с.
8. Земс А.Э. Некоторые количественные характеристики Жарсайского селя 1963 г. на р. Иссык // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1976. – №1. – С. 75–85.
9. Исследование селевого паводка, прошедшего 8–9 июля 1950 г. в бассейне р. Большая Алматинка: Технический отчет / Алма-Атинская научно-исследовательская гидрологическая обсерватория. – Инв. №7/854. – Алма-Ата, 1950. – 147 с. (архив РГП «Казгидромет»).
10. Красюков В.А., Степанов Б.С., Степанова Т.С. Приборы для неконтактных измерений некоторых характеристик селевых потоков // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1976. – №1. – С. 203–213.
11. Лаптев В.И. Описание селевого потока 3–4 августа 1977 г. в бассейнах рек Кумбельсу и Большой Алматинки // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1980. – №5. – С. 55–58.
12. Литовченко А.Ф. Экспериментальное изучение элементов водного баланса горных водосборов. – К.: Вища школа головное издательство, 1986. – 188 с.
13. Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Баймолдаев Т.А., Киренская Т.Л., Степанов Б.С. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Т. 2, Ч. 2: Основы мониторинга в Иле Алатау. – Алматы, 2018. – 288 с.
14. Попов В.И., Степанов Б.С., Мочалов В.П. и др. Селевые явления 3–31 августа 1977 г. в бассейне р. Большая Алматинка // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1980. – №4. – С. 57–63.
15. Руководство по изучению селевых потоков. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 142 с.
16. Руководство по организации и проведению работ по изучению селей на территории Республики Казахстан. – Алматы, 1998. – 143 с.
17. Руководство селестокосым станциям и гидрографическим партиям. Выпуск 1. Организация и проведение работ по изучению селей. – М.: Гидрометеоздат, 1990. – 198 с.
18. Свод правил Республики Казахстан СП РК 2.03-108-2017 «Проектирование селезащитных сооружений» (нормативно-технический документ). – Астана. – 2017.
19. Степанов Б.С. Основные характеристики селевых потоков и селевой массы. Методы измерений (монография) // Труды КазНИГМИ. – М.: Гидрометеоздат, 1982. – Вып. 79. – 136 с.
20. Степанов Б.С. Явление скачкообразного изменения плотности селевых потоков, заявка на открытие // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1992. – №12. – С. 141–172.
21. Степанов Б.С., Степанова Т.С. Механика селей: Эксперимент, теория, методы расчета». – М.: Гидрометеоздат, 1991. – 379 с.
22. Степанов Б.С., Хайдаров А.Х., Яфязова Р.К. Механизмы, приводящие к формированию селей дождевого генезиса в высокогорной зоне Заилийского Алатау // Гидрометеорология и экология. – 2001. – №1–2. – С. 74–81.
23. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Состояние проблемы краткосрочного прогноза селей дождевого генезиса // Гидрометеорология и экология. – 2017. – №2. – С. 114–125.
24. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Концепция защиты от селей г. Алматы в условиях изменяющегося климата // Гидрометеорология и экология. – 2006. – №1. – С. 67–79.
25. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Метод сверхкраткосрочного прогноза селей дождевого генезиса // Гидрометеорология и экология. – 2016. – №4. – С. 71–83.
26. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Особенности селевых процессов 23 июля 2015 г. в бассейне р. Каргалинка // Гидрометеорология и экология. – 2016. – №2. – С. 79–85.
27. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Сдвиг парадигмы – этап развития селеведения // Гидрометеорология и экология. – 2015. – №1. – С. 50–74.
28. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Т. 3. Селевые процессы и селетехнические сооружения. – Алматы, 2014. – 434 с.
29. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Явление скачкообразного увеличения плотности селевой массы – следствие неоднозначной ее зависимости от уклона пути движения селя // Гидрометеорология и экология. – 2022. – №2. – С. 59–77.
30. Степанов Б.С., Яфязова Р.К., Жданов В.В. Водолеяные сели. К механизму формирования водолеяных конструкций // Гидрометеорология и экология. – 2009. – №3. – С. 143–152.
31. Тихомиров Ю.П., Шевырталов Е.П. Некоторые характеристики гляциального селя, прошедшего в бассейне р. Сарканд // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1985. – №9. – С. 132–138.
32. Хайдаров А.Х., Шевырталов Е.П. Селевые явления в песках Жаманкум 28–29 января 1988 г. // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1989. – №11. – С. 49–59.
33. Яфязова Р.К. О катастрофических явлениях на горных реках в зимний период // Гидрометеорология и экология. – 2005. – №4. – С. 114–124.
34. Яфязова Р.К. Основные принципы организации мониторинга селевой опасности. В кн.: Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Т.2. Ч.2. Основы мониторинга в Иле Алатау (Медеу А.Р. и др.). – 2018. – С. 11–19.
35. Яфязова Р.К. Оценка селевой активности и прогнозирование ее изменения в условиях глобального потепления климата: Автореф. дис. ... доктора техн. наук. – Алматы, 2009. – 36 с.
36. Яфязова Р.К. Природа селей Заилийского Алатау. Проблемы адаптации. – Алматы, 2007. – 158 с.
37. Яфязова Р.К. Ретроспективный анализ селевой активности. В кн.: Селевые явления

Юго-Восточного Казахстана: Т.2. Ч.2. Основы мониторинга в Иле Алатау (Медеу А.Р. и др.). – 2018. – С. 90–95. 38. Stepanov, B.S. & Yafyazova, R.K. (2017): Influence of Particles Fall Velocity, Archimedean's Force, and Depth of Debris Flow on a Relationship between Ultimate Density of Debris-Flow Mass and Channel Slope. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 10(2): 74–83.

REFERENCES

1. A.s. 539220 SSSR, M.K12 G 01 F 1/66. Sposob izmereniya raskhoda vodnyh, vodnyh nanosonesushchih i selevyh potokov v neoborudovannyh ruslah / B.S. Stepanov, YU.B. Vinogradov, V.A. Krasnyukov (SSSR). – №2127532/10; Zayavleno 17.04.75; Opubl. 15.12.76; Byul. №46.
2. A.s. 623136 SSSR, M.K12 G 01 N 9/00. Sposob izmereniya plotnosti selevyh potokov / B.S. Stepanov i T.S. Stepanova (SSSR). – №2400770/18-25; Zayavleno 23.08.76; Opubl. 05.09.78; Byul. №33.
3. A.s. 698505 SSSR, M.K12 G 01 S 9/04. Doplerovskij izmeritel' dal'nosti / B.S. Stepanov, V.M. Siller, P.I. Kovalenko i V.A. Krasnyukov (SSSR). – №2585600/18-09; Zayavleno 01.03.78.
4. Vinogradov YU.B. Glyacial'nye proryvnye pavodki i selevye potoki. – L.: Gidrometeoizdat, 1977. – 154 s.
5. Vinogradov YU.B. Iskusstvennoe vosproizvedenie selevyh potokov na eksperimental'nom poligone v bassejne r. CHemolgan // Selevye potoki. – M.: Gidrometeoizdat, 1976. – №1. – S. 3–7.
6. Vinogradov YU.B., Zems A.E., Honin R.V. Selevoy potok 15 iyulya 1973 g. na Maloj Almatinke // Selevye potoki. – M.: Gidrometeoizdat, 1976. – №1. – S. 60–73.
7. Vtoroe Nacional'noe soobshchenie Respubliki Kazahstan konferencii storon Ramochnoj konvencii OON ob izmenenii klimata, Ministerstvo ohrany okruzhayushchej sredy Respubliki Kazahstan, – Astana, 2009 – 192 s.
8. Zems A.E. Nekotorye kolichestvennye karakteristiki ZHarsajnskogo selya 1963 g. nar. Issyk // Selevye potoki. – M.: Gidrometeoizdat, 1976. – №1. – S. 75–85.
9. Issledovanie selevogo pavodka, proshedshego 8–9 iyulya 1950 g. v bassejner. Bol'shaya Almatinka: Tekhnicheskij otchet / Alma-Atinskaya nauchno-issledovatel'skaya gidrologicheskaya observatoriya. – Inv. №7/854. – Alma-Ata, 1950. – 147 s. (arhiv RGP «Kazgidromet»).
10. Krasnyukov V.A., Stepanov B.S., Stepanova T.S. Pribory dlya nekontaktnyh izmerenij nekotoryh karakteristik selevyh potokov // Selevye potoki. – M.: Gidrometeoizdat, 1976. – №1. – S. 203–213.
11. Laptsev V.I. Opisanie selevogo potoka 3–4 avgusta 1977 g. v bassejnakh rek Kumbel'su i Bol'shoj Almatinki // Selevye potoki. – M.: Gidrometeoizdat, 1980. – №5. – S. 55–58.
12. Litovchenko A.F. Eksperimental'noe izuchenie elementov vodnogo balansa gornyh vodosborov. – K.: Vishcha shkola golovnoe izdatel'stvo, 1986. – 188 s.
13. Medeu A.R., Blagoveshchenskij V.P., Bajmoldaev T.A., Kirenskaya T.L., Stepanov B.S. Selevye yavleniya YUgo-Vostochnogo Kazahstana: T. 2, CH. 2: Osnovy monitoringa v Ile Alatau. – Almaty, 2018. – 288 s.
14. Popov V.I., Stepanov B.S., Mochalov V.P. i dr. Selevye yavleniya 3–31 avgusta 1977 g. v bassejne r. Bol'shaya Almatinka // Selevye potoki. – M.: Gidrometeoizdat, 1980. – №4. – S. 57–63.
15. Rukovodstvo po izucheniyu selevyh potokov. – L.: Gidrometeoizdat, 1976. – 142 s.
16. Rukovodstvo po organizacii i provedeniyu rabot po izucheniyu selej na territorii Respubliki Kazahstan. – Almaty, 1998. – 143 s.
17. Rukovodstvo selestokovym stanciyam i gidrograficheskim partiyam. Vypusk 1. Organizaciya i provedenie rabot po izucheniyu selej. – M.: Gidrometeoizdat, 1990. – 198 s.
18. Svod pravil Respubliki Kazahstan SP RK 2.03-108-2017 «Proektirovanie selezashchitnyh sooruzhenij» (normativno-tekhnicheskij dokument). – Astana. – 2017.
19. Stepanov B.S. Osnovnye karakteristiki selevyh potokov i selevoj massy. Metody izmerenij (monografiya) // Trudy KazNIGMI. – M.: Gidrometeoizdat, 1982. – Vyp. 79. – 136 s.
20. Stepanov B.S. YAvlenie skachkoobraznogo izmeneniya plotnosti selevyh potokov, zayavka na otkrytie // Selevye potoki. – M.: Gidrometeoizdat, 1992. – №12. – S. 141–172.
21. Stepanov B.S., Stepanova T.S. Mekhanika selej: Eksperiment, teoriya, metody rascheta». – M.: Gidrometeoizdat, 1991. – 379 s.
22. Stepanov B.S., Hajdarov A.H., Yafyazova R.K. Mekhanizmy, privodyashchie k formirovaniyu selej dozhdevogo genezisa v vysokogornoj zone Zailijskogo Alatau // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2001. – №1–2. – S. 74–81.
23. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. Sostoyanie problemy kratkosrochnogo prognoza selej dozhdevogo genezisa // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2017. – №2. – S. 114–125.
24. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. Konceptiya zashchity ot selej g. Almaty v usloviyah izmenyayushchegosya klimata // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2006. – №1. – S. 67–79.
25. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. Metod sverhkratosrochnogo prognoza selej dozhdevogo genezisa // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2016. – №4. – S. 71–83.
26. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. Osobennosti selevyh processov 23 iyulya 2015 g. v bassejne r. Kargalinka // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2016. – №2. – S. 79–85.
27. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. Sdvig paradigmy – etap razvitiya selevedeniya // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2015. – №1. – S. 50–74.
28. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. Selevye yavleniya YUgo-Vostochnogo Kazahstana: T. 3. Selevye processy i seletekhnicheskie sooruzheniya. – Almaty, 2014. – 434 s.
29. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. YAvlenie skachkoobraznogo uvelicheniya plotnosti selevoj massy – sledstvie neodnoznachnoj ee zavisimosti ot uklona puti dvizheniya selya // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2022. – №2. – S. 59–77.
30. Stepanov B.S., Yafyazova R.K., Zhdanov V.V. Vodoledyanye seli. K mekhanizmu formirovaniya vodoledyanyh konstrukcij // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2009. – №3. – S. 143–152.
31. Tihomirov YU.P., SHEvyrtalov E.P. Nekotorye karakteristiki glyacial'nogo selya, proshedshego v bassejne r. Sarkand // Selevye potoki. – M.: Gidrometeoizdat, 1985. – №9. – S. 132–138.

32. Hajdarov A.H., Shevyrталov E.P. Selevye yavleniya v peskah ZHamankum 28–29 yanvary 1988 g. // Selevye potoki. – M.: Gidrometeoizdat, 1989. – №11. – S. 49–59.
33. YAFyazova R.K. O katastroficheskikh yavleniyah na gornyy rekah v zimnij period // Gidrometeorologiya i ekologiya. – 2005. – №4. – S. 114–124.
34. YAFyazova R.K. Osnovnye principy organizacii monitoringa selevoj opasnosti. V kn.: Selevye yavleniya YUgo-Vostochnogo Kazahstana: T.2. CH.2. Osnovy monitoringa v Ile Alatau (Medeu A.R. i dr.). – 2018. – S. 11–19.
35. YAFyazova R.K. Ocenka selevoj aktivnosti i prognozirovanie ee izmeneniya v usloviyah global'nogo potepeniya klimata: Avtoref. dis. ... doktora tekhn. nauk. – Almaty, 2009. – 36 s.
36. YAFyazova R.K. Priroda selej Zailijskogo Alatau. Problemy adaptacii. – Almaty, 2007. – 158 s.
37. YAFyazova R.K. Retrospektivnyj analiz selevoj aktivnosti. V kn.: Selevye yavleniya YUgo-Vostochnogo Kazahstana: T.2. CH.2. Osnovy monitoringa v Ile Alatau (Medeu A.R. i dr.). – 2018. – S. 90–95.
38. Stepanov, B.S. & Yafyazova, R.K. (2017): Influence of Particles Fall Velocity, Archimedean's Force, and Depth of Debris Flow on a Relationship between Ultimate Density of Debris-Flow Mass and Channel Slope. International Journal of Erosion Control Engineering, 10(2): 74–83.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ ҚЫЗМЕТТІҢ ЕЛДІҢ СЕЛ ҚАУІПСІЗДІГІНЕ ҮЛЕСІ

Б.С. Степанов* география ғылымдарының докторы

«Қазгидромет» РМК, Алматы, Қазақстан
E-mail: bs.stepanov@gmail.com

Бұл мақалада Қазақстанның Ұлттық гидрометеорологиялық қызметінің селдерден келтіретін залалды азайту мақсатында жүзеге асырылған селдердің пайда болуын, дамуын және деградациясын зерделеу жөніндегі көп жылғы кезеңдегі ғылыми қызметі қаралып, талданды. Жауын-шашынның түсу ерекшеліктері, жер үсті және мұзішілік су айдындарының босатылуы, борпылдақ жыныстардың минералогиялық және гранулометриялық құрамы, селді қалыптастырудың геоморфологиялық жағдайлары, селдердің қайталануы мен сипаттамалары зерттелді. Селдің пайда болуын математикалық модельдеуде қолданылатын сел массасының тұтқырлығы мен икемділігін есептеу әдістері жасалды. Топырақтың алдын-ала ылғалдануы, нөлдік изотерма мен маусымдық қар сызығының орналасуы, ағымдағы нақты метеорологиялық ақпарат туралы мәліметтерге негізделген жаңбыр генезисті апатты сел жағдайларын өте қысқа мерзімді болжау әдісі құрастырылды. Бұл әдістің ақталушылығы бұрын қолданылған жаңбыр генезисті селдерін қысқа мерзімді болжау әдісінің ақталушылығынан ондаған есе көп. Сел сипаттамаларын есептеу сел массасының тығыздығының сел қозғалысының көлбеуіне екіұшты тәуелділігін ашуға негізделген. Қазақстан Республикасы аумағының сел қауіптілігі картасы әзірленді. Климаттың өзгеруі жағдайында Алматы қаласын селдерден қорғау тұжырымдамасы ұсынылды. Шығарылу конусының генезисін анықтаудың геологиялық-геоморфологиялық әдісі әзірленді, ол таулы және тау бөктерінде орналасқан аумақтардың урбанизация қауіптілігін бағалау бойынша жұмысты оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: сел, сел туралы ғылым, болжау әдісі, сел қауіптілік картасы, сел және сел массасының сипаттамаларын есептеу, селден қорғау құрылыстарын жобалау

CONTRIBUTION OF THE NATIONAL HYDROMETEOROLOGICAL SERVICE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN TO THE COUNTRY'S DEBRIS-FLOW SECURITY

B.S. Stepanov* doctor of Geographical Sciences

RSE «Kazhydromet», Almaty, Kazakhstan
E-mail: bs.stepanov@gmail.com

In this paper, the scientific activities of the National Hydrometeorological Service of Kazakhstan to study the origin, development and degradation of debris flows, carried out with the aim of reducing the damage caused by debris flows, are presented over a long period.

The features of precipitation, emptying of surface and intraglacial reservoirs, mineralogical and granulometric compositions of debris rocks, geomorphological conditions of debris flow formation, recurrence and characteristics of debris flows were studied. Methods for computation of the viscosity and plasticity of debris-flow mass, used in mathematical modeling of debris flow formation have been developed. A method for ultra-short-term forecasting of catastrophic debris flows caused by rainfall, based on data on preliminary soil moisture, the position of the zero isotherm and seasonal snow line, and current actual meteorological information has been developed. The feasibility of this method is tens of times greater than the feasibility of the method for short-term forecasting of debris flows caused by rainfall, which was used previously. The computation of the characteristics of debris flows is based on the discovery of an ambiguous dependence between the density of debris-flow mass and the slope of way of debris flow. A debris-flow hazard map for the territory of the Republic of Kazakhstan has been developed. A concept for protection against debris flows of Almaty city under climate changing has been proposed. A geological and geomorphological method has been developed for determining the genesis of fan, which allows optimizing the work on assessing the risk of urbanization of territories located in the mountain and foothill zones.

Key words: debris flow, debris flow science, forecast method, debris-flow hazard map, computation of characteristics of debris flows and debris-flow mass, design of debris-flow protection structures

Сведения об авторе/Автор туралы мәліметтер/Information about author:

Степанов Борис Сергеевич - профессор, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник управления исследования селевых процессов и прогнозирования селей РГП «Казгидромет», Алматы, Абая 32, bs.stepanov@gmail.com

Степанов Борис Сергеевич - профессор, география ғылымдарының докторы, «Казгидромет» РМК Сел үдерістерін зерттеу және селді болжау басқармасы жетекші ғылыми қызметкері, Алматы, Абай 32, bs.stepanov@gmail.com

Boris Stepanov - professor, Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher at the Department of Debris-flow Processes Research and Debris flows Forecasting of RSE «Kazhydromet», Almaty, Abay St. 32, bs.stepanov@gmail.com

**УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ,
опубликованных в журнале "Гидрометеорология и экология" в 2023 г.**

МЕТЕОРОЛОГИЯ

A.G. Terekhov, N.N. Abayev. Changes in spatial distribution of snow deposit during 2001...2022 in East Kazakhstan. №1, p. 35-41

Д.М. Фролов, Ю.Г. Селиверстов, С.А. Сократов, А.В. Кошурников, В.Е. Гагарин, Е.С. Николаева. Криологические исследования снежной толщи и грунта на площадке Мо МГУ зимой 2022/2023. №1, с. 6-18

М.М. Махамбетова, Н.Н. Абаев. Реанализ деректері бойынша инверсия қабатын талдау мүмкіндіктері. №2, б. 23-33

М.С. Фаббасова, А.С. Нысанбаева. Қазақстанның шығысында аңызқатардың таралу ерекшеліктері. №2, б. 52-63

Е.К. Адильбеков, Г.К. Тугельбаева. Эффективное использование альтернативной энергии для оснащения войсковых частей и отдаленных населенных пунктов. №2, с. 17-22

Н.У. Бултеков, Ж.К. Хайбуллина. Результаты проекта модернизации гидрометеорологического обслуживания в Центральной Азии. №3, с. 32-42

Н.Н. Абаев, Т.А. Тілләкәрім, Д.Б. Ракишев. Климатический профиль водосборов правобережных притоков рек Буктырминского водохранилища. №3, с. 24-31

T.A. Tillakarim, A. Gafurov, A.M. Kauazov. Results of modelling of snow water equivalent with using MODSNOW model in Esil river management basin. №4, p. 7-15

ГИДРОЛОГИЯ

С.К. Ахметов, М.Т. Тохтаров. Тобыл өзені ағынының жыл ішіндегі таралуына антропогендік әсерді бағалау. №2, б. 6-16

А.П. Иманбек, Д.К. Джусупбеков, Ж.А. Жанабаева. Сырдария өзені ағындысының жылішілік үлестірімінің өзгерісін бағалау. №2, б. 64-73

M. Begishbek kyzy. Women in water resources management: case study of water user associations in Karasuu district, Kyrgyzstan. №2, p. 34-51

Б.С. Степанов, Р.К. Яфязова. Сверхкраткосрочный прогноз дождевых селей и формирование селей в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы 21 июля 2023 года. №4, с. 16-24.

И.А. Эйюбов. Оценка современного изменения стока рек на территории Ширвана (Республика Азербайджан). №4, с. 25-33

А.К. Мусина, Ә.С. Абдуллаева. Іле Алатауының орталық бөлігіндегі өзен алаптарының сел қауіптілігін бағалау және зоналау. №4, б. 34-60

М.А. Алагуджаева, С.Р. Садвакасова, Б.Б. Елбасиева, А.А. Аимбетов. Условия формирования наводнений на территории Центрального Казахстана. №4, с. 61-73

М.А. Алагуджаева, С.Р. Садвакасова, Б.Б. Елбасиева, А.А. Аимбетов. Гидрологическое цифровое прогнозное моделирование зон затопления территории Северного Казахстана на основе высокодетальной цифровой модели рельефа. №4, с. 74-84

ГЕОГРАФИЯ

А.Е. Егинбаева, Қ.Т. Сапаров. Шет ауданының топырақ және өсімдіктер жамылғысы ерекшеліктерін анықтайтын топонимдер берлестігі. №1, б. 28-34

А.Е. Егинбаева, Қ.Т. Сапаров. Шет ауданыны оронимдерінің кеңістіктік таралуындағы заңдылықтар. №1, б. 19-27

ЭКОЛОГИЯ

Т.А. Безуглый. Опыт выявления несанкционированных свалок посредством анализа спутниковых снимков в Республике Казахстан. №3, с. 43-51

А.С. Есекина, З.Р. Токпаев, А.В. Чередниченко, Ә.А. Қасенов, Ә.М. Ермаханова,

Д.А. Касенова, С.Г. Абдрахим, А.Т. Шорман. Анализ динамики национальных выбросов и поглощений парниковых газов в Казахстане за 2012...2021. №3, с. 6-23

Л.В. Лебедь, Д.А. Касенова, А.С. Есекина, З.Р. Токпаев, Н.К. Сулейменов, А.Н. Быков, Н.И. Васильченко. К расчетам антропогенных выбросов из источников и абсорбций поглотителями парниковых газов в лесном и сельском хозяйстве для ежегодного Национального доклада Республики Казахстан. №4, с. 85-103

ОБЗОР

Ж.К. Исабекова, М.Н. Сакимова, И.В. Веревкина, Л.К. Сайлыбаева, С.Е. Ибраев, Е.Н. Муканов, К. Бубенева, Н.И. Ивкина, Е.И. Васенина, Б.Т. Жездибаева, Н. Кужагельдина. Обзор стихийных гидрометеорологических явлений, наблюдавшихся на территории Республики Казахстан. №1, с. 42-77

A. Yeltay, L. Bazarbay, G. Shishkina. Overview of remote sensing data on wave processes in the Kazakh part of the Caspian Sea. №3, p. 52-59

А.К. Куришбаев, Д.М. Бурлибаева, Ж.М. Сагин, К. Тусупова, К.Д. Алиханов. Форсайт-методология и ее возможности применения в контексте водной безопасности Республики Казахстан. №4, с. 104-112

Б.С. Степанов. Вклад Национальной гидрометеорологической службы Республики Казахстан в селевую безопасность страны. №4, с. 113-123

ХРОНИКА

М.Ж. Бурлибаев (1958...2023). №1, с. 80-81

В.В. Голубцов (1930...2023). №1, с. 78-79

Л.П. Мазур (1937...2023). №2, 79-80

Р.Г. Абдрахимов (к 65-летию со дня рождения). №2, с. 74-75

С.А. Долгих (к 60-летию со дня рождения). №2, с. 76-78

Р.К. Яфязова (к 60-летию со дня рождения). №3, с. 60-61