

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

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

*Ministry of Ecology,
geology 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**

№1

**Алматы, 2022
Almaty, 2022**

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР	Д.К. Алимбаева
ЗАМ.ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА	Н.И. Ивкина С.Б. Саиров Н.Н. Абаев
ОТВЕСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ	А.Ф. Елтай
РЕДАКЦИЯ	Н.И. Ивкина Н.Н. Абаев А.Ф. Елтай
РЕДКОЛЛЕГИЯ	Р.Г. Абдрахимов (Алматы, Казахстан) А.Х. Ахмеджанов (Алматы, Казахстан) М.Ж. Бурлибаев (Алматы, Казахстан) А.А. Волчек (Брест, Беларусь) А.В. Галаева (Алматы, Казахстан) В.Ю. Георгиевский (Санкт-Петербург, Россия) С.А. Долгих (Алматы, Казахстан) И.Б. Есеркепова (Алматы, Казахстан) А.Р. Медеу (Алматы, Казахстан) Е.Ж. Муртазин (Алматы, Казахстан) Ж.С. Мустафаев (Алматы, Казахстан) К. Опп (Марбург, ФРГ) Е.В. Островская (Астрахань, Россия) В.Г. Сальников (Алматы, Казахстан) С.Г. Сафаров (Баку, Азербайджан) А.В. Чередниченко (Алматы, Казахстан) А.Г. Терехов (Алматы, Казахстан)

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ **№ 1 (104)**

© Журнал издается с 1995 года.
Регистрационное свидетельство
№ 1538 от 14 марта 1995 г.
Адрес редакции: 050022, Алматы,
пр. Абая, д. 32, к. 309,307
Телефон: (7272) 67-64-91;55-84-06;
E-mail: hydromet.journal@gmail.com
<http://www.kazhydromet.kz>

EDITOR-IN-CHIEF	D. Alimbayeva
DEPUTY CHIEF EDITORS	N. Ivkina S. Sairov N. Abayev
EXECUTIVE SECRETARY	A.Yeltay
EDITORIAL TEAM	N. Ivkina N. Abayev A.Yeltay
EDITORIAL BOARD	R. Abdralhimov (Almaty, Kazakhstan) A.Akhmedzhanov (Almaty, Kazakhstan) M. Burlibayev (Almaty, Kazakhstan) A.Volchek (Brest, Belerus) A.Galayeva (Almaty, Kazakhstan) V. Georgievsky (Saint-Petersburg, Russia) S. Dolgolh (Almaty, Kazakhstan) I.Eserkepova (Almaty, Kazakhstan) A.Medeu (Almaty, Kazakhstan) E.Murtazin (Almaty, Kazakhstan) Zh. Mustafayev (Almaty, Kazakhstan) C. Opp (Marburg, Germany) E. Ostrovskaya (Astrakhan, Russia) V. Salnikov (Almaty, Kazakhstan) S. Safarov (Baku, Azerbaijan) A.Cherednichenko (Almaty, Kazakhstan) A.Terekhov (Almaty, Kazakhstan)

HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY
№ 1 (104)

© Published since 1995.
Certificate № 1538 from 14 march 1995.
Address: 050022, Almaty,
Abay Ave., 32 office 309,307
Phone (7272) 67-64-91;55-84-06;
E-mail: hydromet.journal@gmail.com
<http://www.kazhydromet.kz>

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

Ж.К. Наурызбаева, Г.М. Шишкина

ХАРАКТЕРИСТИКА ТУМАНОВ В КАЗАХСТАНСКОМ СЕКТОРЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ.....9

А.С. Базбекова, А.М. Кауазов

БИОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА БЛАГОПРИЯТНОСТИ ПОГОДЫ ГОРОДОВ АЛМАТЫ И НУР-СУЛТАН.....17

В.А. Воеводина, Г.К. Турулина, С.Е. Полякова

ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСНЕЖНЫХ И МАЛОСНЕЖНЫХ ЗИМ НА ЮГЕ КАЗАХСТАНА.....31

Б.Б. Айтымова, А.С. Пшенчинова, Н.Н. Абаев

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ РЕСУРСОВ РЕЧНОГО СТОКА ТОБЫЛ -ТОРГАЙСКОГО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАСЕЙНА.....40

Ж.С.Мустафаев, А.Т. Козыкеева, С.Д. Даулетбай

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КОСВЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА ВО-ДОСБОР БАСЕЙНА РЕКИ ШУ.....50

А.В. Чередниченко, А. В. Чередниченко, В.С. Чередниченко, Д.М. Бурлибаева, А.Ж. Уйсинбай, Д.К. Кисебаев

ДИНАМИКА СТОКА РЕКИ ИРТЫШ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА.....65

А.А. Каримов

УЧЕТ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ИЛИ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ – ГДЕ ПУТЬ К ВОДОСБЕРЕЖЕНИЮ?.....83

М.М. Молдахметов, Л.К. Махмудова, Г.М. Камбарбеков, М.Н. Жулкайнарова

КӨКТЕМГІ СУ ТАСУДЫҢ НЕГІЗГІ ЭЛЕМЕНТТЕРІН БОЛЖАУ.....95

Б.С. Керімбай

ШАРЫН ӨЗЕНІ АЛАБЫ БИҚТАУЛЫ ГЕОЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ӨЗГЕРГІШТІГІ ЖӘНЕ ДИНАМИКАСЫ.....103

М.Ж. Бурлибаев, А.А. Сапарова

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ КАЗАХСТАНСКОЙ ЧАСТИ РЕКИ СЫРДАРΙΑ.....115

ХРОНИКА

НАГРАЖДЕНИЕ МЕДАЛЬЮ ФЛЕЙШМАНА.....129

CONTENTS

SCIENTIFIC ARTICLES

Zh.K. Naurozbayeva, G.M. Shishkina

CHARACTERISTICS OF FOGS IN THE KAZAKHSTAN SECTOR OF THE CASPIAN SEA.....9

A. S. Bazbekova, A.M. Kauazov

BIOCLIMATIC ASSESSMENT OF FAVORABLE WEATHER CONDITIONS IN ALMATY AND NUR-SULTAN.....17

V.A. Voyevodina, G.K. Turulina, S.E. Polyakova

CIRCULATION FEATURES OF PRECIPITATION FOR-MATION IN WINTER IN THE NORTH AND SOUTH OF KAZAKHSTAN IN THE CONDITIONS OF CLIMATE WARMING.....31

B.B. Aitymova, A.S. Pshenchinova, N.N. Abayev

DYNAMICS OF CHANGES IN THE RESOURCES OF THE RIVER FLOW OF THE TOBYL -TORGAI WATER BA-SIN.....40

Zh.S. Mustafayev, A.T. Kozykeyeva, S.D. Dauletbay

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF INDIRECT EFFECTS OF HUMAN ANTHROPOGENIC ACTIVITIES ON THE WATER CATCHMENT OF THE SHU RIVER BASIN.....50

A.V. Cherednichenko, A.V. Cherednichenko, V.S. Chered-nichenko,

D.M. Burlibaeva, A.Zh. Uysinbay, D.K. Kisebaev

RUNOFF DYNAMICS OF THE IRTYSH RIVER UNDER THE CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE.....65

A.A. Karimov

ACCOUNTING WATER USE OR WATER CONSUMPTION – WHERE THE WAY TO WATER-SAVING?.....83

M.M. Moldakhmetov, L.K. Makhmudova, G.M. Kambarbekov, M.N. Zhulkainarova

FORECASTING OF THE MAIN ELEMENTS OF THE FLOOD WATER95

B.S. Kerimbay

DYNAMICS AND VARIABILITY OF HIGH-MOUNTAIN GEOSYSTEMS OF THE SHARYN RIVER BASIN.....103

M. Zh Burlibayev, A.A. Saparova

FEATURES OF MINERALIZATION OF THE KAZAKH-STAN PART OF THE SYRDARIA RIVER.....115

CHRONICLE

AWARDING THE FLEISCHMANN MEDAL.....129

ВЕКОВОЙ ЮБИЛЕЙ

В честь празднования 100 летия РГП «Казгидромет» 30 мая 2022 года в г. Нур-Султан состоялось торжественное заседание.

На заседание были приглашены ветераны Национальной гидрометеорологической службы, директора областных филиалов и центрального аппарата, ведущие специалисты Казгидромета.

Заседание было открыто поздравительной речью и.о. Министра экологии, геологии и природных ресурсов РК – А.Л. Шалабековой, Генерального секретаря ВМО Петтери Тааласа, Президента ВМО Адриана Герхарда, руководителя Турецкой государственной метеорологической службы - Волкан Мутлу, руководителя Росгидромета - И.А. Шумакова.



Нагрудной знак «Қазақстан Гидрометеорология қызметіне 100 жыл»



ПОЗДРАВЛЕНИЕ СО 100 ЛЕТНИМ ЮБИЛЕЕМ НГМС РК

Приветствие от Всемирной Метеорологической Организации в Женеве. Прежде всего, я хотел бы поприветствовать Представителей правительства Казахстана и Постоянного Представителя Казахстана и поздравить Вас со 100-летием метеорологической службы. За последние годы вам удалось создать независимую метеорологическую службу после бывшей советской системы Росгидромет, и я вижу, что вы создали очень сильную метеорологическую службу с 3000 сотрудниками и современными методами работы. Кроме того, вы играете определенную роль во всем субрегионе. Вы являетесь примером лидерства системы Управления быстроразвивающимися паводками в Центрально-Азиатском регионе. Это очень важно. А также то, что вы находитесь рядом с Каспийским морем и влияете на содержание воды в Аральском море. Это важная история для вас и, конечно, для всего региона в Средней Азии. Если посмотрите на климатические сценарии, то таяние ледников, особенно гималайских. Ледник будет иметь большое влияние на наличие воды в регионе, и вы уже страдаете из-за засухи, и все это говорит о том, что в будущем необходимо сильное метеорологическое обслуживание. И с этими словами я хотел бы пожелать вам всего наилучшего в вашем будущем, и мы рады поддержать региональное сотрудничество и ваше лидерство в субрегионе в нашей области. И я с нетерпением жду возможности навестить вас и отпраздновать ваш 100-летний юбилей, также лично поблагодарить вас.

Генеральный секретарь ВМО Петтери Таалас

Меня зовут Герхард Эдриан. Я Президент Всемирной метеорологической организации, и я рад поздравить Национальную гидрометеорологическую службу Республики Казахстан. Примите мои самые теплые поздравления по случаю 100-летия предоставления метеорологических услуг, связанных с окружающей средой. Я хотел бы воспользоваться этой возможностью, чтобы подчеркнуть впечатляющее развитие Казгидромета с 1922 года и Ваш вклад на благо мирового метеорологического и гидрологического сообщества в рамках ВМО. Я хотел бы также поздравить всех сотрудников Казгидромета и пожелать всем вам успешного празднования юбилея.

Президент ВМО Герхард Адриан

Рад поздравить наших друзей и коллег из Казгидромета по случаю столетней годовщины со дня его основания. Благодаря нашей общей истории, культуре и духовным связям, Турция была первой страной, признавшей независимость Республики Казахстан в 1991 году. До сих пор мы уделяем больше внимания двусторонним отношениям с Казгидрометом. Мы наладили успешное плодотворное сотрудничество между нашими службами. Гидрологические и метеорологические службы оказывают большое влияние на все сферы, особенно на экономику стран. Благодаря инновационному видению предприятие "Казгидромет" достигла многого на сегодняшний день, и это привлекло к нему внимание. Более того, мы все знаем, что Казгидромет является одним из ведущих и быстро развивающихся служб в Центральной Азии и стал примером успеха. От имени Министерства окружающей среды, урбанизации и изменения климата, Турецкой Государственной метеорологической службы примите наши искренние поздравления всем братьям и сестрам, работающим в Казгидромете, с юбилейной датой! Мы желаем вам здоровья, счастья, успехов и удачи в будущем!

*Генеральный директор Турецкой Государственной метеорологической службы
Волкан Мутлу Гошкун*

Уважаемые коллеги, дорогие ветераны службы! Примите от многотысячного коллектива Росгидромета поздравление по случаю вековой даты со дня основания Национальной Гидрометеорологической Службы Казахстана. За время своей деятельности ваша служба успешна прошла путь в разные исторические моменты и продолжает славные традиции своих предков достойно выполняет задачи по мониторингу опасных явлений погоды по всей территории вашей огромной страны. Она является одной из старейших гидрометеорологических служб на всем пространстве бывшего Советского союза. Коллектив Казгидромета отличает высокий профессионализм, доброжелательность, умение на высоком уровне решать поставленные задачи. Рады осознать сейчас в 2022 году что Гидрометслужбы России и Казахстана будучи исторически тесно связаны друг с другом продолжают укреплять взаимовыгодное сотрудничество в деле совершенствования задач мониторинга гидрометеорологических и климатических изменений по всему Евразийскому континенту, а также всего мирового гидрометеорологического сообщества. Вы всегда можете рассчитывать на гидрометслужбу России как своего верного союзника. Желаем мира, благополучия, энтузиазма и процветания Казгидромету. Вашим сотрудникам и соотечественникам ради блага которых вы несете вахту. Пусть каждый день вам сопутствует удача и прекрасное настроение, а ваши родные и близкие дарят вам заботу, внимание и любовь.

Глава Росгидромета, Шумаков Игорь Анатольевич

UDC 551.59

**CHARACTERISTICS OF FOGS IN THE KAZAKHSTAN SECTOR OF THE
CASPIAN SEA**

Zh.K. Naurozbayeva¹ PhD, G.M. Shishkina¹

¹Hydrometeorological Research Department of the Caspian Sea, RSE «Kazhydromet», Almaty, Kazakhstan,

e-mail: naurozbaeva.zhanar@mail.ru

In the research work, a statistical analysis of the fogs' repeatability in the Kazakhstan sector of the Caspian Sea, continuous duration, wind speed and direction, relative humidity was carried out. Operational data of observations from the following stations were used: isl. Kulaly, Fort-Shevchenko, Aktau and Tushchibek. The research period was from 1970 till 2020. Statistical analysis made it possible to identify the highest frequency of occurrence by seasons, half-years, to estimate the continuous duration of fogs depending on the time of the year and the location of the observation point. The maximum duration of the phenomenon and the accompanying meteorological conditions are also noted. A comparative analysis of the Fort-Shevchenko and Aktau stations was carried out. This made it possible to highlight excellent areas of wind direction with the appearance of fogs. This is a consequence of different baro-circulation conditions for the formation of the phenomenon. In the conclusion of the work, that the highest frequency of fogs on the eastern coast of the Caspian Sea is observed in the transitional seasons of the year, with the exception of Aktau station, which is located much farther south of the other stations. The longest continuous duration of fogs at the stations of Fort-Shevchenko, isl. Kulaly and Tushchibek are recorded in winter, up to 6...8 days. At Aktau station up to 6...8 days in the warm half of the year. Duration more than 60 hours on isl. Kulaly is celebrated during the cold season; the maximum duration in Aktau and Tushchibek in recent decades is significantly less than at other stations; a comparative analysis revealed that in Aktau the highest frequency of occurrence is in the western and eastern sectors, and in Fort Shevchenko in the northern.

Key words: Caspian Sea, fog, fog duration, fog repeatability

Accepted: 15.12.21

DOI: 10.54668/2789-6323-2022-104-1-9-16

INTRODUCTION

Fogs are dangerous phenomena that can impede the movement of any type of transport. A lot of scientific works are devoted to studies of fog formation, their forecasting and analysis. At the end of the last century, the research of fog formation processes in Kazakhstan was mainly carried out at the Kazakh Scientific Research Hydrometeorological Institute, the Alma-Ata Geophysical Observatory. There are well-known

works by E.M. Moshkovich, L.A. Chubukov in the 1940 years (Moshkovich E.M., 1943). In the 1950s, T.A. Duletova was engaged in the synoptic-aerological conditions of fogs in Kazakhstan. The study used observational data from stations located at the country's airports. The work also carried out a thorough analysis of aerological conditions. All types of fogs are considered, as well as phenomena that could precede them or follow after them, such as rain, drizzle, haze (Duletova T.A., 1957). In the modern period, the studies of fogs in Kazakhstan are carried out by

G.O. Orakova, G.T. Musralinova and other scientists (Orakova G.O. et al., 2016). V.P. Pastukh, L.E. Anapolskaya studied the annual course of fogs, V.V. Smirnova, V.P. Shevchenko studied the fogs of the northern seas of Russia, where there is also a stable ice cover as in the Caspian Sea (Pastukh V.P., 1960, Smirnov V.V. et al., 2003). Fogs are observed from satellite data, for example, using the EOS MODIS model Chinese scientists determine the location of fogs over the China Sea (Hao Zhengzhou et al., 2009). The features of using a two-dimensional model of the atmospheric boundary layer for estimating the parameters of coastal fog for Siberian water bodies based on reanalysis and the output data of a regional climate model are also considered (Nadezhina E.D. et al., 2010). Of course, the main conditions for the formation of fogs their features are given in many sources devoted to hazardous phenomena, marine research (Bukharitsin P.I. et al., 2014, Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas, 1992, Matveev Y.L., 2005, Smirnov V.V. et al., 2003). Fog studies were carried out both on land and in the sea area of various regions (Dorman C.E. et al., 2020, Gultepe I. et al., 2015, Koračin D. et al., 2014). Limited visibility during fogs is a serious hazard to shipping, fishing and coastal services. Deterioration of visibility up to 2 km or less does not allow to fully carry out loading and unloading operations in ports, poses a danger to navigation and shipping.

During fog, the mooring of ships to bases, transport refrigerators and tankers stops, which leads to downtime of ships and lifting equipment, the cessation of work in ports and oil transshipment points (Bukharitsin P.I. et al., 2014). Driving with limited visibility is prohibited. During the cold period of the year in the Caspian region, the frequency of fog is quite high, especially long-term fog. Radiative and advective fogs can form depending on synoptic conditions. Radiation fogs, as a rule, form during the night and morning hours, lasting up to 6 hours. They appear in the crumbling spur of the Siberian anticyclone. Radiation fogs practically do not form during the warm season. Advective fogs are longer and are formed in warm sectors of cyclones. They also appear mainly in the cold half-year (Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas, 1992, Matveev Y.L., 2005, Uteshev A.S., 1959). Researches of fogs in the Caspian Sea are relevant in the modern period there are not many works in this direction due to the limited source material and its access.

DATA AND METHODS OF RESEARCH

For the research work were used data of observations from 4 meteorological stations located in the North and Middle Caspian of the period 1970...2020 (Aktau, Tushchibek Stations) and 1986...2020 (Fort-Shevchenko, Kulaly Island Stations). Their locations are shown in Figure 1.



Fig. 1. Map of the location of observation stations

The stations were selected in the sea area, on the coast and on the continent, which

made it possible to consider how the orography and local features affect the distribution of the

phenomenon. As data, we used information about the recording of the phenomenon, the time of the beginning and end of the phenomenon. Conducted statistical analysis. Over the entire period, the frequency of fogs was calculated by months, seasons and half-years. The duration of the events was also calculated.

Frequency of days with fog

The number of days with fog depends on many factors: on synoptic conditions, surface, time of year and day, proximity of the sea and settlements, etc. The greatest frequency of fogs in the East Coast - in the spring, early summer and autumn. Longer fogs up to 8 days

are observed in winter, with the exception of Aktau, where the duration of the phenomenon is maximum in the warm season, namely in late spring and early summer (Fig. 2). This fact is associated with the presence of abnormally cold waters during this period, which increase the possibility of steam condensation in the drive layer. During the year, the movement of warm water can cause fog formation from the central part of the sea (Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas, 1992). Fogs last up to 2 days in spring and autumn. There are very few fogs from July to September.

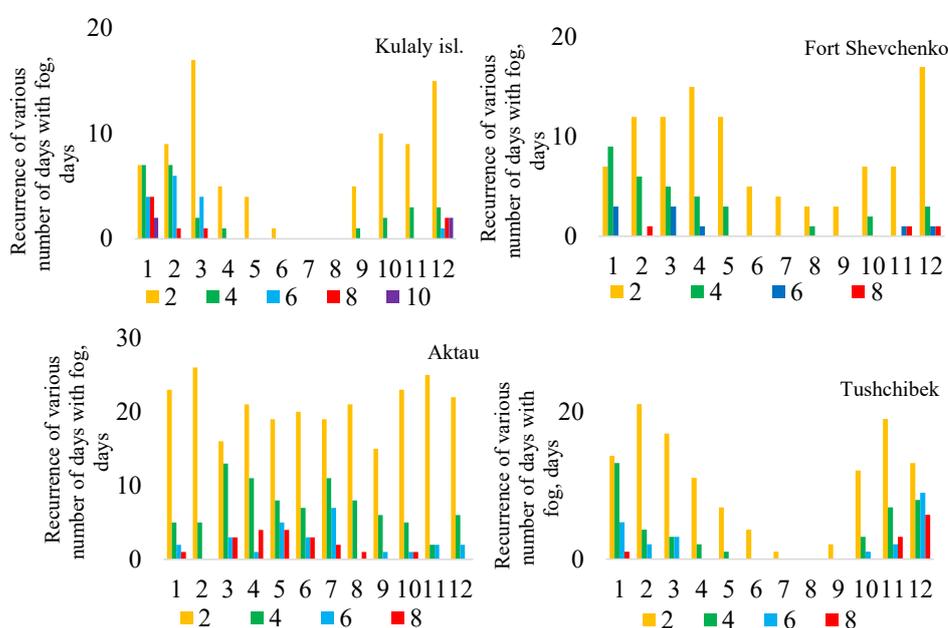


Fig. 2. Frequency of occurrence of various number of days with fog

The distribution of the number of days with fogs by seasons and semesters is also different. For the entire period the total number of days with fogs at the stations was calculated (Table 1). It follows from the table that the

largest number of foggy days are observed in winter and autumn. However, in Aktau, the maximum is observed in spring (334 days for the entire period from 1970 to 2020).

Table 1

The number of days with fogs for the entire period

Station	Winter	Spring	Summer	Autumn	Cold season (Oct-March)	Warm season (Apr-Sep)	All period
Kulaly isl.	253	79	1	59	361	31	392
Fort-Shevchenko	146	118	16	42	234	88	322
Aktau	179	334	290	156	392	567	959
Tushchibek	328	93	6	132	517	42	559

Rare fogs characterize the summer period, except for Aktau. Kulaly Island station recorded such fog 1 time in 35 years, at Fort-Shevchenko – 16 times, and at Tushchibek station for 51 years only 6 times. If we consider the total number of fogs, then the highest frequency of their occurrence is observed in Aktau (959 cases) which is several

times higher than the indicators at other stations. The duration of the fogs. It is not only the frequency of fog recurrence that is important, but also their continuous duration. Table 2 presents information on the continuous duration of the phenomenon by hours in percentage terms for all months for the stations.

Table 2

Duration of fogs in percent per hour

Station	Month	Duration of fogs in hours													
		0...4	4...8	8...12	12...16	16...20	20...24	24...28	28...32	32...36	36...40	40...44	44...48	48...60	>60
Kulaly isl.	1	41	3	3		3	6	3	9	13	3	3		9	3
	2	38	13	6		13	3	9	3	6	3		6		
	3	47	16		6	6	6	3	3	3	3		3	3	
	4	91		3	3									3	
	5	97			3										
	6	97	3												
	7	10													
	8	0													
	9	91		3	6										
	10	75	6	13	3										
	11	65	10	10	3	10		3							
	Fort-Shevchenko	12	44	16	6	6	9		3					3	3
1		51	6	11	6		3	11	3		6	3			
2		59	12	3	12		3	6	3					3	
3		56	12	6	3	3	6	3	6		3			3	
4		69	9	11		3	3			6					
5		71	17		6	3			3						
6		97		3											
7		94	6												
8		94		6											
9		94	3		3										
10		83	6	3	3	6									
11		91	3							3	3				
Aktau	12	54	14	17	3	3	3				6				
	1	65	14	10	2		2	4			4				
	2	75	4	12	8				2						
	3	48	16	12	6	8	4	2	2		2				
	4	39	29	10	8	6	2					2	2		2
	5	53	10	10		6	8	2	4			2	4	2	
	6	49	18	18	2	4	2			2	4	2			
	7	47	20	12	2	6	4	4	2	2					2
	8	67	14	10	2	4		2		2					
	9	76	4	8	4	2	2	2		2					
	10	61	20	10	2			4		2			2		
	11	69	14	6	4	2	2	2	2						
Tushchibek	12	69	10	10	8			4							
	1	42	14	8	2	8	20				2	2			2
	2	64	12	6	6	4	2	4				2			
	3	74	10	6	4	2			2						2
	4	86	8	4			2								
	5	92	6	2											
	6	10													
	7	10													
	8	0													
	9	98	2												
	10	90	6			2	2								
	11	55	16	10	6	6				2	2			4	
12	45	16	6	6	8	6	2	4	2		4		2		

Naturally, duration up to 4 hours is more often observed at all stations. More than 60 hours on the Kulaly Island are observed in the cold season, 3 and 9% of the total number of recorded observations. The duration of fogs is 60 hours in January and March at Tushchibek and Aktau stations – 2%. More than 30 hours the duration of fogs is not more than 13%, mainly from 3 to 6%. From 10 to 20 hours averages 8...10%.

According to this table you can also notice a higher percentage in the autumn-winter period of the season.

It was also interesting to look at the maximum values of the duration of the phenomenon for the entire observation period and the accompanying values of relative humidity, wind speed and direction. Thus, the maximum at the Fort-Shevchenko station was in February 2002, the duration of the fog was 56 hours. The humidity was 98-100%, the wind speed was on average up to 3 m/s, mainly in the western and southern sectors.

On the Kulaly Island Station the maximum duration was in January 2001, it was 78 hours with a humidity of 97-100% the wind of the northern sector at a speed of 0-3 m/s.

At Aktau station, there were more prolonged fogs in 1970...1980 period – 64 hours (1984, July), in the 21st century the duration does not exceed 50 hours, a maximum of 46 hours in 2010 in May. Also at Tushchibek station the maximum was in 1971 – 71 hours. And in recent years no more than 20 hours.

During researching, it was noticed that there are some differences in the frequency of fog in Aktau compared to other stations. Undoubtedly, the main reason is the location of the station (Gusak Zh.K. et al., 1976). The sea currents are also influenced by the distribution of the wind, respectively, the baric-circulation field, and the proximity of the settlement. Even in light winds, smoke from two adjacent chimneys of different heights can be carried in different directions. The fog zone over 200 m is usually not transferred as a whole. The upper and lower layers can be transported in different directions at different rates (Koshelenko I.V., 1977). For a visual comparative analysis, the distribution schemes of the amount of fogs depending on the wind direction and speed at Fort-Shevchenko and Aktau stations are presented for the period from 2010 till 2020. (fig. 3). Wind speeds are

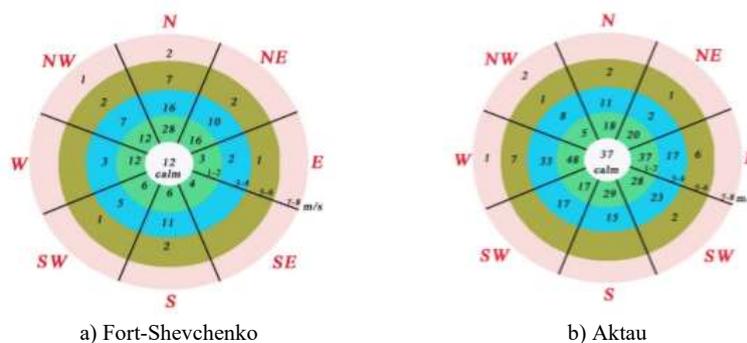


Fig. 2. Distribution of the number of fogs depending on wind direction and speed at Fort- Shevchenko and Aktau stations for the period from 2010 till 2020

Naturally, the recurrence of fogs at low wind speeds of 1...2 m/s is the highest. The highest frequency of fogs in Fort-Shevchenko was noted in the northern sector – 28 cases at wind speed of 1...2 m/s and even 2 cases at wind speed of 7 m/s. In the Aktau, the highest frequency of occurrence is in the western and eastern sectors, 48 and 37 cases. Number of fogs in the Aktau is higher than in the Fort-Shevchenko station for the same period.

As a result, prolonged fogs for more than a day can be observed in the cold season, and in Aktau in summer, which can lead to a long-term deterioration of visibility. This, in turn, is reflected in the work of shipping, fishing, etc.

Ships slow down and sometimes stop sailing altogether. When visibility is less than 1 km, restrictions are introduced for small ships and for ships engaged in fishing.

CONCLUSION

In the conclusion of the study, the following conclusions can be drawn:

- the highest frequency of fogs on the eastern coast of the Caspian Sea is observed in spring and autumn, with the exception of Aktau station, which is located to the south. There, the maximum frequency of fog is observed in the spring-summer period;
- the longest duration of fogs at the stations of Fort Shevchenko, Kulaly Island and Tushchibek are recorded in winter, up to 6-8 days, sometimes up to 10 days. At Aktau station up to 6-8 days in the warm half of the year;
- the duration of the fogs is more than 60 hours on the Kulaly Island Station is observed in the cold season, 3...9%. At Tushchibek and Aktau stations, fogs for more than 60 hours are observed in January and March, 2%. More than 30 hours, the percentage of duration does not exceed 13%, mainly from 3 to 6%. 10 to 20 hours on average 8-10%;
- the maximum duration in Aktau and Tushchibek in recent decades is less than at the stations of Fort-Shevchenko and Kulaly Island;
- in the Aktau, the highest frequency of occurrence is in the western and eastern sectors, 48 and 37 cases. Number of fogs in the Aktau is higher than in the Fort-Shevchenko station for the same period.

REFERENCES

1. *Bukharitsin P.I., Boldyrev B.Y., Novikov V.I.* Integrated system of hydrometeorological safety of navigation, ports and transport complexes on the Caspian Sea. - Astrakhan, 2014. 319 p.
2. *Duletova T.A.* Addition to the report on the topic: «Synoptic and aerological conditions of fogs in Kazakhstan» Kazakh Scientific Research Hydrometeorological Institute. - Alma-ata. 1957. 51 p.
3. *Dorman C.E., Mejia J., Koračin D., Mcevoy D.* World marine fog analysis based on 58-years of ship observations. International journal of climatology. T. 40. no. 1 pp. 145-168 <https://elibrary.ru/item.asp?id=43506900>
4. *Gultepe I., Liu P., Zhou B., Ferrier B.,*

- Milbrandt J., Bott A., Li Y., Heymsfield A.J., Ware R., Pavolonis M., Kuhn T., Gurka J., Cermak J. A.* Review on ice fog measurements and modeling // Atmospheric research. T. 151. pp. 2-19 <https://elibrary.ru/item.asp?id=24474577>
5. *Gusak Zh.K., Koshelenko I.V.* Influence of orography on fog // Proceedings of the Ukrainian Scientific Research Hydrometeorological Institute. Moscow: Hydrometeoizdat, 1976. Issue. 134. P. 67-78
6. *Hao Zhengzhou, Pan Delu, Gong Fang, Chen Jianhua.* Sea fog characteristics based on modis data and streamer model. Material of conference Remote sensing of clouds and the atmosphere XIV. Berlin, Germany. pp 747515-8 <https://elibrary.ru/item.asp?id=16437325>
7. *Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas. Volume VI. Caspian Sea, vol. 1. Hydrometeorological conditions.* SPb.: Hydrometeoizdat, 1992. 359 p
8. *Koračin D., Lewis J.M., Hudson J.G., Wilcox E.M., Dorman C.E., Torregrosa A.* Marine fog: a review. // Atmospheric research. T. 143. pp. 142-175 <https://elibrary.ru/item.asp?id=24693329>
9. *Koshelenko I.V.* Wind variability and its consideration when analyzing and forecasting fog. // Proceedings of the Ukrainian Scientific Research Hydrometeorological Institute. M.: Hydrometeoizdat, 1977. p. 30-40
10. *Matveev Y.L.* Synoptic conditions for the formation of fogs and haze. // Optics of the atmosphere and ocean. 2005. - T. 18. - № 08. - p. 725-726
11. *Moshkovich E.M.* Research fogging processes in some regions of Kazakhstan AHMS. Ed. Chubukova L.A. Alma-Ata Geophysical Observatory. 1943. 65 p.
12. *Nadezhina E.D., Semioshina A.A., Shkol'nik I.M., Matsak V.I.* Model estimates of the fog parameters on the coasts of the siberian reservoirs // Russian meteorology and hydrology. T. 35 no. 12. pp. 791-798 <https://elibrary.ru/item.asp?id=16681119>
13. *Orakova G.O., Musralinova G.T.* Fogs in the south-east of Kazakhstan. // «Bulletin of KazNU. Geographic series» 2016. - C. 149-154 <https://bulletin-geography.kaznu.kz/index.php/1-geo/article/view/294>

14. *Pastukh V.P., Anapol'skaya L.E.* and fog of the polar seas. // *Meteorology and Hydrology*, 2003. - № 1. - p. 49–57
15. *Smirnov V.V., Shevchenko V.P.* Haze on the territory of the USSR// *Proceedings of the MGO*, 1960. V. 113. – p. 3-5
16. *Uteshev A.S.* Climate of Kazakhstan. L.: Hydrometeoizdat, 1959. 368 p.

КАСПИЙ ТЕҢІЗІНІҢ ҚАЗАҚСТАНДЫҚ СЕКТОРЫНДАҒЫ ТҰМАНДАРДЫҢ СИПАТТАМАСЫ

Ж.К. Наурозбаева¹ геогр.ғылым, кандидаты, **Г.М. Шишкина¹**

¹ «Қазгидромет» РМК Каспий теңізінің гидрометеорологиялық зерттеулер басқармасы, Алматы, Қазақстан
e-mail: naurozbaeva.zhanar@mail.ru

Ғылыми-зерттеу жұмысында Каспий теңізінің қазақстандық секторында тұманның қайталануы, үздіксіз ұзақтығы, желдің жылдамдығы мен бағыты, ылғалдылыққа статистикалық талдауы жүргізілді. Зерттеу үшін Құлалы арал, Форт-Шевченко, Ақтау және Тұщыбек станциялардың жедел деректері пайдаланылды. Зерттеу мерзімі 1970-2020 жж. Жыл мезгілдері бойынша тұманның ең көп қайталануы анықталды. Жыл мезгіліне және бақылау нүктесінің орналасуына байланысты үздіксіз ұзақтығы есептелген. Феноменнің максималды ұзақтығы мен ілеспе метеорологиялық жағдайлар да белгіленеді. Форт-Шевченко және Ақтау станцияларына салыстырмалы талдау жүргізілді, бұл тұманның пайда болуымен жел бағытының секторларын анықтауға мүмкіндік берді, бұл құбылыстың пайда болуының барикалық-циркуляциялық жағдайын көрсетеді. Жұмыстың қорытында Каспий теңізінің шығыс жағалауында тұманның ең жоғары жиілігі бір-бірінен оңтүстікте орналасқан Ақтау станциясын қоспағанда, жылдың өтпелі кезеңінде байқалады; Құлалы мен Тұщыбек станцияларда 6...8 күнге дейін қыста болады; Ақтау станциясында жылдың жылы жартысында 6...8 күнге дейін; ұзақтығы 60 сағаттан асады; Құлалы суық мезгілде болады; соңғы онжылдықтардағы Ақтау мен Түшібектің максималды ұзақтығы басқа станцияларға қарағанда айтарлықтай аз; Ақтауда ең жоғары тұманның жиілігі батыс және шығыс секторларында жел болса анықталады, ал Форт-Шевченко станциясында – солтүстік секторда.

Түйін сөздер: Каспий теңізі, тұман, тұманның ұзақтығы, тұманның қайталануы

ХАРАКТЕРИСТИКА ТУМАНОВ В КАЗАХСТАНСКОМ СЕКТОРЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Ж.К. Наурозбаева¹ кандидат геогр. наук, **Г.М. Шишкина¹**

¹ Управление гидрометеорологических исследований Каспийского моря, РГП «Казгидромет», Алматы, Казахстан
e-mail: naurozbaeva.zhanar@mail.ru

В исследовательской работе проведен статистический анализ повторяемости туманов казахстанского сектора Каспийского моря, непрерывной продолжительности, скорости и направления ветра, относительной влажности. Для исследования привлечены срочные данные станций: о. Кулалы, Форт-Шевченко, Ақтау и Тущыбек.

Период исследования с 1970 по 2020 гг. Статистический анализ позволил выявить наибольшую повторяемость по сезонам, полугодиям, оценить непрерывную продолжительность туманов в зависимости от времени года и расположения пункта наблюдения. Также отмечены максимально длительные продолжительности явления, сопутствующие при этом метеорологические условия. Проведен сравнительный анализ станций Форт-Шевченко и Актау, который позволил выявить отличные сектора ветрового направления при появлении туманов, что говорит о различных барико-циркуляционных условий формирования явления. В заключении работы сделаны выводы, что наибольшая повторяемость туманов на восточном побережье Каспийского моря отмечается в переходные сезоны года, за исключением станции Актау, которая расположена гораздо южнее относительно остальных станций; наибольшая непрерывная продолжительность туманов на станциях Форт-Шевченко, о. Кулалы и Тущибек регистрируется зимой, до 6...8 дней. На станции Актау до 6...8 дней в теплое полугодие; продолжительность более 60 часов на о. Кулалы отмечается в холодное время года; максимальная продолжительность в Актау и Тущибек в последние десятилетия значительно меньше, чем на других станциях; при сравнительном анализе выявлено, что в Актау наибольшая повторяемость в западном и восточном секторах, а в Форт-Шевченко в северном.

УДК 551.588.7

БИОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА БЛАГОПРИЯТНОСТИ ПОГОДЫ ГОРОДОВ АЛМАТЫ И НУР - СУЛТАН

А.С. Базбекова¹, А.М. Кауазов² к.г.н.

¹РГП «Казгидромет», г. Алматы, Казахстан

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

e-mail: ayzhan.bazbekova@gmail.com, a_kauazov@mail.ru

В статье анализируются количественные показатели суровости и благоприятности погоды для метеорологических станций Алматы и Нур-Султан с 2015 по 2020 года для теплого и холодного времени года. Рассчитаны индекс эквивалентно-эффективной температуры для теплого (апрель-сентябрь) и холодного (октябрь-март) сезонов года, индекс ветрового охлаждения по Сайплу и индекс суровости по Бодману. Произведена количественная оценка комфортности климата. Выявлено, что зима на МС Нур-Султан в 1,7 раза суровее, и ветровое охлаждение в 2,7 раз значительнее, чем на МС Алматы. Показано, что для оценки комфортности погоды наиболее предпочтительным, является индекс эквивалентно-эффективной температуры.

Ключевые слова: биоклимат, биометеорологические индексы, эквивалентно-эффективная температура, комфорт, дискомфорт

Поступила: 28.02.22

DOI: 10.54668/2789-6323-2022-104-1-17-30

ВВЕДЕНИЕ

Изменение климата, как известно является актуальной проблемой на мировом и региональном уровне. При этом, климатические ресурсы и погодные особенности являются важнейшим элементом окружающей среды.

В настоящее время практически все климатические исследования направлены на изучение глобальных и региональных проявлений климатических проблем, причем большинство исследований посвящено анализу антропогенного воздействия на природную среду (Андреев С.С., 2011; Кауазов А.М. и др., 2020).

При этом, несколько упускается из виду, что человечество как вид уязвимо для изменения климата, не только вследствие воздействия чрезвычайных ситуаций природного характера, но и обычного режима погоды. Погодные условия (температура, влажность и ветер) непосредственно влияют на эффективность жизнедеятельности людей.

Для эффективного решения проблемы изменения климата и предотвращения

ухудшения качества природной среды, необходимо учитывать не только антропогенное влияние на окружающую среду, но и рассматривать возможное влияние изменения климата на человека. Кроме того, стратегия устойчивого развития человечества предполагает комплексный подход к решению глобальных экологических проблем, при этом климатические условия городов, а также их тенденция подлежит обязательному учету, так как является одним из важнейших факторов жизнедеятельности населения.

В этой связи, исследования изменений метеопараметров (температура, влажность и ветер) непосредственно влияющих на физиологические ощущения человека и оценка их динамики изменения являются особенно актуальными.

Отдельные метеоэлементы не всегда отражают физиологические ощущения человека. Для оценки комфортности и суровости погоды применяются биоклиматические показатели учитывающие совокупное воздействие этих параметров. Биоклиматические показатели (индексы) являются косвенными индикаторами оценки состояния окружающей человека среды, характеризую

в физическом отношении особенности её тепловой структуры (Андреев С.С., 2005). При этом исследования по биоклиматической тематике в Казахстане не многочисленны (Беку Б. и др., 2013; Нысанбаева А.С. и др., 2015) и не затрагивали региональных отличий и крупных городов, поэтому сравнительное рассмотрение биометеорологических показателей (Базбекова А.С., 2022) столицы страны – г. Нур-Султан и крупнейшего мегаполиса - г. Алматы в которых совокупно проживают около 15% населения страны представляет значительный интерес.

Цель данного исследования заключается в сравнительной оценке уровня комфортности погоды и климата городов Алматы и Нур-Султан с использованием биоклиматические показатели.

Основная задача данного исследования заключается в расчете и сравнении некоторых биоклиматических показателей по городам Алматы и Нур-Султан, а также оценке их информативности.

ДАННЫЕ И МЕТОДИКА

$$ET = 37 - \frac{37-t}{0.68-0.0014 f + \frac{1}{1.76+1.4v^{0.75}}} - 0.29 t \left(1 - \frac{f}{100}\right) \quad (1)$$

где, ET-ЭЭТ, t - температура воздуха, °С; v - скорость ветра, м/с, f - относительная влажность, %.

Индекс ЭЭТ предложенный Миссенардом учитывает комплексное влияние температуры воздуха, влажности и скорости ветра.

Зона комфорта по значениям эквивалентно-эффективной температуры находится

$$S = (1 - 0,04 t) * (1 + 0,272 V) \quad (2)$$

где, S – индекс суровости (баллы), t – температура воздуха, °С; V – скорость ветра, м/с. Данный индекс служит для оценки суровости зимних условий, характеризующий «жесткость» зимней погоды в условных единицах по шкале баллов «жесткости»

$$WCIs = (10.45 + 10v - v) (33 - t) \quad (3)$$

где, WCIs - ветро-холодовой индекс, t – температура среды, °С, v – скорость ветра, м/с.

Исходными данными являлись срочные значения температуры воздуха, относительной влажности и скорости ветра по метеорологическим станциям Алматы и Нур-Султан с 2015 по 2020 года за теплый (апрель-сентябрь) и холодный (октябрь-март) периоды года. Известно большое количество различных индексов (Андреев С.С., 2007; Исаева М.В., 2009; Исаев А.А., 2001; Ткачук С.В., 2011; Ткачук С.В., 2012). Многие из них сложные в расчете или требуют специфические данные. В данном исследовании предпочтение отдавалось индексам не требующих специальных данных в виду их ограниченности и слабой доступности, а также простых в расчете, т.е. удобных для практического применения. Из всего многообразия биоклиматических индексов, критериев и показателей уровня комфортности были выбраны три наиболее подходящих для наших условий и набора данных показателя.

Эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ):

в пределах значений индекса 17,3...21,7.

Согласно предложенной Миссенардом (Исаева М.В., 2009), формуле среднемесячные значения тепловой чувствительности человека варьируются от умеренно теплой летом, до опасной с угрозой обморожения в зимние месяцы.

Индекс суровости по Бодману (S):

(табл. 2). В основу расчетов было принято время, необходимое для охлаждения сосуда с водой, от температуры +30 °С до +20 °С (Андреев С.С., 2005).

Индекс ветрового охлаждения по Сайплу (WCIs):

Ветро-холодовой индекс, пред-
ложенный Сайплом, оценивает

Таблица 1

Классификация тепловой чувствительности по значениям ET

Интервал эквивалентно-эффективной температуры, ET °C		Уровень комфорта
От	До	
Более +30		Тепловая нагрузка сильная
24	30	Тепловая нагрузка умеренная
18	24	Комфортно-тепло
12	18	Комфорт (умеренно-тепло)
6	12	Прохладно
0	6	Умеренно прохладно
0	-6	Очень прохладно
-6	-12	Умеренно холодно
-12	-18	Холодно
-18	-24	Очень холодно
Ниже -24		Угроза обморожения

Таблица 2

Шкала Бодмана для характеристики зимнего периода

Балл «суровости» S	Характеристика зимы
Менее 1	Несуровая, мягкая
1-2	Мало-суровая
2-3	Умеренно-суровая
3-4	Суровая
4-5	Очень суровая
5-6	Жестко-суровая
Более 6	Крайне-суровая

отрицательной температуры воздуха и скорости ветра на тепловое состояние человека, определяется по таблицам или номограмме (Андреев С.С., 2005).

Полученные значения индекса интерпретируются в следующих градациях: 600...800 прохладно, 800...1000 холодно, 1000...1200 очень холодно, 1200...2500 жестко холодно, более 2500 невыносимо холодно. Из данных по температуре, влажности и скорости ветра за все 8 сроков были рассчитаны среднесуточные значения, а из них далее среднемесячные значения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты расчета основных биоклиматических индексов в те-

плый (апрель-сентябрь) и холодный (октябрь-март) периоды года для МС Алматы и Нур-Султан с 2015 по 2020 года, представлены ниже в виде рисунков и таблиц. Эквивалентно-эффективная температура. Анализ динамики изменения значений ЭЭТ (рис.1) показал, что на МС Алматы за холодный период ЭЭТ изменялась в пределах от 10,0 до минус 11,0°C, что соответствует изменениям уровня комфорта от «прохладно» до «умеренно холодно». В октябре уровень комфорта оценивался как «прохладно». В октябре 2017, ноябре 2015, 2016, 2018, марте 2015, 2019 и 2020 года умеренно прохладно. В ноябре, декабре, январе 2015, 2016, 2019 года, феврале и марте 2017 и 2018 года как «очень прохладно». В январе и марте как «умеренно холодно».

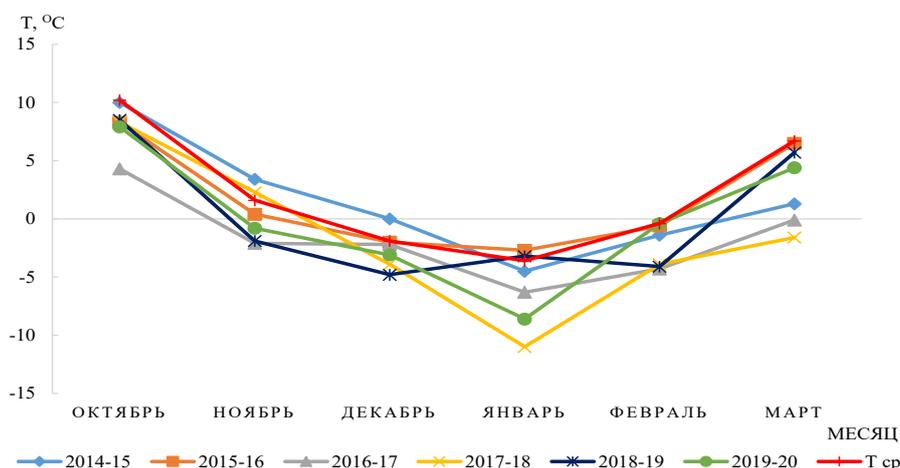


Рис.1. Динамика значений ЭЭТ и среднемесячной температуры воздуха в холодный период по годам с 2015 по 2020 гг на МС Алматы

В целом, в октябре и марте преобладают положительные значения ЭЭТ и среднемесячной температуры за холодный период с 2015 по 2020 года. Минимальные значения приходятся на январь. Межгодовые различия за рассматриваемый период не значительные и не превышают 5°C в осенний период, в январе и марте межгодовая разница достигает максимальных значений 10 о С. Минимальное значение, отмечавшееся в январе 2018 года, объясняется влиянием низкой температура воздуха. В целом ухудшение условий наступает не резко, плавно опускаясь и достигая минимума в январе с дальнейшим ростом температуры.

Анализ динамики изменения значений ЭЭТ (рис.2) показал, что на МС Нур-Султан за холодный период ЭЭТ изменялась в пределах от 2,7 до минус 28,6 °С, что соответствует изменениям уровня комфорта от «умеренно прохладно» до «угрозы обморожения».

В октябре уровень комфорта оценивался как «очень холодно». В октябре 2017 и ноябре 2018 года как «умеренно прохладно». В ноябре и марте как «холодно». В декабре, январе 2019 года, феврале и марте как «очень холодно». В декабре 2015, 2017 года, январе, феврале 2017 и марте 2015, 2018 года уровень комфорта оценивался как «угроза обморожения».

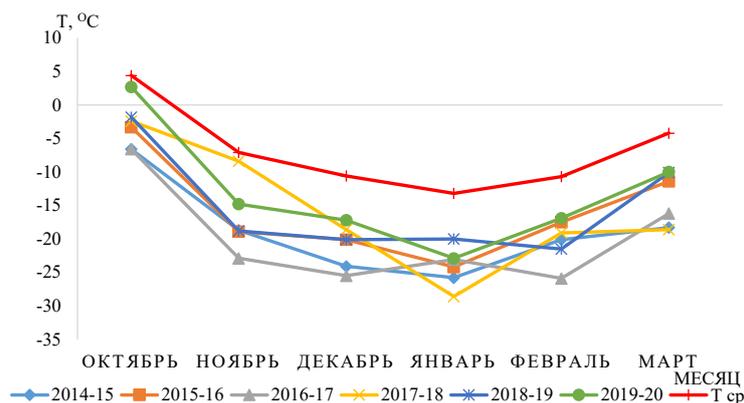


Рис. 2. Динамика значений ЭЭТ и среднемесячной температуры воздуха в холодный период по годам с 2015 по 2020 гг. на МС Нур-Султан

Показатели погоды в г. Нур-Султан по сравнению с г. Алматы характеризуются менее благоприятными условиями. Подавляющее большинство, значения ЭЭТ и среднемесячной температуры за холодный период с 2015 по 2020 года, были ниже 0 о С, при этом большинство значений кроме

октября, были ниже минимальных наблюдаемых в Алматы. Например, значения ЭЭТ в Нур-Султане за период ноябрь-февраль, в два раза ниже чем в Алматы в самый холодный месяц - январь. Минимальные значения также приходятся на январь и в два раза ниже чем в Алматы. Максимальное

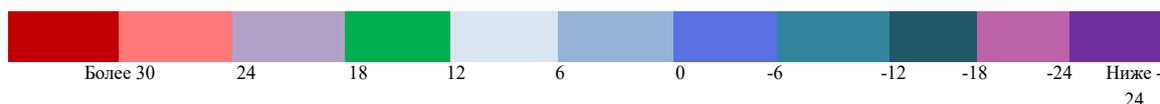
значение приходится на октябрь 2020 года. Межгодовые различия за рассматриваемый период значительные и составили 15°C. В целом ухудшение условий по сравнению с Алматы наступает резко, достигая низких значений уже в ноябре и сохраняясь

на этом уровне до февраля с дальнейшим повышением ЭЭТ в марте. При этом в марте наблюдаются устойчиво отрицательные значения минус 5...20°C, что значительно ниже чем в Алматы (от минус 2 до 7°C).

Таблица 3

Уровни комфорта для г. Алматы (а) и г. Нур-Султан (б) в холодный период

	октябрь		ноябрь		декабрь		январь		февраль		март	
	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
2014-15	10	-6,6	3,4	-18,7	0	-24,1	-4,5	-25,8	-1,4	-20,1	1,3	-18,3
2015-16	8,3	-3,3	0,4	-18,9	-2	-20,1	-2,7	-24	-0,6	-17,5	6,5	-11,4
2016-17	4,3	-6,6	-2,1	-22,9	-2,2	-25,5	-6,3	-23,1	-4,3	-25,9	-0,1	-16,2
2017-18	8,3	-2,4	2,3	-8,4	-3,9	-18,6	-11	-28,6	-3,9	-19,1	-1,6	-18,6
2018-19	8,5	-1,8	-1,9	-18,8	-4,8	-20,1	-3,2	-20	-4,1	-21,5	5,7	-10,1
2019-20	7,9	2,7	-0,8	-14,8	-3,1	-17,2	-8,6	-22,9	-0,4	-16,9	4,4	-10



Тепловая нагрузка сильная Тепловая нагрузка умеренная Комфорт-тепло Комфорт Прохладно Умеренно прохладно Очень прохладно Умеренно холодно Холодно Очень холодно Угроза обморожения

Средняя разница значений ЭЭТ за холодный период между городами составила 16,5°C, при этом в Алматы значения были выше. Среднее стандартное отклонение для г. Алматы меньше, чем для г. Нур-Султан, и составило 2,4 и 3,7°C соответственно. В среднем, уровень комфортности погоды в Нур-Султане в 3 раза хуже, чем в Алматы во все месяцы, кроме октября. При этом, самые суровые условия в Алматы, которые наблюдаются в январе, соответствуют или суровее условий погоды в октябре или в марте в Нур-Султане. Анализ динамики изменения значений ЭЭТ (рис.3) за теплый период на МС Алматы показал, что ЭЭТ изменялась в пределах от 7,1 до 22,1°C, что соответствует грациям уровням комфорта от «прохладно» до «комфортно-тепло». В апреле уровень комфорта оценивался как «прохладно». В мае, июне 2017 и 2020 года,

августе 2017 года, сентябре как «комфорт». В июне, июле и августе как «комфорт-тепло».

За рассматриваемый период, значения ЭЭТ наблюдались выше 7°C, а значения среднемесячной температуры выше 13 о С. Минимальные значения ЭЭТ приходились на апрель. В теплый период года, по сравнению с холодным, разброс значений ЭЭТ невелик. Межгодовые различия за теплый период не значительные и не превышают 3°C в летний период, 4...5 °C в межсезонье. Изменения условий погоды имеют плавный ход, отмечается повышение условий комфортности, наблюдавшийся в марте, достигая максимальных значений в июле, а далее отмечается ухудшение условий. Наибольший разброс значений ЭЭТ по годам, отмечается в апреле-мае (более 10°C) с дальнейшей стабилизацией условий с разбросом около 7°C в остальные месяцы.

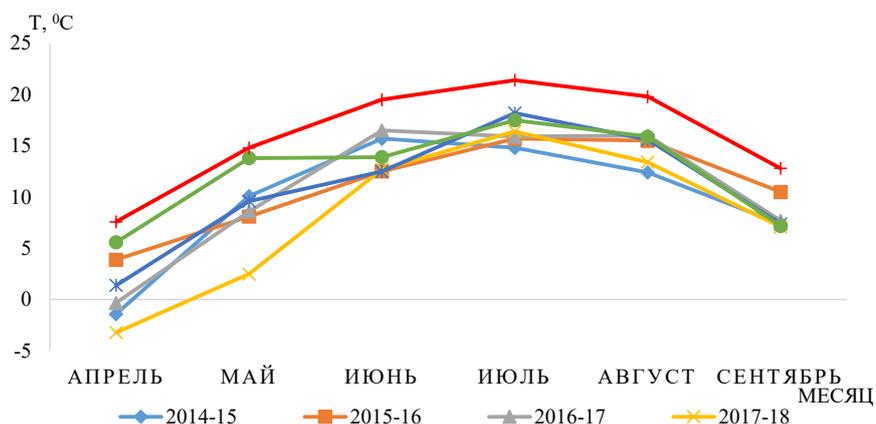


Рис. 3. Динамика значений ЭЭТ и среднемесячной температуры воздуха в теплый период по годам с 2015 по 2020 гг на МС Алматы

Анализ динамики изменения значений ЭЭТ (рис. 4) за теплый период на МС Нур-Султан показал, что ЭЭТ изменялась в пределах от минус 3,2 до 18,2°C, уровень комфорта изменялся от «очень прохладно» до «комфортно-тепло». В апреле уровень комфорта оце-

нивался как «умеренно холодно».

В апреле 2015, 2017 и 2018 года как «очень прохладно». В мае, как «умеренно прохладно» в 2018 году, «прохладно» и «комфорт» в 2020 году. В июне, июле и августе как «комфорт», в июле 2019 года как «комфортно-тепло». В сентябре как «прохладно».

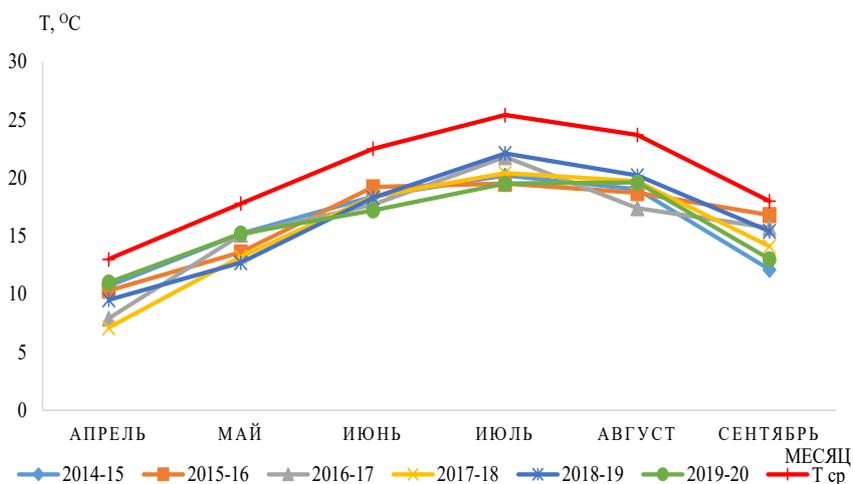


Рис. 4. Динамика значений ЭЭТ и среднемесячной температуры воздуха в теплый период по годам с 2015 по 2020 гг на МС Нур-Султан

Погодные условия в теплый сезон в Нур-Султане, заметно прохладнее, чем в Алматы. Минимальное значение ЭЭТ в Алматы отмечавшийся в апреле, наблюдается в Нур-Султане в мае, при этом наименьшее значение для г. Нур-Султан в апреле, было 2 раза ниже, чем в Алматы. Ход ЭЭТ более резкий и имеет значительные разбросы. Межгодовые различия за рассматриваемый период незначительные в летний период и сентябре 4°C, и значительны в весенний период около

11°C. Разница среднемесячной температуры и ЭЭТ, в летние период и сентябре составляет около 7°C, в весенний период около 11...12°C, это свидетельствует о том, что ход среднемесячной температуры и ЭЭТ в г. Алматы имеет плавный ход и значения почти близки.

Средняя разница значений ЭЭТ за теплый период между городами составила 5,5°C. При этом в Алматы среднее значение за сезон было выше в 2 раза. Наибольшее среднее стандартное

Уровни комфорта для г. Алматы (а) и г. Нур-Султан (б) в теплый период

	апрель		май		июнь		июль		август		сентябрь	
	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
2014-15	10,7	-1,4	15,2	10,1	18,4	15,7	20,2	14,8	19	12,4	12,1	7,4
2015-16	10,3	3,9	13,6	8,1	19,2	12,5	19,5	15,7	18,7	15,5	16,8	10,5
2016-17	7,9	-0,3	15,1	8,6	17,7	16,5	21,8	15,9	17,4	16	15,7	7,7
2017-18	7,1	-3,2	13,2	2,5	18,4	12,7	20,4	16,4	19,7	13,4	14,1	7,1
2018-19	9,5	1,4	12,7	9,6	18,3	12,5	22,1	18,2	20,2	15,6	15,4	7,4
2019-20	11	5,6	15,2	13,8	17,2	13,9	19,5	17,5	19,6	15,9	13	7,2



отклонение для г. Алматы составило 1,8°C, а для г. Нур-Султан 3,7°C, среднее за сезон составило 1,2 и 2,1°C соответственно.

В целом летние месяцы (июнь, июль и август) по условиям одинаково комфортные и в Алматы, и в Нур-Султане. При этом в Алматы температура выше, и находится на одну градацию выше, но тем не менее оставаясь в комфортном диапазоне (комфорт-тепло).

В переходные месяцы (апрель, май и сентябрь) наиболее комфортные условия отмечались в Алматы, где май и сентябрь находятся в диапазоне комфорт, тогда как в Нур-Султане прохладно.

Ход средней температуры воздуха за холодный и теплый периоды с 2015 по 2020 года описывает ход ЭЭТ для двух станций (рис 5, 6). По значениям среднемесячных данных ЭЭТ за холодный период на МС Алматы и МС Нур-Султан наблюдаются условия от субкомфортных до дискомфортных, за теплый период на МС Алматы от субкомфортных до комфортных, а на МС Нур-Султан от дискомфортных до комфортных. Необходимо отметить, что минимальное значение ЭЭТ на МС Нур-Султан ниже, чем на МС Алматы (минус 28,6°C и минус 11,0°C соответственно). В теплый период, разница наибольших значений ЭЭТ между двумя станциями незначительная. Анализируя значения ЭЭТ за

сезон, было получено, что на двух станциях отмечаются дискомфортные условия в зимний период, и комфортные в летний период.

Анализирую ход кривых температуры воздуха и ЭЭТ за сезон (рис. 5, 6), было установлено, что на МС Алматы ход более устойчивый, средний разброс значений ЭЭТ за холодный сезон составляет от минус 1,8 до 0°C, за теплый от 15,5 до 16,4°C. На МС Нур-Султан ход менее стабильный, средний разброс значений ЭЭТ за холодный сезон отмечаются от минус 20,0 до минус 13,2°C, за теплый от 8,2 до 12,3°C. В холодный период года хорошо заметно отличие значений между двумя станциями. Например, если по температуре воздуха различия не сильно выражены, то по ЭЭТ заметна существенная разница, на МС Алматы среднее значение ЭЭТ за холодный сезон составляет минус 0,1°C, то на МС Нур-Султан минус 16,6°C (за теплый 16,0°C и 10,5°C соответственно). Это демонстрирует необходимость и информативность биоклиматических индексов.

Оценивая количество дней повторяемости определенной градации ЭЭТ, было выделено, что наибольшее количество 467 (21,4%) и 385 дней (17,4 %) наблюдается в интервале ЭЭТ от 12 до 18°C для Алматы и Нур-Султан соответственно, что характеризует уровень комфорта как «комфорт».

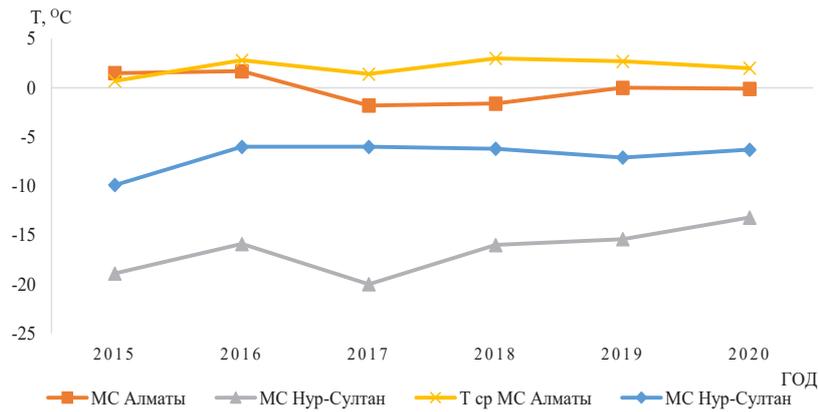


Рис. 5. Динамика значений ЭЭТ и среднемесячной температуры воздуха в холодный период по годам с 2015 по 2020 гг на MS Нур-Султан

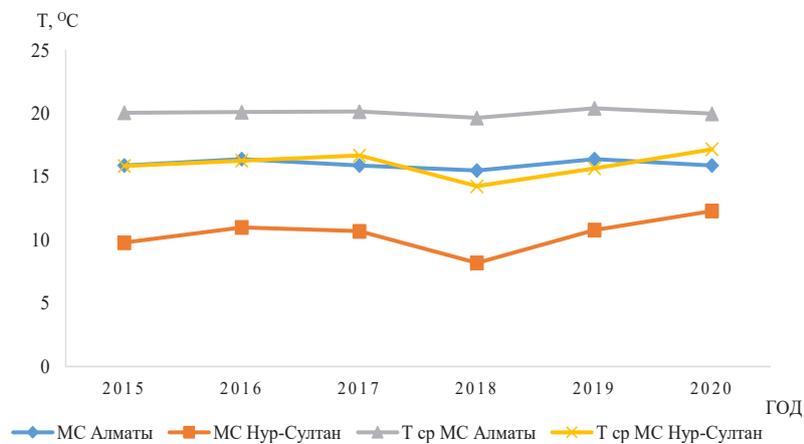


Рис. 6. Динамика значений ЭЭТ и среднемесячной температуры воздуха в теплый период по годам с 2015 по 2020 гг на MS Нур-Султан

Необходимо отметить, что для г. Алматы интервал эквивалентно-эффективной температуры ниже минус 24 о С составляет 3 дня (0,1 %), а для г. Нур-Султан 193 дня (8,8 %), что указывает на наличие угрозы

обморожения. Так же по полученным данным, в двух городах не наблюдается сильная тепловая нагрузка, то есть значений ЭЭТ выше 30°С (рис. 7 и 8, таб. 1.5 и 1.6)

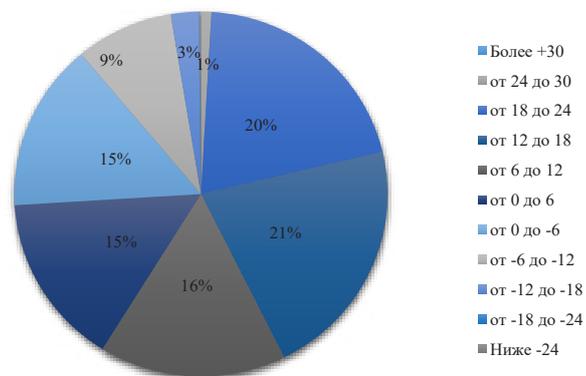


Рис. 7. Повторяемость эквивалентно-эффективной температуры на MS Алматы в %

Индекс суровости по Бодману. Для работы использовался индекс суровости погоды, предложенный Бодманом.

Таблица 5

Повторяемость эквивалентно-эффективной температуры на МС Алматы

Интервал ЭЭТ, ЕТ	Количество дней	%
Более +30		
от 24 до 30	19	0,9
от 18 до 24	446	20,4
от 12 до 18	467	21,4
от 6 до 12	354	16,2
от 0 до 6	333	15,2
от 0 до -6	325	14,9
от -6 до -12	185	8,5
от -12 до -18	52	2,4
от -18 до -24	3	0,1
Ниже -24	3	0,1

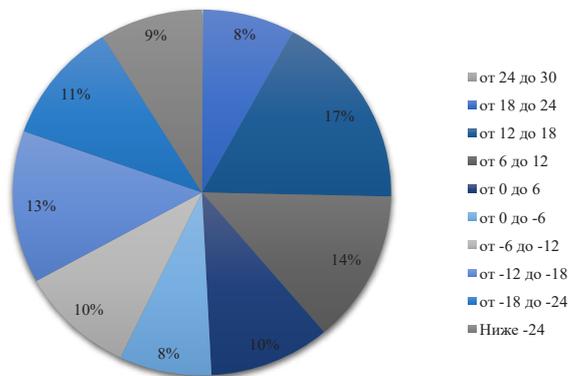


Рис. 8. Повторяемость эквивалентно-эффективной температуры на МС Нур-Султан в %

Таблица 6

Повторяемость эквивалентно-эффективной температуры на МС Нур-Султан

Интервал ЭЭТ, ЕТ	Количество дней	%
Более +30		
от 24 до 30		0,0
от 18 до 24	174	7,9
от 12 до 18	382	17,4
от 6 до 12	296	13,5
от 0 до 6	227	10,4
от 0 до -6	172	7,9
от -6 до -12	216	9,9
от -12 до -18	296	13,5
от -18 до -24	236	10,8
Ниже -24	193	8,8

Анализируя полученные результаты (рис.9) было установлено, в г. Алматы зиме характеризуется как «мало-суровая», среднее значение балла суровости за указанный период наблюдения составляет 1,4 балла. В свою очередь зима в г. Нур-Султан

характеризуется как «умеренно-суровая», средний балл суровости составил 2,4.

Зима более суровая в г. Нур-Султан, чем в г. Алматы. Условия оцениваются, как субкомфортные и комфортные соответственно.

Наибольшее среднее значение в баллах «жесткости погоды» для г. Алматы и г. Нур-Султан наблюдалось в январе 2018 года, 1,8 и 2,8 соответственно.

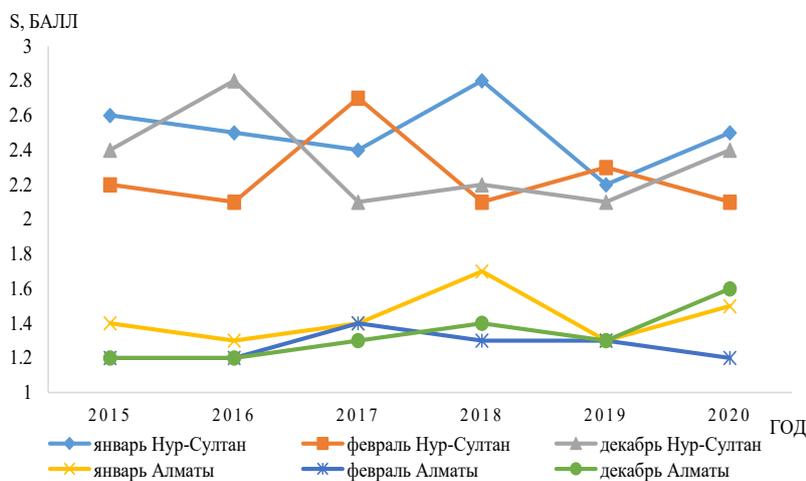


Рис.9. Индекс суровости по Бодману на МС Алматы и Нур-Султан

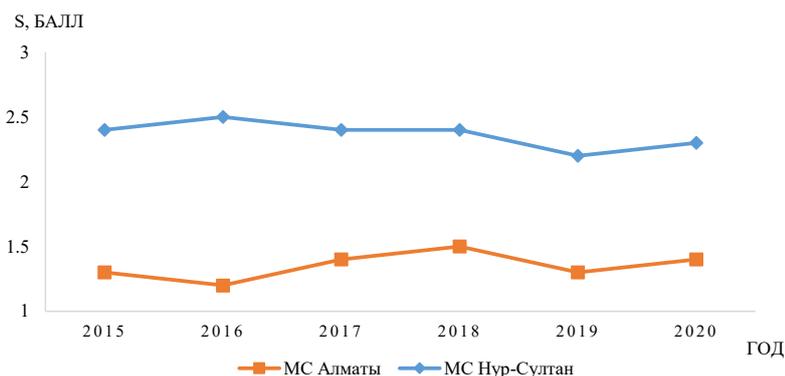


Рис.10. Среднее значение индекса суровости (декабрь-февраль) по Бодману на МС Алматы и Нур-Султан

Анализируя ход индекса суровости по Бодману (рис. 10), было показано, что наименьшее значение балла суровости за зиму, для г. Нур-Султан было в 2 раза выше чем для Алматы, составило 2,2 в 2019 году и 1,2 в 2016 году соответственно. Наибольшее значение в 2016 году, так же было выше в 1,5 раза. Оценив среднее значения индекса за указанный период наблюдения, отмечено, что климат в Нур-Султане суровее, чем в Алматы в 1,7 раз. Неблагоприятную ситуацию, отражаемую указанным показателем, можно объяснить тем, что в зимний период в г. Нур-Султан отмечались более низкие температуры воздуха, чем в г. Алматы. Индекс ветрового охлаждения по Сайплу. Для

того чтобы оценить один из важных в зимний период метеорологический фактор - скорость ветра, необходимо дополнить результаты индекса суровости по Бодману, расчетом индекса Сайпла (Синицын И.С. и др., 2013). Анализируя полученные расчеты (рис. 7, 8) индекса ветрового охлаждения по Сайплу, было установлено, что для г. Алматы теплоощущения человека оцениваются как «прохладно» и «холодно», среднее значение за период наблюдения составляет 657 кал/(м²ч). В свою очередь, для г. Нур-Султан как «жестко холодно», среднее значение за период наблюдения составляет 1745 кал/(м²ч). Ветровое охлаждение более заметно выражено в Нур-Султане.

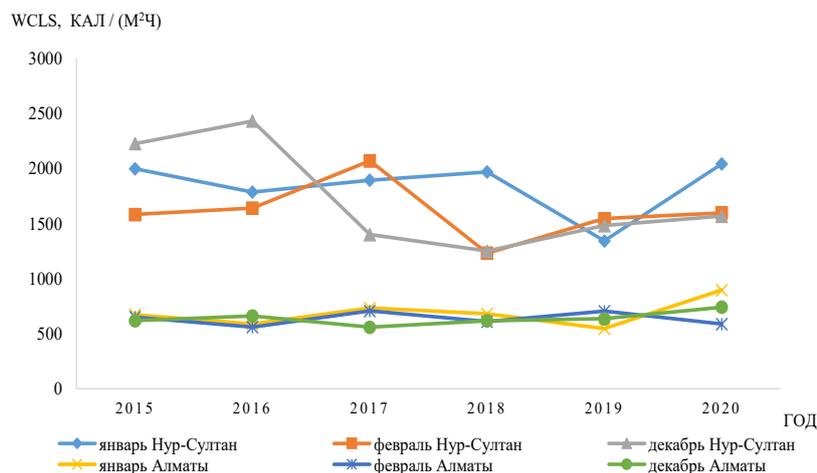


Рис.11. Индекс ветрового охлаждения по Сайплу (WCIs) на МС Алматы и Нур-Султан

Среднее значение изменяются от Максимальное значение индекса в 1200 до 2000 кал/(м²ч), в то время Нур-Султане значительно пример- как в Алматы от 560 до 730 кал/(м²ч). но в 3 раза, за счет скорости ветра.

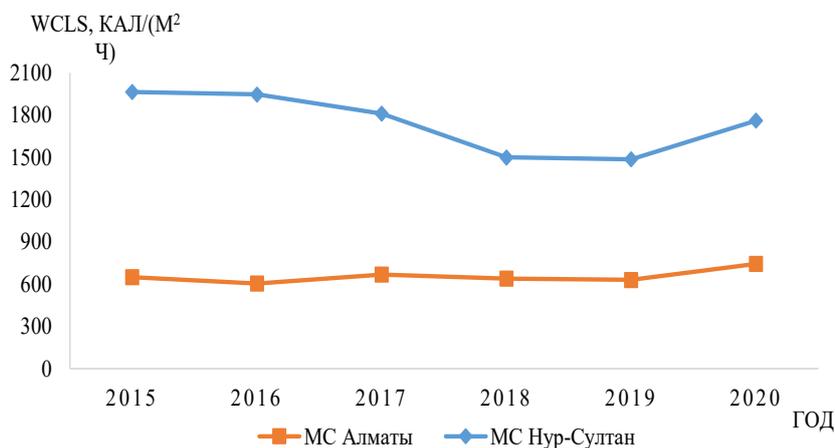


Рис.12. Среднее значение индекса ветрового охлаждения (декабрь-февраль) по Сайплу (WCIs) на МС Алматы и Нур-Султан

Анализ (рис. 12) показывает, что в г. Нур-Султан прослеживается выраженная тенденция к снижению ветрового охлаждения, вероятнее всего вследствие снижения скорости ветра из-за интенсивной застройки и высадки лесов. Ветровое охлаждение на МС Нур-Султан значительно, чем на МС Алматы в 2,7 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании были выбраны три наиболее подходящих биоклиматических показателей с учетом условий Казахстана и доступности используемых данных. Далее были рассчитаны биоклиматические показатели для городов Алма-

ты и Нур-Султан за период с 2015 по 2020 годы. Проведен сравнительный анализ данных. Выявлены значительные различия между городами по всем трем индексам:

1. Показатели погоды по индексу ЭЭТ характеризуют условия в г. Нур-Султан как менее благоприятные по сравнению с г. Алматы. В среднем, уровень комфортности погоды в холодный период в Нур-Султане в 3 раза хуже, чем в Алматы во все месяцы, кроме октября. При этом, самые суровые условия в Алматы, которые наблюдаются в январе, соответствуют или суровее условий погоды в октябре или в марте в Нур-Султане.

По значениям ЭЭТ с 2015 по 2020 года за холодный период, на МС Нур-Султан наблюдаются 193 дня с угрозой обморожения.

На МС Алматы данное значение значительно ниже и составляет всего 3 дня.

В теплый период в г. Алматы ЭЭТ изменялась в пределах от 7,1 до 22,1°C, что соответствует градациям уровням комфорта от «прохладно» до «комфортно-тепло», в Нур-Султане в пределах от минус 3,2 до 18,2°C, уровень комфорта изменялся от «очень прохладно» до «комфортно-тепло».

Погодные условия в теплый сезон между городами также различаются, но в меньшей степени. Наибольшие отличия наблюдаются в мае. В этот месяц комфортность погоды в Нур-Султане на две градации ниже чем в Алматы, при этом в Алматы погода оценивается как комфортная. В целом, в теплый период Нур-Султане, менее комфортен (на одну градацию), чем в Алматы.

2. Согласно полученным результатам расчета индекса ветрового охлаждения по Сайплу, было установлено, что зимы в г. Нур-Султан примерно в 3 раза суровее чем в г. Алматы. Так, в Алматы теплоощущения человека оцениваются от «прохладно» до «холодно», а в г. Нур-Султан, преимущество «жестко холодно». Уровень ветрового охлаждения в Нур-Султане в 2,7 раза выше чем в г. Алматы.

3. Согласно индексу суровости Бодмана, зима в г. Алматы характеризуется как «мало-суровая», а в г. Нур-Султан как «умеренно-суровая». В целом, погодные условия в зимний период в Нур-Султане в 1,7 раз суровее, чем в Алматы.

Анализ биоклиматических показателей, показал, что в целом по двум городам биоклиматические условия в теплый период года характеризуются как комфортные, а в холодный период оцениваются как дискомфортные. Однако, условия зимнего периода в Нур-Султане значительно суровее. В летний период разница условий комфортности на двух станциях менее заметна.

Также в Алматы отмечают более комфортные условия, выражающиеся в более стабильной погоде.

По результатам сравнения погодных условий в течение нескольких лет на двух различных по условиям метеорологических станциях, правомерно заключить, что наи-

более предпочтительным, является индекс эквивалентно-эффективной температуры, преимущество которого заключается в возможности использования, как для холодного, так и для теплого сезонов года и более детализированного (за счет большего числа градаций) описания тепловой чувствительности.

При этом стоит отметить, что недостаток индекса ЭЭТ состоит в недоучете теплоощущения человека от нагревания солнечной радиацией. Однако, данное обстоятельство не является значительным недостатком, так как влияние солнечной радиации в холодное время года в виду значительной облачности, оценивается как не существенное и кроме того, данные о солнечной радиации не используются в оперативных прогнозах и малодоступны.

Учитывая, что температура воздуха зачастую не отражает реальный комплекс погодных условий, целесообразно рассмотреть возможность использования в ежедневных прогнозах погоды для населения индексов ЭЭТ для лучшего информирования (Базбекова А.С., 2022).

Дальнейшее развитие исследования видится в изучении динамики изменения комфортности погоды в городах за более длительный период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев С.С. Биоклиматические показатели (индексы) // Известия вузов. Серия Естественные науки. – Ростов, 2007. – № 4(140). – С. 109-110.
2. Андреев С.С. Интегральная оценка климатической комфортности на примере территории Южного Федерального округа России. – СПб: Изд. РГГМУ, 2011. – 304 с.
3. Андреев С.С. Человек и окружающая среда Ростов-на-Дону. Изд. АПСН СКНЦ ВШ, 2005. – 272 с.
4. Базбекова А.С. Оценка динамики изменений температурно-влажностных и ветровых условий по основным городам Казахстана: автореф. дис. – Алматы, 2022. – 105 с.
5. Беку Б., Нысанбаева А.С. Оценка биоклиматических условий юга и юго-востока Казахстана // Гидрометеороло-

из экология. – Алматы, 2013. – №1(68). – С. 65-73.

6. *Исаева М.В.* Пространственно-временная изменчивость основных биоклиматических показателей на территории Приволжского округа // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований. Сб. трудов Всероссийской научной конференции. – Казань, - 2009. - Т.2.- С.116-120.

7. *Исаев А.А.* Экологическая климатология. – М.: Научный мир, 2001. – 456 с.

8. *Кауазов А.М., Нурлан А.Н., Жолдасбек А.Е., Бозбекова А.С.* Возможность использования данных модели Noah/GSFC в рамках проекта FEWSNET/USGS / EROS для оперативного гидрологического прогнозирования в Северном Казахстане // Гидрометеорология и экология. – Алматы, 2020. – №3(98). – С. 111-124.

9. *Нысанбаева А.С., Әбдіразақ А.К.* Оценка биоклиматических условий города Тараз // Вестник КазГУ. Серия Экология. – Алматы, 2015. – №1 (40). – С.37-44.

10. *Синицын И.С., Георгица И.М., Иванова Т.Г.* Биоклиматическая характеристика территории в медико-географических целях // Ярославский педагогический вестник. – 2013. – №4. – С.279-283.

11. *Ткачук С.В.* Сравнительный анализ биоклиматических индексов для прогноза с использованием мезомасштабной модели // Ученые записки. – СПб: Изд. РГГМУ, 2011. – №20. – С. 109-118.

12. *Ткачук С.В.* Обзор индексов степени комфортности погодных условий и их связь с показателями смертности // Труды Гидрометцентра России. – 2012. – Вып. 347. – С. 223–245.

REFERENCES

1. *Andreev S.S.* Bioklimaticheskie pokazateli (indeksey) (Bioclimatic indicators (indices)). *Izvestiya vuzov, Ser. Estestvennye nauki, Rostov, 2007, No 4 (140), pp. 109-110.*

2. *Andreev S.S.* Integral'naya otsenka klimaticheskoi komfortnosti na primere territorii Yuzhnogo Federal'nogo okruga Rossii (Integral assessment of climatic comfort on the example of the territory of the Southern Federal District of Russia). *Sankt-Peterburg, 2011, 304 p.*

3. *Andreev S.S.* Chelovek i okruzhayushchaya

sreda (Man and the environment). *Rostov-na-Donu, 2005, 272 p.*

4. *Bazbekova A.S.* Otsenka dinamiki izmeneniya temperaturno-vlazhnostnykh i vetrovykh uslovii po osnovnym gorodam Kazakhstana: avtory. dis. *Almaty, 2022, 105 p.*

5. *Beku B., Nysanbaeva A.S.* Otsenka bioklimaticheskikh uslovii yuga i yugovostoka Kazakhstana (Assessment of bioclimatic conditions in the south and southeast of Kazakhstan). *Gidrometeorologiya i ekologiya, Almaty, 2013, No 1 (68), pp. 65-73.*

6. *Isaeva M.V.* Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' osnovnykh bioklimaticheskikh pokazatelei na territorii Privolzhskogo okruga (Spatial and temporal variability of the main bioclimatic indicators on the territory of the Volga region). *Okruzhayushchaya sreda i ustoichivoe razvitie regionov: novye metody i tekhnologii issledovaniy. Proc. Conf. Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii. Kazan', 2009, Vol.2, pp.116-120.*

7. *Isaev A.A.* Ekologicheskaya klimatologiya (Environmental climatology). *Moscow. Nauchnyi mir, 2001. 456 p.*

8. *Kauazov A.M., Nurlan A.N., Zholdasbek A.E., Bozbekova A.C.* Vozmozhnost' ispol'zovaniya dannykh modeli Noah, GSFC v ramkakh proekta FEWSNET, USGS, EROS dlya operativnogo gidrologicheskogo prognozirovaniya v Severnom Kazakhstane (The possibility of using Noah, GSFC model data within the FEWSNET, USGS, EROS project for operational hydrological forecasting in Northern Kazakhstan). *Gidrometeorologiya i ekologiya, Almaty, 2020, No 3(98), pp. 111-124.*

9. *Nysanbaeva A.S., Әбдіразақ А.К.* Otsenka bioklimaticheskikh uslovii goroda Taraz (Assessment of climatic conditions in Taraz city). *Vestnik KazGU, Ser. Ekologiya, Almaty, 2015, No 1 (40). pp. 37-44.*

10. *Sinitsyn I.S., Georgitsa I.M., Ivanova T.G.* Bioklimaticheskaya kharakteristika territorii v mediko-geograficheskikh tselyakh (Bioclimatic characteristics of the territory for medical and geographical purposes). *Yaroslavskii pedagogicheskii vestnik, 2013, No4, pp.279-283.*

11. *Tkachuk S.V.* Sravnitel'nyi analiz bioklimaticheskikh indeksov dlya prognoza s ispol'zovaniem mezomasshtabnoi modeli

(Comparative analysis of bioclimatic indices for prediction using a mesoscale model). *Uchenye zapiski, Sankt-Peterburg*, 2011, No 20, pp.109-118. 12. *Tkachuk S.V. Obzor indeksov stepeni komfortnosti pogodnykh uslovii i ikh svyaz'*

s pokazatelyami smertnosti (Review of indices of the degree of comfort of weather conditions and their relationship with mortality rates). Proc. Gidromettsentra Rossii, 2012, Issue 347, pp. 223–245.

АЛМАТЫ ЖӘНЕ НҰР-СҰЛТАН ҚАЛАЛАРЫНЫҢ АУА РАЙЫНЫҢ ҚОЛАЙ- ЛЫЛЫҒЫН БИОКЛИМАТТЫҚ БАҒАЛАУ

А.С. Базбекова¹, А.М. Кауазов² география ғылымдарының кандидаты

¹ «Қазгидромет» РМК, Алматы қ., Қазақстан

² *әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан*
e-mail: ayzhan.bazbekova@gmail.com, a_kauazov@mail.ru

Мақалада 2015 жылдан бастап 2020 жылға дейін жылы және суық мезгіл үшін Алматы және Нұр-Сұлтан метеорологиялық станциялары үшін ауа райының қаталдығы мен қолайлылығының сандық көрсеткіштері талданады. Жылдың жылы (сәуір-қыркүйек) және суық (қазан-наурыз) мезгілдері үшін эквивалентті тиімді температура индексі, Сайпадағы жел салқындату индексі және Бодманның қаттылық индексі есептелген. Климаттың жайлылығын сандық бағалау жүргізілді. Нұр-Сұлтан қаласында қыс 1,7 есе қатал, ал желді салқындату Алматы қаласына қарағанда 2,7 есе маңызды екені анықталды. Ауа-райының жайлылығын бағалау үшін эквивалентті тиімді температура индексі ең қолайлы екендігі көрсетілген.

Түйін сөздер: биоклимат, биометеорологиялық индекстер, баламалы-тиімді температура, жайлылық, жайсыздық

BIOCLIMATIC ASSESSMENT OF FAVORABLE WEATHER CONDITIONS IN ALMATY AND NUR-SULTAN

A. S. Bazbekova¹, A.M. Kauazov² PhD

¹ RSE «Kazhydromet», Almaty, Kazakhstan

² *Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*
E-mail: ayzhan.bazbekova@gmail.com, a_kauazov@mail.ru

The article analyzes quantitative indicators of severity and favorability of the weather for the meteorological stations of Almaty and Nur-Sultan from 2015 to 2020 for the warm (april-september) and cold (october-march) seasons of the year. The equivalent-effective temperature index, the Sayple wind cooling index and the Bodman severity index were obtained. During the quantitative assessment, it was found that winter in the city of Nur-Sultan is 1.7 times more severe, and wind cooling is 2.7 times more significant than in the city of Almaty. Weather indicators on the EET index characterize the conditions in Nur-Sultan as less favorable compared to Almaty. It is shown that the equivalent-effective temperature index is the most preferable for assessing the comfort of the weather.

Keywords: bioclimate, biometeorological indices, equivalent-effective temperature, comfort, discomfort

УДК551.582:551.524.36:551.577.36

ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСНЕЖНЫХ И МАЛОСНЕЖНЫХ ЗИМ НА ЮГЕ КАЗАХСТАНА

В.А. Воеводина¹, Г.К. Турулина¹, С.Е. Полякова¹

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

E-mail: lera19982006@gmail.com, polse2468@gmail.com

В статье рассмотрены климатические параметры (атмосферные осадки и температура воздуха), которые определяют многоснежные и малоснежные зимы за период с 1971 по 2020 год для декабря-февраля на юге Казахстана. Построены и проанализированы графики временного хода атмосферных осадков и температуры воздуха для исследуемой территории. Рассчитаны основные статистические характеристики атмосферных осадков. Составлен каталог крупных аномалий осадков (избыток, дефицит и норма) для территории Южного Казахстана. Представлен каталог многоснежных теплых и малоснежных холодных зим на основе использования комплексного критерия W для изучаемой территории, выявлено преобладание теплых многоснежных зимних месяцев. Выявлены циркуляционные условия формирования многоснежных и малоснежных зим на юге Казахстана с помощью анализа форм циркуляции Вангенгейма-Гирса, индексов Северо-Атлантического колебания и Блиновой. Многоснежные декабри и январь обусловлены преобладанием процессов формы $W+C$, а многоснежный февраль – меридиональной формы C . В малоснежные январь и февраль преобладает меридиональная форма циркуляции E , а в декабре – зональная форма W . Выявлены, особенности преобладающих меридиональных процессов – в многоснежные месяцы отмечается усиление западно-восточного переноса, а в малоснежные – ослабление.

Ключевые слова: атмосферные осадки, температура воздуха, аномалии климатических параметров, индексы и формы циркуляции, вариация, тенденция, дефицит и избыток осадков, многоснежные и малоснежные зимы

Поступила: 29.04.22

DOI: 10.54668/2789-6323-2022-104-1-31-39

ВВЕДЕНИЕ

Температура воздуха и атмосферные осадки являются одним из основных показателей изменения климата. В последние годы все чаще встает вопрос о потеплении климата, поэтому изучение изменения температуры воздуха и количества осадков на территории Казахстана является целесообразным, как для республики, так и в глобальном масштабе (Литвинова О.С., 2017), (Филандышева Л.Б. и др., 2013). В среднем по Казахстану скорость повышения среднегодовой температуры воздуха составляет 0,28 °C/10 лет, годовые суммы осадков незначительно уменьшились – на 0,2 мм/10 лет (Седьмое национальное Сообщение РК, 2017).

Изучение зимнего режима осадков является одной из наиболее востребованных задач географической науки (Долгих С.А. и др., 2009; Пищальникова Е.В., 2015). Атмосферные осадки напрямую влияют на хозяйственную деятельность человека (Тарасова Л.Л., 2016) и на условия его жизни. В связи с глобальным потеплением климата изучение изменения количества осадков является актуальной темой исследования как во всем мире, так и в Казахстане (Долгих С.А. и др., 2009; Сальников В.Г. и др., 2018).

Целью данной работы является выявление изменений зимнего количества осадков за период с 1971 по 2020 год на юге и юго-востоке Казахстана, а также изучение влияния температуры, форм и индексов циркуляции на режим осадков.

ДАННЫЕ И МЕТОДИКА

В статье рассмотрен временной ход атмосферных осадков и температуры воздуха за период 1971...2020 гг. для территории Южного Казахстана. Для исследования использованы среднемесячные значения температуры воздуха и месячное количество

осадков за зимние месяцы на метеорологических станциях Алматы, Казалинск, Кызылорда, Тараз, Туркестан, Уланбел, Шымкент.

Для выявления месяцев с дефицитом и избытком осадков в качестве исходных данных использованы месячное количество осадков. Расчёт аномалии осадков проводился по следующей формуле:

$$\Delta R = \frac{R_i}{R_{cp}} \times 100\% \quad (1)$$

где, ΔR – аномалия осадков, мм; R_i – количество осадков за i -ый год, мм; R_{cp} – среднее значение количества осадков с 1971-2020 гг., мм.

Если $\Delta R < 80\%$ отмечается дефицит количества осадков, $80\% \leq \Delta R$

$\leq 120\%$ норма количества осадков, $\Delta R > 120\%$ - избыток количества осадков.

Для количественной оценки суровости зим Поповым А.В. предложен параметр W (Попов А.В., 1975; Тарасова Л.Л., 2016):

$$W = \frac{\Delta T}{\sigma_T} + \frac{\Delta R}{\sigma_R} \quad (2)$$

где, W – комплексный критерий, описывающий особенности зимы; T – температура воздуха; R – количество осадков; σ – среднее квадратическое отклонение.

Анализ некоторых вариантов, которые можно учесть с помощью формулы (1): а) если $\Delta T > 0$ и $\Delta R > 0$, то $W \gg 0$; б) если $\Delta T < 0$ и $\Delta R < 0$, то $W \ll 0$; в) если $\Delta T > 0$ и $\Delta R < 0$, то величина и знак W будут определяться соотношением между $\Delta T/$

$\sigma_T > 0$ и $\Delta R/\sigma_R < 0$. Аналогично $\Delta T < 0$ и $\Delta R > 0$.

Таким образом, значение $W \gg 0$ характеризует теплую и многоснежную зиму; при $W \ll 0$ зима холодная и малоснежная.

Для оценки интенсивности западно-восточного переноса Е.Н. Блинова предложила формулу, которая вычисляется для северного полушария в целом и представляет собой угловую скорость вращения атмосферы относительно поверхности земли:

$$\alpha = \frac{U}{a \cdot \cos \varphi} \quad (3)$$

где, α – угловая скорость вращения атмосферы по отношению к поверхности земли; U – средняя скорость западного ветра; $a \cdot \cos \varphi$ – расстояние до оси вращения. Высокие значения α соответствуют зональной циркуляции, а низкие – меридиональной.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С целью детального описания климатических особенностей зим Южного Казахстана региона в период с 1971 по 2020 годы построены соответствующие графики временного хода температуры воздуха и количества осадков. В качестве иллюстрации представлена динамика

климатических параметров для января на станциях Южного Казахстана (рисунок 1). Анализ рисунка 1 показал, что на исследуемой территории наблюдается тенденция повышения температуры воздуха со скоростью 0,5-0,7 °C/10 лет и тенденция увеличения количества осадков со скоростью 0,9-1,7 мм/10 лет. Результаты исследования согласуются с динамикой изменения температуры воздуха и осадков, представленной в Седьмом национальном Сообщении (Седьмое национальное Сообщение РК, 2017).

Основные черты атмосферной циркуляции над Казахстаном складываются под влиянием характеристик её над всем северным полушарием и, главным образом,

над территорией первого синоптического района. Крупные аномалии в режиме атмосферной циркуляции Евразии обуславливают определённый характер её над Казахстаном.

Аномалия осадков есть показатель отклонения количества осадков от средней многолетней, и по её знаку можно в первом приближении определить тенденцию изменения

осадков. Для этого достаточно сравнить аномалии с положительными и отрицательными знаками в отдельные месяцы и за зиму в целом.

Расчёты крупных аномалий осадков выполнены для всех исследуемых станций Южного Казахстана за период с 1971 по 2020 гг.

Согласно полученным результатам построена таблица 1.

Таблица 1

Число случаев с крупными аномалиями осадков за период с 1971 по 2015 гг.

Метеостанция	Дефицит			Норма			Избыток		
	Декабрь	Январь	Февраль	Декабрь	Январь	Февраль	Декабрь	Январь	Февраль
Алматы	17	17	12	12	14	19	15	13	13
Казаньск	20	19	22	9	11	10	15	14	12
Кызылорда	21	17	21	7	14	7	16	13	16
Тараз	16	22	19	14	9	15	14	13	10
Туркестан	15	15	16	16	16	16	13	13	12
Улаубеи	20	16	22	13	15	10	11	13	12
Шымкент	18	16	21	13	15	10	13	13	13
Сумма	127	122	133	84	94	87	97	92	88

Из таблицы 1 следует, что в период с 1971 по 2020 гг. отмечается преобладание дефицита осадков на всех станциях.

В работе составлен каталог месяцев и лет с избытком, дефицитом и нормой осадков для большей части территории (таблица 2).

Таблица 2

Каталог месяцев и лет с избытком, нормой и дефицитом осадков (для 75% территории)

Месяцы	Годы	Итого	Сумма
Дефицит			
декабрь	1973, 1974, 1980, 1981, 1982, 1984, 1995, 1996, 1999, 2006, 2010, 2014	12	28
январь	1976, 1984, 1996, 2007, 2008, 2011, 2012	7	
февраль	1972, 1974, 1984, 1986, 1991, 1995, 2000, 2001, 2012	9	
Норма			
декабрь		0	6
январь	1974, 1977, 1980, 1981	4	
февраль	1993, 1994	2	
Избыток			
декабрь	1977, 1978, 1986, 1991, 1994, 2002, 2004, 2013	8	17
январь	1972, 1988, 1991, 2005, 2010, 2014	6	
февраль	1975, 1979, 2003	3	

На большей части территории во все зимние месяцы наблюдается преобладание дефицита осадков. В декабре отмечается 8 случаев с избытком, 12 случаев с дефицитом и не наблюдаются случаи с нормой. В январе наблюдается 6 случаев с избытком, 7 случаев с дефицитом и 4 случая с нормой осадков. В феврале отмечается 3 случая с избытком, 9 случаев с дефицитом и 2 случая с

нормой. Сумма случаев с избытком осадков составляет 17, дефицитом – 28 и с нормой 6.

На основе (2) представлен каталог многоснежных и малоснежных месяцев с использованием индекса W (табл. 3).

На большей части территории во все зимние месяцы наблюдается преобладание многоснежных и тёплых зим.

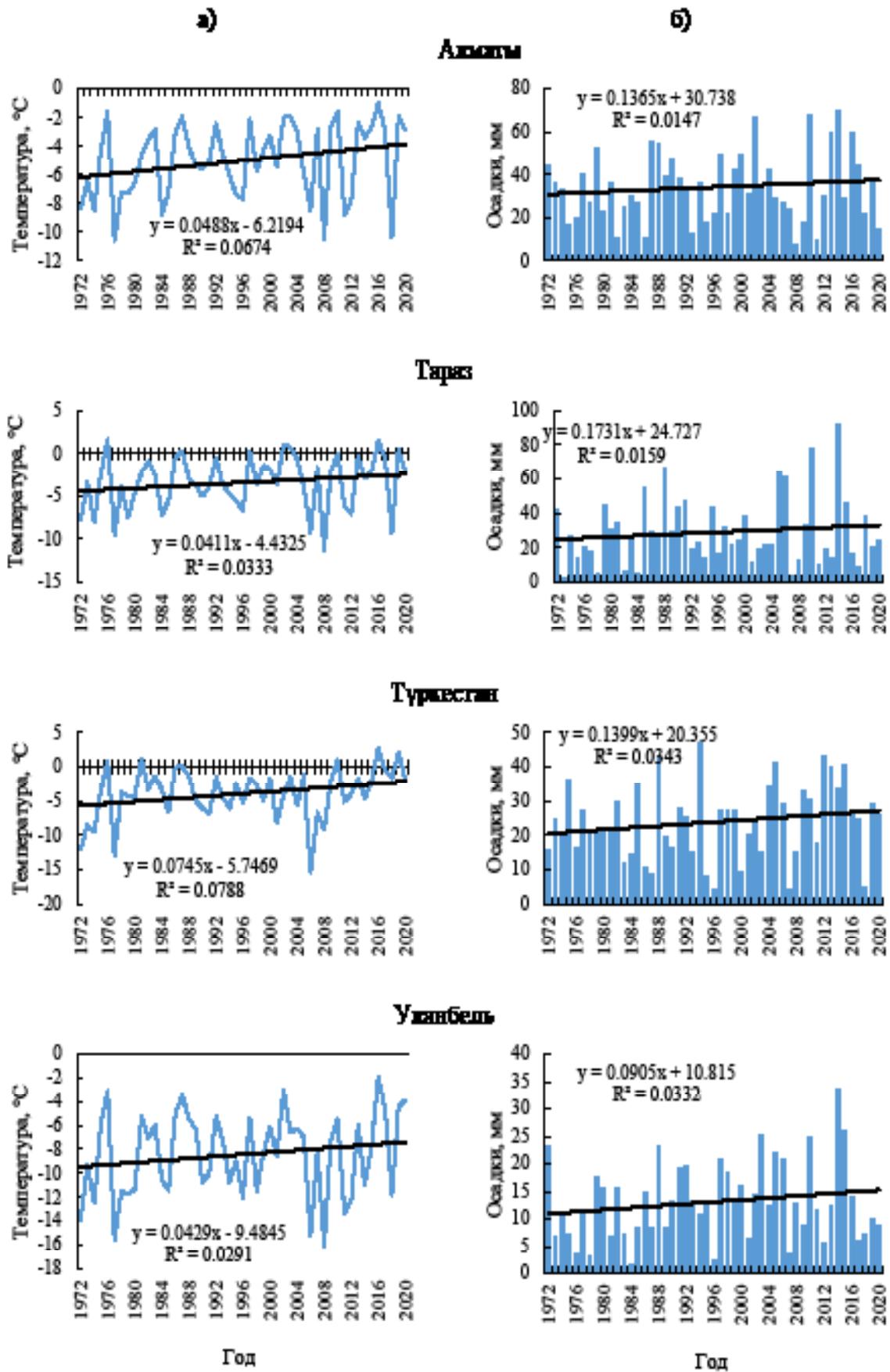


Рис.1. Динамика температуры воздуха (а) и осадков (б) на станциях Южного Казахстана

Каталог многоснежных и малоснежных месяцев по комплексному критерию W

Месяцы	Годы	Итого	Сумма
	Многоснежные		
декабрь январь февраль	1971, 1977, 1978, 1979, 1980, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1991, 1992, 1994, 2000, 2003, 2004, 2005, 2009, 2013	19 20 17	56
	1976, 1981, 1983, 1986, 1987, 1988, 1991, 1992, 1997, 1999, 2000, 2002, 2003, 2004, 2005, 2009, 2010, 2013, 2014, 2015		
	1975, 1979, 1981, 1983, 1985, 1987, 1992, 1999, 2002, 2003, 2004, 2006, 2007, 2009, 2011, 2013, 2015		
Малоснежные			
декабрь январь февраль	1973, 1974, 1976, 1981, 1982, 1983, 1984, 1993, 1995, 2001, 2002, 2006, 2010, 2011, 2012, 2014	16 15 17	48
	1972, 1973, 1974, 1977, 1978, 1979, 1980, 1984, 1996, 2001, 2006, 2007, 2008, 2011, 2012		
	1972, 1974, 1977, 1978, 1980, 1982, 1984, 1986, 1988, 1989, 1991, 1994, 1997, 2005, 2008, 2012, 2014		

В декабре отмечается 19 случаев многоснежных и 16 случаев малоснежных зим. В январе наблюдается 20 случаев многоснежных и 15 случаев малоснежных зим. В феврале отмечается 17 случаев многоснежных и 17 случаев малоснежных зим. Сумма случаев с многоснежными зимами составляет 56 и 48 случаев малоснежных зим.

В работе рассматриваются особенности атмосферной циркуляции, которые определяют многоснежные и

малоснежные зимние месяцы. Для характеристики атмосферной циркуляции используется классификация Вангенгейма-Гирса.

Анализ проведен для всех исследуемых станций Южного Казахстана за период с 1971 по 2020 гг. В качестве исходных данных были использованы архивные данные числа дней и значение аномалий для каждой формы циркуляции.

Согласно полученным результатам, была построена таблица 4.

Таблица 4

Число дней и значение аномалий с формами циркуляций W, E и C за период с 1971 по 2020 гг.

Многоснежные зимы						
	W		E		C	
	Число дней	Аномалия	Число дней	Аномалия	Число дней	Аномалия
Декабрь	10	3,3	5	-7,4	3	3,9
Январь	9	1,2	6	-1,7	4	2,3
Февраль	4	-0,8	9	-2,2	4	2,9
Малоснежные зимы						
	W		E		C	
	Число дней	Аномалия	Число дней	Аномалия	Число дней	Аномалия
Декабрь	6	1,6	9	-1,6	1	-0,2
Январь	3	-4,3	10	3,5	2	0,9
Февраль	3	-2,5	13	3,8	1	-1

Преобладание той или иной формы циркуляции определяется положительным знаком аномалии. Для многоснежных декабря и января характерна форма циркуляции W+C, а для февраля форма циркуляции С. При форме С юг Казахстана находится в тыловой части гребня и большое количество осадков объясняется выходом Южных циклонов. Для малоснежных января и февраля выделяется форма циркуляции E, а для декабря форма циркуляции W. При форме E юг Казахстана находится в тыловой части ложбины, происходит заток холодного воздуха с малым количеством влаги, что объясняет дефицит осадков. Широтная форма циркуляции наблюдается и при многоснежных, и при малоснежных зимах. Это можно объяснить тем, что при малоснежных зимах юг Казахстана находится в зоне высокого давления, а при опускании этой зоны к югу проявляется циклоническая деятельность, то есть большое количество осадков.

Одной из важнейших характеристик крупномасштабной циркуляции атмосферы в северном полушарии является Северо-Атлантическое колебание. Оно влияет на характер синоптических процессов и формирование погоды над внеэкватори-

альными широтами северного полушария.

Это явление может быть описано количественными характеристиками взаимодействия североатлантических центров действия атмосферы (Исландской депрессии и Азорского максимума).

Высокие значения САК связаны с отклонениями больше нормы интенсивности Исландского минимума и Азорского максимума, что способствует усилению западно-восточного переноса в нижней части тропосферы и приводит к адвекции тепла с Атлантики на континент.

Отмечается также, что САК оказывает заметное влияние на формирование аномалий температуры поверхности Атлантического океана. Так, например, когда Исландский минимум и Азорский максимум хорошо развиты и смещены к северу, то градиенты давления между ними увеличены. Это приводит к усилению выноса холодного сухого воздуха с американского континента и увеличению оттока тепла из океана в атмосферу, что способствует более интенсивному перемешиванию в верхних слоях океана. В результате такого взаимодействия зимой океан охлаждается сильнее.

Таблица 5

Значение аномалий Северо-Атлантического колебания за период с 1971 по 2020 гг.

	Декабрь	Январь	Февраль
Многоснежные	0,027	0,11	-0,29
Малоснежные	-0,32	-0,59	-0,15

Для многоснежного января характерны высокие значения САК, что означает усиление западно-восточного переноса, в декабре значение индекса близко к среднемуголетним значениям, а в феврале отмечается низкие значения индекса. Для малоснежных зим характерны низкие значения САК. Это связано с усилением меридиональной циркуляции.

Е.Н.Блинова решила задачу о движении волновых возмущений в термоба-

рическом поле бароклинной атмосферы на вращающейся сферической земле. Индекс циркуляции Блиновой (α) представляет собой отношение линейной скорости движения воздуха вдоль круга широты к расстоянию до оси вращения Земли. В таблице 6 представления значения аномалий индекса циркуляции Блиновой за период с 1971 по 2020 гг. для многоснежных и малоснежных зим.

Таблица 6

Значение аномалий индекса Е.Н. Блиновой за период с 1971 по 2020 гг.

	Декабрь	Январь	Февраль
Многоснежные	0,39	0,28	0,542
Малоснежные	-0,64	-0,86	-1,4

Анализ таблицы показывает, что для многоснежных зим отмечается усиление западно-восточного переноса, а для малоснежных – ослабление, то есть преобладание меридиональных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье изучены климатические характеристики зимних осадков и исследованы циркуляционные особенности их возникновения на юге Казахстана. Проведён анализ тенденций изменения осадков и температуры воздуха зимой по территории Южного Казахстана в период с 1971 по 2020 гг. Исследован временной ход месячного количества осадков по рассматриваемой территории в декабре-феврале за период с 1971 по 2020 гг. Для станций Алматы, Тараз, Туркестан и Уланбелъ проведён анализ временного хода осадков и рассчитана линия тренда, параметры которой статистически незначимы. Анализ показал, что на большей части исследуемой территории отмечается тенденция увеличения осадков в зимние месяцы, за исключением отдельных станций. Выявлено, что дефицит осадков преобладает на большей части территории Южного Казахстана во все зимние месяцы.

Анализ временного хода средней месячной температуры воздуха показал, что для большей части исследуемой территории характерно повышение температуры воздуха.

Изучены циркуляционные особенности формирования многоснежных и малоснежных зимних месяцев. Для оценки многоснежных и малоснежных зим рассчитан индекс W. Исследовано влияние Северо-Атлантического колебания и проанализирован индекс циркуляции Е.Н. Блиновой.

В результате проведённого исследования получены следующие выводы:

1. Выявлено преобладание теплых многоснежных зимних месяцев.

2. Многоснежные зимние месяцы (декабрь и январь) обусловлены преобладанием процессов формы W+C, а многоснежный февраль – меридиональной формы С. В малоснежные зимние месяцы (январь и февраль) преобладает меридиональная форма цирку-

ляции Е, а в декабре – зональная форма W.

3. Для многоснежного января характерны высокие значения САК, что означает усиление западно-восточного переноса, в декабре значение индекса близки к среднемноголетним значениям, а в феврале отмечается низкие значения индекса. Для малоснежных зим характерны низкие значения САК.

4. Выявлены, особенности преобладающих меридиональных процессов – в многоснежные месяцы отмечается усиление западно-восточного переноса, а в малоснежные – ослабление.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгих С.А., Турулина Г.К., Сальников В.Г., Полякова С.Е. Особенности пространственно-временного распределения осадков в Казахстане. // Вестник КазНУ им. аль-Фараби: - 2009. – №2. – С. 70-71.
2. Долгих С.А., Турулина Г. К., Сальников В.Г., Полякова С.Е. Современные тенденции изменения климата. // Материалы международной научной конференции, посвящённой 75-летию КазНУ им. аль-Фараби, 2009. – Том 2. –216 с.
3. Ленская О.Ю., Быков Д.В. Анализ изменчивости месячных сумм осадков с использованием индексов атмосферной циркуляции. // Вестник Челябинского государственного университета-2008.-№2.-С.53-61.
4. Литвинова О.С. Климатическая структура зимнего сезона на юго-востоке Западной Сибири // Электронный научно-методический журнал Омского государственного аграрного университета – 2017. - №4 (11) октябрь-декабрь.
5. Пищальникова Е.В. Условия формирования обильных снегопадов на территории Пермского края. // Диссер. канд. геогр. наук. – Пермь, 2015. – 177 с.
6. Попов А.В. О возможности прогноза теплых многоснежных и холодных малоснежных зим // Труды Гидрометцентра СССР. – 1975. - Вып. 156. - С. 77-84.
7. Сальников В.Г., Турулина Г.К., Таланов Е.А., Полякова С.Е. Анализ изменения климата в Казахстане за последние 75 лет. Глава в монографии: Новые методы и

результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. Монография в 5 томах. Том I. Ландшафты в XXI веке: анализ состояния, основные процессы и концепции исследований / под редакцией академика РАН В.Г. Сычева, Л. Мюллера. – М.: ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 2018. – С. 247-252

8. Сальников В.Г., Турулина Г.К., Полякова С.Е. Атмосферная циркуляция и особенности распределения аномалий температуры и осадков в Казахстане // Вестник КазНУ. Серия география. – 2010. - №2(31). – С. 62-75.

9. Седьмое национальное Сообщение и третий двухгодичный Доклад Республики Казахстан Рамочной конвенции ООН об изменении климат. – Астана, 2017. – 304 с.

10. Тарасова Л.Л. Оценка агрометеорологических показателей условий зимовки озимых зерновых культур в центральных черноземных областях в условиях климатических изменений // Труды Гидрометцентра России. - 2016. - Вып. 360. -С. 26-44.

11. Турумова Г.Е. Исследование многоснежных и малоснежных зим в Костанайской области // Гидрометеорология и экология. – 2018. - №2. – С. 25-32.

12. Филандышева Л.Б., Сорока А.С. Изучение ритмов зимнего сезона на юго-западе Западно-Сибирской равнины в свете глобальных изменений климата. // Вестник ТГУ: - 2013. - №2. – С. 710-713.

REFERENCES

1. Dolgikh S.A., Turulina G.K., Salnikov V.G., Polyakova S.E. Features of spatio-temporal distribution of precipitation in Kazakhstan. // Bulletin of KazNU. al-Farabi: - 2009. - No. 2. - pp. 70-71.
2. Dolgikh S.A., Turulina G.K., Salnikov V.G., Polyakova S.E. Current trends in climate change. // Proceedings of the international scientific conference dedicated to the 75th anniversary of KazNU. al-Farabi, 2009. - Volume 2. -216 p.
3. Lenskaya O.Yu., Bykov D.V. Analysis of monthly precipitation variability using atmospheric circulation indices. // Bulletin of the Chelyabinsk State University -2008. –No 2. - pp.53-61.
4. Litvinova O.S. Climatic structure of the winter season in the south-east of Western Siberia // Electronic scientific and methodological journal of the Omsk State Agrarian University - 2017. - No. 4 (11) October-December. – pp. 1-13.
5. Pishchalnikova E.V. Conditions for the formation of heavy snowfalls on the territory of the Perm Territory. // Dissertation. cand. geogr. Sciences. - Perm, 2015. - 177 p.
6. Popov A.V. On the possibility of forecasting warm snowy and cold winters with little snow // Proceedings of the Hydrometeorological Center of the USSR. - 1975. - Issue. 156. - pp. 77-84.
7. Salnikov V.G., Turulina G.K., Talanov E.A., Polyakova S.E. Analysis of climate change in Kazakhstan over the past 75 years. Chapter in the monograph: New methods and results of landscape research in Europe, Central Asia and Siberia. Monograph in 5 volumes. Volume I. Landscapes in the 21st century: state analysis, main processes and research concepts / edited by academician of the Russian Academy of Sciences V.G. Sychev, L. Muller. - M.: FGBNU «VNIИ agrochemistry», 2018. - pp. 247-252.
8. Salnikov V.G., Turulina G.K., Polyakova S.E. Atmospheric circulation and features of the distribution of temperature and precipitation anomalies in Kazakhstan // Bulletin of KazNU. Geography series. -2010. -No.2(31). -pp.62-75.
9. The Seventh National Communication and the Third Biennial Report of the Republic of Kazakhstan to the UN Framework Convention on Climate Change. - Astana, 2017. - 304 p.
10. Tarasova L.L. Evaluation of agrometeorological indicators of wintering conditions for winter crops in the central chernozem regions under climate change // Proceedings of the Hydrometeorological Center of Russia. - 2016. - Issue. 360.-pp. 26-44.
11. Turumova G.E. Study of snowy and little snowy winters in the Kostanay region // Hydrometeorology and ecology. - 2018. - No. 2. - pp. 25-32.
12. Filandyшева L.B., Soroka A.S. Study of the rhythms of the winter season in the southwest of the West Siberian Plain in the light of global climate change. // Bulletin of Tomsk State University: - 2013. - No. 2. - pp. 710-713.

**КЛИМАТТЫҢ ЖЫЛЫНУЫ ЖАҒДАЙЫНДА ҚАЗАҚСТАННЫҢ СОЛТҮСТІГІ
МЕН ОҢТҮСТІГІНДЕ ҚЫСТА ЖАУЫН-ШАШЫННЫҢ ҚАЛЫПТАСУЫНЫҢ
ЦИРКУЛЯЦИЯЛЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ**

В.А. Воеводина¹, Г.К. Турулина¹, С.Е. Полякова¹

¹ ал-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

E-mail: lera19982006@gmail.com, polse2468@gmail.com

Мақалада Қазақстанның оңтүстігіндегі 1971 жылдан 2020 жылға дейінгі кезеңдегі желтоқсан-ақпан айларындағы қарлы және қарлы қыстарды анықтайтын климаттық параметрлер (жауын-шашын және ауа температурасы) қарастырылады. Зерттелетін аумақ үшін атмосфералық жауын-шашынның және ауа температурасының уақытша ағымының графигі құрылып, талданған. Атмосфералық жауын-шашынның негізгі статистикалық сипаттамалары есептеледі. Оңтүстік Қазақстан аумағы бойынша жауын-шашынның негізгі ауытқуларының (артық, тапшылық және норма) каталогы жасалды. Зерттелетін аумақ үшін W кешенді критерийін пайдалану негізінде қарлы жылы және аз қарлы суық қыстардың каталогы ұсынылған. Қазақстанның оңтүстігінде қарлы және қарлы қыстардың пайда болу циркуляциялық жағдайлары Вангенхайм-Гирс айналым формаларын, Солтүстік Атлантикалық тербеліс және Блиновая индекстерін талдау арқылы анықталады.

Түйін сөздер: атмосфералық жауын-шашын, ауа температурасы, климаттық параметрлердің ауытқулары, циркуляция көрсеткіштері мен формалары, вариация, тенденция, каталог, қар көп және аз қар жауатын қыс

**CIRCULATION FEATURES OF PRECIPITATION FORMATION IN WINTER
IN THE NORTH AND SOUTH OF KAZAKHSTAN IN THE CONDITIONS OF
CLIMATE WARMING**

В.А. Воеводина¹, Г.К. Турулина¹, С.Е. Полякова¹

¹ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: lera19982006@gmail.com, polse2468@gmail.com

The article considers the climatic parameters (precipitation and air temperature) that determine snowy and little snowy winters for the period from December to February of 1971 to 2020 years in the south of Kazakhstan. Graphs of the temporal course of atmospheric precipitation and air temperature for the study area were constructed and analyzed. The main statistical characteristics of atmospheric precipitation are calculated. A catalog of major precipitation anomalies (excess, deficit and norm) for the territory of South Kazakhstan has been compiled. A catalog of snowy warm and little snowy cold winters is presented based on the use of the complex criterion W for the study area. The circulation conditions for the formation of snowy and little snowy winters in the south of Kazakhstan are revealed by analyzing the Wangenheim-Girs circulation forms, the North Atlantic Oscillation and Blinova indices.

Keywords: atmospheric precipitation, air temperature, anomalies of climatic parameters, indices and forms of circulation, variation, trend, catalog, snowy and little snowy winters

УДК 556.5.0.48:519.22

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ РЕСУРСОВ РЕЧНОГО СТОКА ТОБЫЛ -ТОРГАЙСКОГО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАСЕЙНА

Б.Б. Айтымова¹, А.С. Пшенчинова¹, Н.Н. Абаев¹

¹РГП «Казгидромет», Нур-Султан, Казахстан

E-mail: aitymova_b@meteo.kz, pshenchinova_a@meteo.kz, abayev_n@meteo.kz

В данной статье приведены результаты оценки ресурсов речного стока Тобыл - Торгайского водохозяйственного бассейна (ВХБ).

Цель работы – оценка динамики изменения ежегодных ресурсов речного стока рассматриваемого ВХБ РК. В расчетах использованы среднемесячные и среднегодовые расходы воды основных рек. Методом аналогии были определены реки – аналоги для восстановления наблюденного и естественного стока, а также многолетние статистические характеристики и его значения различной обеспеченности. Методом равнообеспеченных значений получены уравнения для оценки ежегодных водных ресурсов местного стока и водных ресурсов, поступающих из РФ.

В результате проделанной работы по предворительному расчету суммарные ресурсы поверхностных вод по Тобыл – Торгайскому ВХБ, формирующиеся в Казахстане и поступающие с территории РФ, за многолетний период с 1931 до 2019 года в среднем составляют 1,67 км³, из них: ресурсы, формирующиеся в пределах Казахстана - 1,33 км³, приток – 0,34 км³.

Сток формирующийся на территории бассейна, за нарушенный период относительно условно – естественного периода сократился на 8 %, сток поступающий из РФ, сократился на 12 %, а общие водные ресурсы на 9 %.

Ключевые слова: Тобыл – Торгайский ВХБ, восстановление наблюденного стока, ресурсы речного стока, методы оценки, статистические характеристики, зависимости равнообеспеченных значений.

Поступила: 23.11.21

DOI: 10.54668/2789-6323-2022-104-1-40-49

ВВЕДЕНИЕ

Оценка ежегодных водных ресурсов водохозяйственного бассейна (ВХБ) является одной из важнейших задач реализации «Концепции экологической безопасности Республики Казахстан» (Об утверждении Государственной программы управления водными ресурсами Республики Казахстан на 2020 – 2030 годы, 2020). Это связано с тем, что водные ресурсы республики не велики и распределяются крайне неравномерно в пределах ее территории, особенно в отдельные годы.

Более того, сведения о водных ресурсах влияют на экономику и общество, поскольку различные сектора – сельское хозяйство, энергетика и гидроэнергетика, судоходство, здравоохранение, равно как и окружающая среда, – напрямую зависят от водных ресурсов (Руководство по водным ресурсам и адаптации к изменению климата, 2009). Поэтому для их эффективного использования необходимо располагать сведениями об их величине в целом по республике, а также в пределах отдельных ее регионов и речных бассейнов. Такая оценка особенно необходима для бассейнов, в которых осуществляется распределение водных

ресурсов между отдельными государствами. Одним из них является бассейн реки Тобыл.

Водные ресурсы РК в разном отрезке времени в периоды антропогенного воздействия оценивались различными методами.

В монографии «Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза» ресурсы поверхностных вод даны в виде средних многолетних величин по союзным республикам (областям, национальным округам) и по стране в целом (Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза, 1967). В ней приводятся данные о водных ресурсах для маловодных лет (с обеспеченностью стока 75, 90 и 95 %) по отдельным крупным рекам и притокам, расположенным в различных частях территории СССР на 1960 годы. Материалы, опубликованные в 60-тые годы прошлого века, устарели и нуждаются в уточнении с учетом наблюдаемых данных последних десятилетий, отражающих происходящие климатические изменения и растущие антропогенные нагрузки на водосборы и водотоки. Вопрос приобретает особо важное значение в связи с принадлежностью частей района двум независимым государствам (Давлетгалиев С.К., 2011).

Используя данные взятые из вышеуказанной монографии в 2005...2006 годы в РГП «Казгидромет» был составлен отчет НИР «Разработка методики составления обобщенных изданий Государственного водного кадастра для Тобыл - Торгайского водохозяйственного бассейна». По результатам данной методики ресурсы речного стока Тобыл - Торгайского ВХБ оценивались в 2,11 км³, из которых местные ресурсы – 1,78 км³, приток поступающий из РФ – 0,34 км³ (Голубцов В.В. и др., 2008).

По оценкам АО «Института Географии и водной безопасности» (ИГ) суммарные ресурсы поверхностных вод Тобыл - Торгайского ВХБ за многолетний период 1930...2007 гг., формирующиеся в Казахстане и поступающие с территории РФ оценены в 1,71 км³, из них местные ресурсы – 1,29 км³, сток, формирующийся за пределами Казахстана – 0,41 км³ (Достай Ж.Д., 2012).

По оценкам некоторых авторов суммарные ресурсы поверхностных вод

Тобыл - Торгайского ВХБ за многолетний период, с начала наблюдений до 2015 года в среднем составляют 2,15 км³, из них: местные ресурсы - 1,71 км³, приток – 0,44 км³ (Алимкулов С.К. и др., 2018).

Казахстан является государством с наименьшей степенью обеспеченности водными ресурсами в Центральной Азии. Основные крупные реки Казахстана – трансграничные. Местные ресурсы речных вод ограничены. Это создаёт значительные трудности при водохозяйственной деятельности, которая не всегда рациональна.

В последнее время в Казахстане все больше внимания уделяется вопросам улучшения управления водными ресурсами и согласования водохозяйственной политики с соседними странами. В связи с этим актуальной стала оперативная оценка общих, местных и транзитных ресурсов речных вод.

Оценка состояния водной инфраструктуры, в том числе поверхностных водных ресурсов, требует обновления, актуализации, с использованием современных методов, с учетом мирового опыта (Давлетгалиев С.К., 2021). В результате возникла необходимость обновления ранее разработанной методики для оценки ежегодных ресурсов стока отдельных рек и ресурсов речного стока рассматриваемого ВХБ Республики Казахстан.

В работе представлены результаты исследований по определению изменения стока р. Тобыл от государственной границы с Российской Федерацией (РФ) до впадения в реку Ертис, как в естественных условиях, так и в условиях водопотребления.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Тобыл - Торгайский ВХБ включает в себя бассейны рек Тобыл, Торгай и Иргиз. Площадь бассейна составляет 214 км², его протяженность с севера на юг равна 600 км, а с востока на запад – 300 км. Из всех ВХБ РК он один из наименее обеспеченных водными ресурсами, которые составляют 2,90 км³. На долю подземных вод приходится 15% общих ресурсов. Поверхностные водные ресурсы распределяются следующим образом: 33% в озерах, 17% в водохранилищах

и 35% непосредственно в руслах рек. Тобыл река протекающая в Казахстане и России, левый и самый многоводный приток р. Ертис и главная водная артерия Тобыл - Торгайского ВХБ. Тобыл образуется при слиянии реки Бозбие с рекой Кокпектысай на границе восточных отрогов Южного Урала. Длина реки – 1591 км, площадь водосборного бассейна – 395 000 км² (Физико-географическое районирование ССР, 1968).

В бассейне р. Тобыл насчитывается около 142 водотоков длиной более 10 км, причем более половины из них представляют временные водотоки протяженностью до 20 км.

В период с 1959 по 1971 гг. на р. Тобыл создан каскад водохранилищ, значительно изменивших режим реки. В бассейне реки имеются в основном небольшие искусственные водоемы (водохранилища, пруды, прудо-копани, копани). Сравнительно крупными водохранилищами являются только Карато-марское (1966 г.) и Верхне-Тобольское (1971 г.) построенные на р. Тобыл (Водные ресурсы Казахстана в новом тысячелетии, 2004).

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На территории Тобыл – Торгайского бассейна первые систематические гидрологические работы начаты в 1931 году на р. Тобол у г.Костанай. Первый пост в бассейне р.Торгай был открыт в 1928 году на р. Иргиз у села Иргиз.

В связи с отсутствием на большинстве рек достаточно длинных рядов наблюдений позволяющих рассчитать основные гидрологические характеристики рек, возникает необходимость восстановления пропущенных среднемесячных и среднегодовых расходов воды в водотоках и основных реках. Для приведения и восстановления рядов к многолетнему периоду используются данные наблюдений рек-аналогов.

В данном ВХБ в качестве основных опорных пунктов выбраны следующие репрезентативные гидрологические посты (ГП): р. Тобыл – г. Костанай, р. Тобыл – с. Гришенка, р. Аят – с. Варваринка, р. Тогузак – с. Тогузак, р. Торгай – пески Тусум, р. Кара – Торгай – с. Урпек, р. Иргиз – с. Шенбертал.

Одной из основных задач определения среднегодовых значений стока рек является установление расчетных параметров: среднего многолетнего стока, коэффициента вариации и коэффициента асимметрии. При выборе расчетного периода для определения указанных параметров использовались разностные интегральные кривые в пунктах с наиболее продолжительными наблюдениями.

Для выявления циклов колебания годового стока строились разностные интегральные кривые. Эти кривые удобны для выбора репрезентативного расчетного периода из длинного ряда наблюдений. Также они удобны для оценки положения имеющегося сравнительно короткого ряда наблюдений одной реки, относительно циклов изменения водности в течение длительного многолетнего периода другой реки.

В качестве основы для оценки ежегодных водных ресурсов рассматриваемого бассейна и отдельных его частей использованы восстановленные обобщенные статистические характеристики естественного стока, соответственно использованы зависимости равнообеспеченных значений (5%, 10%, 25%, 50%, 75%, 90%, 95%) для Тобыл – Торгайского ВХБ от суммарного стока его основных рек.

В качестве основных рек, которые описывают водность для оценки местного стока Тобыл - Торгайского ВХБ использовались сумма 4-х рек: р. Тобыл – с. Гришенка, р. Аят – с. Варваринка, р. Кара – Торгай – с. Урпек и р. Иргиз - с. Шенбертал.

Для оценки ежегодных водных ресурсов поступающих из других регионов в Тобыл - Торгайский ВХБ, использованы расчеты общего притока из России в бассейн, отдельных значений общего притока по р. Тобыл и притока по р. Тогузак.

Основная доля стока бассейна р. Тобыл формируется на территории РФ. Объем стока, поступающего из Оренбургской области, можно учитывать в створе р. Тобыл - с. Аккарга. Объем стока с территории Челябинской области учитывается в створе р. Желкуар – п. Чайковского, р. Аят – с. Варваринка, а также р. Тогузак – ст. Тогузак.

Ресурсы речного стока, поступающие из России в пределы Тобыл -

Торгайского водохозяйственного бассейна, определяются по выражению:

$$W_{\Pi} = W_{ТБ} + W_{ТГ} \quad (1)$$

где W_{Π} – ресурсы речного стока, поступающие из России в Тобыл - Торгайский водохозяйственный бассейн, млн. м³/год; $W_{ТБ}$ – ресурсы речного стока, поступающие из России по р. Тобыл (реки Тобыл Желкуар, Аят), млн. м³/год; $W_{ТГ}$ – ресурсы речного стока, поступающие из России, по р. Тогузак (приток р. Уй), млн м³/год

Информационной основой для исследования по теме служат материалы наблюдений РГП «Казгидромет» за 1931...2019 гг.: Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши (ЕДС), Основные гидрологические характеристики (ОГХ), Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши (МДС), Ресурсы поверхностных вод СССР. Сведения даны по среднемесячным и среднегодовым расходам воды за весь период наблюдений вплоть до 2019г.(Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 2019, 2021; Ресур-

сы поверхностных вод СССР, 1977; Государственный водный кадастр, 1987; Алимкулов С.К., Турсунова А.А., Сапарова А.А., 2021).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ многолетних колебаний стока, проведенный по ряду рек с помощью разностных интегральных кривых нормированных отклонений модульных коэффициентов годового стока от единицы, свидетельствует о чередовании различных по продолжительности многоводных и маловодных периодов. В многолетнем ходе стока основных рек (рис. 1) видно, что в указанные периоды встречаются годы с повышенными и пониженными средними годовыми расходами воды. За расчетный период в результате анализа был принят период с 1931 по 2019 гг.

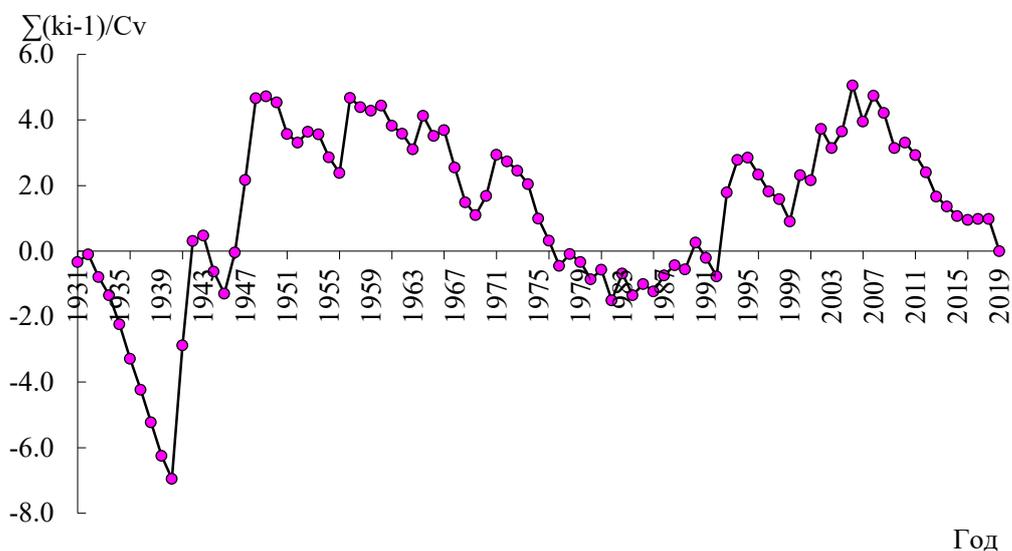


Рис. 1. Разностно - интегральная кривая суммарного стока 4-х рек Тобыл – Торгайского ВХБ

Для оценки водных ресурсов, формирующихся в Тобыл-Торгайском ВХБ выбраны указанные выше постоянно действующие 4 реки бассейна с наибольшей водностью определяющих в основном поверхностные водные ресурсы, которые в сумме составляют около

76 % всех местных водных ресурсов (табл. 1).

Как следует из табл. 1, для Тобыл – Торгайского ВХБ обеспеченность местного стока определялась по сумме основных 4-х рек: р. Тобыл – с. Гришенка, р. Аят – с. Варваринка, р. Кара – Торгай –

Таблица 1

Статистические характеристики суммарного стока основных рек рассматриваемого ВХБ

Средние многолетние параметры				Водные ресурсы различной обеспеченности в %						
Q/W*	C _v	C _s	σ _n %	5 %	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	95 %
<u>31,1</u> 981	0,70	1,68	7,5	<u>73,9</u> 2331	<u>59,8</u> 1887	<u>41,2</u> 1299	<u>25,3</u> 798	<u>15,4</u> 487	<u>9,90</u> 312	<u>7,85</u> 248

с. Урпек и р. Иргиз - с. Шенбертал. При 5% спеченности суммарного стока - 2,33 км³, 50% - 0,80 км³, 75% - 0,49 км³. 4-х рек Тобыл – Торгайского ВХБ. На рис. 2 приведена кривая обе-

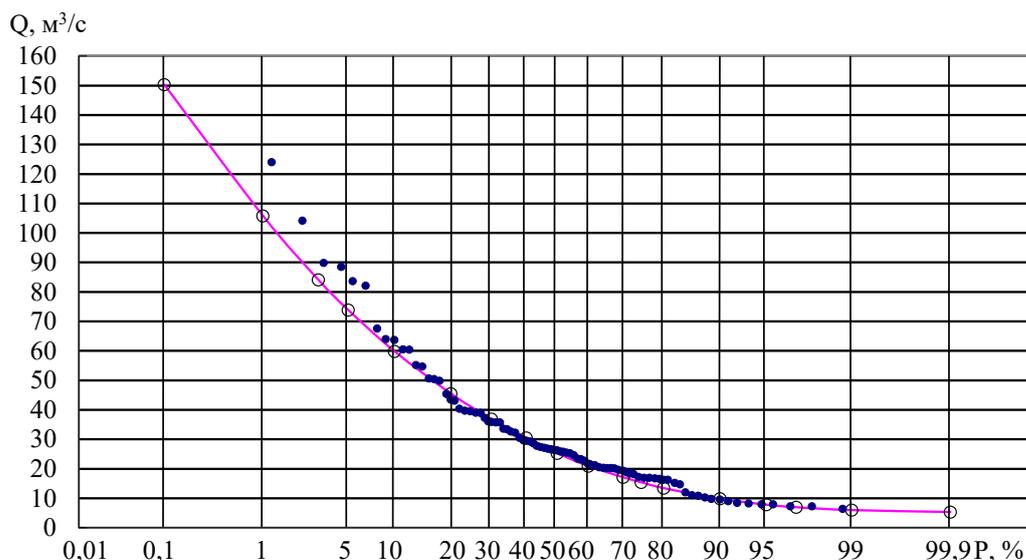


Рис. 2. Кривая обеспеченности суммарного стока 4-х рек Тобыл – Торгайского ВХБ

Основываясь на гипотезе о равнообеспеченности объемов воды за естественный период получены уравнения для оценки ежегодных ресурсов местного стока. На рис. 3 предоставлена зависимость рав-

нообеспеченных значений ресурсов местного стока Тобыл – Торгайского ВХБ. Уравнение было получено за период 1931...2019 гг., коэффициент корреляции $r = 0,99$. Эта зависимость имеет вид:

$$W = 1,43 * W_4 - 115 \quad (2)$$

где W – местные ресурсы речного стока Тобыл - Торгайского бассейна, млн м³/год; W₄ – суммарные водные ресурсы рек Тобыл – с. Гришенка, Аят – с. Варваринка, Кара – Торгай – с. Урпек, Иргиз – с. Шенбертал, млн. м³/год.

Располагая сведениями о суммарных значениях стока основных 4 рек Тобыл-Торгайского водохозяйственного бассейна с помощью зависимости (2) авторами были оценены ежегодные мест-

ные водные ресурсы, а также используя зависимость (1) - ресурсы формирующиеся за пределами ВХБ и были определены средние многолетние параметры, ресурсы различной обеспеченности (табл.2).

На основе полученных ежегодных водных ресурсов речного стока формирующихся на территории Тобыл – Торгайского ВХБ и за ее пределами приведена динамика водных ресурсов скользящие по десятилетиям (рис.4).

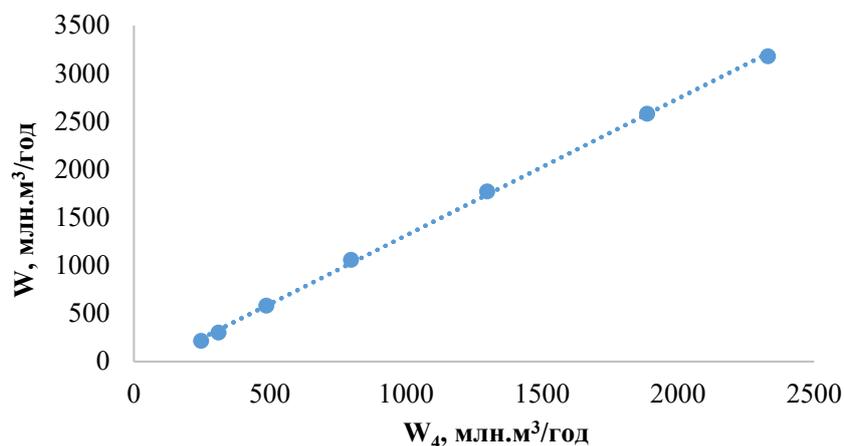


Рис. 3. Зависимость равнообеспеченных значений ресурсов речного стока Тобыл – Торгайского водохозяйственного бассейна (W , млн. м³/год) от суммарного стока рек Тобыл, Аят, Кара – Торгай, Ирғиз, (W_4 , млн. м³/год)

Таблица 2

Среднемноголетние параметры и водные ресурсы различной обеспеченности Тобыл-Торгайского водохозяйственного бассейна за 1931...2019 гг.

Ресурсы	W , км ³	C_v	Расходы воды различной обеспеченности, км ³				
			5 %	25 %	50 %	75 %	95 %
Приток в ВХБ	0,34	0,78	0,87	0,44	0,25	0,15	0,10
Местные ресурсы в пределах ВХБ	1,33	0,76	3,35	1,79	1,05	0,61	0,28
Суммарные ресурсы по ВХБ	1,67	0,75	4,17	2,20	1,31	0,77	0,44

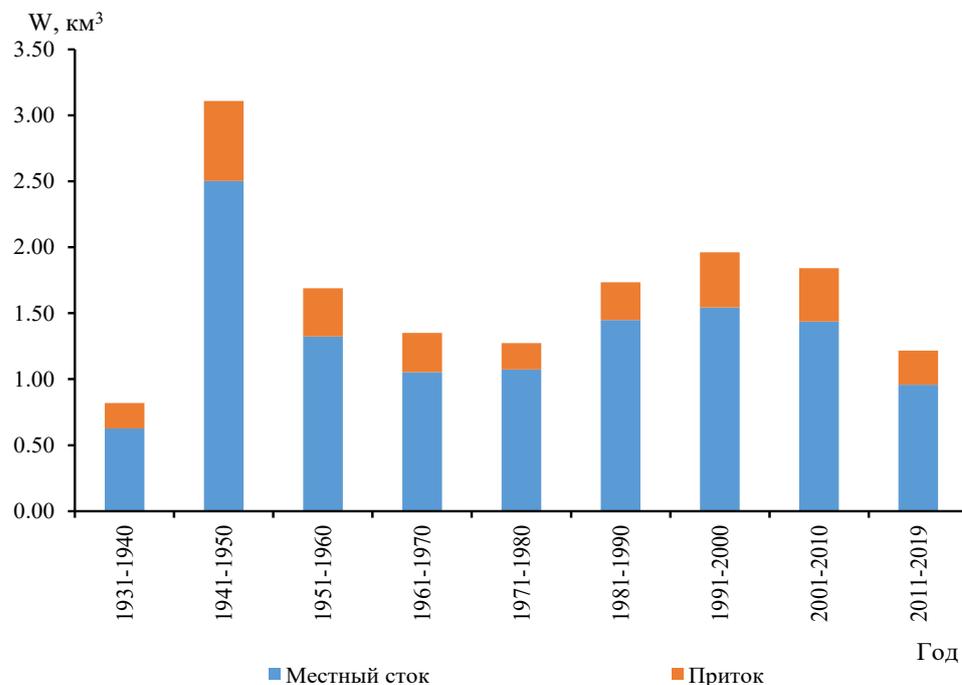


Рис. 4. Средний многолетний ход местного стока и притока

Как видно из рисунка 4 график временного хода отражает динамику колебаний стока, формирующегося на территории ВХБ, и стока, поступающего из РФ. Согласно классификации Андреянова В.Г. (Андреянов В.Г., 1960) многогодным циклом рассматриваются группы последовательных значений годового стока, превышающих

среднее значение (норму), а маловодным – группу пониженных значений. Так же на рис. 5 предоставлен сравнительный график изменения водных ресурсов Тобыл-Торгайского ВХБ, за периоды 1931...1973 и 1974...2019 гг. на основании влияния климатического воздействия (Достай Ж.Д., 2012).

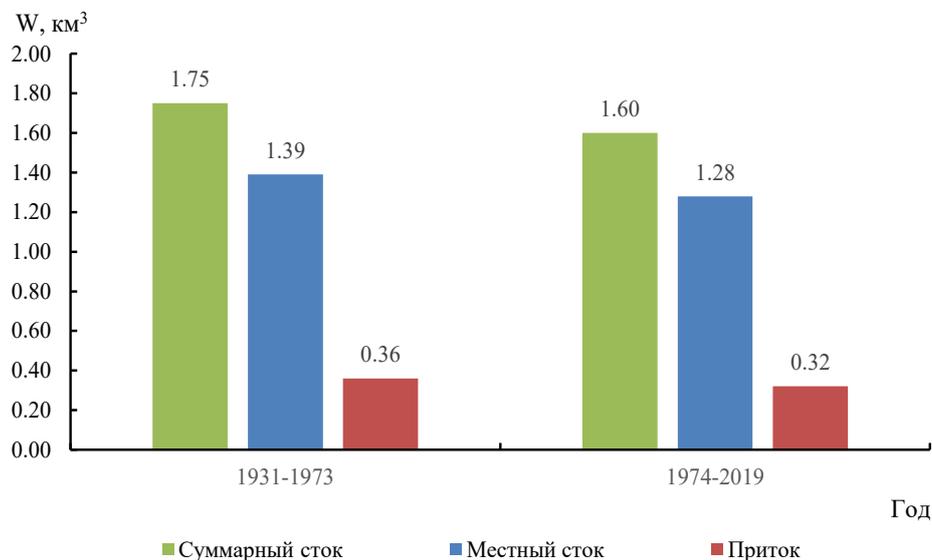


Рис. 5. Изменение водных ресурсов Тобыл-Торгайского ВХБ за различные периоды

Можно отметить следующее:

Периоды были разделены с учетом влияния на речной сток климатического изменения, т.е. 1931...1973 гг. можно принять за условно–естественный период, 1974...2019 гг. – нарушенный период в результате воздействия климатических изменений (Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза, 1967).

Как видно по динамике стока, формирующийся на территории бассейна, за нарушенный период относительно условно–естественного периода сократился на 8 %;

Что касается стока, поступающего из РФ, за нарушенный период относительно условно–естественного периода сократился на 12 %.

Следует отметить, что на изменение ресурсов речного стока как местного, так и притока повлияло воздействие климатических изменений и влияние хозяйственной деятельности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, получена методическая основа для реконструкции данных о расходах воды, восстановления естественного стока рек в основных створах имеющих длительный период наблюдений. Определены статистические характеристики, как для естественных условий, так и для условий устойчивого водопотребления.

Была обновлена ранее разработанная методика оценки ежегодных ресурсов стока отдельных рек и ресурсов речного стока рассматриваемого ВХБ. Получено уравнение для определения ежегодных водных ресурсов Тобыл-Торгайского ВХБ. В результате была дана оценка для вышеуказанного ВХБ за многолетний период с 30-х годов прошлого столетия.

В сравнении с результатами изданными в монографии «Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление», полученные расчетным путем, суммарные

ресурсы ВХБ имеют следующую разницу.

Местные ресурсы за многолетний период 1931 -2019 гг. в разрезе данного ВХБ составляют 1,33 км³, по расчетам ИГ 1,29 км³. Ресурсы поступающие из РФ – 0,34 км³, тогда как по данным ИГ – 0,41 км³. В итоге суммарные ресурсы по ВХБ -1,67 км³, что на 2,34% меньше расчетов ИГ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Государственной программы управления водными ресурсами Республики Казахстан на 2020 – 2030 годы [Электронный ресурс] – 2020. URL: <https://legalacts.egov.kz/npa/view?id=4275599> (дата обращения: 02.11.2021)
2. Руководство по водным ресурсам и адаптации к изменению климата. [Электронный ресурс] – 2009. – URL: https://unesco.org/DAM/env/water/publications/documents/Guidance_water_climate_r.pdf (дата обращения: 05.10.2021).
3. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. -198 с.
4. Давлетгалиев С.К. Поверхностные водные ресурсы рек Жайык Каспийского бассейна в границах Республики Казахстан // Гидрометеорология и экология – Алматы: Қазақ университеті, 2011. – Вып. 1.– С. 56-65.
5. Голубцов В.В., Ли В.И., Попова В.П., Айтымова Б.Б., Ортбаева А., Линейцева А.В., Мусенова А.Н., Азнабакиева М.М. Отчет о научно – исследовательской работе по программе 023 «Охрана и рациональное использование водных ресурсов» - Алматы, РГП «Казгидромет», 2008. – Т.1 – 292 с.
6. Достай Ж.Д. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. – Алматы: ТОО «Арко», 2012. – Т.2, Природные воды Казахстана: ресурсы, режим, качество и прогноз. – 330 с.
7. Алимкулов С.К., Турсунова А.А., Давлетгалиев С.К., Сапарова А.А. Ресурсы речного стока Казахстана // Гидрометеорология и экология – Алматы: Қазақ университеті, 2018 – Вып.3.– С.80-94.
8. Давлетгалиев С.К. Водные ресурсы под угрозой // Казахстанская прав-

да – Алматы, 2021. – Вып. 87 [Электронный ресурс]. URL: <https://ingeo.kz/?p=9286> (дата обращения: 06.10.2021).

9. Физико-географическое районирование ССР. Характеристика региональных единиц / Под ред. Гвоздецкого Н.А. – М.: Изд-во МГУ, 1968. – 576 с.
10. Водные ресурсы Казахстана в новом тысячелетии. Серия публикаций ПРООН в Казахстане. Алматы, 2004. – 132 с.
11. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 2019 – Нур-Султан: РГП «Казгидромет», 2021. – Вып. 3. Бассейны рек Тобол и Торгай. – 108 с.
12. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Бассейны Иртыша, Ишима, Тобола. –Л.: Гидрометеиздат, 1977. – Т.15, вып. 2. – С. 383
13. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Бассейны Иртыша, Ишима, Тобола. –Л.: Гидрометеиздат, 1987. – Т.5, вып. 1. – С. 467
14. Алимкулов С.К., Турсунова А.А., Сапарова А.А. Ресурсы речного стока Казахстана в условиях будущих климатических и антропогенных изменений // Гидрометеорология и экология – Алматы: Қазақ университеті, 2021 – Вып.1.– С.57-68.
15. Андриянов В.Г. Внутригодовое распределение речного стока. -Л., 1960. -стр. 327.

REFERENCES

1. Ob utverzhdenii Gosudarstvennoy programmy upravleniya vodnymi resursami Respubliki Kazahstan na 2020 – 2030 gody [Electronic resource] – 2020. URL: <https://legalacts.egov.kz/npa/view?id=4275599> (accessed 2 November 2021)
2. Rukovodstvo po vodnym resursam i adaptatsii k izmeneniyu klimata (In Russian). [Electronic resource] – 2009. – URL: https://unesco.org/DAM/env/water/publications/documents/Guidance_water_climate_r.pdf (accessed 5 October 2021).
3. Vodnye resursy i vodnyi balans territorii Sovetskogo Soyuz (In Russian). – L.: Gidrometeoizdat, 1967. – pp.198.
4. Davletgaliev S.K. Poverkhnostnye

- vodnye resursy rek Zhaiyk Kaspiiskogo basseina v granitsakh Respubliki Kazakhstan // *Gidrometeorologiya i ekologiya* (In Russian) – Almaty: Kazakh universiteti, 2011. – Issue. 1, pp. 56-65.
5. Golubtsov V.V., Li V.I., Popova V.P. Otchet o nauchno – issledovatel'skoi rabote po programme 023 «Okhrana i ratsional'noe ispol'zovanie vodnykh resursov» (In Russian) - Almaty, RSE «Kazhydromet», 2005. – Vol.1 – pp.292.
6. Dostai Zh.D. Vodnye resursy Kazakhstana: otsenka, prognoz, upravlenie (In Russian). – Almaty: TOO «Arko», 2012. – Vol.2, Prirodnye vody Kazakhstana: resursy, rezhim, kachestvo i prognoz. – pp.330.
7. Alimkulov S.K., Tursunova A.A., Davletgaliev S.K., Saparova A.A. Resursy rechnogo stoka Kazakhstana // *Gidrometeorologiya i ekologiya* (In Russian) – Almaty: Kazakh universiteti, 2018 – Issue.3, - pp.80-94.
8. Davletgaliev S.K. Vodnye resursy pod ugrozoi // *Kazakhstanskaya pravda* (In Russian) – Almaty, 2021. – Issue. 87 [Electronic resource]. URL: <https://ingeo.kz/?p=9286> (accessed 6 October 2021).
9. Fiziko-geograficheskoe raionirovanie SSR. Kharakteristika regional'nykh edinits / Pod red. Gvozdetsкого N.A. (In Russian). – M.: Izd-vo MGU, 1968. – pp.576.
10. Vodnye resursy Kazakhstana v novom tysyacheletii. Seriya publikatsii PROON v Kazakhstane (In Russian). Almaty, 2004. – pp.132.
11. Ezhegodnye dannye o rezhime i resursah poverhnostnykh vod sushy. 2019 – Nur-Sultan: RGP «Kazgidromet», 2021. – Issue. 3. Bassejny rek Tobol i Torgaj. – pp. 108.
12. Resursy poverhnostnykh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki. Bassejny Irtysha, Ishima, Tobola. –L.: Gidrometeoizdat, 1977. –Vol.15, Issue.2. –pp.383
13. Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Mnogoletnie dannye o rezhime i resursah poverhnostnykh vod sushy. Bassejny Irtysha, Ishima, Tobola. –L.: Gidrometeoizdat, 1987. – Vol.5, Issue. 1. – pp. 467
14. Alimkulov S.K., Tursunova A.A., Saparova A.A. Resursy rechnogo stoka Kazakhstana v usloviyah budushchih klimaticheskikh i antropogennykh izmenenij // *Gidrometeorologiya i ekologiya* – Almaty: Kazakh universiteti, 2021 – Issue.1. – pp.57-68
15. Andreyanov V.G. Vnutrigodovoe raspredelenie rechnogo stoka. -L., 1960. -pp.327.

ТОБЫЛ-ТОРҒАЙ СУ ШАРУАШЫЛЫҒЫ АЛАБЫНЫҢ ӨЗЕН АҒЫНДЫСЫ РЕСУРСТАРЫНЫҢ ӨЗГЕРУ ДИНАМИКАСЫ

Б.Б. Айтымова¹, А.С. Пшенчинова¹, Н.Н. Абаев¹

¹ «Қазгидромет» РМК, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

E-mail: aitymova_b@meteo.kz, pshenchinova_a@meteo.kz, abayev_n@meteo.kz

Бұл зерттеуде Тобыл – Торғай су шаруашылық алабының (США) өзен ағындысы ресурсын бағалау нәтижелері келтірілген. Жұмыс мақсаты – жекелеген өзендер ағындысының жыл сайынғы ресурстарын және ҚР қарастырылып отырған США өзен ағындысы ресурстарын бағалаудың бұрын әзірленген әдістемесін жаңарту. Есептеулерде негізгі өзендердің орташа айлық және орташа жылдық су өтімдері пайдаланылды. Байқалған және табиғи ағындыны, көпжылдық статистикалық сипаттамаларды және олардың әртүрлі қамтамасыздықтағы мәндерін анықтау және қалпына келтіру әдістері әзірленді. Жергілікті ағынды су ресурстарын және басқа аймақтардан келетін су ресурстарын анықтау үшін теңдеулер алынды. Атқарылған жұмыс нәтижесінде 1931 жылдан 2019 жылға дейінгі көпжылдық кезеңде Қазақстанда қалыптасатын және РФ аумағынан келетін Тобыл – Торғай США бойынша жер үсті суларының жиынтық ресурстары орташа 1,67 км³ құрайды, оның ішінде: Қазақстан шегінде қалыптасатын ресурстар - 1,33 км³, басқа мемлекеттен келетін ағынды – 0,34 км³. Бұзылған кезеңде алап шегінде қалыптасатын ағынды мөлшері шартты – табиғи кезеңге қарағанда 8%, РФ келіп түсетін ағынды 12 %, ал жалпы су ресурстары 9 % азайған.

Түйін сөздер: Тобыл – Торғай США, бақыланған ағындыны қайта қалпына келтіру, өзен ағындысының ресурстары, бағалау әдістері, статистикалық сипаттамалар, тең берілген қамтамасыздық мән-

DYNAMICS OF CHANGES IN THE RESOURCES OF THE RIVER FLOW OF THE TOBYL -TORGAI WATER BASIN

B.B. Aitymova¹, A.S. Pshenchinova¹, N.N. Abayev¹

¹RSE "Kazhydromet", Nur-Sultan, Kazakhstan

E-mail: aitymova_b@meteo.kz, pshenchinova_a@meteo.kz, abayev_n@meteo.kz

The study presents results of assessing the resources of the river flow of the Tobyl - Torgai water management basin. The purpose of the work is to update the previously developed methodology for assessing the annual runoff resources of individual rivers and river runoff resources of the considered water management basin of the Republic of Kazakhstan. The calculations used the average monthly and average annual water discharge of the main rivers. Methods have been developed for determining and restoring the observed and natural runoff, long-term statistical characteristics and its values of probability of exceeding. The equations for determining the water resources of local runoff and water resources coming from other regions are obtained. As a result of the work done on the preliminary calculation, the total surface water resources for the Tobyl – Torgai water management basin, formed in Kazakhstan and coming from the territory of the Russian Federation for a long-term period from 1931 to 2019, on average amount to 1,67 km³, of which: resources formed within Kazakhstan - 1,33 km³, inflow – 0,34 km³. The runoff formed in the territory of the basin, for the disturbed period, relative to the conditionally natural period, decreased by 8%, the runoff coming from the Russian Federation decreased by 12%, and the total water resources by 9%.

Keywords: Tobyl – Torgai water management basin, restoration of observed runoff, river runoff resources, estimation methods, statistical characteristics, dependences of equidistant values

УДК 504.062.2:911.6

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КОСВЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА ВОДОСБОР БАССЕЙНА РЕКИ ШУ

Ж.С.Мустафаев¹ д.т.н., профессор, А.Т.Козыкеева² д.т.н., доцент, С.Д.Даулетбай³

¹ АО «Институт географии и водной безопасности», г. Алматы, Казахстан

E-mail: ingeo@mail

² Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, Казахстан

E-mail: info@kaznu.kz

³ Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

E-mail: into@tarsu.kz

На основе анализа многолетних информационно-аналитических материалов Национального статистического комитета Кыргызской Республики и Бюро национальной статистики Агентства по статистическому планированию и реформам Республики Казахстан по хозяйственному использованию территории водосбора бассейна трансграничной реки Шу проведена оценка косвенной антропогенной нагрузки, базирующаяся на показателях площадного и линейно-сетевого воздействия (демографическая, сельскохозяйственная и промышленная) в разрезе водохозяйственных участков и административных областей.

Ключевые слова: река, бассейн, водосбор, антропогенная нагрузка, косвенное воздействие, водно-земельные ресурсы

Поступила: 11.01.22

DOI: 10.54668/2789-6323-2022-104-1-50-64

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Водосбор бассейна трансграничной реки Шу для Кыргызской Республики и Республики Казахстан имеет стратегическое значение, выполняет экологические, экономические и социальные функции, является пространственным базисом для жизнедеятельности населения и природопользования, то есть для размещения сельскохозяйственных земель целевого назначения и объектов промышленности. Хозяйственная деятельность, как совокупность факторов, формирующаяся антропогенной нагрузкой (демографическая, сельскохозяйственная и промышленная) природной системы водосбора бассейна реки Шу, подлежит оценке и нормированию для выработки единой программы использования водно-земельных ресурсов и рационального размещения

производительных сил Кыргызской Республики и Республики Казахстан.

Решение этих задач в долгосрочной перспективе осложняется в связи с ростом негативных воздействий на природную среду водосбора бассейна трансграничной реки Шу и последующих за ними последствий в экономической, социальной и экологической жизни Кыргызской Республики и Республики Казахстан, а также территориальным не-совпадением распределения водных ресурсов и потребителей.

Цель исследования – комплексная оценка косвенного воздействия антропогенной деятельности водосбора бассейна реки Шу, базирующейся на показателях площадного и линейно-сетевого воздействия (демографическая, сельскохозяйственная и промышленная), для территориальной организации и управления водно-земельными ресурсами.

Объектами исследования являются водосбор бассейна реки Шу и их системы использования природных ресурсов, как исторически сложившиеся формы жизнедеятельности населения и природопользования, то есть размещения сельскохозяйствен-

ных земель целевого назначения и объектов промышленности, обусловленных зональными различиями в разрезе водохозяйственных участков и административных областей (таблица 1) (Кирейчева Л.В. и др, 2016).

Таблица 1

Природно-географическое районирование территории водосбора бассейна реки Шу

Геоморфологическая схематизация (фация)	Административное деление			Площадь, км ²
	республика	область	район	
Элювиальная	Кыргызстан	Горная зона		5668
		Нарынская	Кочкарский	
Трансэлювиальная	Кыргызстан	Предгорная зона		3533
		Чуйская	Каменский	
Трансаккумулятивная	Кыргызстан	Предгорная равнинная		1756
		Чуйская	Чуйский	
			Ысык-Атинский	
			Аламудинский	
			Сокулукский	
Казахстан	Жамбылская	Кордайский	8973	
Супераквильная	Казахстан	Равнинная зона		12000
		Жамбылская	Шуский	
			Мойынкумский	
			Сарысуский	
Субаквильная	Казахстан	Туркестанская	Таласский	12000
			Созакский	41000

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Косвенная антропогенная нагрузка, базирующаяся на показателях площадного и линейно-сетевого воздействия на водосборные территории речных бассейнов и, разработанных И.Д. Рыбкиной и Н.В. Стоящевой, шкале интенсивности антропогенной нагрузки (Стоящева Н.В., Рыбкина И.Д., 2013), для характеристики уровня антропогенного воздействия и деятельности человека, базирующейся на градации основных региональных показателей антропогенной нагрузки А.Г.

Исаченко (Исаченко А.Г., 2001) и С.В. Одессер (Одессер С.В., 1991), носит визуальный характер, то есть отсутствуют комплексные интегральные показатели, характеризующие техногенные нагрузки (Мустафаев Ж.С., 2017).

Для оценки уровня антропогенных нагрузок на водосборы речных бассейнов, Ж.С. Мустафаевым разработана система математических моделей, позволяющих выявить вклад антропогенных факторов площадного и линейно-сетевого воздействия и интегрального показателя совокупных антропогенных нагрузок (K_{тн}), имеющих следующей вид (Мустафаев Ж.С., 2017):

$$K_{\text{тн}} = \sqrt{\prod_{i=1}^n K_i^i}, \tag{1}$$

где, $K_i^i = \exp(-K_i)$ - относительные значения уровня техногенных нагрузок на водосборные территории речных бассейнов или коэффициент антропогенной деятельности (Мустафаев Ж.С., 2017). Для оценки уровня техногенной нагрузки на водосборный бассейн трансграничных рек можно использовать показатель А.Г. Исаченко, И.Д. Рыбкиной и Н.В. Стоящевой, представив его в виде коэффициента (K_i), характеризующего отношение отдельной фактической техногенной нагрузки к оптимальному значению, который принят как уровень средней нагрузки, то есть (Мустафаев Ж.С., 2017):

Исаченко (Исаченко А.Г., 2001) и С.В. Одессер (Одессер С.В., 1991), носит визуальный характер, то есть отсутствуют комплексные интегральные показатели, характеризующие техногенные нагрузки (Мустафаев Ж.С., 2017).

- коэффициент ($K_i^{пл}$), характеризующий плотность населения: $K_i^{пл} = \frac{П_{фак}}{П_{опт}}$, где $П_{фак}$ - фактическая плотность населения, чел/км²; $П_{опт}$ - оптимальная плотность населения, которая соответствует уровню средней нагрузки, чел/км²;

- коэффициент ($K_i^{пр}$), характеризующий плотность промышленного производства: $K_i^{пр} = \frac{ПР_{опт}}{ПР_{фак}}$, где $ПР_{фак}$ - фактическая плотность промышленного производства, тыс. доллар/км²; $ПР_{опт}$ - оптимальная плотность промышленного производства, которая соответствует уровню средней нагрузки, тыс. доллар/км²;

- коэффициент ($K_i^{ра}$), характеризующий распаханность естественных ландшафтов: $K_i^{ра} = \frac{F_{рас}^{опт}}{F_{рас}^{фак}}$, где $F_{рас}^{фак}$ - фактическая распаханность естественных ландшафтов, %; $F_{рас}^{опт}$ - оптимальная распаханность естественных ландшафтов, соот-

ветствующая уровню средней нагрузки, % ;

- коэффициент ($K_i^{жив}$), характеризующий плотность животноводческой нагрузки: $K_i^{жив} = \frac{N_{опт}^{жив}}{N_{фак}^{жив}}$, где $N_{фак}^{жив}$ - фактическая плотность животноводческой нагрузки, условные головы/км²; $N_{опт}^{жив}$ - оптимальная плотность животноводческой нагрузки, усл. гол/км².

На основе системы количественного показателя, где уровень техногенной нагрузки характеризуется через шкалы интенсивности антропогенной нагрузки, предложенной И.Д. Рыбкиной и Н.В. Стояцовой, определены количественные и качественные значения интегрального показателя совокупных антропогенных нагрузок ($K_{тн}$) водосборных территорий речного бассейна с целью установления степени взаимосвязанности между этими показателями (таблица 2) (Мустафаев Ж.С., 2017).

Таблица 2

Шкала основных показателей антропогенной нагрузки и интегрального показателя совокупных антропогенных нагрузок на водосборы речных бассейнов

Интенсивность нагрузки (баллы)	Показатель антропогенной нагрузки				
	Плотность населения, чел/км ²	Плотность промышленного производства, доллар/км ²	Распаханность, %	Животноводческая нагрузка, усл.гол/км ²	$K_{тн}$
Незначительная (1)	0,00	0,00	0,00	0,00	>0,00
Очень низкая (2)	<0,10	<0,35	<0,10	<0,10	0,00
Низкая (3)	0,20...1,0	0,36...3,50	0,20...1,00	0,20...1,00	0,002
Пониженная (4)	1,1...5,0	3,60...35,0	1,10...5,00	1,10...2,00	0,089
Средняя (5)	5,1...10,0	36,0...105,0	5,10...15,0	2,10...3,00	0,135
Повышенная (6)	10,1...25,0	106,0...140,0	15,1...40,0	3,10...6,00	0,383
Высокая (7)	25,1...50,0	141,0...170,0	40,1...60,0	6,10...10,0	0,556
Очень высокая (8)	>50,0	>170,0	>60,0	>10,0	>0,729

На основе многолетних информационно-аналитических материалов Национального статистического комитета Кыргызской Республики и Бюро национальной статистики Агентства по статистическому планированию и реформам Республики Казахстан для оценки косвенного воздействия антропогенной деятельности человека на водосбор бассейна реки Шу создана база исследований по посевным площадям сельскохозяйственных культур, поголовья скота и плотности промышленного производства (таблица 3...6).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе многолетних информационно-аналитических материалов (таблица 3-6), характеризующих динамику численности населения, сельскохозяйственных угодий, животноводства и промышленности в водосборах бассейна реки Шу и с использованием методологического подхода А.Г. Исаченко (Исаченко А.Г., 2001) и методов оценки плотности демографической, сельскохозяйственной и промышленной составляющих

Динамика населения в разрезе административных районов в водосборе бассейна реки Шу, тыс. чел.

Административная область	Год							
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Верховье водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Нарынская	52,92	53,05	53,18	53,69	54,19	54,69	55,19	55,69
Среднее течение водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Чуйская	1282,6	1293,1	1303,1	1320,6	1323,9	1334,0	1344,1	1354,1
Республика Казахстан								
Жамбылская	103,73	104,65	105,18	105,55	106,1	106,90	107,70	108,10
Сумма	1386,3	1397,8	1408,3	1426,2	1430,0	1440,9	1451,8	1462,2
Низовье водосбора реки Шу								
Республика Казахстан								
Жамбылская	229,73	231,77	230,56	228,14	226,21	222,10	220,20	220,40
Туркестанская	46,60	47,00	47,20	47,61	48,00	48,60	49,80	50,40
Сумма	276,33	278,77	277,76	275,75	274,21	270,70	270,00	270,80
Всего	1715,6	1729,6	1739,2	1755,6	1758,4	1766,3	1777,0	1788,7
Административная область	Год							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Верховье водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Нарынская	56,20	56,70	57,30	57,80	58,40	59,20	59,70	60,50
Среднее течение водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Чуйская	1364,3	1374,2	1382,1	1398,0	1415,6	1434,8	1453,4	1474,1
Республика Казахстан								
Жамбылская	108,60	109,90	111,30	113,30	115,30	128,70	130,40	132,50
Сумма	1472,9	1484,1	1493,4	1511,3	1530,0	1563,5	1583,8	1606,6
Низовье водосбора реки Шу								
Республика Казахстан								
Жамбылская	220,20	220,70	221,20	222,60	223,60	220,40	222,30	223,00
Туркестанская	51,20	52,10	53,20	54,50	55,60	54,30	55,50	56,80
Сумма	271,40	272,80	274,40	277,10	279,20	274,70	277,80	279,80
Всего	1800,5	1813,6	1825,1	1846,2	1868,5	1897,4	1921,3	1946,9
Административная область	Год							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Верховье водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Нарынская	61,00	61,80	63,00	63,90	64,70	65,40	66,10	66,80
Среднее течение водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Чуйская	1505,9	1538,3	1572,0	1605,9	1640,6	1675,1	1714,1	1749,9
Республика Казахстан								
Жамбылская	134,70	137,40	139,50	141,50	142,80	143,80	145,00	145,50
Сумма	1640,6	1675,7	1711,5	1747,4	1783,4	1818,9	1859,1	1895,4
Низовье водосбора реки Шу								
Республика Казахстан								
Жамбылская	225,90	227,80	229,50	230,80	232,20	233,50	233,28	233,98
Туркестанская	58,30	59,80	60,80	61,70	62,00	61,50	62,10	62,85
Сумма	284,20	287,60	290,30	292,50	294,20	295,00	295,38	296,83
Всего	1985,8	2025,1	2064,8	2103,8	2142,3	2179,3	2220,5	2259,0

Динамика промышленности в разрезе административных районов в водосборе бассейна реки Шу, млн. долларов

Административная область	Год							
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Верховье водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Нарынская	0,092	0,125	0,153	0,183	0,192	0,201	0,209	0,218
Среднее течение водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Чуйская	15,113	19,886	30,405	40,475	43,478	46,686	50,119	53,245
Республика Казахстан								
Жамбылская	4,170	3,700	4,754	5,467	5,209	8,099	5,300	7,096
Сумма	19,283	23,585	35,158	45,941	48,687	54,785	55,419	60,341
Низовье водосбора реки Шу								
Республика Казахстан								
Жамбылская	30,373	26,959	34,625	39,819	54,889	49,561	34,586	69,571
Туркестанская	24,302	21,571	27,704	31,860	339,62	34,348	35,823	117,90
Сумма	54,675	48,530	62,329	71,679	88,851	83,909	70,409	187,45
Всего	74,050	72,240	97,641	117,80	137,73	138,90	126,04	248,03
Административная область	Год							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Верховье водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Нарынская	0,227	0,678	0,723	1,009	0,975	0,561	4,267	0,563
Среднее течение водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Чуйская	57,027	63,354	106,28	127,82	123,70	139,26	165,49	193,66
Республика Казахстан								
Жамбылская	7,908	17,543	25,994	29,828	8,002	24,958	3,062	30,897
Сумма	64,935	80,896	132,28	157,65	131,70	164,22	168,56	224,56
Низовье водосбора реки Шу								
Республика Казахстан								
Жамбылская	73,393	83,983	94,161	98,827	66,393	131,23	215,87	294,93
Туркестанская	77,871	132,71	144,20	275,89	443,55	549,57	652,72	1093,2
Сумма	151,26	216,69	238,36	374,72	509,94	680,08	868,60	1388,1
Всего	216,43	298,26	371,36	533,37	642,62	846,44	1041,4	1616,2
Административная область	Год							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Верховье водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Нарынская	0,667	1,003	2,057	5,332	1,962	1,938	1,737	1,781
Среднее течение водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Чуйская	214,88	213,09	217,69	255,21	339,77	411,88	499,40	536,89
Республика Казахстан								
Жамбылская	40,139	41,714	27,772	38,131	49,319	38,658	40,309	42,301
Сумма	255,02	254,80	245,46	293,42	389,09	450,54	539,67	579,19
Низовье водосбора реки Шу								
Республика Казахстан								
Жамбылская	281,37	293,661	150,90	606,66	252,07	291,45	339,77	333,66
Туркестанская	1140,4	1010,8	646,65	741,37	768,13	592,90	731,80	689,28
Сумма	1421,8	1307,5	797,55	1348,0	1020,2	884,35	1071,57	1022,9
Всего	1677,4	1563,3	1045,1	1646,7	1411,3	1336,8	1611,2	1603,9

Таблица 5

Динамика сельскохозяйственных угодий в разрезе административных районов в водосборе бассейна реки Шу, тыс. га

Административная область	Год							
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Верховье водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Нарынская	29,98	28,95	29,02	29,09	29,16	28,40	27,65	27,57
Среднее течение водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Чуйская	234,51	228,20	231,70	229,08	227,61	225,49	220,15	224,11
Республика Казахстан								
Жамбылская	119,30	107,90	114,80	107,20	107,3	105,70	104,00	96,40
Сумма	353,81	336,10	346,50	336,28	334,91	331,19	324,15	320,51
Низовье водосбора реки Шу								
Республика Казахстан								
Жамбылская	131,30	102,70	93,50	84,80	83,80	91,60	103,10	108,50
Туркестанская	10,00	11,00	8,80	8,80	9,10	9,10	9,40	10,10
Сумма	141,30	113,70	102,30	93,60	92,90	100,70	112,50	118,60
Всего	525,09	478,75	477,82	458,97	456,97	460,29	464,30	466,68
Административная область	Год							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Верховье водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Нарынская	26,98	26,41	26,92	26,90	26,88	24,68	25,00	25,60
Среднее течение водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Чуйская	214,17	251,67	223,01	226,37	229,85	227,33	228,99	229,45
Республика Казахстан								
Жамбылская	100,40	92,10	92,20	90,40	92,00	91,90	97,00	96,90
Сумма	314,17	343,77	315,21	316,77	321,85	319,23	325,99	326,35
Низовье водосбора реки Шу								
Республика Казахстан								
Жамбылская	100,70	90,60	90,20	86,20	83,00	95,20	99,00	104,60
Туркестанская	10,10	8,80	8,00	7,10	5,00	6,20	7,40	9,80
Сумма	110,80	99,40	98,20	93,30	88,00	101,40	106,40	114,40
Всего	451,95	469,58	440,33	436,97	436,73	445,31	457,39	466,35
Административная область	Год							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Верховье водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Нарынская	25,86	26,26	26,80	27,30	27,16	27,56	27,89	28,18
Среднее течение водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Чуйская	230,01	230,12	229,66	210,26	231,73	231,76	231,84	231,78
Республика Казахстан								
Жамбылская	100,40	101,70	108,90	110,50	112,30	114,30	115,60	120,70
Сумма	330,41	331,82	338,56	320,76	344,03	346,06	347,44	352,48
Низовье водосбора реки Шу								
Республика Казахстан								
Жамбылская	109,50	119,30	120,70	121,70	135,80	141,60	151,90	170,40
Туркестанская	11,20	13,00	12,20	12,60	13,00	11,90	13,10	13,12
Сумма	120,70	132,30	132,90	134,30	148,80	153,50	165,00	183,52
Всего	476,97	490,38	498,26	482,36	519,99	527,12	540,33	564,18

Динамика животноводства в разрезе административных районов в водосборе бассейна реки Шу, тыс. голов

Административная область	Год							
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Верховье водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Нарынская	192,94	190,97	189,00	187,03	188,53	190,02	191,52	193,02
Среднее течение водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Чуйская	399,21	395,97	390,04	384,23	381,67	394,11	400,03	408,94
Республика Казахстан								
Жамбылская	304,40	200,20	208,60	220,0	228,10	232,00	237,7	354,20
Сумма	703,61	596,17	598,64	604,23	609,77	626,11	637,73	763,14
Низовье водосбора реки Шу								
Республика Казахстан								
Жамбылская	644,30	447,70	389,80	418,30	450,30	648,00	720,60	814,80
Туркестанская	175,54	197,85	211,26	215,55	222,23	280,95	258,80	284,90
Сумма	819,84	645,55	601,06	633,85	672,53	928,95	979,40	1099,7
Всего	1716,4	1432,7	1388,7	1425,1	1470,8	1745,0	1808,6	2055,8
Административная область	Год							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Верховье водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Нарынская	194,51	209,13	223,74	238,40	242,00	243,10	244,40	252,20
Среднее течение водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Чуйская	418,79	441,22	463,60	482,32	514,06	521,55	541,64	554,71
Республика Казахстан								
Жамбылская	359,4	374,90	389,20	391,80	388,20	393,0	394,20	392,30
Сумма	778,19	816,12	852,80	874,12	902,26	914,55	935,84	947,01
Низовье водосбора реки Шу								
Республика Казахстан								
Жамбылская	867,40	914,00	1071,8	967,90	1115,0	1149,9	1059,8	1013,3
Туркестанская	295,20	329,40	356,40	351,00	376,10	369,80	328,70	247,70
Сумма	1162,6	1243,4	1428,2	1318,9	1491,1	1519,7	1388,5	1261,0
Всего	2135,3	2268,7	2504,7	2431,4	2635,4	2677,4	2568,7	2460,2
Административная область	Год							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Верховье водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Нарынская	257,20	266,00	267,30	271,80	283,90	286,20	295,00	296,10
Среднее течение водосбора реки Шу								
Кыргызская Республика								
Чуйская	571,05	613,85	635,99	651,64	663,54	673,11	690,19	699,65
Республика Казахстан								
Жамбылская	394,20	404,90	415,50	427,70	95,40	496,20	497,50	498,88
Сумма	965,25	1018,8	1051,5	1079,3	1158,9	1169,3	1187,7	1198,5
Низовье водосбора реки Шу								
Республика Казахстан								
Жамбылская	1026,3	1027,7	1040,9	1050,3	1149,7	1240,3	1143,9	1268,8
Туркестанская	257,80	258,30	225,20	261,15	260,82	270,70	275,70	290,80
Сумма	1284,1	1286,0	1266,1	1311,5	1410,5	1511,0	1419,6	1559,6
Всего	2506,6	2570,8	2584,9	2662,6	2853,3	2966,5	2902,3	3054,3

Ж.С. Мустафаева (Мустафаев Ж.С., 2017), показателей антропогенной нагрузки в разрезе выполнен прогнозный расчет с целью оценки зе водохозяйственных участков (таблица 7).

Таблица 7

Плотность антропогенной нагрузки в водосборе бассейна реки Шу в разрезе водохозяйственных участков

Административная область	Год							
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Плотность населения, чел/км ²								
Верховье	9,33	9,36	9,38	9,47	9,56	9,65	9,74	9,83
Среднее течение	66,87	67,43	67,93	68,80	68,98	69,51	70,03	70,54
Низовье	1,88	1,90	1,896	1,88	1,87	1,85	1,84	1,85
Распаханность сельскохозяйственных угодий, %								
Верховье	5,28	5,11	5,12	5,13	5,14	5,01	4,88	4,86
Среднее течение	17,07	16,21	16,71	16,22	16,16	15,98	15,63	15,46
Низовье	0,96	0,78	0,70	0,64	0,63	0,69	0,77	0,81
Животноводческая нагрузка, усл. гол/км ²								
Верховье	34,04	33,69	33,35	32,99	33,26	33,53	33,79	34,05
Среднее течение	33,94	28,76	28,88	29,15	29,41	30,35	30,76	36,81
Низовье	5,59	4,40	4,10	4,32	4,58	6,33	6,67	7,50
Плотность промышленного производства, доллар/км ²								
Верховье	16,28	22,05	27,16	32,33	33,88	35,44	36,99	38,54
Среднее течение	930,21	1137,7	1696,0	2216,2	2348,6	2642,8	2673,4	2910,8
Низовье	372,70	330,81	424,88	488,61	605,67	571,98	479,96	1277,9
Административная область	Год							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Плотность населения, чел/км ²								
Верховье	9,91	10,10	10,11	10,20	10,30	10,44	10,53	10,67
Среднее течение	71,05	71,59	72,04	72,90	73,85	75,42	76,40	77,50
Низовье	1,85	1,86	1,87	1,89	1,90	1,87	1,89	1,91
Распаханность сельскохозяйственных угодий, %								
Верховье	4,76	4,65	4,75	4,74	4,74	4,35	4,41	4,52
Среднее течение	15,16	16,58	15,20	15,28	15,53	15,40	15,73	15,74
Низовье	0,76	0,68	0,68	0,64	0,60	0,69	0,73	0,78
Животноводческая нагрузка, усл. гол/км ²								
Верховье	34,32	36,90	39,47	42,06	42,70	42,89	43,12	44,50
Среднее течение	37,54	39,37	41,14	42,17	43,52	44,12	45,14	45,68
Низовье	7,93	8,48	9,74	8,99	10,16	10,36	9,46	8,50
Плотность промышленного производства, доллар/км ²								
Верховье	40,09	119,59	127,47	178,09	167,24	99,03	752,73	99,33
Среднее течение	3132,5	3902,4	6380,9	7604,8	6353,3	7921,7	8131,0	10832,6
Низовье	1031,1	1477,1	1624,8	2554,3	3476,1	4640,8	5920,9	9462,3
Административная область	Год							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Плотность населения, чел/км ²								
Верховье	10,76	10,90	11,12	11,27	11,41	11,54	11,66	11,79
Среднее течение	79,14	80,83	82,56	84,29	86,03	87,74	89,68	91,43
Низовье	1,93	1,96	1,98	1,99	2,00	2,01	2,01	2,02
Распаханность сельскохозяйственных угодий, %								
Верховье	4,56	4,63	4,73	4,41	4,52	4,56	4,63	4,73
Среднее течение	15,94	16,01	16,33	15,47	16,60	16,69	16,76	17,00
Низовье	0,82	0,90	0,91	0,92	1,01	1,05	1,12	1,25
Животноводческая нагрузка, усл. гол/км ²								
Верховье	45,38	46,93	47,16	47,95	50,09	50,49	52,05	52,24
Среднее течение	46,56	49,14	50,72	52,07	55,91	55,41	57,29	57,82
Низовье	8,75	8,77	8,63	8,94	9,61	10,30	9,68	10,63
Плотность промышленного производства, доллар/км ²								
Верховье	117,73	176,92	362,90	940,59	346,14	341,89	306,40	314,24
Среднее течение	12302,0	12291,5	11840,8	14150,6	18769,5	21733,8	26033,2	27939,6
Низовье	9691,6	8912,9	5436,6	9189,0	6954,3	6028,29	7304,48	6973,02

Как видно из таблицы 7, плотность населения в верховьях водосбора бассейна реки Шу за рассматриваемый период 1997...2020 гг. низкая – от 9,31 до 11,79 чел/км², в среднем течении достаточно высокая, то есть колеблется от 66,53 до 91,43 чел/км², в низовьях очень низкая и колеблется от 1,92 до 2,02 чел/км². При этом уровень распашки за рассматриваемый период колеблется от 5,12 до 4,73% в верховьях водосбора бассейна реки Шу, в среднем течении – от 16,70 до 17,00 %, а в низовьях очень низкий и колеблется в пределах от 0,64 до 1,25 %. Высокая плотность животноводства наблюдается в верховьях водосбора бассейна реки Шу на территории Нарынской области Кыргызской Республики, где она за рассматриваемый период колеблется от 34,39 до 52,24 усл. гол/км², в среднем течении от 38,29 до 57,82 усл. гол/км², а в низовьях достаточно низкая и колеблется от 4,40 до 10,63 усл. гол/км². Плотность промышленного производства в верховьях очень низкая, за рассматриваемый период колеблется в пределах от 10,93 до 314,24 доллар/км², в среднем течении относительно высокая, колеблется в пределах от 710,34 до 27939,63 доллар/км², а в низовьях – от 373,55 до 6973,02 доллар/км², что показывает неравномерность размещения производительной силы на водосборных территориях бассейна реки Шу.

При выполнении прогнозного расчета для оценки антропогенной нагрузки в качестве базовых (оптимальных) составляющих демографической, сельскохозяйственной и промышленной плотностей, с использованием обобщенного интегрального показателя ($K_{тн}$), характеризующего количественное значение техногенных нагрузок природно-техногенных объектов в результате антропогенной деятельности, приняты средние значения пониженной антропогенной нагрузки по шкале основных показателей интенсивности нагрузки, предложенной А.Г. Исаченко (Исаченко А.Г., 2001), то есть: $P_{срi} = (P_{mini} + P_{maxi}) / 2$, где P_{mini} и P_{maxi} – минимальные и максимальные значения интенсивности нагрузки, соответствующие пониженной шкале интенсивности;

$P_{срi}$ – средние значения пониженной шкалы интенсивности (Мустафаев Ж.С., 2017).

На основе предложенного методологического подхода произведена оценка совокупной антропогенной нагрузки на территорию водосбора бассейна реки Шу в разрезе водохозяйственных районов (таблица 8).

На основе выполненного прогнозного расчета по оценке плотности и совокупных показателей антропогенных нагрузок определены интегральный показатель антропогенной нагрузки ($K_{тн}$) и интенсивность нагрузки (баллы) в пространственно-временном масштабе в водосборе бассейна реки Шу по водохозяйственным участкам, охватывающих 1997...2020 гг. (таблица 9).

Таким образом, выполненный прогнозный расчет по уровню совокупной антропогенной нагрузки на водосборных территориях бассейна реки Шу в разрезе водохозяйственных участков показал, что в верховьях Шу он колеблется в пространственно-временном масштабе от 0,0234 до 0,6690 и соответствует шкале от низкого до высокого уровня (3...7 баллов). При этом, в среднем течении реки Шу, где сосредоточены основные производительные силы Кыргызской Республики, интегральный показатель антропогенной нагрузки за рассматриваемые 1996...2020 годы колеблется в диапазоне от 0,8268 до 0,8860, что соответствует очень высокому уровню (8 баллов). В низовьях реки Шу, где расположены административные районы Жамбылской и Туркестанской областей Республики Казахстан, охватывающие достаточно большие территории, за рассматриваемый период с 1997...2020 гг., интегральный показатель колеблется в пределах от 0,0455 до 0,13190, что соответствует низкой и средней антропогенной нагрузке (3...7 баллов).

Показатели антропогенной нагрузки на территории водосбора бассейна реки Шу по во-дохозяйственным районам

Водохозяйственный участок	Показатель	Год							
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Плотность населения, чел/км ²									
Верховье	N_i/F_p	9,33	9,36	9,38	9,47	9,56	9,65	9,74	9,83
	$K_i^{пл}$	0,327	0,326	0,325	0,322	0,319	0,316	0,313	0,310
	K_{ni}	0,721	0,722	0,723	0,725	0,727	0,729	0,731	0,733
Среднее течение	N_i/F_p	66,87	67,43	67,93	68,80	68,98	69,51	70,03	70,54
	$K_i^{пл}$	0,046	0,045	0,045	0,044	0,044	0,044	0,044	0,043
	K_{ni}	0,955	0,956	0,956	0,957	0,957	0,957	0,957	0,958
Низовье	N_i/F_p	1,88	1,90	1,896	1,880	1,870	1,850	1,840	1,850
	$K_i^{пл}$	1,622	1,605	1,609	1,622	1,631	1,649	1,658	1,649
	K_{ni}	0,197	0,201	0,200	0,198	0,196	0,192	0,191	0,192
Распаханность сельскохозяйственных угодий, %									
Верховье	F_{pai}/F_p	4,52	4,56	4,63	4,73	5,14	5,01	4,88	4,86
	K_i^{pa}	0,675	0,669	0,659	0,645	0,593	0,609	0,625	0,628
	K_{pai}	0,509	0,512	0,517	0,524	0,553	0,544	0,535	0,534
Среднее течение	F_{pai}/F_p	15,74	15,94	16,01	16,33	16,16	15,98	15,63	15,46
	K_i^{pa}	0,194	0,191	0,191	0,187	0,189	0,191	0,195	0,197
	K_{pai}	0,834	0,835	0,826	0,830	0,828	0,826	0,823	0,821
Низовье	F_{pai}/F_p	0,780	0,820	0,900	0,910	0,630	0,690	0,770	0,810
	K_i^{pa}	3,910	3,720	3,390	3,350	4,841	4,420	3,960	3,765
	K_{pai}	0,020	0,024	0,034	0,035	0,008	0,012	0,019	0,024
Животноводческая нагрузка, усл. гол/км ²									
Верховье	$N_{жи}/F$	34,04	33,69	33,35	32,99	33,26	33,53	33,79	34,05
	$K_i^{ж}$	0,046	0,046	0,047	0,053	0,047	0,046	0,046	0,046
	$K_{жи}$	0,956	0,955	0,954	0,948	0,955	0,955	0,955	0,955
Среднее течение	$N_{жи}/F$	33,94	28,76	28,88	29,15	29,41	30,35	30,76	36,81
	$K_i^{ж}$	0,046	0,054	0,054	0,053	0,053	0,051	0,050	0,042
	$K_{жи}$	0,956	0,947	0,948	0,948	0,949	0,950	0,951	0,959
Низовье	$N_{жи}/F$	5,59	4,40	4,10	4,32	4,58	6,33	6,67	7,50
	$K_i^{ж}$	0,277	0,352	0,378	0,359	0,338	0,245	0,232	0,207
	$K_{жи}$	0,758	0,703	0,685	0,698	0,713	0,783	0,793	0,813
Плотность промышленного производства, тыс. доллар/км ²									
Верховье	PR_i/F	16,28	22,05	27,16	32,33	33,88	35,44	36,99	38,54
	$K_i^{пп}$	4,330	3,197	2,596	2,181	2,081	1,989	1,906	1,829
	$K_{ппi}$	0,013	0,049	0,075	0,113	0,125	0,137	0,149	0,161
Среднее течение	PR_i/F	930,2	137,7	1696,	2216,	2348,	2642,	2673,	2910,
	$K_i^{пп}$	0,076	0,051	0,042	0,032	0,030	0,027	0,026	0,024
	$K_{ппi}$	0,927	0,950	0,959	0,969	0,970	0,974	0,974	0,976

Водохозяйственный участок	Показатель	Годы							
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Плотность населения, чел/км ²									
Верховье	N_i/F_p	9,91	10,10	10,11	10,20	10,30	10,44	10,53	10,67
	$K_i^{пл}$	0,308	0,302	0,302	0,299	0,296	0,292	0,290	0,286
	K_{ni}	0,735	0,739	0,739	0,742	0,744	0,747	0,748	0,751
Среднее течение	N_i/F_p	71,05	71,59	72,04	72,90	73,85	75,42	76,40	77,50
	$K_i^{пл}$	0,043	0,043	0,042	0,042	0,041	0,040	0,040	0,039
	K_{ni}	0,958	0,958	0,959	0,959	0,959	0,960	0,961	0,961
Низовье	N_i/F_p	1,85	1,86	1,87	1,89	1,90	1,87	1,89	1,91
	$K_i^{пл}$	1,649	1,640	1,631	1,614	1,605	1,631	1,164	1,597
	K_{ni}	0,192	0,194	0,196	0,199	2,009	0,196	0,312	0,203
Распаханность сельскохозяйственных угодий, %									
Верховье	F_{rai}	4,76	4,65	4,75	4,74	4,74	4,35	4,41	4,52
	$/F_p$								
	K_i^{pa}	0,641	0,656	0,642	0,643	0,643	0,701	0,692	0,675
Среднее течение	K_{rai}	0,527	0,519	0,526	0,526	0,526	0,496	0,501	0,510
	F_{rai}	15,16	16,58	15,20	15,28	15,53	15,40	15,73	15,74
	$/F_p$								
Низовье	K_i^{pa}	0,201	0,184	0,201	0,199	0,196	0,198	0,194	0,194
	K_{rai}	0,818	0,832	0,818	0,820	0,822	0,820	0,824	0,824
	F_{rai}	0,76	0,68	0,68	0,64	0,60	0,69	0,73	0,78
Низовье	$/F_p$								
	K_i^{pa}	4,013	4,485	4,485	4,766	5,083	4,420	4,178	3,910
	K_{rai}	0,018	0,011	0,011	0,009	0,006	0,012	0,015	0,020
Животноводческая нагрузка, усл. гол/км ²									
Верховье	$N_{жи}$	34,32	36,90	39,47	42,06	42,70	42,89	43,12	44,50
	$/F$								
	$K_i^{ж}$	0,045	0,042	0,039	0,037	0,036	0,036	0,036	0,035
Среднее течение	$K_{жи}$	0,956	0,959	0,962	0,966	0,964	0,965	0,965	0,966
	$N_{жи}$	37,54	39,37	41,14	42,17	43,52	44,12	45,14	45,68
	$/F$								
Низовье	$K_i^{ж}$	0,041	0,039	0,040	0,037	0,036	0,035	0,034	0,034
	$K_{жи}$	0,959	0,961	0,931	0,964	0,965	0,966	0,966	0,967
	$N_{жи}$	7,93	8,48	9,74	8,99	10,16	10,36	9,46	8,50
Низовье	$/F$								
	$K_i^{ж}$	0,196	0,183	0,159	0,172	0,153	0,150	0,164	0,182
	$K_{жи}$	0,822	0,833	0,853	0,842	0,859	0,861	0,849	0,833
Плотность промышленного производства, тыс. доллар/км ²									
Верховье	PR_i	40,09	119,6	127,5	178,1	167,2	99,03	752,7	99,33
	$/F$								
	$K_i^{пп}$	1,759	0,590	0,553	0,396	0,422	0,712	0,093	0,710
Среднее течение	$K_{при}$	0,172	0,554	0,575	0,673	0,656	0,491	0,911	0,492
	PR_i	3132,	3902,	6380,	7604,	6353,	7921,	8131,	10833
	$/F$	5	4	9	8	3	7	0	
Низовье	$K_i^{пп}$	0,023	0,048	0,011	0,009	0,011	0,009	0,009	0,007
	$K_{при}$	0,978	0,953	0,989	0,991	0,989	0,991	0,991	0,994
	PR_i	1031,	1477,	1624,	2554,	3476,	4640,	5920,	9462,
Низовье	$/F$	1	1	8	3	1	8	9	3
	$K_i^{пп}$	0,068	0,048	0,043	0,028	0,020	0,015	0,012	0,008
	$K_{при}$	0,934	0,953	0,957	0,973	0,980	0,985	0,988	0,993

Водохозяйственный участок	Показатель	Годы							
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Плотность населения, чел/км ²									
Верховье	N_i/F_p	10,76	10,90	11,12	11,27	11,41	11,54	11,66	11,79
	$K_i^{пл}$	0,283	0,280	0,274	0,271	0,267	0,264	0,262	0,259
	K_{ni}	0,754	0,756	0,760	0,763	0,766	0,768	0,770	0,772
Среднее течение	N_i/F_p	79,14	80,83	82,56	84,29	86,03	87,74	89,68	91,43
	$K_i^{пл}$	0,039	0,038	0,037	0,036	0,036	0,035	0,034	0,033
	K_{ni}	0,962	0,963	0,964	0,964	0,965	0,966	0,967	0,967
Низовье	N_i/F_p	1,93	1,96	1,98	1,99	2,00	2,01	2,01	2,02
	$K_i^{пл}$	1,580	1,556	1,540	1,533	1,527	1,517	0,517	0,510
	K_{ni}	0,206	0,211	0,214	0,203	0,217	0,219	0,219	0,221
Распаханность сельскохозяйственных угодий, %									
Верховье	F_{pai}/F_p	4,56	4,63	4,73	4,41	4,52	4,56	4,63	4,73
	K_i^{pa}	0,669	0,659	0,645	0,692	0,675	0,669	0,659	0,645
	K_{pai}	0,512	0,517	0,523	0,501	0,509	0,512	0,517	0,525
Среднее течение	F_{pai}/F_p	15,94	16,01	16,33	15,47	16,60	16,69	16,76	17,00
	K_i^{pa}	0,191	0,191	0,187	0,197	0,184	0,183	0,182	0,179
	K_{pai}	0,826	0,827	0,830	0,821	0,832	0,833	0,834	0,836
Низовье	F_{pai}/F_p	0,82	0,90	0,91	0,92	1,01	1,05	1,12	1,25
	K_i^{pa}	3,720	3,390	3,352	3,3150	3,020	2,945	2,723	2,440
	K_{pai}	0,024	0,037	0,035	0,036	0,049	0,053	0,066	0,087
Животноводческая нагрузка, усл. гол/км ²									
Верховье	N_{ji}/F	45,38	46,93	47,16	47,95	50,09	50,49	52,05	52,24
	$K_i^ж$	0,034	0,033	0,033	0,032	0,031	0,031	0,029	0,030
	K_{ji}	0,966	0,968	0,968	0,968	0,970	0,970	0,971	0,971
Среднее течение	N_{ji}/F	46,56	49,14	50,72	52,07	55,91	55,41	57,29	57,82
	$K_i^ж$	0,033	0,032	0,031	0,030	0,028	0,028	0,027	0,027
	K_{ji}	0,967	0,969	0,970	0,971	0,973	0,972	0,973	0,974
Низовье	N_{ji}/F	8,75	8,77	8,63	8,94	9,61	10,30	9,68	10,63
	$K_i^ж$	0,177	0,177	0,180	0,173	0,161	0,151	0,160	0,146
	K_{ji}	0,838	0,838	0,836	0,840	0,851	0,860	0,852	0,864
Плотность промышленного производства, тыс. доллар/км ²									
Верховье	PR_i/F	117,73	176,92	362,90	940,5	346,14	341,89	306,40	314,24
	$K_i^{пп}$	0,599	0,399	0,194	0,075	0,204	0,206	0,230	0,224
	K_{pri}	0,550	0,671	0,823	0,928	0,816	0,819	0,794	0,799
Среднее течение	PR_i/F	12302	12292	11841	14151	18770	21734	26033	27940
	$K_i^{пп}$	0,006	0,006	0,006	0,009	0,004	0,003	0,003	0,003
	K_{pri}	0,994	0,994	0,994	0,995	0,996	0,997	0,997	0,997
Низовье	PR_i/F	9691,6	8912,9	5436,6	9189,	6954,3	6028,3	7304,5	6973,0
	$K_i^{пп}$	0,007	0,008	0,013	0,008	0,010	0,012	0,010	0,010
	K_{pri}	0,993	0,991	0,987	0,992	0,990	0,988	0,990	0,990

Интегральный показатель антропогенной нагрузки ($K_{тн}$) и интенсивность нагрузки (баллы) в водосборе бассейна реки Шу по водохозяйственным участкам

Годы	Водохозяйственные участки водосбора бассейна реки Шу					
	Верховье		Среднее течение		Низовье	
	$K_{тн}$	баллы	$K_{тн}$	баллы	$K_{тн}$	баллы
1997	0,068	3	0,840	8	0,050	3
1998	0,132	4	0,847	8	0,052	3
1999	0,165	5	0,847	8	0,0628	3
2000	0,205	5	0,854	8	0,065	3
2001	0,219	4	0,854	8	0,031	3
2002	0,235	4	0,855	8	0,040	3
2003	0,236	4	0,854	8	0,050	3
2004	0,245	4	0,858	8	0,060	3
2005	0,253	4	0,857	8	0,052	3
2006	0,452	6	0,858	8	0,042	3
2007	0,464	6	0,838	8	0,042	3
2008	0,503	6	0,854	8	0,037	3
2009	0,497	6	0,856	8	0,033	3
2010	0,419	6	0,856	8	0,045	3
2011	0,574	6	0,871	8	0,063	3
2012	0,426	6	0,872	8	0,058	3
2013	0,453	6	0,874	8	0,065	3
2014	0,504	6	0,876	8	0,080	3
2015	0,564	6	0,878	8	0,079	3
2016	0,588	7	0,873	8	0,173	5
2017	0,669	7	0,882	8	0,095	5
2018	0,559	7	0,883	8	0,099	5
2019	0,554	6	0,885	8	0,132	5
2020	0,560	7	0,886	8	0,110	5

ВЫВОДЫ

На основе анализа многолетних информационно-аналитических материалов Национального статистического комитета Кыргызской Республики и Бюро национальной статистики Агентства по статистическому планированию и реформам Республики Казахстан по хозяйственному использованию территории водосбора бассейна трансграничной реки Шу с использованием методологического подхода А.Г. Исаченко, Н.В. Стоящевой и И.Д. Рыбкиной и методики оценки антропогенной нагрузки в водосборную территорию речных бассейнов Ж.С. Мустафаева проведена оценка косвенной антропогенной нагрузки, базирующейся на показателях площадного и линейно-сетевого воздействия (демографическая, сельскохозяйственная и про-

мышленная) в разрезе водохозяйственных участков и административных областей.

В целом, на водосборе бассейна трансграничной реки Шу антропогенная нагрузка увеличивается вниз по течению рек, достигая наибольших величин в среднем течении на территориях Кыргызской Республики, которые позволяют уточнить, детализировать картину косвенных антропогенных нагрузок, наметить направления деятельности по их снижению. На Республику Казахстан, расположенную в нижней части водосбора бассейна трансграничной реки Шу, возлагается роль инициатора регулирования сбалансированного использования природных ресурсов и рационального размещения производительных сил региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. Кирейчева Л.В., Козыкеева А.Т., Даулетбай С.Д. Комплексное обустройство реки Шу. - Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2016. - 149 с. - ISBN 978-3-659-94611-0.
2. Стоящева Н.В., Рыбкина И.Д. Трансграничные проблемы природопользования в бас-сейне Иртыш // География и природные ресурсы. - 2013.- №1.- С.26-32.
3. Исаченко А.Г. Экологическая география России. – СПб: Изд-во С-Петербургского университета, 2001. - 328 с.
4. Одессер С.В. Территориальная дифференциация в экономико-географических типология // Известия АН СССР, Серия географическая. - 1991.- №6.- С. 61-69.
5. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Иванова Н.Ю., Ешмаханов М.К., Турсынбаев Н.А. Оценка техногенной нагрузки на водосборной территории бассейна трансграничной реки Талас на основе интегральных показателей антропогенной деятельности // Известия НАН РК, серия аграрных наук. - 2017. - №2.- С. 48-56.

1. Kireicheva L.V., Kozykeeva A.T., Dauletbai S.D. Kompleksnoe obustroistvo reki Shu. - Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2016, 149 p. - ISBN 978-3-659-94611-0.
2. Stoyashcheva N.V., Rybkina I.D. Transgranichnye problemy prirodopol'zovaniya v basseine Irtysh // Geografiya i prirodnye resursy, 2013, №1, pp.26-32.
3. Isachenko A.G. Ekologicheskaya geografiya Rossii. - SPb: Izd-vo S-Peterburgskogo universiteta, 2001, 328 p.
4. Odesser S.V. Territorial'naya differentsiatsiya v ekonomiko-geograficheskikh tipologiya // Izvestiya AN SSSR, Seriya geograficheskaya, 1991, №6, pp. 61-69.
5. Mustafaev Zh.S., Kozykeeva A.T., Ivanova N.Yu., Eshmakhanov M.K., Tursynbaev N.A. Otsenka tekhnogennoi nagruzki na vodosbornoi territorii basseina transgranichnoi reki Talas na osnove integral'nykh pokazatelei antropogennoi deyatel'nosti // Izvestiya NAN RK,seriya agrarnykh nauk, 2017, №2, pp.48-56.

ШУ ӨЗЕННІНІҢ СУЖИНАУ АЛАБЫНДАҒЫ АДАМЗАТТЫҢ ЖАНАМА ТЕХНОГЕНДІК КЕШЕНДІ БАҒАЛАУ

Ж.С.Мустафаев¹ т.ғ.д., профессор, А.Т Козыкеева² т.ғ.д., доцент, С.Д.Даулетбай³

¹ «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы қ., Қазақстан
E-mail: ingeo@mail

² Қазақ Ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан
E-mail: info@kaznau.kz

³ М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., Қазақстан
E-mail: into@tarsu.kz

Қырғыз Республикасының Ұлттық статистикалық комитеті мен Қазақстан Респуб-ликасы Статистикалық жоспарлау және реформалар агенттігінің Ұлттық статистика бю-росының трансшекаралық Шу өзенінің сужинау алабының алқабындағы сушаруашылық бөлімшелеріне және әкімшілік облыстарына негізделген шараушылыққа пайдалану бойынша, аумақтық және желілік-жүйелік әсерлердің (демографиялық, ауылшаруашылық және өнеркәсіптік) көрсеткіштерінің ұзақ мерзімді ақпараттық-талдамалық мәліметтерін талдау негізінде жанама техногендік жүктемелерді бағалау жүргізілді.

Түйін сөздер: өзен, алап, сужинау, техногендік жүктеме, жанама әсер, су-жер ресурсы

**CIRCULATION FEATURES OF PRECIPITATION FORMATION IN WINTER
IN THE NORTH AND SOUTH OF KAZAKHSTAN IN THE CONDITIONS OF
CLIMATE WARMING**

Zh.S. Mustafayev¹ doctor of technical sciences, professor, **A.T. Kozykeyeva**² doctor of technical sciences, **S.D. Dauletbay**³

¹ *Institute of Geography and water security, Almaty, Kazakhstan*

E-mail: ingeo@mail

² *Kazakh National Agrarian research University, Almaty, Kazakhstan*

E-mail: info@kaznau.kz

³ *M.Kh.Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan*

E-mail: into@tarsu.kz

Based on the analysis of long-term information and analytical materials, the National Statistical Committee of the Kyrgyz Republic and the Bureau of National Statistics of the Agency for Statistical Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan on the economic use of the catchment area of the transboundary Shu River Basin conducted an assessment of the indirect anthropogenic load based on indicators of areal and linear-network impacts (demographic, agricultural and industrial) in the context of water management areas and administrative regions.

Key words: river, basin, catchment, anthropogenic load, indirect impact, water and land resources

УДК 556. 551,5. 551,58

ДИНАМИКА СТОКА РЕКИ ИРТЫШ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

А.В.Чередниченко¹ д.г.н, А. В. Чередниченко² к.г.н, В.С.Чередниченко³ д.г.н, Д.М. Бурлибаева⁴ Ph.D, А.Ж. Уйсинбай³, Д.К. Кисебаев³

¹Университет «Туран» г. Алматы, Казахстан,

E-mail: geliograf@mail.ru

²Tatra Tach г.Астана, Казахстан,

E-mail: aleksey3969@mail.ru

³КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан,

E-mail: vladimir.cherednichenko@kaznu.kz

⁴КАПЭ, г. Алматы, Казахстан

E-mail: diana.burlibayeva@yandex.kz

Рассмотрена климатическая динамика температуры и влажности в регионе Казахского Алтая и её влияние на сток реки Иртыш (Ертыс). Показано, что климатические изменения в регионе в общих чертах отражают такие изменения на территории Казахстана, однако имеется ряд особенностей, заключающихся в степени выраженности экстремумов и некоторого их запаздывания по отношению к центральному Казахстану. Поверхностный сток следует за динамикой осадков и температуры в районе его формирования. Временной ход стока в верховьях и в среднем течении Иртыша существенно различен, что является результатом влияния хозяйственной деятельности, в результате которой его часть забирается безвозвратно. Выполнить количественные оценки потери стока оказалось затруднительным. Сделан прогноз ожидаемых изменений стока под воздействием климатических изменений.

Ключевые слова: Казахский Алтай, многолетние колебания климата, динамика стока реки Иртыш, прогноз

Поступила: 15.03.22

DOI: 10.54668/2789-6323-2022-104-1-65-82

ВВЕДЕНИЕ

Проблема изменения климата для человечества сегодня считается одной из важнейших. Термин «изменение климата» мы используем в качестве общего, включающего в себя все виды его непостоянства (тенденции, тренды, колебания, периоды, ритмы и др.) независимо от их природы (Stoker T.F. et al., 2013).

Проблема особенно важна для аграрно-промышленных стран, расположенных в аридной зоне, где сельскохозяйственная деятельность сильно зависит от погодных условий, а также для стран с ограниченными водозапасами. К таким странам относятся и Казахстан, где проблемой является даже недостаток питьевой воды (Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С., 2015) В связи с этим целью данного исследования

является изучение динамики климата в бассейне реки Иртыш – крупнейшей реки Казахстана, построение сценария его возможных изменений на ближайшие десятилетия, а на этой основе - сценарий изменения стока реки Иртыш на этот же период.

Характеристика используемого материала и методы исследований

Регион исследований. Иртышский бассейн занимает территорию около 355 тыс. км². Он включает в себя Восточно-казахстанскую и Павлодарскую области и частично Акмолинскую и Карагандинскую (рис.1). Область формирования стока расположена практически полностью на территории Восточно-Казахстанской области в её старых границах (без бывшей Семипалатинской области). На реке Иртыш в единой системе задействованы три гидроузла: Бухтарминская,

и, соответственно, три водохранилища. Самым крупным является Буктырминское (Бухтарминское) водохранилище с площадью зеркала 5,5 тыс.км² и объёмом воды около 50 км³ (для сравнения: годовой поверхностный сток всего Казахстана в среднем составляет

около 100 км³). Это водохранилище создано в 1958...1963 гг. и с его помощью осуществляется межгодовое регулирование стока всего каскада ГЭС, оно играет основную роль в формировании всех попусков: энергетических, судоходных, природоохранных.

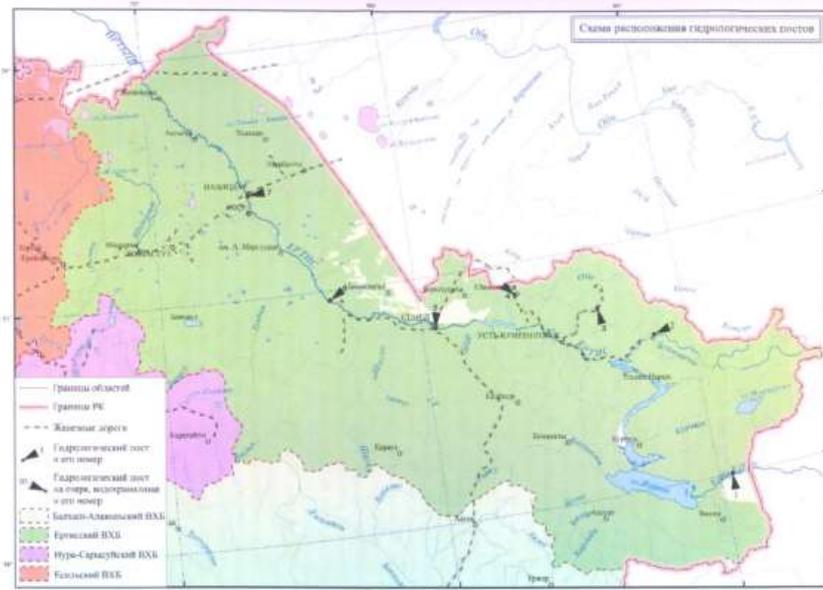


Рис. 1. Карта- схема региона исследований

Усть-Каменогорское водохранилище имеет небольшие регулирующие возможности и используется для недельно-суточного регулирования и перерегулирования попусков Буктырминской (Бухтарминской) ГЭС, основное его назначение – энергетическое.

Шульбинское водохранилище и гидроузел были построены в девяностые годы прошлого века для регулирования стока боковой приточности ниже плотины Буктырминской (Бухтарминской) ГЭС, в основном рек Убы (Оби) и Ульбы (Улби). В апреле-мае водохранилище срабатывается более чем наполовину для обеспечения орошения нижележащей поймы Иртыша, имеющей большое сельскохозяйственное значение.

Рассматриваемая территория представляет собою складчато-глыбовую горную область с абсолютными высотами от 200 до 4500 м. Для правобережья Иртыша характерно понижение хребтов и дна долин с юго-востока на северо-запад, а для левобережья – от высокогорного и среднегорного рельефа на юге до Казахской складчатой страны и холмисто-грядового мелкосопочника на севере и западе т.е. от верховьев Ирты-

ша к низовьям высота рельефа окружающей местности понижается. На северо-востоке мелкосопочник плавно переходит в Прииртышскую равнину, а на юго-западе окаймляется низкорным хребтом Чингиз тау.

Территория Иртышского бассейна характеризуется резко континентальным климатом. Из-за большой удалённости от Атлантики влажные воздушные массы доходят сюда уже потерявшими значительную часть влаги, а воздушные массы, приходящие сюда с Северного Ледовитого океана, обычно содержат мало влаги. В зимнее время регион находится большую часть времени под влиянием отрога Сибирского антициклона, который обуславливает очень низкие температуры воздуха и отсутствие осадков (Бугаев В.А., 1957). Подробные данные о климате региона можно найти в (Справочник по климату Казахстана., 2005).

В бассейне реки Иртыш (Ертыс) проживает более 2,2 млн. человек. Промышленная деятельность концентрируется в основном в двух регионах: Восточно-Казахстанской области - здесь сосредоточена значительная доля казахстанской

казахстанской горно-добывающей и металлургической промышленности цветных металлов, золота и др.; в основном это Восточно-Казахстанская область (Усть-Каменогорск, Зыряновск, Риддер); в Павлодарской области - где тоже сосредоточены предприятия металлургии и энергетики (Павлодар, Экибастуз, Аксу, Майкаин и др.). Сельскохозяйственная отрасль тоже достаточно развита в этом регионе. Все виды хозяйственной деятельности, представленные в регионе, являются потребителями воды. Это потребление, как правило, большей частью безвозвратное в отличие от энергетических предприятий и некоторых других предприятий региона. Потребителями воды являются и сами водохранилища, согласно (Анисимов О.А. и др., 2002) с их поверхности испаряется слой воды около одного метра. В то же время само существование активной экономической деятельности здесь обусловлено наличием достаточного количества воды, т.е. рекой Иртыш (Ертыс) и её притоками.

Суммарные водозаборы с реки Иртыш и её притоков огромны. По разным данным (Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С., 2015) они в отдельные годы достигали 7,5 км³ или даже более.

Характеристика используемого материала и методика исследований

Исходными данными для изучения изменения климата в бассейне реки Иртыш и его влиянии на поверхностный сток были ряды средней месячной и годовой температуры воздуха и осадков за весь период наблюдений по ряду метеорологических станций и гидрологических постов бассейна. Однако особое внимание было уделено анализу рядов за период с 1930 г. по настоящее время. За этот же период были использованы данные о величине стока реки Иртыш и ряда её притоков в основном в зоне формирования стока. Однако были использованы временные ряды стока по постам вплоть до границы с Россией.

Широко распространённым методом аппроксимации временных рядов является линейная. Однако успешная линейная аппроксимация временного ряда на большом временном промежутке практически

невозможна из-за наличия значительных колебаний изучаемого признака. В таком случае прибегают к кусочной линейной аппроксимации, разбивая ряд на несколько относительно линейных отрезков. Однако в любом случае сохраняется главный недостаток линейной интерполяции, то что вычисленный тренд зависит от длины ряда. В этом случае чувствительность с увеличением аппроксимируемого отрезка быстро снижается. Примером заниженной чувствительности ряда могут служить данные, содержащиеся в (Долгих С.А., 2014). Авторы не смогли выделить период стабилизации климатической температуры над Казахстаном, отмеченный всем мировым научным сообществом и нами (Чередниченко А.В., 2015; Amaya D.J., and others., 2016; Rahmstorf S. 2015), хотя чисто качественный анализ тех же рядов легко позволял это выявить.

Полиномиальная аппроксимация является разновидностью сглаживания ряда. При этом, однако, смещения экстремумов не происходит, что является достоинством метода. Подбирая степень полинома, можно регулировать сглаживание. Полином шестой степени, по нашему мнению, является оптимальным при выделении климатических колебаний. Однако на краях ряда он очень чувствителен к колебаниям признака, в том числе к случайным. Поэтому результат полиномиальной экстраполяции нельзя экстраполировать на перспективу, т.е. использовать для построения сценариев ожидаемого изменения климата. Для этого наряду с полиномиальной аппроксимацией мы использовали гармонический анализ. Гармоники, как известно, трактуются как результат воздействия на метеорологическую систему некоторых факторов и оно, это воздействие, вряд ли прекратится в ближайшее время. Поэтому основные гармоники разложения временного ряда могут служить основой для построения сценария изменения климата на перспективу. В данной работе основой для таких сценариев являются именно результаты гармонического анализа.

Все исходные данные перед анализом были подвергнуты тщательному техническому и критическому контролю

в соответствии с принятыми подходами (Мишулина О.А., 2004; Чичасов Г.Н., 2017).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ряде работ было показано, что поверхностный сток очень чувствителен к динамике осадков в районе его формирования не только в аридных областях (Beek A.T., Vos F., Florke M., 2011), но также в условиях Европы (Herra P.M., Hiscok K.M., 2008) и даже в зонах большого количества осадков в бассейне реки Янцзы (Jiang T., Su B.D., Hartman H., 2007). Поэтому для прогноза количества осадков на перспективу мы выбрали именно этот путь. Сначала была изучена динамика осадков и температуры в бассейне, затем рассмотрена динамика стока, затем, найдя связи между динамикой осадков и температуры с одной стороны и величиной стока с другой, мы построили сценарий ожидаемого изменения стока на перспективу. В его основе лежит сценарий ожидаемой динамики осадков, скорректированный на ожидаемую динамику температуры.

Усть-Каменогорск находится практически в центре территории водосбора реки Иртыш. Начнём поэтому анализ изменения климата в регионе с этой станции. Временной ход температуры воздуха, аппроксимирован прямой линией и полиномом шестой степени (рис. 2).

Можно видеть, что в течение данного периода температура воздуха повышалась в среднем на 0,2 °C/10 лет. Однако на фоне повышения имели место заметные колебания температуры с максимумами в ранние сороковые, восьмидесятые годы и в начале XXI века. Сравним температуры по линейному тренду и аппроксимированные полиномом шестой степени (рис. 2). Потепление в ранние сороковые годы было особенно значительным. Оно составило почти 1°С по отношению к линейному тренду. Соответственно имели место и похолодания в ранние шестидесятые и девяностые годы, похолодание в ранние шестидесятые годы составило около 0,6 °С. Анализ исходного временного ряда позволяет сказать, что в конце временного периода имеет место стабилизация роста температуры.

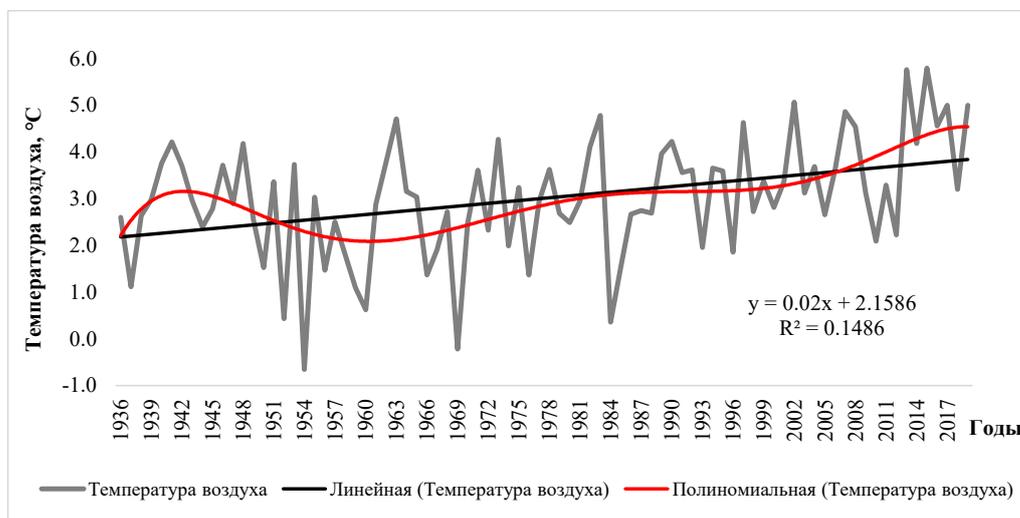


Рис. 1. Временной ход годовых величин температуры воздуха на станции Усть-Каменогорск

В исходном временном ряде годовых температур чётко выделяются особенно холодные годы: 1954, 1969, 1984 и 2010, а также особенно тёплые 1941, 1963, 1983, 2002 и 2013. Представляло интерес выяснить как формируется экстремальная годовая температура, за счет одного какого-то сезона или экстремальными являются большинство месяцев года. На рис.3

представлен годовой ход средней месячной температуры в экстремально холодные, а на рис. 4 – в экстремально тёплые годы.

Из рис.3 можно видеть, что в течение значительной части рассматриваемого зимнего периода имел место рост температуры примерно до конца XX века. После этого рост температуры прекратился и в течение первого десятилетия XXI

века температура понижалась, после этого снова появилась тенденция к росту. В летние месяцы рассматриваемого периода (рис. 3) рост температуры практически не просматривается, хотя определённые колебания вокруг нормы имели место с минимумом в восьмидесятые годы прошлого века. Сравни-

вая межгодовую изменчивость температуры в зимний и летний периоды, находим, что в летний период она близка или меньше 2°C, а в зимний - близка или больше 4°C. Это характерно для большей части Казахстана, расположенной западнее (9,15...20) и характерно в целом для умеренных широт (21 и др.).

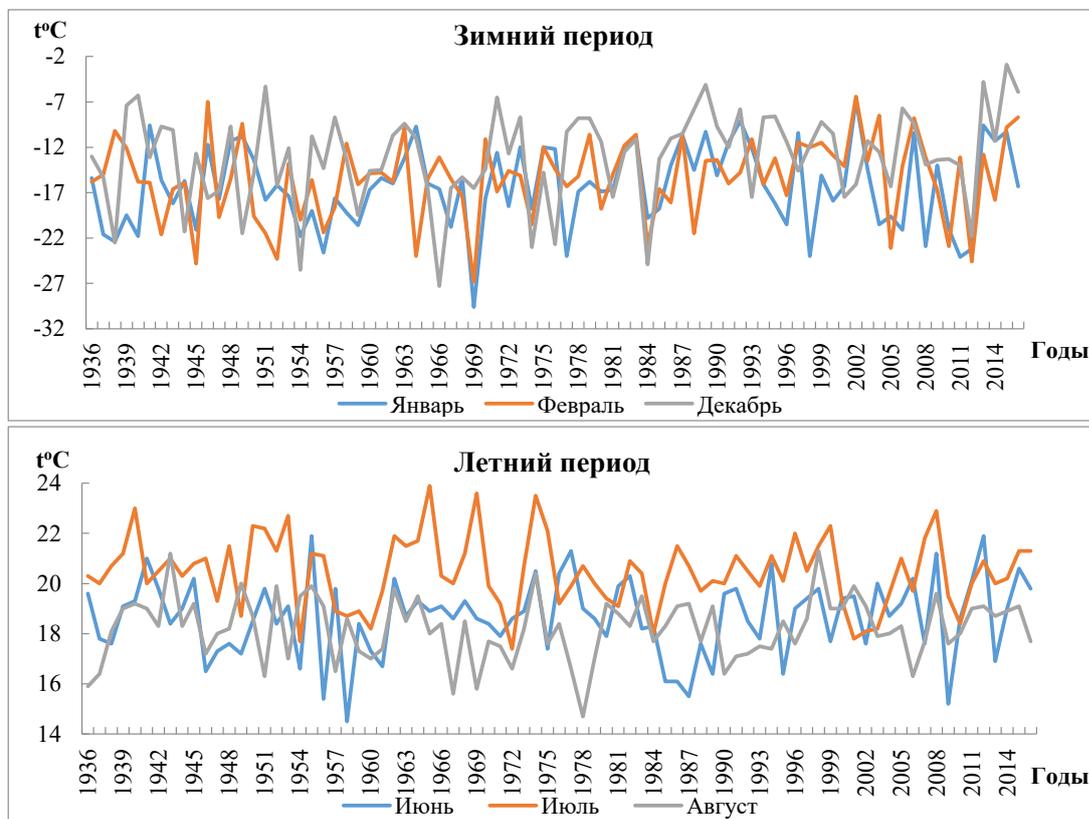


Рис. 3. Усть-Каменогорск. Временной ход температуры в зимние (а) и летние (б) месяцы

Рассмотрим далее временной ход годового количества осадков (рис.4).

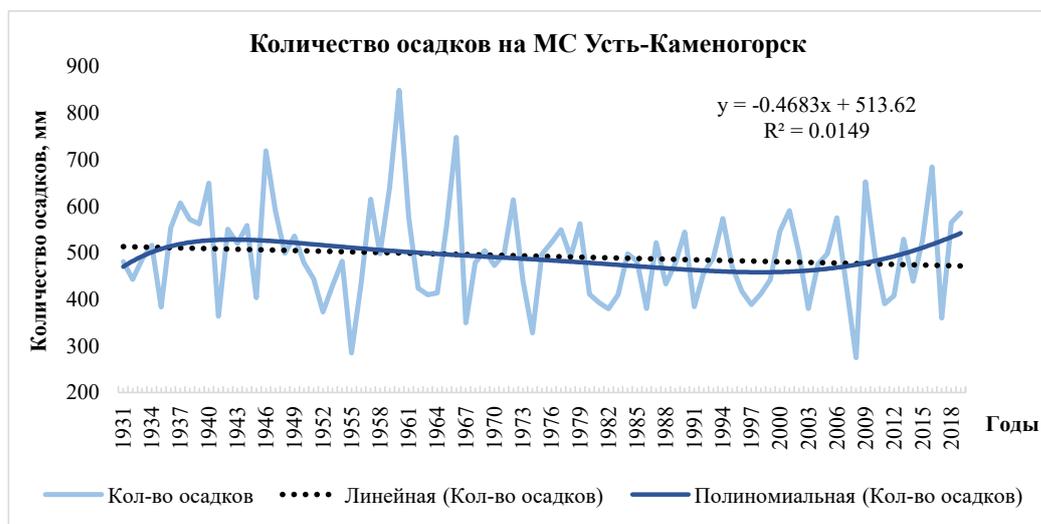


Рис. 4. Временной ход годового количества осадков. МС Усть-Каменогорск

Согласно линейной аппроксимации в течение последних восьмидесяти лет количество осадков в районе Усть-Каменогорска плавно снижалось примерно с 510 до 475 мм/год, т.е. по 3,5 мм/10лет. В исходном временном ряде осадков выделяется несколько экстремумов без выраженной периодичности. Наибольшее количество осадков имело место в 1960 г. – 849 мм, а наименьшее – в 2008

г. – 275 мм. Согласно полиномиальной аппроксимации во временном ряде всё же выделяется два слабых климатических экстремума: максимум осадков в начале сороковых годов и минимум в конце девяностых годов.

На рис. 5 показан график зависимости температуры воздуха и количества осадков на МС Усть-Каменогорск.

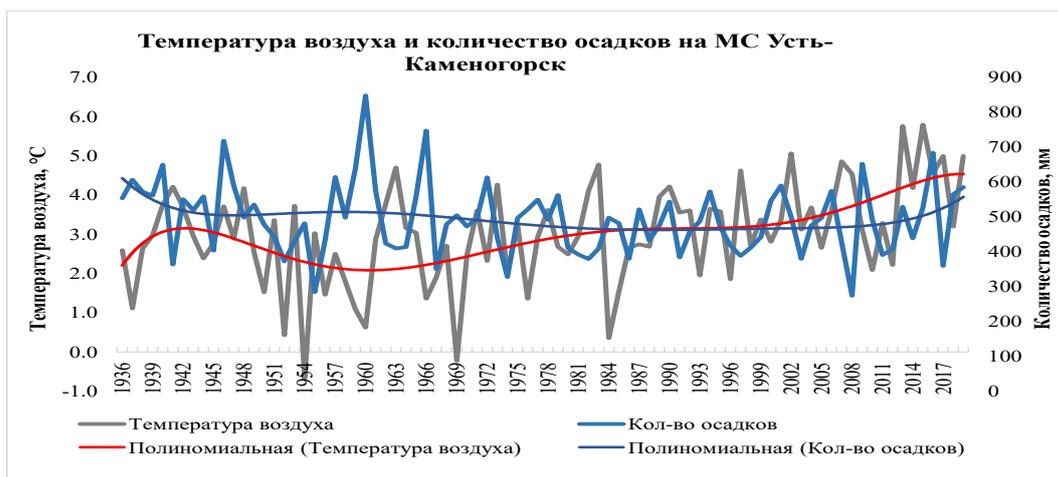


Рис. 5. График зависимости температуры воздуха и количества осадков на МС Усть-Каменогорск

На данном графике можно заметить, что с увеличением температуры количество осадков уменьшается, и наоборот, с уменьшением температуры воздуха количество осадков увеличивается. В пятидесятые – семидесятые годы прошлого века при снижении температуры примерно на 0,9 °C количество осадков возросло примерно на 15 мм. Существует таким образом обратная связь, что указывает на преобладающее влияние

на обнаруженную связь осадков тёплого периода, так как осадки зимой выпадают на фоне повышения температуры. Доказательство связи подтверждается коэффициентом корреляции равной минус 0,16, однако корреляционная связь слабая, что естественно. Рассмотрим временной ход годовых величин температуры воздуха на МС Семипалатинск за тот же временной период (рис. 6).

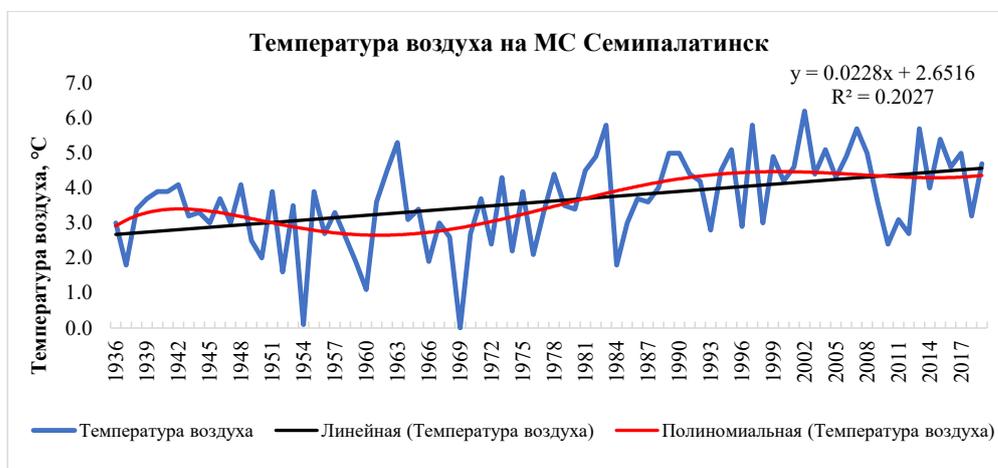


Рис. 6. График распределения годовых температур воздуха на МС Семипалатинск

Сравнивая временной ход температуры в Усть-Каменогорске и в Семипалатинске можно отметить, что в общем они сходны. Также на фоне роста температуры имеется максимум в сороковые и минимум в шестидесятые годы, и по величине линейного тренда, и по величине отклонения температуры от линейно-интерполированной, тоже примерно равны. В конце периода, как и в Усть-Каменогорске, имеет место некоторая стабилизация температуры. В то же время имеющий место в Семипалатинске небольшой максимум в конце девяностых годов, в Усть-Каменогорске отсутствует. Кроме того, исходный ряд температуры в последние годы характеризуется прекращением роста температуры, как и в Усть-Каменогорске, однако использовать результаты аппроксимации для этого участка не представляется возможным, поскольку это конец ряда, где аппроксимация даёт ненадёжные результаты.

Согласно рис. 6 экстремумы температуры воздуха в Семипалатинске отмечались в те же годы, что и в Усть-Каменогорске, они несколько различаются только величинами. По линейному тренду наблюдается

тенденция увеличения температуры воздуха со скоростью 0,2 °С/10 лет. На графике по полиномиальному тренду можем наблюдать, как и в Усть-Каменогорске, похолодание в начале шестидесятых годов, далее потепление к концу девяностых годов и снова некоторое похолодание в начале XXI века.

Известно, что зимние значения температуры имеют больший вес в суммарных многолетних характеристиках из-за их большей естественной изменчивости. В этом сезоне естественная изменчивость температуры в умеренных широтах в два раза больше чем летом. Зимой роль радиационных факторов ослаблена и доминирующее значение имеет общая циркуляция атмосферы, которая находится под влиянием циркуляции и состояния океана (Логинов В.Ф., Лысенко С.А., 2019) В нашем случае тоже мы видим, что в Семипалатинске, как и в Усть-Каменогорске, изменчивость зимних температур превышает 4°С, а летних – близка к 2°С

На рис. 7 представлен график временного хода годовых значений осадков на МС Семипалатинск.

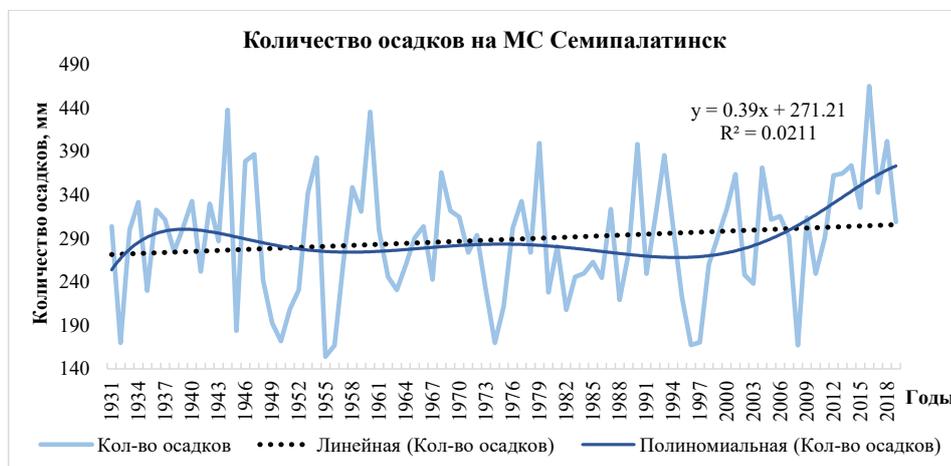


Рис. 7. График распределения годовых температур воздуха на МС Семипалатинск

При общем сходстве рядов осадков в Усть-Каменогорске и Семипалатинске, характеризующимся малой климатической изменчивостью осадков на обеих станциях, и сходством аппроксимационных кривых шестой степени, временем наступления экстремумов, имеется и различие: 1) среднее годовое количество осадков в Семипалатинске примерно на 200 мм меньше чем в Усть-Ка-

меногорске; 2) кривая линейной аппроксимации показывает положительный тренд осадков в Семипалатинске, в то время как в Усть-Каменогорске он был отрицательным.

На данном графике по линейному тренду наблюдается тенденция увеличения количества осадков со скоростью 3,9 мм/10 лет. Однако, при межгодовой изменчивости осадков, превышающей

150 мм/год при годовой сумме осадков около 300 мм (Справочник по климату Казахстана, 2005), линейные тренды, построенные для всего временного ряда (около 90 лет), которые имеют место, малозначимы. Экстремумы количества осадков отмечаются в те же годы, что и в Усть-Каменогорске – 2016 году 465 мм, в 1944 и 1960 гг. – 438 и 436 мм, соответственно. Минимум количества осадков имел место в 1955 году – 154 мм.

Совпадение экстремумов говорит о том, что они обусловлены одними и теми же крупномасштабными синоптическими процессами, однако наличие гор в регионе Усть-Каменогорска интенсифицирует процессы осадкообразования. Наличие гор сглаживает также выраженность синоптических процессов.

На рис. 8 показан график зависимости температуры воздуха и количества осадков на МС Семипалатинск.

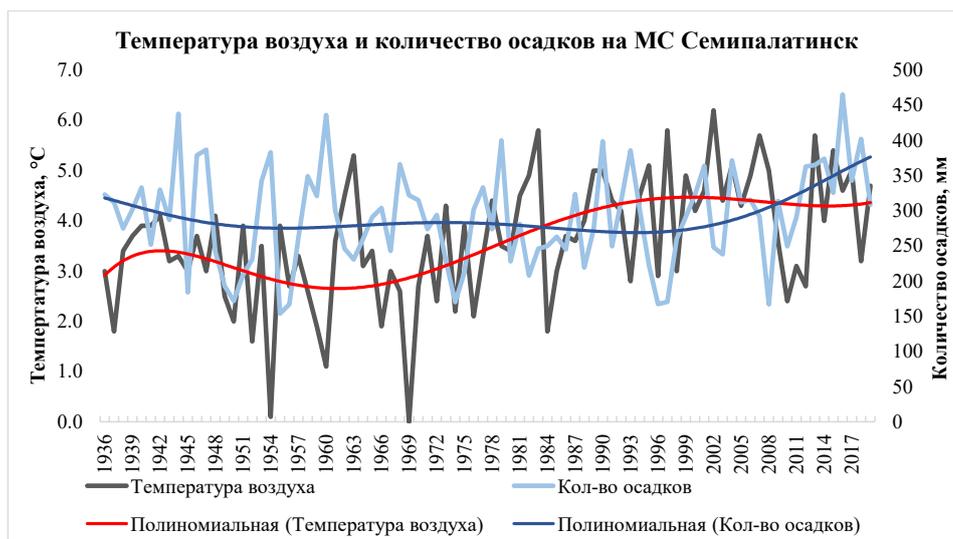


Рис. 8. Временные ряды температуры воздуха и количества осадков. МС Семипалатинск

Мы можем наблюдать, что зависимость между температурой воздуха и количеством осадков такая же, как и для Усть-Каменогорска, т.е. с увеличением температуры количество осадков уменьшается, и наоборот, с уменьшением температуры воздуха количество осадков увеличивается. Величина изменения количества осадков при понижении температуры на 1°C тоже составила примерно 10...15 мм. Коэффициент корреляции зависимости равен минус 0,09, что доказывает о том, что существует обратная связь, но она слабая, причина этого объяснена выше.

Представляет интерес рассмотреть, как временной ряд стока реки Иртыш согласуется с временными рядами осадков. Однако поскольку сток зарегулирован, при этом Буктырминское (Бухтарминское) водохранилище является объектом многолетнего регулирования, то рассчитывать на наличие согласованности в рядах осадков и стока Реки Иртыш не приходится. Рассмотрим поэтому наличие согласованности между осадками и

стоком малых рек и осадков на территории водосбора, формирующих сток реки Иртыш. При этом временной ряд осадков станции Усть-Каменогорск считаем характерным для всего бассейна водосбора реки Иртыш.

Для анализа стока в зоне его формирования мы выбрали четыре поста, на четырёх разных реках, сток которых, по нашему мнению, достаточно хорошо отражает условия его формирования. Эти посты следующие: 1) пост Боран на реке Чёрный Иртыш, 2) пост «устье реки Берёзовка» (Лесная пристань), 3) пост на реке Уба, 4) пост Шемонаиха на реке Ульба. Расположение постов показано на рис.1.

На рис. 9 представлены временные ряды стока рек на перечисленных постах.

Можно видеть, что кривые полиномиальной аппроксимации стока на всех постах очень похожи. Они имеют практически синхронное совпадение экстремумов стока (рис. 9). Однако амплитуда климатических колебаний стока на взятых постах очень разная.

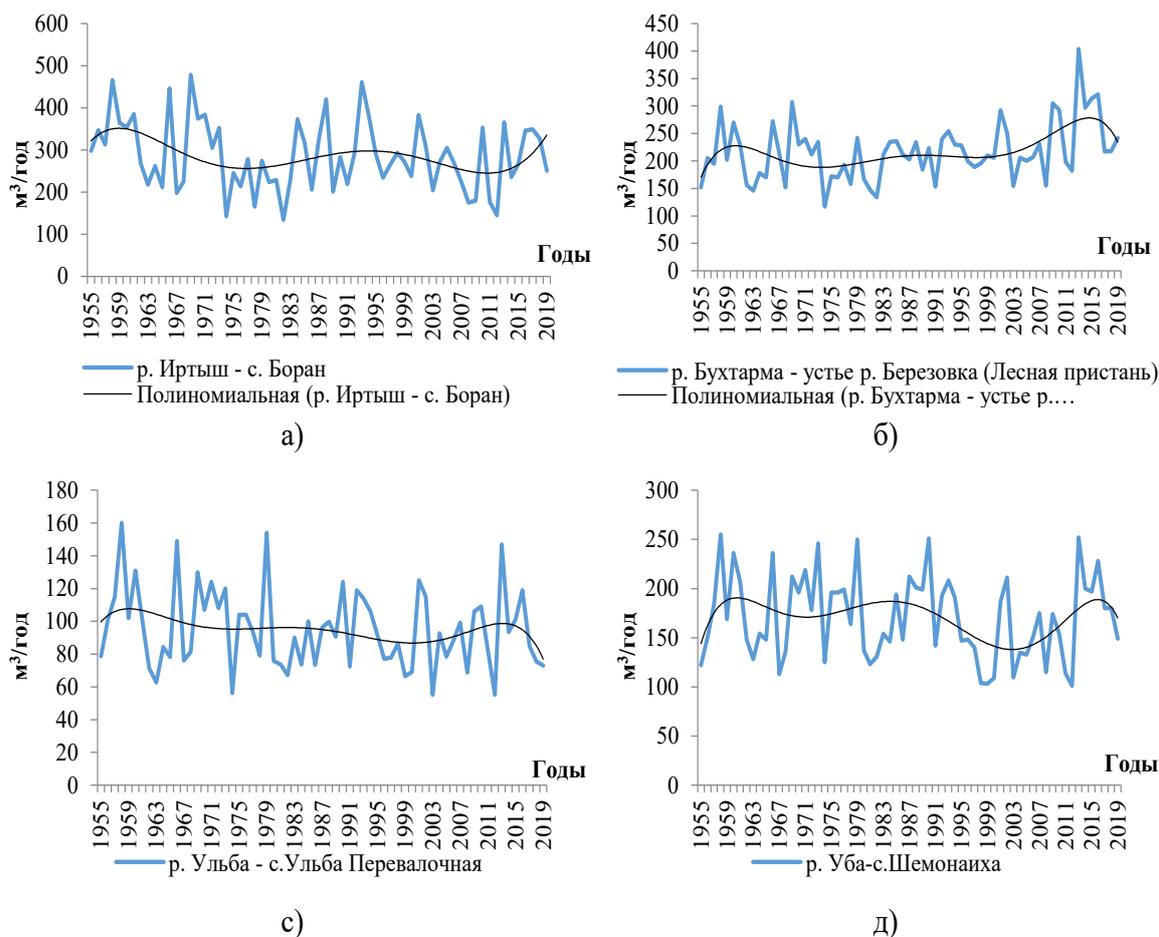


Рис. 9. Временные ряды стока рек на перечисленных постах а) пост Боран на реке Чёрный Иртыш, б) пост «устье реки Берёзовка» (Лесная пристань), в) пост на реке Уба, д) пост Шемонаиха на реке Ульба

Она максимальна на реке Уба, несколько меньше на посту Боран (река Чёрный Иртыш) и ещё меньше на реках Ульба и Бухтарма (Буктырма). Первые две реки формируют свой сток на периферии Казахстанского Алтая, а вторые (Уба и Берёзовка) внутри него, где влияние крупномасштабных синоптических процессов, определяющих климат и его динамику, существенно сглаживается. Это и определяет особенности динамики стока рассмотренных постов. В то же время временной ход стока на выбранных реках хорошо повторяет климатическую динамику осадков в Усть-Каменогорске, расположенном в центре района формирования стока, а также в Семипалатинске, отражающем динамику общей циркуляции атмосферы. Это даёт нам основание для прогнозирования стока реки Иртыш на перспективу использовать ожидаемые климатические

изменения количества осадков в регионе.

Для прогноза климатических изменений температуры возьмем её временной ряд для Семипалатинска (рис. 7) – станции, расположенной в том же регионе, но на равнине и поэтому лучше улавливающей крупномасштабные процессы, определяющие изменение климата (Гирс А.А., 1971; Бугаев В.А. и др., 1957; Чердниченко А.В., Чердниченко В.С., 2020). Результаты анализа этого ряда и прогноз на перспективу представлены на рис.10.

Из рис.10 видно, что вековая гармоника (90 лет) выбирает около 90% дисперсии (1,9°C). Поэтому мы можем для построения прогноза климатического изменения температуры на перспективу использовать только её. Величины вековой значимости гармоники находятся на нисходящей ветви около климатической нормы,



Рис. 10. Временные ряды температуры воздуха и количества осадков. МС Семипалатинск

минимум ожидается около 2050 г. и значения климатической температуры, несмотря на наличие межгодовых колебаний, понизятся по отношению к настоящему времени примерно на $1,3^{\circ}\text{C}$.

Далее подвергнем гармониче-

скому анализу как временной ряд осадков в Усть-Каменогорске, который характеризует режим осадков в районе формирования стока так и ряд в Семипалатинске, характеризующий крупномасштабные синоптические процессы (рис.11).

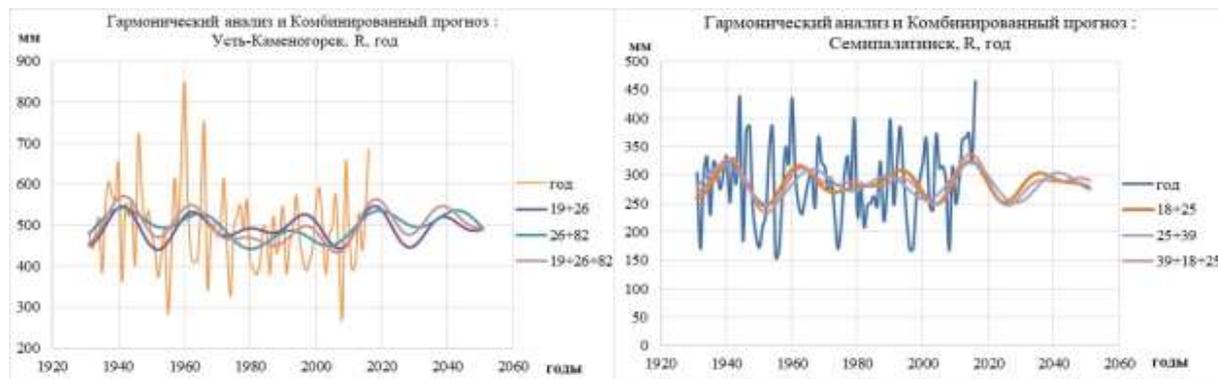


Рис. 11. Результаты гармонического анализа временных рядов осадков в Усть-Каменогорске

Можно видеть, что в обоих временных рядах осадков обнаружены практически одни и те же гармоники. Определяющими являются гармоники в 39,26 и 19 лет. Каждая из них выбирает одну и ту же величину дисперсии, до 50 мм, что характерно для гармоник в рядах осадков (Чередниченко А.В., 2015; Чередниченко А.В. и др., 2013; Чередниченко А.В., 2013). Поэтому для построения сценария на перспективу используем все три гармоники (рис.12). Можно видеть, что в период примерно с 2015 г. в районе водосбора имеет место снижение годового

количества осадков, которое продолжится примерно до 2030 г. и общее снижение за указанный период достигнет 90 мм, начиная с настоящего времени – около 60 мм или 45 мм от нормы. Это безусловно значимое снижение, однако к этому времени ожидается понижение климатической температуры примерно на $0,7^{\circ}\text{C}$, что должно снизить потери на испарение в зоне водосбора примерно на 10 мм. Снижение потерь на испарение произойдет также во всем бассейне реки Иртыш. Оценим потери стока, обусловленные ожидаемым продолжением

снижения количества осадков на фоне некоторого понижения температуры.

Связь между количеством осадков и величиной поверхностного стока в бассейне очень сложна. Обстоятельный анализ факторов, определяющих коэффициент стока, зависящего от интенсивности осадков, состояния поверхности почвы и др. содержится в (Alexander Cherednichenko et al., 2015). Однако в случае климатических оценок уже можно пренебречь зависимостью величины стока от влагосодержания почвы, состояния озёр в бассейне, питающих подземный сток, и др., приняв, что на данном климатическом отрезке они неизменны и постоянны. Тогда величина стока будет определяться только колебаниями количества осадков и в пределах изменчивости количества осадков в 20% связь между ними и величиной стока линейная.

Сток рек, данные которых нами проанализированы выше, изменяется примерно синхронно изменению стока, разброс величин корреляции незначителен. Можно поэтому считать, что это соотношение справедливо для всего бассейна.

Мы ожидаем, что в период до 2030 г. произойдёт дальнейшее понижение количества осадков в районе водосбора примерно на 45 мм/год (до 10% от нормы). Соответственно и общий сток по территории водосбора уменьшится на 10%. В следующее десятилетие, в период до 2040 г. осадки, увеличатся на 60...70 мм/год (10...15%). Соответственно сток тоже возрастёт на 10...15 %, вернувшись к норме.

На сколько необычно ожидаемое снижение стока? Проанализировав временной ряд стока реки Иртыш по данным поста Семиярка, т.е. ниже всех водохранилищ, мы нашли, что его межгодовая изменчивость может достигать 30 %, а усреднённая (сглаженная) за несколько лет – в пределах 15%. Приняв за норму среднего стока величину 880... 900 м³/с, мы обнаружим, что в годы строительства первых водохранилищ в ранние шестидесятые годы прошлого века она составляла 680...770 м³/с, в ранние восьмидесятые – 660...880 м³/с, т.е. сток был на 10...15% ниже нормы. Правда, в конце шестидесятых-начале семидесятых он превышал 1100 м³/с, был близок к этим значени-

ям (около 1000 м³/с) в ранние девяностые и в 2013...2015 гг. Сейчас он находится около нормы и понизится согласно нашим прогнозам к 2030 г. на 10...15%, а затем начнётся такое же увеличение стока к 2040 г., что находится в пределах его естественных колебаний.

ДИСКУССИЯ

Полученные нами результаты об изменении климата для бассейна реки Иртыш показывают, что региональные изменения климата в общем сходны с результатами, полученными нами для Казахстана в целом (Чередниченко А.В., 2015; Чередниченко А.В., 2010; Чередниченко А.В., Чередниченко В.С., 2020; Чичасов Г.Н., 2017). Они также близки к официальным (Долгих С.А., 2014), за исключением того, что в последних не зафиксирована пауза в росте температуры, отмеченная многочисленными исследователями дальнего зарубежья, а также авторскими исследованиями (Медеу А.Р., и др. 2015). Метод линейной аппроксимации, который, как показано выше, реагирует на изменения с большим опозданием, и хотя из временного ряда приведённого в (Долгих С.А., 2014), уже видно, что температура в Казахстане стабилизировалась, тренд оставался положительным.

Известно, что периоды глобальных потеплений и похолоданий в разных частях земного шара не совпадают. Их продолжительность тоже может изменяться на несколько лет (Логинов В.Ф., Лысенко С.А., 2019; Чередниченко А.В., 2013; Чередниченко А.В., 2020). На территории Казахстана стабилизация температуры имела место в период с 1996 по 2012 гг. с разбросом в несколько лет в зависимости от региона (Чередниченко А.В., 2015; Чередниченко А.В. и др., 2013; Чередниченко А.В., 2010; Чередниченко А.В., 2020; Alexander Cherednichenko et al., 2015).

Несмотря на важность проблемы водообеспечения в Казахстане, исследований по бассейну реки Иртыш не так много (Бурлибаев М.Ж., Шенбергер И.В., Бурлибаева Д.М., 2015; Медеу А.Р. и др., 2015; Смагулов Ж.Ж., 2019), исследований по ожидаемой динамике стока в связи с изменением климата мы не нашли.

Работа (Смагулов Ж.Ж., 2019) посвящена по прогнозу водопотребления в бассейне при разных сценариях водозабора со стороны Китая и Казахстана. Авторы разделили бассейн на четыре принципиально разных по формированию стока и водопотреблению участка, начиная от верховьев: 1) от государственной границы с КНР до нижнего бьефа Буктырминского водохранилища; 2) - до нижнего бьефа Шульбинского водохранилища; 3) - до границы Восточно-Казахстанской и Павлодарской областей; 4) оставшая часть бассейна до границы с Россией. Для нас представляют интерес два первых участка, где формируется сток. Для каждого из участков составлен водохозяйственный баланс по десятилетиям, начиная с 1980 г. Баланс составлен, как сообщается, на основании данных по постам Казгидромета и отчётов бассейновой инспекции. О погрешностях расчётов, которые вряд ли ниже 10% от стока Иртыша и в несколько раз превышают некоторые составляющие баланса (потери воды при оседании льда, подземный отток), в работе (Смагулов Ж.Ж., 2019) ничего не сказано. Результаты расчётов, выполненные на основе данных постов Казгидромета о расходах действительно можно принять за основу. Что же касается других данных, то в самой работе совершенно нет никакой информации по их обоснованию. Поэтому имеется ряд важных замечаний, которые требуется учитывать, особенно при прогнозах.

Авторы работ, не ссылаются на методические источники и в этом случае не ясно, по какой методике, на основе каких данных рассчитывались русловые потери. Почему в первом горном районе, где формируется поверхностный сток, эти потери составляют 12...17 % от стока (от 3,0 до 4,7 км³), а в третьем и четвертом равнинных, где имеет место только потеря стока, эти потери оцениваются только в 1,0...1,5% (0,26...0,36 км³). Более того, в четвёртом районе, где огромная по площади заливная пойма, суммарные потери стока (русловые потери плюс потери по пойме) не превышают 1,0 км³. Правда, авторы (Бурлибаев М.Ж., Шенбергер И.В., Бурлибаева Д.М., 2015) счита-

ют, что «объём потребляемой поймой воды 1,1...2,5 км³», т.е. в несколько раз больше. Эти и другие расхождения в оценках говорят о всей условности количественных оценок нынешнего водного баланса бассейна.

Далее, в списке литературы к (Смагулов Ж.Ж., 2019) и в тексте имеются ссылки на международные правила и соглашения по трансграничным рекам, называется допустимый забор 50%, а в балансе допускается снижение притока по Чёрному Иртышу на 7,7 км³ до 2,0 км³, т.е. на 80%. Кстати, средний расход Чёрного Иртыша за период, взятый авторами (Смагулов Ж.Ж., 2019) для расчётов, составляет 275,7 м³/с или 8,7 км³/год. Тогда остаток стока после изъятия 7,7 км³ составит только 1,0, а не 2,0 км³, как указано в балансе. Международные правила (Бурлибаева Д.М., 2017, Конвенция, 1997; Конвенция, 1993, Справочник по климату Казахстана, 1957) рекомендуют не осуществлять забор воды более 50% стока. Кроме того, существует понятие экологического стока, а «экологический сток не может быть меньше минимальных расходов воды, наблюдаемых в данном створе за многолетний период» (Бурлибаева Д.М., 2017). В последние 40 лет, минимальный средний сток имел место в 1983 г. и составлял 134 м³/с или 4,2 км³, что одновременно составляет и 50% среднего стока. Это в два раза выше, чем закладывают авторы (Смагулов Ж.Ж., 2019) в своём прогнозе. И хотя приведённые выше международные критерии - всего лишь рекомендации (Бурлибаева Д.М., 2017: , Конвенция, 1997; Конвенция, 1993, Хельсинкские правила, 1966) маловероятно, что Китай превысит их ещё и потому, что при существующей межгодовой изменчивости стока Чёрного Иртыша для поддержания устойчивого водопотребления потребуются большие водохранилища с большими потерями.

Имеются и другие менее значимые комментарии.

- а) осадки суммарные на перспективу даются с увеличением по десятилетиям, на основе чего?
- б) по первому району даётся подземный отток, как он рассчитывался?
- в) осталось не выясненным, как при

прогнозируемой потере почти 8,0 км³ стока (более 25%) в первом районе авторам удалось сделать баланс положительным в четвертом районе на все десятилетия вперед.

Не хочется думать, что ответ на этот вопрос, как и на первый, содержится в конце статьи.

Согласно (Медеу А.Р., 2015) за период с 1958 по 1975 г. средний водозабор в бассейне составлял 1,318 км³, а в 1993 г. уже 7,614 км³. В последующие годы водозабор варьировал от 2,5 до 4,3 км³. Безвозвратный водозабор варьировал от 65 до 45%. При этом неучтенный водозабор по некоторым данным достигал 1,0 км³.

Проблема бассейна Иртыша, следовательно, не в ожидаемом уменьшении стока в связи с глобальным потеплением, даже авторы (Смагулов Ж.Ж., 2019) закладывают на перспективу рост осадков, а во всё увеличивающемся водопотреблении и отсутствии должного его учёта, необходимости поиска путей его оптимизации, отсутствии серьёзного научного обоснования всех составляющих водохозяйственного баланса, ожидаемых его изменениях на перспективу.

ВЫВОДЫ

Сток реки Иртыш составляет 25...30% от общего поверхностного стока республики Казахстан. Естественно поэтому, что прогноз его возможных изменений под воздействием глобального изменения климата, изменений, связанных с хозяйственной активностью китайской стороны, нашими собственными проблемами в организации прозрачного водопользования в бассейне очень важен. Наша задача заключалась в оценке возможных изменений стока под влиянием климатических изменений.

Ввиду того, что в бассейне расположено несколько крупных водохранилищ, в т.ч. Буктырминское водохранилище многолетнего регулирования, установить прямую связь между стоком Иртыша и осадками в бассейне его формирования оказалось невозможным. Нами было показано, что сток малых рек, формирующих суммарный сток

реки Иртыш, в общем хорошо согласуется временным рядом осадков на территории водосбора. Это позволило нам на основе гармонического анализа осадков и температуры построить сценарии их изменения на ближайшие 20...30 лет, а затем на основе связей между осадками и поверхностным стоком – сценарий ожидаемого изменения стока реки Иртыш, не подверженного антропогенному воздействию, на тот же период.

Получено, что в настоящее время сток реки Иртыш находится около нормы и в период до 2030 г. произойдёт понижение количества осадков в районе водосбора примерно на 45 мм/год (до 10% от нормы). Соответственно и общий сток по территории водосбора уменьшится на 10%. В следующее десятилетие, в период до 2040 г. осадки, увеличатся на 60-70 мм/год (10...15%). Соответственно сток тоже возрастет на 10...15 %, вернувшись к норме.

Относительно ожидаемого забора воды китайской стороной можно отметить, что минимальный средний сток (экологический сток) имел место в 1983 г., расход составлял 134 м³/с или 4,2 км³, что одновременно составляет и 50% среднего стока. Это в два раза выше, чем закладывают авторы (Смагулов Ж.Ж., 2019) в своём прогнозе. И хотя приведённые выше международные критерии – всего лишь рекомендации, маловероятно, что Китай превысит их ещё и потому, что при существующей межгодовой изменчивости стока Чёрного Иртыша для поддержания устойчивого водопотребления потребуются большие водохранилища с большими потерями.

Проблема бассейна Иртыша, следовательно, не в ожидаемом уменьшении стока в связи с глобальным потеплением, а во всё увеличивающемся водопотреблении и отсутствии должного его учёта, необходимости поиска путей его оптимизации, отсутствии серьёзного научного обоснования всех составляющих водохозяйственного баланса, ожидаемых изменений этих составляющих на перспективу. Перечисленные выше вопросы ожидают своего решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов О.А. Последствия изменений климата в регионах северного полушария//Изменения климата и их последствия. СПб:Наука. 2002.-С.239-250.
2. Бурлибаев М.Ж., Шенбергер И.В., Бурлибаева Д.М., Анализ влияния весенних обводнительных попусков реки Ертис на состояние речной экосистемы//Сб. «Некоторые аспекты гидроэкологических проблем Казахстана», 2015, вып. 2. С.145-158.
3. Бурлибаева Д.М. Гидроэкологические основы деления вод на трансграничных реках Казахстана. Монография.-Алматы: изд. «Каганат»-2017.-340с.
4. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. – Л., Гидрометеиздат, 1971. 488 с
5. Конвенция о праве несудоходных видов использования международных водотоков ООН [Электронный ресурс] / (Convention on the Law of the Non-navigational Uses of International Watercourses) 1997 г. – Режим доступа свободный: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/waters.shtml, – Загл. с экрана.
6. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озёр ЕЭК ООН [Электронный ресурс]/(Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Laces). Режим доступа свободный: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/waters.shtml. – Загл. с экрана.
7. Логинов В.Ф., Лысенко С.А. Современные изменения глобального и регионального климата. Минск: Белорусская наука, 2019.315 с.
8. Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С., Алимкулов С.К. Водная безопасность Республики Казахстан; проблемы устойчивого водообеспечения. Алматы, 2015-582с.
9. Мишулина О.А. Статистический анализ и обработка временных рядов.-М.: МИФИ. 2004.-180с.
10. Оценочный доклад об изменениях климата на территории Казахстана./Отв. Исполнитель Долгих С.А. Астана. 2014.-87с
11. Синоптические процессы Средней Азии / В.А. Бугаев, В.А. Джорджио и др. Ташкент, изд. АН Узбекской ССР, 1957, 447 с
12. Смагулов Ж.Ж., Сапарова А.А., Загидуллина А.Р., Баспакова Г.Р. Водохозяйственные исследования и разработка сценариев развития водопотребления в трансграничном бассейне реки Ертис (казахстанская часть)//Гидрометеорология и экология-2019, №3,-С.114-128.
13. Справочник по климату Казахстана. // Многолетние данные. Атмосферные осадки. Вып.1-14. - Алматы: Казгидромет, 2005
14. Хельсинкские правила использования вод международных рек [Электронный ресурс] / (ILA Helsinki Rules on the Uses of the Waters of International Rivers) 1966г. Режим доступа свободный: <http://docs.cvntrd.ru/document/1900698> – Загл. с экрана.
15. Чередниченко А.В. Динамика климата Казахстана. Начало эпохи похолодания.-Алматы.-2015-237с.
16. Чередниченко А.В. и др. Временные ряды температуры и осадков. Статистический анализ. – Алматы, 2013.–366 с.
17. Чередниченко А.В. Изменение климата Казахстана и возможности адаптации за счёт доступных водозапасаов облачности.-Бишкек.-2010.- 259с.
18. Чередниченко А.В., Чередниченко В.С. Динамика изменения климата Казахстана. - Алматы. - 2020-499 с.
19. Чичасов Г.Н. Численные методы обработки и анализа гидрометеорологической информации. М.: ООО «БОРГЕС». 2017.-235с.
20. Шкляев А.С. Особенности распределения осадков и стока на среднем и южном Урале и их связь с атмосферной циркуляцией. // Ученые записки Пермского государственного университета им. А.М. Горького - № 112. - 1961. - 108с.
21. Alexander Cherednichenko, Alexey Cherednichenko, V.S. Cherednichenko, E.N. Vilesov. 2015. Climate change in the City of Almaty during the past 120 years. // Quaternary International journal // homepage: www.elsevier.com/locate/quaint.
22. Amaya D.J., Siler N., and others The interplay of internal and forced modes

of Hadley Cell expansion: lessons from the global warming hiatus/ *J Geophys Res Ocean* 120:6782–6798 CrossRefGoogle Scholar

23. Beek A.T., Vos F., Florke M. (2011) Modelling the impact of global change on the hydrological system of the Aral sea basin/ *Physics and Chemistry of the Earth* 36: 684-695.

24. Cherednichenko, A.V., Cherednichenko, A.V., Cherednichenko, V.S. Scenario of expected climate and change of surface drain in north Kazakhstan \IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 321(1), 012011, 2019

25. Herra P.M., Hiscock K.M. (2008) The effects of climate change on potential ground water recharge in Great Britain. *Hydrological processes* 22: 73-86.

26. Houghton J.T. Meira Filho L. C., Callander B.A., Harris N., Kattenberg A., Masked K. *Climate Change 1995: The science of climate change.* – Cambridge, Cambridge Univ. press, 1996, 572 p

27. IPCC, 2013: *Climate C: the change 2013: Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*/T.F. Stoker et al. New York: Cambridge Univ. Press, 2013. 222p.

28. Jiang T., Su B.D., Hartman H. (2007) Temporal and spatial trends of precipitation and river flow in the Yangtze river basin, 1961-2000/ *Geomorphology* 85: 143-154.

29. Rahmstorf S. Box J.E, and others. Exceptional twentieth-century slowdown in Atlantic Ocean overturning circulation/ *Nature Climate Change* volume 5, pages 475–480 (2015)doi:10.1038/nclimate2554

REFERENCES

1. Anisimov O.A. *Posledstviya izmenenij klimata v regionah severnogo polushariya/Izmeneniya klimata i ih posledstviya.* SPb:Nauka. 2002.-S.239-250.

2. Burlibaev M.ZH., SHenberger I.V., Burlibaeva D.M., *Analiz vliyaniya vesennih obvodnitel'nyh popuskov reki Ertis na sostoyanie rechnoj ekosistemy*//Sb. «Nekotorye aspekty gidroekologicheskikh problem Kazahstana», vyp. 2. S.145-158.

3. Burlibaeva D.M. *Gidroekologicheskie osnovy deleniya vod na transgranichnyh rekah Kazahstana.* Monografiya.- Almaty: izd. «Kaganat»-2017.-340s.

4. Girs A.A. *Mноголетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидrometeorologicheskie prognozy.* – L., Gidrometeoizdat, 1971. 488 s

5. *Konvenciya o prave nesudohodnyh vidov ispol'zovaniya mezhdunarodnyh vodotokov OON [Elektronnyj resurs] / (Convention on the Law of the Non-navigational Uses of International Watercourses) 1997 g. – Rezhim dostupa svobodnyj: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/waters.shtml, – Zagl. s ekrana.*

6. *Konvenciya po ohrane i ispol'zovaniyu transgranichnyh vodotokov i mezhdunarodnyh ozyor EEK OON [Elektronnyj resurs] / (Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Laces). Rezhim dostupa svobodnyj: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/waters.shtml.- – Zagl. s ekrana.*

7. Loginov V.F., Lysenko S.A. *Sovremennye izmeneniya global'nogo i regional'nogo klimata.* Minsk: Belorusskaya nauka, 2019.315 s.

8. Medeu A.R., Mal'kovskij I.M., Toleubaeva L.S., Alimkulov S.K. *Vodnaya bezopasnost' Respubliki Kazahstan; problemy ustojchivogo vodoobespecheniya.* Almaty, 2015-582s.

9. Mishulina O.A. *Statisticheskij analiz i obrabotka vremennyh ryadov.-M.: MIFI. 2004.-180s.*

10. *Ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata na territorii Kazahstana./Otv. Ispolnitel' Dolgih S.A. Astana. 2014.-87s*

11. *Sinopticheskie processy Srednej Azii / V.A. Bugaev, V.A. Dzhordzhio i dr. Tashkent, izd. AN Uzbekskoj SSR, 1957, 447 s*

12. Smagulov ZH.ZH., Saparova A.A., Zagidullina A.R., Baspakova G.R. *Vodohozyajstvennye issledovaniya i razrabotka scenarijev razvitiya vodopotrebleniya v transgranichnom bassejne reki Ertis (kazahstanskaya chast')//Gidrometeorologiya i ekologiya-2019, №3,-S.114-128.*

13. Spravochnik po klimatu Kazahstana. // Mnogoletnie dannye. Atmosfernye osadki. Vyp.1-14. - Almaty: Kazgidromet, 2005
14. Hel'sinkskie pravila ispol'zovaniya vod mezhdunarodnyh rek [Elektronnyj resurs] / (ILA Helsinki Rules on the Uses of the Waters of International Rivers) 1966g. Rezhim dostupa svobodnyj: <http://docs.cvntrd.ru/document/1900698> – Zagl. s ekrana.
15. Cherednichenko A.V. Dinamika klimata Kazahstana. Nachalo epohi pohlodaniya. - Almaty. - 2015-237s.
16. Cherednichenko A.V. Dinamika klimata Kazahstana. Nachalo epohi pohlodaniya. - Almaty. - 2015-237s.
17. Cherednichenko A.V. i dr. Vremennye ryady temperatury i osadkov. Statisticheskij analiz. – Almaty, 2013.–366 s.
18. Cherednichenko A.V. Izmenenie klimata Kazahstana i vozmozhnosti adaptacii za schyot dostupnyh vodozapasov oblachnosti.-Bishkek.-2010.- 259s.
19. Cherednichenko A.V., Cherednichenko V.S. Dinamika izmeneniya klimata Kazahstana. - Almaty. - 2020-499 s.
20. Chichasov G.N. CHislenne metody obrabotki i analiza gidrometeorologicheskoy informacii. M.: OOO «BORGES». 2017.-235s.
21. Shklyayev A.S. Osobnosti raspredeleniya osadkov i stoka na srednem i yuzhnom Urale i ih svyaz' s atmosfernoj cirkulyaciej. // Uchenye zapiski Permskogo gosudarstvennogo universiteta im. A.M. Gor'kogo - № 112. - 1961. - 108s.
22. Alexander Cherednichenko, Alexey Cherednichenko, V.S. Cherednichenko, E.N. Vilesov. 2015. Climate change in the City of Almaty during the past 120 years. // Quaternary International journal // homepage: www.elsevier.com/locate/quaint.
23. Amaya D.J., Siler N., and others The interplay of internal and forced modes of Hadley Cell expansion: lessons from the global warming hiatus/ J Geophys Res Ocean 120:6782–6798 CrossRefGoogle Scholar
24. Beek A.T., Vos F., Florke M. (2011) Modelling the impact of global change on the hydrological system of the Aral sea basin/ Physics and Chemistry of the Earth 36: 684-695.
25. Cherednichenko, A.V., Cherednichenko, A.V., Cherednichenko, V.S. Scenario of expected climate and change of surface drain in north Kazakhstan \IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 321(1), 012011, 2019
26. Herra P.M., Hiscok K.M. (2008) The effects of climate change on potential ground water recharge in Great Britain. Hydrological processes 22: 73-86.
27. Houghton J.T. Meira Filho L. C., Callander B.A., Harris N., Kattenberg A., Masked K. Climate Change 1995: The science of climate change. – Cambridge, Cambridge Univ. press, 1996, 572 p
28. IPCC, 2013: Climate C: the change 2013: Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change/T.F. Stoker et al. New York: Cambridge Univ. Press, 2013. 222p.
29. Jiang T., Su B.D., Hartman H. (2007) Temporal and spatial trends of precipitation and river flow in the Yangtze river basin, 1961-2000/ Geomorphology 85: 143-154.
30. Rahmstorf S. Box J.E, and others. Exceptional twentieth-century slowdown in Atlantic Ocean overturning circulation/ Nature Climate Change volume 5, pages 475–480 (2015)doi:10.1038/nclimate2554

КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРУ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ЕРТІС ӨЗЕНІНІҢ АҒЫС ДИНАМИКАСЫ

А.В.Чередниченко¹ д.ғ.н, А. В. Чередниченко² к.ғ.н, В.С.Чередниченко³ д.ғ.н, Д.М. Бурлибаева⁴ Ph.D, А.Ж. Уйсинбай³, Д.К. Кисебаев³

¹Тұран университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: geliograf@mail.ru

²Tatra Tach Astana, Қазақстан,

E-mail: aleksey3969@mail.ru

³әл-Фараби ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан,

E-mail: vladimir.cherednichenko@kaznu.kz

⁴КАРЕ, Алматы, Қазақстан

E-mail: diana.burlibeva@yandex.kz

Қазақстанның Алтай аймағындағы температура мен ылғалдылықтың климаттық динамикасы және оның Ертіс (Ертіс) өзенінің ағынына әсері қарастырылған. Аймақтың климаттық өзгерістері жалпы алғанда Қазақстан аумағындағы осындай өзгерістерді көрсететіні көрсетілген, алайда орталық Қазақстанға қатысты төтенше жағдайлардың ауырлық дәрежесінен және олардың кейбір кешігуінен тұратын бірқатар ерекшеліктер бар. Жер үсті ағыны оның пайда болу аймағындағы жауын-шашын мен температура динамикасын бақылайды. Ертістің жоғарғы және орта ағысындағы ағын судың уақыт ағымы айтарлықтай ерекшеленеді, бұл шаруашылық әрекеттің әсерінің нәтижесі болып табылады, нәтижесінде оның бір бөлігі қайтарымсыз алынады. Ағынды шығынды сандық бағалау қиынға соқты. Климаттың өзгеруі әсерінен ағынды сулардың күтілетін өзгерістеріне болжам жасалады.

Түйін сөздер: Қазақстан Алтайы, ұзақ мерзімді климаттық ауытқулар, Ертіс өзенінің ағынының динамикасы, болжам

RUNOFF DYNAMICS OF THE IRTYSH RIVER UNDER THE CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE

A.V. Cherednichenko¹ PhD, A.V. Cherednichenko² PhD, V.S. Cherednichenko³, Burlibaeva⁴ PhD, A.Zh. Uysinbay³, D.K. Kisebaev³

¹Turan University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: geliograf@mail.ru

²Tatra Tach Astana, Kazakhstan,

E-mail: aleksey³⁹⁶⁹@mail.ru

³al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: vladimir.cherednichenko@kaznu.kz

⁴КАРЕ, Almaty, Kazakhstan

E-mail: diana.burlibayeva@yandex.kz

The climatic dynamics of temperature and humidity in the region of Kazakhstan Altai and its influence on the runoff of the Irtysh (Ertys) river are considered. It is shown that climatic changes in the region generally reflect such changes in the territory of Kazakhstan, however, there are a number of features, consisting in the degree of severity of extremes and some of their delay in relation to central Kazakhstan. Surface runoff follows the dynamics of precipitation and temperature in the area of its formation.

The time course of the runoff in the upper and middle reaches of the Irtysh is significantly different, which is the result of the influence of economic activity, as a result of which part of it is irretrievably taken. It has proven difficult to quantify runoff loss. A forecast is made of expected changes in runoff under the influence of climate change.

Key words: Kazakhstan Altai, long-term climate fluctuations, runoff dynamics of the Irtysh River, forecast

УДК 626.8:628.17

УЧЕТ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ИЛИ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ – ГДЕ ПУТЬ К ВОДОСБЕРЕЖЕНИЮ?

А.А. Каримов¹ канд. техн. наук

¹Национальный исследовательский университет Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Узбекистан

E-mail: akmalkarimov040@gmail.com

Водосбережение является основой для перераспределения водных ресурсов и сбалансированного развития отраслей экономики стран Центральной Азии. Реализация программ водосбережения может способствовать достижению целей заложенных в Генеральной схеме Комплексного использования и охраны водных ресурсов Республики Казахстан. Все три, рассмотренные в ней сценария использования водных и земельных ресурсов в орошаемом земледелии предусматривают водосбережение, однако пути экономии вод не раскрыты. В статье, на основе обзора изученности вопроса и опыта стран, реализовавших крупные проекты повышения эффективности использования водных ресурсов, раскрываются шаги необходимые для водосбережения, в основе которых лежит учет использования водных ресурсов. Рассмотрены три подхода: учет эффективности; учет фракций водопользования; учет водопотребления. Для достижения реального водосбережения, предлагается реализовать программу сокращения бесполезного водопотребления и направления сэкономленных вод на продуктивное использование.

Ключевые слова: учет использования водных ресурсов, продуктивность воды, водосбережение, орошаемое земледелие, Казахстан

Поступила: 23.03.22

DOI: 10.54668/2789-6323-2022-104-1-83-94

ВВЕДЕНИЕ

Рост численности населения и потребности в воде в условиях ограниченных ресурсов обуславливает необходимость широкого применения водосберегающих технологий. Переход на водосберегающие технологии является составной частью перспективного планирования управления водными ресурсами в странах аридного климата, где особая роль в обеспечении населения продовольствием отводится орошаемому земледелию. Так проблема совершенствования орошаемого земледелия за счет водосбережения актуальна в Индии, Ираке, Испании, Пакистане, западных штатах США, и Центрально-Азиатском регионе (Shah, 2011; Faramarzi et al., 2010; Kumari and Singh, 2016; Verbel et al., 2010; Janjua et al., 2021; Montazar, 2021). В результате многолетних исследований в мире накоплен,

как огромный опыт по реализации программ водосбережения, так и уроки неудач, когда вместо ожидаемого водосбережения имело место увеличение потребности на воду. Извлечение уроков из этих неудач может способствовать более устойчивому развитию водного хозяйства стран Центрально-Азиатского региона, где водные ресурсы являются лимитирующим фактором развития не только орошаемого земледелия, но и энергетики, питьевого водоснабжения и других отраслей экономики. С изменением климата, негативные последствия которого уже отмечаются в южной части региона, в бассейне Аральского моря, важность этого вопроса становится ещё более насущнее.

Особый интерес для региона представляет опыт Испании, где были реализованы две крупнейшие в Европе программы водосбережения, охватившие около миллиона

гектар, каждая (Verbel et al., 2019). Миллиарды евро, израсходованные на повышение КПД каналов и внедрение водосберегающих технологий в течение десятилетия, привели к увеличению объемов продукции, площади орошаемых земель, и потребности в воде, вместо ожидаемого водосбережения. Данная статья имеет две цели: (1) извлечь уроки из опыта водосбережения стран реализовавших крупные программы внедрения водосберегающих технологий, и; (2) определить пути совершенствования учета использования водных ресурсов.

Перспективные программы водосбережения в Казахстане

Генеральная схема комплексного использования и охраны водных ресурсов Казахстана рассматривает три сценария развития, два из которых представляют наибольший интерес, минимальный и оптимальный (ПП РК № 200 от 08.04.2016). Первый сценарий, минимальный, не предусматривает увеличения площади орошаемых земель; площади остаются без изменения до уровня 2040 года и составляют около 1560 тыс. га, в том числе регулярное орошение на 1391 тыс. га. В этом сценарии, дефицит продовольствия планируется возмещать за счет импорта продукции и учитывается развитие других отраслей экономики, что потребует дополнительные водные ресурсы. Во втором сценарии, оптимальном, намечено увеличение площадей орошаемых земель и ожидается экономия водных ресурсов для поддержания экологического равновесия в напряженных регионах. Вся площадь орошаемых земель к 2040 г. запланирована на уровне 2210 тыс. га, в том числе регулярного орошения – 1800 тыс. га. Водообеспечение прироста орошаемых площадей предусмотрено, в первую очередь, за счет повышения технического состояния оросительных систем. Так на 2040 г. намечается достижение КПД систем до 0,70, при этом КПД магистральных каналов планируется довести до 0,92, КПД внутренней сети до 0,87, КПД поля до 0,88. Несмотря на увеличение водозабора из источников только на 10%, увеличение площади орошаемых земель планируется на 40%, что указывает на

критическую роль водосбережения для достижения поставленных целей. Однако, пути водосбережения не раскрыты, а мероприятия, заложенные в схеме, могут быть недостаточными для обеспечения возрастающих потребностей в воде отраслей экономики. Такие же планы существуют и в других странах региона. Первым шагом на пути к водосбережению в этих условиях может стать улучшение учета использования водных ресурсов.

Теоретическая основа учета использования водных ресурсов

Perry (2018), исследуя проблему совершенствования практики орошения в условиях дефицита водных ресурсов, рассматривает пять положений, суть которых заключается в том, что для получения реального эффекта водосбережения, необходимо наладить учет использования водных ресурсов, основанный не на интересах отдельных групп, бенефициаров, а на строгих научных положениях, основанных на постоянном круговороте воды в природе и законе единства всех водных ресурсов. Попытки сокращения использования водных ресурсов на местном уровне, часто приводят лишь к переходу части используемой воды из одной среды в другую, первичные источники становятся вторичными, но совокупный ресурс остается на том же уровне (Ward and Pulido-Velazques, 2018). Увеличение водных ресурсов в поверхностной среде, ведет к истощению её ресурсов в подземной, на что указывает, например, печальный опыт Индии и Ирана (Shah, 2011; Ashraf et al., 2021; Safdari et al., 2022). И наоборот, экстенсивное использование речного стока на орошение ведет к истощению поверхностных ресурсов, и увеличению ресурсов в подземной среде, если нет глобальных изменений или не пройдена черта, за которой идет прогрессирующее сокращение водных ресурсов и экосистем в целом. Внедрение водосберегающих технологий на уровне поля способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур, путем создания более благоприятных условий для использования растениями других видов ресурсов; формируются условия для выращивания более доходных культур, но вопрос

водосбережения на бассейновом уровне остается открытым. Таким образом, «реальное» водосбережение может быть достигнуто только на уровне бассейна рек (Molden et al., 2001).

Показателен опыт Испании по внедрению капельного орошения в сельском хозяйстве. Национальная программа модернизации орошения, реализованная с 1995 по 2015 гг., была самой большой в Европе по площади охвата и объему инвестиций. Цель этой программы заключалась в водосбережении, и на это было израсходовано в среднем 6000 евро на каждый гектар орошаемой земли (Berbel et al., 2019). Реализация программы позволила улучшить условия труда, сократить использование минеральных удобрений, улучшить качество вод в результате сокращения дренажного стока, внедрить платное водопользование, повысить урожай сельскохозяйственных культур и продуктивность водных ресурсов, однако эффект водосбережения на уровне бассейна не был отмечен. Причина этого заключалась в фокусе на уровне поля и отсутствие изначально планирования водосбережения; водосбережение на уровне бассейна считалось естественным следствием сокращения водозабора на уровне поля или системы. Учет использования водных ресурсов сводился к учету водозабора из источников и передачи воды фермерам.

Три подхода к учету использования водных ресурсов

В развитии методов учета использования водных ресурсов можно выделить три различных подхода:

Подход 1: Концепция эффективности (Israelsen, 1950; Jensen, 2007), по которой эффективность есть отношение объема воды использованной по назначению к объему воды забранной из источника; в этом случае эффективность системы оценивается по коэффициенту полезного действия (КПД) системы, сети или поля. Несмотря на обоснованность использования этого метода на уровне поля или системы с целью нормирования орошения, его нельзя переносить на использование в целях водосбережения или перспективного планирования водных

ресурсов, особенно на уровне бассейнов (Molden, 1997). Причина этого заключается во взаимосвязи поверхностных и подземных вод, в круговороте воды в природе, когда потери воды на фильтрацию, пополняя подземные воды или выклиниваясь в русле рек, вновь используются ниже по течению.

Наглядным примером этому могут служить бассейны рек, где грунтовые воды являются одним из важных источников орошения. Часть воды, потерянной при орошении, фильтруясь в грунтовые воды, вновь откачивается для полива сельскохозяйственных культур ниже по течению. Данная схема может повторяться многократно, сокращая тем самым долю возвратного стока, в результате эффективность использования воды на уровне бассейна, рассчитанная на основе КПД поля будет значительно ниже её реальной величины.

Исключением могут являться регионы или бассейны рек, где имеет место широкое распространение засоления водно-земельных ресурсов, в сильной и даже средней степени. В этом случае, повышение эффективности системы способствует предупреждению смешения качественной воды с минерализованными грунтовыми водами, при близком залегании которых происходит вторичное засоление земель. Результатом повышения эффективности системы является предупреждение дальнейшего засоления водно-земельных ресурсов, увеличение продуктивности сельскохозяйственных культур, сокращение сброса коллекторно-дренажных вод в соленые озера или понижения, и тем самым реализуется водосбережение. В других же случаях, повышение эффективности систем может способствовать экономии воды, только на местном уровне, но создаёт предпосылки для увеличения площади орошаемых земель и роста потребности в водных ресурсах.

Подход 2. В начале 2000-х годов, Международная комиссия по ирригации и дренажу (МКИД) предлагает другой подход к учету использования водных ресурсов (Perry, 2007; Perry et al., 2009; Perry, 2011). Суть подхода сводится к тому, что вместо оценки эффективности предлагается оценивать фракции водопользования, независимо от того, связано ли оно с забором воды из

русла рек или её использование происходит в русле реки. Данный подход предлагается применять ко всем видам деятельности человека.

По этой методике водопользование делится на потребляемую фракцию и непотребляемую (Perry, 2011). Потребляемая фракция (испарение и транспирация) включает в себя (а) полезное водопотребление, когда испарение или транспирация воды являются намеренными и соответствуют тому назначению, для которого она была забрана из источника, и (б) бесполезное водопотребление, когда вода испаряется или транспирируется для целей, отличных от намеренного использования. Не потребляемая фракция включает в себя: (а) извлекаемую фракцию, которую можно уловить и повторно использовать, и; (б) не извлекаемую, когда вода потеряна для дальнейшего использования (смешение вод с солеными грунтовыми водами, или сток в глубокие водоносные горизонты, после которого их извлечение экономически не выгодно). Этот метод даёт более ясную оценку гидрологического цикла воды, увязывая все сектора экономики, но вместе с тем разделяет водопользование и эффект самого процесса водопользования. Этим разделением уравнивается вклад всех факторов, участвующих в формировании урожая сельскохозяйственных культур, и тем самым отрицается особая роль водных ресурсов. За основу этой позиции берётся линейная связь между биомассой или урожайностью сельскохозяйственных культур и транспирацией. Переход от традиционного полива по бороздам к капельному орошению сокращает бесполезное испарение и увеличивает транспирацию; увеличение же транспирации культур ведёт к увеличению биомассы, но продуктивность воды при этом остаётся на том же уровне.

Подход 3. В эти же годы, Международный Институт Управления Водными Ресурсами (International Water Management Institute, ИВМИ) выдвигает другой метод (Молден, 1997; Molden et al., 2001), который увязывает использование водных ресурсов с эффектом процесса их использования через продуктивность воды. Методики МКИД и ИВМИ имеют три основных различия: (а) методика МКИД концентрируется на учете фракций

водопользования, а ИВМИ на учете водопотребления или истощения водных ресурсов; (б) методика МКИД отрицает особую роль воды в производстве сельскохозяйственной продукции, и подчеркивает необходимость управления всеми факторами формирующими урожай культур; методика ИВМИ подчеркивает особую роль водным ресурсам в формировании урожая культур и оценивает эту роль через продуктивность воды; с) методика МКИД отдаёт приоритет мерам на уровне поля и увязывает водосбережение в первую очередь с агрономической практикой и управлением водой; методика же ИВМИ определяет водосбережение на уровне бассейна.

В методике ИВМИ водопотребление рассматривается, как истощение водных ресурсов. Истощение водных ресурсов происходит в случае, когда вода, забранная из источника, становится непригодной для дальнейшего использования при 4-х процессах: (а) при испарении или транспирации; (б) смешении вод с сильно минерализованными водами; (с) загрязнении вод, и (д) вхождение в состав продукции (Molden, 1997). Истощение вод может быть намеренным и вне процесса. Истощение намерено, когда располагаемые водные ресурсы истощаются при производстве продукции или другом намеренном процессе. Истощение водных ресурсов вне процесса, если вода отведена на определенный процесс, но расходуется на другой. Истощение вне процесса может быть полезным и бесполезным. При этом подходе учитывается гидрологический процесс, сохраняющий применимость это метода на уровне бассейна, и связь между водопотреблением и урожаем сельскохозяйственных культур. Если подход МКИД основан на том, что водопользование создает благоприятные условия для использования удобрений, питательных элементов почвы и других ресурсов, увязка водопотребления и урожая через продуктивность воды в подходе ИВМИ подчеркивает особую роль водных ресурсов, регулятора многих физиологических и биохимических процессов в растении. Этот подход рассматривает повышение продуктивности воды, как путь к водосбережению (Molden, 1997). Водосбережение в речных бассейнах

или оросительных системах, где водообеспечение осуществляется на основе подъема воды с помощью насосов или насосных станций, является отдельным вопросом и требует особого рассмотрения (Karimov et al., 2022).

Продуктивность воды есть отношение величины полезного продукта к величине безвозвратного водопотребления. На уровне поля величина водопотребления может быть приравнена эвапотранспирации и рассчитана по методике Программы ООН по продовольствию и сельскому хозяйству (Food and Agricultural Organization, ФАО) (Allen et al., 1998). На уровне бассейна необходимо учесть все виды безвозвратного водопотребления, имеющие место в цепочке водообеспечения и при производстве продукции. Так в орошаемой земледелии это: водопотребление на выработку и передачу электроэнергии; на испарение с зеркала водохранилищ; эвапотранспирация на уровне поля; отвод дренажных вод в концевые соленые озера или понижения, и фильтрация в высокоминерализованные грунтовые воды.

Использование подходов МКИД и ИВМИ на практике приводит к различным результатам. Учет управления всеми соответствующими факторами производства культур, в подходе МКИД, направлен на увеличение продуктивности совокупности используемых ресурсов, в том числе водных (Perry and Steduto, 2017; Perry, 2018). Использование же подхода ИВМИ позволяет перераспределить водные ресурсы на уровне бассейна от их использования с низкой продуктивностью к использованию с более высокой продуктивностью, тем самым обеспечивая водосбережение. В обоих случаях, целью реконструкции ирригационных систем становится не повышение КПД канала или систем, а сокращение бесполезного или низко-продуктивного водопотребления. «Реальное водосбережение есть сокращение бесполезно расходуемой воды в одном месте и высвобождение её для перераспределения на выгодное использование в другом» (Keller and Keller, 1995). Тем самым водосбережение рассматривается как совокупность двух действий - сокращение бесполезного расхода воды в одном месте и выгодное исполь-

зование в другом - только тогда достигается водосбережение. Отсюда планирование водосбережения может иметь следующие шаги: (1) определение водопотребления в современных условиях и выделение бесполезных затрат водных ресурсов; (2) расчет продуктивности воды для культуры, поля, системы и бассейна; (3) реализация мероприятий по сокращению бесполезного водопотребления и перераспределение сэкономленной или потребляемой с низкой продуктивностью на деятельность с более высокой продуктивностью.

Зная процессы, при которых имеет место бесполезное или низко-продуктивное водопотребление можно наметить мероприятия по их сокращению. Это может быть бетонирование каналов в зоне сильноминерализованных грунтовых вод, внедрение капельной системы орошения, или переход на дефицитное орошение для сокращения бесполезного испарения. Заблаговременный учет использования водных ресурсов и планирование водосбережения на уровне бассейнов рек может стать основой для достижения целей, закладываемых в схемах Комплексного использования и охраны водных ресурсов, когда необходимо перераспределение водных ресурсов между отраслями экономики.

Продуктивность воды и опыт земледельцев

Опыт земледельцев Центральной Азии важен в повышении продуктивности воды в условиях нарастающего дефицита водных ресурсов. Особенно это относится к выращиванию винограда, широко распространенного в Узбекистане и Таджикистане, и постепенно входящей в практику производителей сельскохозяйственной продукции в южном Казахстане. Традиционная технология выращивания винограда, на основе шпалер, характеризуется большими потерями воды на испарение с поверхности почв, что приводит к сокращению транспирации культур, и как следствие, к снижению урожайности винограда. В тоже время, в Ферганской долине получила распространение интенсивная технология, способствующая минимальным потерям на бесполезное водопотребление. С целью распространения

этой технологии выращивания винограда с 2011 по 2015 гг. был изучен опыт фермеров Алтыарыкского района Ферганской области.

Значительная часть фермеров Алтыарыкского района выращивают виноград на бедных каменистых почвах. Сначала, бедные почвы засыпают мелкоземом. Орошение винограда на этих грунтах сочетают с внесением навоза; большая часть удаленных листьев растений остаётся на поверхности почвы и формирует гумус, величина которого в верхнем слое почвы через несколько превышает 2%. Внесение же в почву недостающего фосфора способствует оптимальному питанию растений.

С периода посадки кустов винограда идет постепенное их обучение наиболее эффективному использованию питательных элементов, получаемых с почвы, солнечного света и энергии. Формирование кустов винограда ведётся таким образом, что поступающая солнечная энергия полностью перехватывается листьями растений на высоте 2 м и эффективно используется на формирование плодов винограда, а листья защищают плоды от негативного влияния повышенных температур. Корни растений формируются таким образом, что полностью расположены в почвенном слое 0...50 см, покрывают все междурядное пространство и эффективно используют доступные питательные элементы. Этому способствует орошение частыми небольшими нормами 300...350 м³/га по коротким мелким бороздам. В результате урожайность винограда превышает 20 т/га, при оросительной норме в среднем 7800 м³/га и величине осадков в 200 мм, продуктивность воды изменяется от 1 кг/м³ для двух летней культуры до 2 кг/м³ при возрасте кустов более 3 лет. Опыт и знания фермеров, способствующие оптимальному использованию солнечной энергии, питательных элементов и доступной влаги почв формируют добавленную продукцию и добавленную стоимость.

В результате продуктивность воды для винограда значительно выше, чем для хлопка или пшеницы, где она не превышает 0.7...0.8 кг/м³; разница в продуктивности воды для этих культур ещё выше в стоимостном выражении.

От теории к практике

Использование приведенной выше процедуры на практике может позволить избежать неудач в планировании водосбережения. С этой целью было изучено состояние применения на практике указанных подходов учета использования водных ресурсов. Сначала, были собраны более 100 работ, статей и отчетов, в той или иной мере нацеленных на водосбережение на уровне поля, канала, оросительной системы или бассейна рек в Казахстане; из них были отобраны 46, в которых была попытка учета использования вод. Затем, эти работы были разделены на пять групп:

- 1) статьи, опубликованные в рецензируемых журналах базы данных SCOPUS;
- 2) политические заметки, направленные на распространение той или иной технологии или экономических рычагов водосбережения;
- 3) научные отчеты, подготовленные научными организациями по заданию международных доноров;
- 4) проектная документация реализуемых международных проектов;
- 5) отчеты, подготовленные по завершению отдельных этапов или всего проекта.

Затем, все отобранные документы были протестированы на наличие следующих ключевых терминов - (а) анализ эффективности использования или доставки водных ресурсов, (б) водопотребление, (в) истощение, (г) эвапотранспирация и (д) продуктивность воды. Наличие совокупности двух и более указанных терминов в документе могло означать использование одного из трех подходов учета использования водных ресурсов.

Результаты оценок приведены на Рис. 1.

Из рис. 1 видно, что почти все изученные документы, кроме политических заметок, приводят данные по эффективности использования водных ресурсов. Только 65% политических заметок используют данные по эффективности использования воды. Процент документов, использовавших термин «водопотребление», во всех группах документов был также большим, более 65%, однако реальная величина учета водопотребления значительна ниже, что видно из приведенных данных

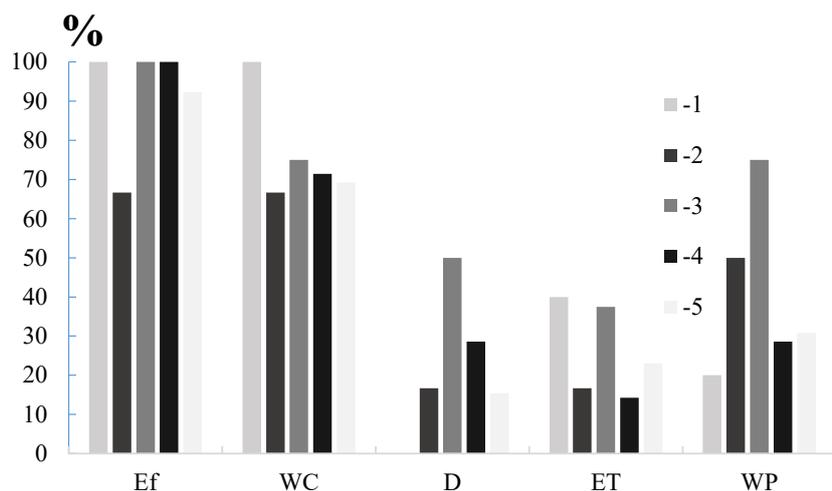


Рис. 1. Наличие терминов эффективность (Ef), водопотребление (WC), истощение (D), эвапотранспирация (ET), продуктивность воды (WP) в статьях, политических заметках, научных отчетах, документах международных проектов и проектных документах, в % от общего числа

по эвапотранспирации. Термин «истощение водных ресурсов» использовался значительно меньше, чем «водопотребление»; хотя приведение термина «истощение» в 50% научных отчетов говорит о том, что методика ИВМИ может иметь широкое применение в будущем. Очень низкие показатели оценки эвапотранспирации и высокие показатели учета эффективности использования (КПД поля и каналов) в проектных документах говорят о том, что пока международные проекты слабо нацелены на конечный результат и видят свою задачу в улучшении состояния отдельных звеньев сети водо-обеспечения или поля. В тоже время, имеются отдельные проекты, направленные на повышение продуктивности водных ресурсов. В 4-х группах документов из 5, использование термина «продуктивность воды» превышает наличие данных о эвапотранспирации, указывая на то, что часто продуктивность воды рассчитывается на основе величины водопользования, а не водопотребления, что может привести к существенному искажению её реальной величины. Эти оценки указывают на то, что пока на практике доминирует учет использования водных ресурсов по эффективности, преобладают усилия по улучшению водопользования на уровне поля и/или доставке воды по сети каналов, что мо-

жет увеличить объём сельскохозяйственной продукции, но не обеспечит реальное водосбережение, необходимое для развития альтернативных отраслей экономики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Растущие потребности в воде различных отраслей экономики приводят к необходимости поиска путей водосбережения с целью перераспределения её ресурсов между отраслями экономики. Широкое внедрение водосберегающих технологий орошения, таких как капельное орошение, как показывает мировой опыт, несомненно, будет способствовать увеличению урожайности культур и сокращению оросительных норм, но может быть недостаточным для высвобождения водных ресурсов для развития других отраслей экономики. Реальное водосбережение может быть достигнуто на уровне бассейнов рек путем улучшения учета использования водных ресурсов и оценки безвозвратного водопотребления рек через:

- (1) определение объёмов бесполезного водопотребления, указывающего на величину потенциального водосбережения;
- (2) оценка продуктивности воды на уровне поля, системы и бассейна;
- (3) реализация мероприятий по сокращению

бесполезного водопотребления и перераспределения сбереженной воды или низко-продуктивно потребляемой на водопользование с более высокой продуктивностью.

Такая последовательность анализа может быть внедрена в перспективное планирование использования водных ресурсов в различных отраслях экономики, в том числе при составлении схем комплексного использования и охраны водных ресурсов, а также при составлении и реализации проектов, направленных на водосбережение. Анализ публикаций, тем или иным образом связанных с водосбережением, показывает, что пока на практике доминирует учет использования водных ресурсов по эффективности (КПД), преобладают усилия по улучшению водопользования, а не сокращению бесполезного водопотребления, тем самым в большинстве случаев трудно достичь реального водосбережения, необходимое для развития альтернативных быстро развивающихся отраслей экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Постановление Правительства Республики Казахстан от 8 апреля 2016 года № 200. Об утверждении Генеральной схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов. – 2016. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1600000200>.
- 2 Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements // FAO Irrigation and Drainage Paper 56. – Rome: FAO. 1998.
- 3 Ashraf S., Nazemi A., AghaKouchak A. Anthropogenic drought dominates groundwater depletion in Iran. Scientific reports. – 2021 – №11, – С. 9135-9145. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88522-y>
- 4 Berbel J., Expósito A., Gutiérrez-Martín C., Mateos L. Effects of the irrigation modernization in Spain 2002–2015 // Water Resources Management. – 2019. – № 33(5). – С. 1835–1849.
- 5 Israelsen W. O. Irrigation principles and practices. 2nd ed. – New York: Wiley. 1950.
- 6 Janjua S., Hassan I., Muhammad S., Ahmed S., Ahmed A. Water management in Pakistan’s Indus Basin: challenges and opportunities // Water Policy. – 2021. Vol 23, – № 6. 1329. Doi: 10.2166/wp.2021.068.
- 7 Jensen, M. E. Beyond irrigation efficiency // Irrigation Science. – 2007. – № 25. – С. 233–245. doi:10.1007/s00271-007-0060-5.
- 8 Faramarzi M., Yanga H., Schulinc R., Abbaspour K.C. Modeling wheat yield and crop water productivity in Iran: Implications of agricultural water management for wheat production // Agricultural Water Management. – 2010, – № 97. – С. 1861–1875.
- 9 Karimov A.K., Amirova I., Karimov A.A., Tohirov A., Abdurakhmanov B. Water, Energy and Carbon Tradeoffs of Groundwater Irrigation-Based Food Production: Case Studies from Fergana Valley, Central Asia // Sustainability. – 2022, – № 14, – С. 1451-1460.
- 10 Keller A.A., Keller J. Effective efficiency: a water use efficiency concept for allocating freshwater resources. – Little Rock, Arkansas, USA: Center for Economic Policy Studies & Winrock International. 1995.
- 11 Kumari M., Singh D. Water conservation: strategies and solutions // International Journal of Advance Research and Review. – 2016. – № 1. – С. 75-79.
- 12 Molden D. Accounting for Water Use and Productivity // SWIM Paper 1. System-Wide Initiative for Water Management. International Water Management Institute (IWMI). – Colombo: IWMI. 1997.
- 13 Molden D., Sakthivadivel R., Habib Z. Basin-Level Use and Productivity of Water: Examples from South Asia // IWMI Research Report 49. International Water Management Institute (IWMI). – Colombo: IWMI. – 2001.
- 14 Montazar A. Irrigation Tools and Strategies to Conserve Water and Ensure a Balance of Sustainability and Profitability // Agronomy. – 2021. – № 11. 2037. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102037>.
- 15 Pérez Blanco C., Hrast Essenfelder A., Perry C.J. Irrigation Technology and Water Conservation: A Review of the Theory and Evidence // Review of Environmental Economics and Policy. – 2020. – №14, – С. 216–239. 10.1093/reep/reaa004.
- 16 Perry C. Efficient

- irrigation; inefficient communication; flawed recommendations // *Irrigation and Drainage*. – 2007, – № 56, – С. 367–378. doi: 10.1002/ird.323.
- 17 Perry C., Steduto P., Allen R.G., Burt C.M. Increasing productivity in irrigated agriculture: agronomic constraints and hydrological realities // *Agricultural Water Management*. – 2009. – № 96. – С. 1517–1524. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.05.005>.
- 18 Perry C. Accounting for water use: terminology and implications for saving water and increasing production // *Agricultural Water Management*. – 2011. – № 98. – С. 1840–1846. [www.doi: 10.1016/j.agwat.2010.10.002](http://www.doi:10.1016/j.agwat.2010.10.002).
- 19 Perry C., Steduto P. Does Improved Irrigation Technology Save Water? a. // A Review of the Evidence. – Cairo: FAO. – 2017.
- 20 Perry C. Improving irrigation management in conditions of scarcity: Myth vs Truth. – 2018. www.globalwaterforum.org/2018/05/22/improving-irrigation-management-in-conditions-of-scarcity-myth-vs-truth/.
- 21 Safdari, Z.; Nahavandchi, H.; Joodaki, G. Estimation of Groundwater Depletion in Iran's Catchments Using Well Data // *Water*. – 2022. – № 14. – С. 131–137. <https://doi.org/10.3390/w14010131>.
- 22 Seckler D., Amarasinghe U., Molden D., de Silva R., Barker R. The New Era of Water Resources Management. From "Dry" to "Wet" Savings // Research Report 5, IIMI, – Colombo: IIMI. 1996.
- 23 Shah T. Past, Present, and the Future of Canal Irrigation in India Infrastructure // Report. 2011. <http://www.idfc.com/pdf/report/2011/Chp-6-Past-Present-and-the-Future-of-Canal-Irrigation.pdf>.
- 24 Shareef T., Ma Z. Essentials of Drip Irrigation System for Saving Water and Nutrients to Plant Roots: As a Guide for Growers // *Journal of Water Resource and Protection*. 2019, – № 11, – С. 1129–1145. [10.4236/jwarp](https://doi.org/10.4236/jwarp). – 2019.119066.
- 25 Van Opstal J., Droogers P., Kaune A., Steduto P., Perry C. Guidance on realizing real water savings with crop water productivity interventions. – Wageningen: FAO & Future Water. 2021. <https://doi.org/10.4060/cb3844en>.
- 26 Ward F. A., Pulido-Velazques M. Water conservation in irrigation can increase water use // *Proceedings of National Academy of Science. U.S.A.* – 2008. – № 105. – С. 18215–18220. doi: 10.1073/pnas.0805554105.

REFERENCES

- 1 Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 8 aprelya 2016 goda № 200. Ob utverzhdenii General'noi skhemy kompleksnogo ispol'zovaniyaiokhranyvodnykhresursov.–2016. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1600000200>.
- 2 Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements // FAO Irrigation and Drainage Paper 56. – Rome: FAO. 1998.
- 3 Ashraf S., Nazemi A., AghaKouchak A. Anthropogenic drought dominates groundwater depletion in Iran. *Scientific reports*. – 2021 – №11, – С. 9135-9145. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88522-y>.
- 4 Berbel J., Expósito A., Gutiérrez-Martín C., Mateos L. Effects of the irrigation modernization in Spain 2002–2015 // *Water Resources Management*. – 2019. – № 33(5). – С. 1835–1849.
- 5 Israelsen W. O. Irrigation principles and practices. 2nd ed. – New York: Wiley. 1950.
- 6 Janjua S., Hassan I., Muhammad S., Ahmed S., Ahmed A. Water management in Pakistan's Indus Basin: challenges and opportunities // *Water Policy*. – 2021. Vol 23, – № 6. 1329. Doi: 10.2166/wp.2021.068.
- 7 Jensen, M. E. Beyond irrigation efficiency // *Irrigation Science*. – 2007. – № 25. – С. 233–245. Doi:10.1007/s00271-007-0060-5.
- 8 Faramarzi M., Yanga H., Schulinc R., Abbaspour K.C. Modeling wheat yield and crop water productivity in Iran: Implications of agricultural water management for wheat production // *Agricultural Water Management*. – 2010, – № 97. – С. 1861–1875.
- 9 Karimov A.K., Amirova I., Karimov A.A., Tohirov A., Abdurakhmanov B. Water, Energy and Carbon Tradeoffs of Groundwater Irrigation-Based Food Production: Case Studies from Fergana Valley, Central Asia // *Sustainability*. – 2022, – № 14, – С. 1451–1460.

- 10 Keller A.A., Keller J. Effective efficiency: a water use efficiency concept for allocating freshwater resources. – Little Rock, Arkansa, USA: Center for Economic Policy Studies & Winrock International. 1995.
- 11 Kumari M., Singh D. Water conservation: strategies and solutions // International Journal of Advance Research and Review. – 2016. – № 1. – С. 75-79.
- 12 Molden D. Accounting for Water Use and Productivity // SWIM Paper 1. System-Wide Initiative for Water Management. International Water Management Institute (IWMI). – Colombo: IWMI. 1997.
- 13 Molden D., Sakthivadivel R., Habib Z. Basin-Level Use and Productivity of Water: Examples from South Asia // IWMI Research Report 49. International Water Management Institute (IWMI). – Colombo: IWMI. – 2001.
- 14 Montazar A. Irrigation Tools and Strategies to Conserve Water and Ensure a Balance of Sustainability and Profitability // Agronomy. – 2021. – № 11. 2037. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102037>.
- 15 Pérez Blanco C., Hrast Essenfelder A., Perry C.J. Irrigation Technology and Water Conservation: A Review of the Theory and Evidence // Review of Environmental Economics and Policy. – 2020. – №14, – С. 216–239. 10.1093/reep/reaa004.
- 16 Perry C. Efficient irrigation; inefficient communication; flawed recommendations // Irrigation and Drainage. – 2007, – № 56, – С. 367–378. doi: 10.1002/ird.323.
- 17 Perry C., Steduto P., Allen R.G., Burt C.M. Increasing productivity in irrigated agriculture: agronomic constraints and hydrological realities // Agricultural Water Management. – 2009. – № 96. – С. 1517–1524. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.05.005>.
- 18 Perry C. Accounting for water use: terminology and implications for saving water and increasing production // Agricultural Water Management. – 2011. – № 98. – С. 1840–1846. [www.doi: 10.1016/j.agwat.2010.10.002](http://www.doi:10.1016/j.agwat.2010.10.002).
- 19 Perry C., Steduto P. Does Improved Irrigation Technology Save Water? 20 // A Review of the Evidence. – Cairo: FAO. – 2017.
- 21 Perry C. Improving irrigation management in conditions of scarcity: Myth vs Truth. – 2018. www.globalwaterforum.org/2018/05/22/improving-irrigation-management-in-conditions-of-scarcity-myth-vs-truth/.
- 22 Safdari, Z.; Nahavandchi, H.; Joodaki, G. Estimation of Groundwater Depletion in Iran's Catchments Using Well Data // Water. – 2022. – № 14. – С. 131–137. <https://doi.org/10.3390/w14010131>.
- 23 Seckler D., Amarasinghe U., Molden D., de Silva R., Barker R. The New Era of Water Resources Management. From "Dry" to "Wet" Savings // Research Report 5, IIMI, – Colombo: IIMI. 1996.
- 24 Shah T. Past, Present, and the Future of Canal Irrigation in India Infrastructure // Report. 2011. <http://www.idfc.com/pdf/report/2011/Chp-6-Past-Present-and-the-Future-of-Canal-Irrigation.pdf>.
- 25 Shareef T., Ma Z. Essentials of Drip Irrigation System for Saving Water and Nutrients to Plant Roots: As a Guide for Growers // Journal of Water Resource and Protection. 2019, – № 11, – С. 1129-1145. 10.4236/jwarp. – 2019.119066.
- 26 Van Opstal J., Droogers P., Kaune A., Steduto P., Perry C. Guidance on realizing real water savings with crop water productivity interventions.–Wageningen:FAO&FutureWater. 2021. <https://doi.org/10.4060/cb3844en>.
- 27 Ward F. A., Pulido-Velazques M. Water conservation in irrigation can increase water use // Proceedings of National Academy of Science. U.S.A. – 2008. – № 105. – С. 18215–18220. doi: 10.1073/pnas.0805554105.

СУ ПАЙДАЛАНУДЫ НЕМЕСЕ СУ ТҰТЫНУДЫ ЕСЕПКЕ АЛУ-СУ ҮНЕМДЕУГЕ ЖОЛ ҚАЙДА?

А.А. Каримов¹ техника ғылым. кандидаты

*¹Ұлттық зерттеу университеті Ташкент ирригация және ауыл шаруашылығын механикаландыру инженерлері институты, Ташкент, Өзбекстан
E-mail: akmalkarimov040@gmail.com*

Су үнемдеу су ресурстарын қайта бөлу және Орталық Азия елдерінің экономика салаларын неғұрлым теңгерімді дамыту үшін негіз болып табылады. Суды үнемдеу бағдарламаларын іске асыру көп жағдайда Қазақстан Республикасының су ресурстарын кешенді пайдалану мен қорғаудың Бас схемасына енгізілген мақсаттарға қол жеткізуді айқындайды. Онда қарастырылған суармалы егіншілікте су және жер ресурстарын пайдалану сценарийлерінің үшеуі де су үнемдеуді көздейді, алайда су үнемдеу жолдары ашылмаған. Мақалада су үнемдеудің ірі жобаларын іске асырған елдердің мәселесі мен тәжірибесінің зерделенуіне шолу жасау негізінде су ресурстарын пайдалануды есепке алуға негізделген су үнемдеу үшін қажетті қадамдар ашылады. Су ресурстарын пайдалануды есепке алудың үш тәсілі қаралды: (а) тиімділікті есепке алу; (б) су пайдалану фракцияларын есепке алу; (с) су тұтынуды есепке алу. Нақты су үнемдеуге қол жеткізу үшін пайдасыз су тұтынуды азайту және үнемделген суды өнімді пайдалануға бағыттау бағдарламасын белгілеу ұсынылады.

Түйін сөздер: су ресурстарын пайдалануды есепке алу, су өнімділігі, су үнемдеу, ауыл шаруашылығы, Қазақстан

ACCOUNTING WATER USE OR WATER CONSUMPTION – WHERE THE WAY TO WATER-SAVING?

A.A. Karimov¹ candidate of tech. science

*¹National Research University Tashkent Institute of Irrigation and Agriculture Mechanization
Engineers
E-mail: akmalkarimov040@gmail.com*

Water-saving forms a base for reallocation of water resources and more balanced integrated development of economic sectors of Central Asian countries. Implementation of water-saving programs can highly contribute to objectives laid down in the Strategic Scheme of Integrated Use and Protection of Water Resources of the Republic of Kazakhstan. All three scenarios of water and land use studied in the scheme relay on water-saving, however an approach of water-saving is not clarified. This study discusses benefits and shortages of potential approaches to achieve water-saving at a basin scale using lessons from countries implemented basin scale water-saving projects. Three water use accounting methods discussed are as follows: (a) accounting efficiency; (b) accounting water use; (c) accounting water consumption. It is argued that the strategic scheme has to relay on real water-savings to meet growing water demand of different sectors of the economy.

Key words: water accounting, water productivity, water-saving, irrigated agriculture, Kazakhstan

Период исследования с 1970 по 2020 гг. Статистический анализ позволил выявить наибольшую повторяемость по сезонам, полугодиям, оценить непрерывную продолжительность туманов в зависимости от времени года и расположения пункта наблюдения. Также отмечены максимально длительные продолжительности явления, сопутствующие при этом метеорологические условия. Проведен сравнительный анализ станций Форт-Шевченко и Актау, который позволил выявить отличные сектора ветрового направления при появлении туманов, что говорит о различных барико-циркуляционных условий формирования явления. В заключении работы сделаны выводы, что наибольшая повторяемость туманов на восточном побережье Каспийского моря отмечается в переходные сезоны года, за исключением станции Актау, которая расположена гораздо южнее относительно остальных станций; наибольшая непрерывная продолжительность туманов на станциях Форт-Шевченко, о. Кулалы и Тущибек регистрируется зимой, до 6...8 дней. На станции Актау до 6...8 дней в теплое полугодие; продолжительность более 60 часов на о. Кулалы отмечается в холодное время года; максимальная продолжительность в Актау и Тущибек в последние десятилетия значительно меньше, чем на других станциях; при сравнительном анализе выявлено, что в Актау наибольшая повторяемость в западном и восточном секторах, а в Форт-Шевченко в северном.

КӨКТЕМГІ СУ ТАСУДЫҢ НЕГІЗГІ ЭЛЕМЕНТТЕРІН БОЛЖАУ

М.М. Молдахметов¹, Л.К. Махмудова², Г.М. Камбарбеков³, М.Н. Жулкайнарова²

1Халықаралық Тараз инновациялық институты, Тараз қ-сы, Қазақстан

2Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ-сы, Қазақстан

3Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ-сы, Қазақстан

E-mail: Makhmudova.Lyazzat@kaznaru.edu.kz

Мақалада су тасқыны мониторингі мен болжауын іске асыру процесі су тасқынының басталуына дайындық процесін оңтайландыруға, алдын алу іс-шараларының құрамын, орындалу мерзімдерін және басқа да ерекшеліктерін анықтауға, халықты, шұғыл және жедел қызмет көрсететін мекемелерді аумақты су басу қаупі туралы уақтылы және жедел хабардар етуге мүмкіндік беретіні негізделген. Ғылыми зерттеуде регрессиялық талдау негізінде көктемгі ағынды көлемін болжаудың нәтижелері келтірілген. Көпөлшемді деректерді корреляциялық – регрессиялық талдау әдісін (көптік регрессия теңдеуі) қолдана отырып, есептелген болжамдық мәндер бақыланған нақты мән-дерге айтарлықтай жуық мәндерге ие болды. Көпжылдық кезең байланысының тығыздығын сипаттайтын корреляция коэффициентінің мәні қанағаттанарлық (Есіл өзені – Түрген ауылы үшін $R=0,76$; ал Есіл өзені – Нұр-Сұлтан қаласы үшін $R=0,72$). Су тасқыны ағындысын талдау мен болжаудың ең қарапайым әдістері ұсынылған болжамдық ақпараттарының сапасы бойынша күрделі физикалық негізделген модельдерді пайдалану кезінде алынған болжамдардан кем түспейді деген қорытынды жасалған.

Түйін сөздер: су тасу, су тасқыны көлемі, ағынды қалыптастырушы факторлар, су тасқыны мониторингі, болжам

Қабылданды: 6.05.22

DOI: 10.54668/2789-6323-2022-104-1-95-102

КІРІСПЕ

Өзендердің су тасқыны мен су басу қаупінің туындау мүмкіндігін болжау қазіргі заманғы шаруашылық жүйелерінің жай-күйіне, олардың табиғи және техногендік апаттарға қарсы тұру қабілетінің осалдығына байланысты өте өзекті міндет болып саналады. Су тасқыны құбылыстары мен су басудың теріс әсеріне ұшырауы мүмкін аймақтарда көптеген елді мекендер, қауіп туғызу әлеуеті жоғары және аса маңызды өнеркәсіптік объектілер, инфрақұрылым объектілері және ауыл шаруашылығы алқаптары бар. Өзеннің су деңгейінің күрт көтерілуінің және су басудың әсерінен экономикалық нысандардың жойылуын туғызатын қауіпті гидрологиялық құбылыстарды болжау – өте күрделі көп деңгейлі міндет. Мына ғалымдардың пікірінше (Виноградов Ю.Б., 1988); (Борщ С.В., Симонов Ю.А., Христофоров А.В.,

2015), қауіптің алдын-алу шараларының дайындығы мен жүзеге асырылуын тиімді қамтамасыз ету саласында зиянды азайтудың ең тиімді құралдарының бірі - күні бұрын ескерту жүйесінің жақсы жұмыс істеуі.

Гидрологиялық апаттық құбылыстардың алдын алу және олардың әсерін бәсеңдету үшін өзендер мен су қоймаларында қауіпті гидрологиялық құбылыстарды бақылау мен болжаудың кешенді көп деңгейлі жүйесін құру қажеттілігі туындайды. Су нысандарының гидрологиялық жағдайының дамуын мониторингілеу және болжау үшін әлемнің барлық дерлік елдерінде гидрологиялық станциялар мен бекеттер желісі құрылып, жұмыс істеуде. Олар су нысандарының гидрологиялық режимі мен жай-күйі туралы негізгі ақпарат көзі болып табылады.

Қауіпті гидрологиялық құбылыстардың тәуекелін, олардың сипаттамаларын, көріну уақытын және

бағалауға қабілетті су тасқыны мен су тасу мониторингінің жүйесі мынадай элементтерді қамтуы тиіс:

1. Шығу тегі әртүрлі апаттық құбылыстардың даму қаупін есептеу. Бұл іс-шаралар аумақтың гидрометеорологиялық сипаттамасын қамтиды, оның негізінде мүмкін болатын қауіпті деңгейлердің генезисі, оларды анықтайтын факторлар, олардың үйлесуі және ықтимал өзара іс-қимыл туралы қорытынды жасалады. Статистикалық деректер бойынша (олар болған жағдайда) судың ең жоғары деңгейлері мен су өтімінің қамтамасыздық қисықтарын тұрғызу, қамтамасыздығы әртүрлі су тасқыны мен көктемгі су тасу кезінде аумақтың су басу аймағын көрсететін картографиялық материал жасауды қамтитын осы құбылыстардың даму тәуекеліне талдау жүргізіледі. Сондай-ақ қамтамасыздығы әртүрлі су басу аймақтарына түсетін қауіптілік әлеуеті жоғары, аса маңызды инфрақұрылым объектілерін, елді мекендерді бөле отырып, аумақты кеңістіктік талдау.

2. Алдағы су тасқыны сулылығының ұзақ мерзімді болжамы. Зерттеудің бұл сатысында нақты жылда судың апатты жайылуының қаупі бағаланады. Негізгі бағаланатын параметрлер – ағынды қалыптастырушы факторлар. Әр түрлі аудандар үшін ағынды қалыптастырушы факторлардың жиынтығы мен комбинациясы әртүрлі болады, бірақ олардың негізгілері мыналар: – қардағы су қоры мен қар еру кезеңінде түскен жауын-шашын мөлшерін жалпы бағалау, олардың кеңістік бойынша таралуы; – еріген қар суымен жаңбыр суының топыраққа сіңуіне кететін шығындар (топырақтың қату тереңдігі мен су жинау алабының көктем алдындағы ылғалдылығының сипаттамалары негізінде бағаланады); – микробедер формалары арқылы беттік су ұстау, сондай-ақ ағынсыз аудандарды толтыруға кететін шығындар; – ыза суларының қорын толтыруға кететін шығындар; – су тасқыны кезеңіндегі булану шығынын бағалау және т.б.

3. Екінші кезеңде алынған фондық ақпараттың негізінде аумақты және ондағы нысандарды су басу қаупін сипаттайтын ең жоғары су өтімдері мен ең жоға-

ры су деңгейлерінің алдын ала болжамдық есептеулері жүргізіледі. Бұл кезеңде нақты маусым жағдайында қолайсыз апаттық құбылыстардың даму қаупі бағаланады.

4. Негізгі және анағұрлым жауапты кезең – жағдайдың дамуын қысқамерзімді болжау, су тасу толқындарының үйлесімін есептеу, шұғыл гидрометеорологиялық ақпараттың негізінде олардың түсу уақыты есептеледі (Кумани М.В., Апухтин А.В., 2012).

БАСТАПҚЫ ДЕРЕКТЕР ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ

Бастапқы материалдар ретінде «Қазгидромет» РМК кадастрлық деректері (КСРО беттік су ресурстары, 1977, 1980); (Мемлекеттік су кадастры, 1987, 2002, 2004, 2017) пайдаланылды.

Есіл су шаруашылығы алабының гидрологиялық жағдайы өте айрықша (жазықтық Қазақстан, Орталық Азияның ағынсыз аудандарына жататын ағындысы тұрақты Қазақстанның оңтүстігі мен Батыс Сібірдің тоғысында орналасқан), осыған байланысты жергілікті ағынды қар еритін қысқа кезең ішінде ғана қалыптасады (қарастырылып отырған аймақ климатының өте құрғақ болуына байланысты). Сонымен қатар, жергілікті ағынды қалыптасу жағдайы қатты ерекшеленеді:

– суы аз жылдары жергілікті ағынды толығымен өзен арналарындағы жер бедерінің депрессияларын толтыруға жұмсалады, ағынды мөлшерінің аздығы соншалықты, ол өзен арналарына қардың жиналуына қарай қалыптасады;

– суы мол жылдары жер бедерінің депрессиялары суға толып, олар негізгі арнаға ағын береді (көктемнің қысқа мерзім ішінде өтуі, еріген қар суының өзен арнасына түсуіне ықпал етеді, нәтижесінде ағынды шығыны өте аз, ал су тасқыны жоғары болады) (Гальперин Р.И. және басқалар, 2012).

Аталған ауданның гидрологиялық жағдайының ерекшелігі – ағындының уақыт бойынша көпжылдық кезеңде де, жыл ішінде де барынша әркелкі таралуымен анықталады. Беттік ағынды қалыптастырудағы қардың айрықша рөліне орай Есіл су шаруашылығы алабының барлық өзендерінің су режимінің негізгі фазасы күрт айқындалатын көктемгі

су тасқыны кезеңінде ғана қалыптасады (көктемгі ағынды көлемі жылдық ағынды көлемінің 90-95 % - ын құрайды).

Ресейдің МГИ зерттеулерінің нәтижелері (КСРО беттік су ресурстары, 1959)

$$Y = f[(S+X), W, L] \quad (1)$$

мұндағы Y – ағынды көлемі, м³; S – көктемнің басында қар жамылғысына жинақталған су қоры, мм; X – көктемгі су тасқыны кезінде түскен жауын-шашын мөлшері, мм; W – су жинау алабы топырағының ылғалдылығы, мм; L – су жинау алабы топырағының қату тереңдігі, м.

ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ НӘТИЖЕЛЕРІ

Қарастырылып отырған ылғалдылығы жеткіліксіз аумақ үшін, тек қана еріген қар суынан қалыптасатын беттік ағынды шамасы қар еру басталғанға дейінгі ылғал қорына ғана тәуелді емес, сонымен қатар еріген қар суының шығынына әсер ететін факторлармен анықталады. Есіл өзені алабы жағдайында көктемгі ағынды шығыны негізінен топыраққа сіңу арқылы жүреді. Бұл шығындардың мөлшеріне топырақ-грунттың сипаты және су жинау алабының бедері

Солтүстік және Орталық Қазақстанның далалық аймақтары аудандарының жылдық ағынды сипаттамаларын есептеу үшін тәуелділіктің келесі түрін пайдалану неғұрлым тиімді екенін көрсетті:

айтарлықтай ықпалын тигізеді, күз айларында топырақ-грунттың ылғалдануы ағындының сүзілу қабілетін едәуір төмендетеді.

Топырақтың ылғалдылығы мен қату тереңдігі жөнінде деректер жоқ болған жағдайда топырақ ылғалдылығының жанама сипаттамаларын пайдалануға болады. Көктемгі ағындымен айтарлықтай байланысы бар топырақ ылғалдылығының жанама сипаттамасы – өткен жылдың қыркүйек-қазан айларында, қар жинақталу басталғанға дейін алапқа түскен жауын-шашын мөлшері. Қардағы максимал су қорын қар жинақталу кезеңі қараша-наурыз айларында алапқа түскен қысқы жиынтық жауын-шашын мөлшерімен алмастыруға болады (Гальперин Р.И. және басқалар, 2012).

Гидрологиялық болжам жасауға қажетті бастапқы деректердің оңтайлы жиынтығын анықтау үшін көктемгі су тасқынының қалыптасуының жалпы заңдылықтарына назар аударайық:

$$Y = S + X - P \quad (2)$$

мұндағы Y – көктемгі су тасқынының ағынды көлемі; S – қар жамылғысындағы ең жоғары су қоры; X – қар еріген кезеңде түскен жауын-шашын мөлшері; P

– еріген қар суының жиынтық шығыны. Еріген қар суының жиынтық шығыны былайша анықталады:

$$P = E + \Delta W + \Delta U_{\text{ыз}} + \Delta U_{\text{бет}} \quad (3)$$

мұндағы E – еріген қар суының қалыптасу кезеңіндегі булану шығыны; ΔW – топырақтың ылғалдануына кеткен шығын; $\Delta U_{\text{ыз}}$ – ыза суларының қорын толтыруға кеткен еріген қар суының шығыны; $\Delta U_{\text{бет}}$ – еріген қар суының беттік тұтылуға кеткен шығыны.

Топырақтың аса жоғары ылғалдылығы күзде топырақ жамылғысында ылғалдылықтың жеткілікті деңгейде жоғары болуына және қыста жылымықтың жиі байқалуына байланысты. Сондықтан еріген қар суы шығынының негізгі факторы – топырақтың қату тереңдігі, ал қосымша фак-

торы – ылғал жеткіліксіз жылдардағы топырақтың ылғалдылығы. Топырақ-грунттың ылғалдануына кететін еріген қар суының шығыны негізінен топырақтың көктемгі ылғалдану мөлшері мен топырақтың қату тереңдігімен анықталады. Жер асты суларын толықтыру топырақтың су өткізгіштігімен анықталады, сондықтан $\Delta U_{\text{ыз}}$ шамасын W және L мәндерімен байланыстыруға болады.

Зерттелетін аумақтағы көктемгі су тасқынының ағынды көлеміне және ең жоғары су өтіміне айтарлықтай әсер ететін қосымша фактор ағындының тоғандармен және

бөгендермен реттелуі болып табылады, олардың көпшілігі маусымдық реттеу санатына жатады (Есіл алабы су қоймаларының 40 %). Есіл су шаруашылығы алабында тоғандар мен бөгендердің белсенді құрылысы 1991 жылы, Есіл өзенінің өзінде 1973 жылы тоқтанды. (Есіл су қоймасы – 1958 ж., Астана су қоймасы – 1971 ж., Сергеев су қоймасы – 1969

ж., Петропавл су қоймасы – 1973 ж.). Көктемгі ағынды көлемін ұзақ мерзімді болжау үшін бастапқы деректер 1974 жылдан бастап 2018 жылға дейінгі кезең үшін алынады.

Сонымен, көктемгі су тасқынының ағынды көлемін регрессиялық теңдеулердің келесі түрлерін қолдана отырып, есептеуге болады:

$$Y=f(S, X, P) \tag{4}$$

$$P=f(W, L) \tag{5}$$

$$Y=f(S, X, W, L) \tag{6}$$

Регрессиялық теңдеулердің предикторлары ретінде келесі сипаттамалар таңдалды:

1. қар жамылғысындағы ең мол су қоры шамасы (S);
2. топырақтың көктем алды ылғалдылығының сипаттамасы (W);
3. топырақтың қату тереңдігі (L);
4. бірнеше уақыт аралығында алапқа түскен жауын-шашын мөлшері (X): қардағы ең мол су қорын анықтаған сәттен бастап қар еру басталғанға дейінгі уақыт (X1); қар еру басталғаннан қар жамылғысы кеткенге дейінгі уақыт (X2); қар жамылғысы кеткеннен су тасу аяқталғанға дейінгі уақыт (X3). (Абаев Н.Н., Биримбаева Л.М., Тілләкәрім Т.А., Серікбай Н.Т., 2021).

Қарастырылып отырған гидрологиялық бекеттер бойынша көктемгі су тасудың ағынды көлемін болжау үшін осы

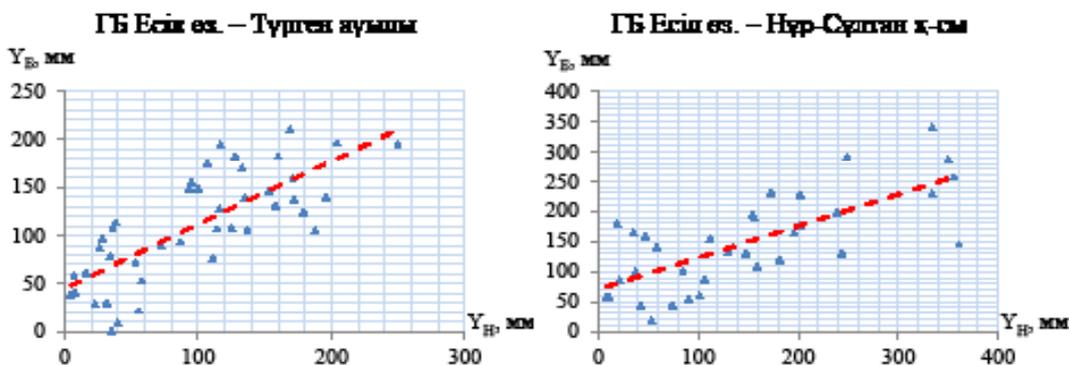
алапта орналасқан метеорологиялық станциялардың жоғарыда аталған шамаларының орташа арифметикалық мәндері пайдаланылды (Христофоров А.В., 1994); (Сикан А.В, 2007); (Давлетғалиев С.К., 2015).

Регрессиялық талдаудың негізінде көктемгі су тасудың ағынды көлемін есептеуге арналған келесі формулалар алынды (7), (8):

Есіл өзені – Түрген ауылы гидрологиялық бекеті үшін: $Y=0,86 \times S + 1,28 \times P - 96,4; (R=0,82)$ (7)

Есіл өзені – Нұр-Сұлтан қ-сы гидрологиялық бекеті үшін: $Y=2,43 \times S + 2,58 \times P - 167; (R=0,85)$ (8)

Ағынды көлемінің нақты және болжамдық мәндері байланысының графигі сурет 1 берілді.



Сур. 1. Көктемгі су тасудың ағынды көлемінің нақты және болжамдық мәндерінің байланысы

Көпөлшемді деректердің корреляциялық – регрессиялық талдауын (көптік регрессия теңдеуін) қолдана отырып, есептелген болжамдық мәндер бақыланған нақты

мәндерге айтарлықтай жуық мәндерге ие болды. Көпжылдық кезең байланысының тығыздығын сипаттайтын корреляция коэффициентінің мәні қанағаттанарлық (Есіл

өзені – Түрген ауылы үшін $R=0,76$, ал Есіл өзені – Нұр-Сұлтан қаласы үшін $R=0,72$).

ҚОРЫТЫНДЫ

Су тасқынының мониторингі және болжау жүйесінің барлық төрт кезеңін іске асыру процесі су тасқынының басталуына дайындық процесін оңтайландыруға, алдын алу іс-шараларының құрамын, орындалу мерзімдерін және басқа да ерекшеліктерін айқындауға, халықты, шұғыл және жедел қызмет көрсететін мекемелерді аумақты су басу қаупі туралы уақтылы және жедел хабардар етуге мүмкіндік береді.

Көктемгі ағындыны ұзақ мерзімді болжау және орта мерзімді болжау міндеттерін шешу үшін ағындыны талдау мен болжаудың анағұрлым қарапайым әдістері қолданылды. Болжау сұлбаларында ақырғы нәтижесінде ең мол ағындының қалыптасуын сипаттайтын, өзеннің су жинау алабында жүріп жатқан процестерді барынша толық сипаттауға қабілетті күрделі, детерминистік, стохастикалық моделдердің болмауы, болжамдық сұлбаларды құруға кететін шығынның аздығымен және күрделі физикалық тұрғыдан негізделген моделдердің көмегімен алынатын болжамдардан кем түспейтін болжамдық ақпараттың сапасымен өтеледі.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Абаев Н.Н., Биримбаева Л.М., Тілләкәрім Т.А., Серікбай Н.Т. Прогнозирование объема стока половодья реки Есиль методом распознавания образов // Гидрометеорология и экология. – 2021. – №3. – С. 27-35.
2. Борщ С.В., Симонов Ю.А., Христофоров А.В. Система прогнозирования паводков и раннего оповещения о наводнениях на реках Черноморского побережья Кавказа и бассейна Кубани // Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра РФ. – 2015. – №356. – С. 1-247.
3. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – 312 с.
4. Гальперин Р.И., Давлетгалиев С.К., Молдахметов М.М., Чигринцев А.Г., Махмудова

Л.К., Аvezова А. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Том VII. Ресурсы речного стока Казахстана. Книга 1. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод Западного, Северного, Центрального и Восточного Казахстана / под ред. Р.И. Гальперина – Алматы: Арко, 2012. – 684 с.
5. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Бассейны Иртыша, Ишима, Тобола. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – Т.5, вып. 1. – 467 с.
6. Государственный водный кадастр Республики Казахстан. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 1981-1990 гг. Бассейны рек Иртыш, Ишим, Тобол. – Алматы, 2002. – Книга 2, выпуск 1, часть 1. – 284 с.
7. Государственный водный кадастр Республики Казахстан. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 1991-2000 гг. Бассейны рек Иртыш, Ишим, Тобол. – Алматы, 2004. – Книга 1, выпуск 1, часть 1. – 171 с.
8. Государственный водный кадастр Республики Казахстан. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 2001-2010 гг. Бассейны рек Ертіс, Есиль и Тобол (верхнее течение). – Астана, 2017. – Книга 1, выпуск 1, часть 1 и 2. – 266 с.
9. Давлетгалиев С.К. Статистические методы обработки гидрологической информации. – Алматы: Қазақ университеті, 2015. – 276 с.
10. Кумани М.В., Апухтин А.В. Прогнозирование основных элементов весеннего стока в рамках реализации системы мониторинга и прогнозирования половодья // Civil Security Technology. – 2012. – №4. – С. 68-74.
11. Молдахметов М.М., Махмудова Л.К., Құрманғазы Е. Статистические параметры временных рядов стока весеннего половодья рек Есильского водохозяйственного бассейна // Вестник КазНУ, серия географическая. – 2020. – №1(56). – С. 39-49.
12. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель, Акмолинская область Казахской ССР. Под редакцией В.А. Урываева. – Л.: Гидрометеоздат, 1959. – вып. 1. – 789 с.

13. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1963-1970 и весь период наблюдений). Бассейны Иртыша, Ишима, Тобола. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – Т.15, вып. 2. – 383 с.
14. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1971-1975 и весь период наблюдений). Бассейны Иртыша, Ишима, Тобола. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – Т.15, вып. 2. – 291 с.
15. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2007. – 279 с.
16. Христофоров А.В. Теория случайных процессов в гидрологии. – М.: Изд. МГУ, 1994. – 143 с.

REFERENCES

1. Abaev N.N., Birimbaeva L.M., Tilləkərim T.A., Serikbai N.T. Prognozirovanie ob»ema stoka polovod'ya reki Esil' metodom raspoznavaniya obrazov (Forecasting the volume of flood runoff of the Yesil river using the pattern recognition method), *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2021, No 3, pp. 27-35.
2. Borshch S.V., Simonov Yu.A., Khristoforov A.V. Sistema prognozirovaniya pavodkov i rannego opoveshcheniya o navodneniyakh na rekakh Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza i basseina Kubani (Flood forecasting and early warning system for rivers of the Black sea shore of Caucasian region and the Kuban river basin), *Trudy gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra RF*, 2015, No 356, pp. 1-247.
3. Vinogradov Yu.B. Matematicheskoe modelirovanie protsessov formirovaniya stoka (Mathematical modeling of runoff formation processes), *Leningrad, Gidrometeoizdat*, 1988, 312 p.
4. Gal'perin R.I., Davletgaliev S.K., Moldakhmetov M.M., Chigrinets A.G., Makhmudova L.K., Avezova A. Vodnye resursy Kazakhstana: otsenka, prognoz, upravlenie. Resursy rechnogo stoka Kazakhstana. Vozobnovlyаемые ресурсы поверхностных вод Западного, Северного, Тsentрал'ного и Vostochnogo Kazakhstana (Water resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management. Resources of the river flow of Kazakhstan. Renewable surface water resources of Western, Northern, Central and Eastern Kazakhstan), *Vol. VII, Book 1, Almaty, Arko*, 2012, 684 p.
5. Gosudarstvennyi vodnyi kadastr, Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi, Basseiny Irtysha, Ishima, Tobola (State Water Cadastre, Long-term data on the regime and resources of land surface waters, River basins off Irtysh, Ishim, Tobol), *Leningrad, Gidrometeoizdat*, 1987, Vol. 5, Issue 1, 467 p.
6. Gosudarstvennyi vodnyi kadastr Respubliki Kazakhstan, Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi 1981-1990 gg., Basseiny rek Irtysh, Ishim, Tobol (State Water Cadastre of the Republic of Kazakhstan, Long-term data on the regime and resources of surface waters of the land 1981-1990, River basins off Irtysh, Ishim, Tobol), *Almaty, 2002, Book 2, Issue 1, Part 1*, 284 p.
7. Gosudarstvennyi vodnyi kadastr Respubliki Kazakhstan, Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi 1991-2000 gg., Basseiny rek Irtysh, Ishim, Tobol (State Water Cadastre of the Republic of Kazakhstan. Long-term data on the regime and resources of surface waters of the land 1991-2000. River basins off Irtysh, Ishim, Tobol), *Almaty, 2004, Book 1, Issue 1, Part 1*, 171 p.
8. Gosudarstvennyi vodnyi kadastr Respubliki Kazakhstan, Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi 2001-2010 gg., Basseiny rek Ertis, Esil' i Tobol (verkhnee techenie) (State Water Cadastre of the Republic of Kazakhstan, Long-term data on the regime and resources of land surface waters 2001-2010, River basins off Irtysh, Ishim, Tobol (upper course)), *Astana, 2017, Book 1, Issue 1, Part 1-2*, 266 p.
9. Davletgaliev S.K. Statisticheskie metody obrabotki gidrologicheskoi informatsii (Statistical methods of processing hydrological information), *Almaty, Kazak universiteti*, 2015, 276 p.
10. Kumani M.V., Apukhtin A.V. Prognozirovanie osnovnykh elementov vesennego stoka v ramkakh realizatsii sistemy monitoringa i prognozirovaniya polovod'ya (Forecasting of spring drain basic elements within the limits of realization of monitoring

- system and high water forecasting) Civil Security Technology, 2012, No 4, s. 68-74.
11. Moldakhmetov M.M., Makhmudova L.K., Kurmangazy E. Statisticheskie parametry vremennykh ryadov stoka vesennego polovod'ya rek Esil'skogo vodokhozyaistvennogo basseina (Statistical parameters of time series of spring runoff flood of rivers of the Yesil water-economic basin) Vestnik KazNU, seriya geograficheskaya, 2020, No 1(56), s. 39-49.
12. Resursy poverkhnostnykh vod raionov osvoeniya tselinnykh i zaleznykh zemel', Akmolinskaya oblast' Kazakhskoi SSR (Surface water resources of virgin and fallow lands development areas of Akmola region of the Kazakh SSR), Leningrad, Gidrometeoizdat, 1959, Issue 1, 789 p.
13. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR, Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki (za 1963-1970 i ves' period nablyudenii), Basseiny Irtysha, Ishima, Tobola (Surface water resources of the USSR, Main hydrological characteristics (for 1963-1970 and the entire observation period), River basins off Irtysh, Ishim, Tobol), Leningrad, Gidrometeoizdat, 1977, Vol. 15, Issue 2, 383 p.
14. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR, Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki (za 1971-1975 i ves' period nablyudenii), Basseiny Irtysha, Ishima, Tobola (Surface water resources of the USSR, Main hydrological characteristics (for 1971-1975 and the entire observation period), River basins off Irtysh, Ishim, Tobol), Leningrad, Gidrometeoizdat, 1980. Vol. 15, Issue 2, 291 p.
15. Sikan A.V. Metody statisticheskoi obrabotki gidrometeorologicheskoi informatsii (Methods of statistical processing of hydrometeorological information), Sankt-Peterburg, RGGMU, 2007, 279 p.
16. Khristoforov A.V. Teoriya sluchainykh protsessov v gidrologii (Theory of random processes in hydrology), Moscow, MGU, 1994, 143 p.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ

М.М. Молдахметов¹, Л.К. Махмудова², Г.М. Камбарбеков³, М.Н. Жулкайнарова²

1Международный Таразский инновационный институт, г. Тараз, Казахстан

2Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, Казахстан

3Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

E-mail: Makhmudova.Lyazzat@kaznaru.edu.kz

В статье обосновано, что процесс реализации мониторинга и прогнозирования половодья позволит оптимизировать процесс подготовки к наступлению половодья, определения состава, сроков выполнения и других особенностей проведения превентивных мероприятий для своевременного и оперативного оповещения населения о риске затопления территории. В научном исследовании приведены результаты прогнозирования объема стока весеннего половодья с применением регрессионного анализа. Прогнозные значения, рассчитанные с применением корреляционно-регрессионного анализа многомерных данных (уравнение множественной регрессии) показали достаточно близкие значения с фактически наблюдаемыми значениями, с удовлетворительной корреляцией за многолетний период ($R=0,76$ для р. Есиль – с. Турген; $R=0,72$ для р. Есиль – г. Нур-Султан). Сделан вывод, что применяемые наиболее простые методы анализа и прогноза стока по качеству предоставляемой прогнозной информации не уступают прогнозам, получаемых при использовании сложных физически обоснованных моделей.

Ключевые слова: половодье, объем стока половодья, стокоформирующие факторы, мониторинг половодья, прогноз

FORECASTING OF THE MAIN ELEMENTS OF THE FLOOD WATER

M.M. Moldakhmetov¹, L.K. Makhmudova², G.M. Kambarbekov³, M.N. Zhulkainarova²

¹International Taraz Innovative Institute, Taraz, Kazakhstan

²Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan

³Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: Makhmudova.Lyazzat@kaznaru.edu.kz

The article substantiates that the process of implementing flood monitoring and forecasting will optimize the process of preparing for the onset of high water, determining the composition, deadlines and other features of preventive measures for timely and prompt notification of the population about the risk of flooding of the territory. The scientific study presents the results of forecasting the volume of spring flood runoff using regression analysis. The predicted values calculated using correlation and regression analysis of multidimensional data (multiple regression equation) showed fairly close values with the actually observed values, with a satisfactory correlation over a long-term period ($R=0,76$ for Yesil – Turgen; $R=0,72$ for Yesil – Nur-Sultan). The conclusion is made that the most simple methods of analysis and prediction of runoff are used in terms of the quality of the forecast information provided are not inferior to the forecasts obtained using complex physically based models.

Keywords: flood water, flood runoff volume, runoff-forming factors, flood monitoring, forecast

ӘОЖ 91.911:911.2

ШАРЫН ӨЗЕНІ АЛАБЫ БИІКТАУЛЫ ГЕОЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ӨЗГЕРГІШТІГІ
ЖӘНЕ ДИНАМИКАСЫ

Б.С.Керімбай PhD

І.Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Талдықорған қ., Қазақстан
E-mail: bayan.kerimbay.65@mail.ru

Зерттеу жұмысы геожүйелік-алаптық тәсіл негізінде, жылдық циклдің маусымдық ырғағын анықтау әдісін, Жерді қашықтықтан зондылау (ЖКЗ) мәліметтерін өңдеу және Жердің ғаламдық мониторингін жүргізіп отырған Earth Observing System (EOS) сандық платформасының веб-шолғыштарының кіріктірілген модульдерінде мониторинг жасау арқылы іске асырылды. Шарын өзені алабы биіктаулы геожүйелерінің түйінді зерттеу телімдерінде табиғи үдерістердің NDVI кеңістіктік-уақыттық және маусымдарға бөлінген сызықтық қатарлары құрылып, аналитикалық мәліметтер негізінде жылдық циклдің маусымдық ырғақтары анықталды. Нәтижесінде қарсызығынан жоғары жатқан биіктаулы нивал-гляциал белдеуінің (3601...4100 м) және биіктаулы белдеуінің (2601...3600) геожүйелерінің өзгергіштігі және динамикасы қарастырылып, жылдық циклдің маусымдық құрылымының жіктелімі жасалды.

Түйін сөздер: биіктаулы геожүйелер, ландшафт, NDVI, кеңістіктік-уақыттық қатарлар, жылдық цикл, маусымдық ырғақтар

Поступила: 24.01.22

DOI: 10.54668/2789-6323-2022-104-1-103-114

КІРІСПЕ

Тақырыптың өзектілігі физикалық география ғылымының іргелі және қолданбалы зерттеулерінің бағыттарымен байланысты. Табиғи ортаны бақылауға алып, болып жатқан өзгерістеріне үздіксіз мониторинг жасаудың, аймақтық деңгейдегі геожүйелердің, оның ішінде өзен алабы геожүйелерінің динамикалық үрдістерін зерттеудің маңыздылығы қай кезеңде де жоғары. Зерттеу мақсаты - Шарын өзені алабы биіктаулы геожүйелерінің өзгергіштігі мен динамикасына табиғи факторлардың әсерінің салдарын талдау. Зерттеу нысаны - Шарын өзенінің алабының ағындының қалыптасу зонасындағы, Теріскей Алатауының солтүстік беткейінің биіктаулы геожүйелері. Әкімшілік - аумақтық құрылымына сәйкес Қырғыз Республикасы, Иссыккул облысының аумағында орналасқан. Түйінді зерттеу телімдері ретінде, Эчкелиташ және Аюсай биіктауының ландшафттары таңдалып алынды.

Геожүйелердің өзгергіштігіне қалыптастырылған салыстырмалы

вегетация индексі (NDVI) мәндері мен климаттың кешенді көрсеткіштерінің аналитикасы бойынша талдау жасалды. Алынған нәтиже бойынша, Шарын өзені алабында биіктаулы геожүйелердің жылдық циклдің суық-қарлы кезеңі мен (ЖЦСҚК) мен жылдық циклдің вегетация кезеңінің (ЖЦВК) табиғи үдерістерінің маусымдық ырғағы анықталып, жіктелді.

**ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН
ӘДІСТЕРІ**

Зерттеу жұмысының аумақты зерттеудегі геожүйелік-алаптық әдіснамалық негізі В.Б. Сочаваның геожүйелер теориясына (Сочава, 1978); алаптық тәсілдің негізін қалаушы ағылшын ғалымы Р. Хортонның ілімі жөніндегі Л.М. Корытнойдың еңбектеріне (Корытный, 1985); Н.А. Солнцев, А.Г. Исаченконың (Солнцев, 1960; Исаченко, 2004); А.Ю.Ретеюм, А.А.Крауклис, И.И.Мамайдың ландшафттардың динамикалық аспектілері туралы еңбектеріне (Ретеюм және т.б., 1975; Ретеюм, 1988; Крауклис, 1987; Мамай, 2005); К.М. Джаналеева, Н.Н. Керімбайдың геожүйелік-алаптық тұжырымдамаларына

(Мұсабаева және т.б., 2016; Керимбай, 2008) сүйемелдене отырып құрылған.

Геожүйелердің өзгергіштігі дегеніміз - ондағы энергия мен заттың қозғалу, алмасу және өзгеру үдерістерінің барлығының жиынтығын білдіреді. Геожүйелердің өзгергіштігі, зат пен энергия айналымымен және сыртқы ортаның (планетарлық, күннің) ырғақтарымен байланысты геожүйелердің қайтымды күйлерінің ырғақты өзгеруімен сипатталады. Яғни геожүйелердің динамикасын зерттеу қазіргі ырғақты факторлармен анықталады. Табиғат ырғағын зерттеуді А.И. Воейков сонау 1871 жылы ұсынған (Окишева және т.б., 2002; Окишева және т.б., 2015). А.Г. Исаченко «ырғақ - ландшафттың прогрессивті және үдемелі дамуының ажырамас бөлігі, сондықтан терең түсінік пен интеграцияланған тәсілді қажет етеді» деп атап көрсетеді (Исаченко, 2004).

Н.А. Солнцев, А.Г. Исаченко, И.И. Мамай, Н.В. Рутковская, Л.Н. Окишева, Л.Б. Филандышева, Б.С. Алякринский, Ю.И. Вововик, Ф.Н. Мильковтардың ілімдері негізінде, ландшафттық геожүйелердің динамикасы төмендегідей заңдылықтарды қамтиды: 1) қоршаған ортамен зат-энергия алмасу үдерістері (геожүйенің метаболизмі); 2) геожүйедегі зат пен энергияның ішкі циклдары (Солнцев, 1960; Исаченко, 2004; Мамай, 2005; Окишева және т.б., 2002; Рутковская, 1974).

Маусымдық ырғақ - ландшафттардың циклдік динамикасының түрлерінің бірі, тіршілік етуі мен динамикасының негізгі сипаттамасы. Ол жылды белгілі бір маусымдық фазаларға бөлу арқылы байқалады, олар ауыспалы және сәулелік энергетикалық баланстың жылдық бағытына ілесе отырып, бір-біріне әсер етеді. Геожүйенің маусымдық ырғағы – ендік зоналық және биіктік белдеу жүйесіндегі орналасуымен анықталады.

Тәуліктік және маусымдық ырғақтар ауа температурасы мен ылғалдың ауытқуымен байланысты. Маусымдық ырғақтың мәні: су мен ауа жағдайлары, жылу мен және ылғалмен қамтамасыздығы, биотаның өзгеру қарқындылығы мен сипаты және химиялық элементтердің миграциясының жыл мезгілдеріне сәйкес өзгеруі. Осы типтегі ең танымал орта мерзімді 24 айлық, 3-4, 5-6 жылдық ырғақтар, сонымен қатар ұзақ

мерзімді 11 және 22-23 жылдық ырғақтар. Сонымен, табиғи геожүйелердің динамикасының негізгі сипаттамасы - өзгергіштігі, ең алдымен, циклділікпен және ырғақтылықпен сипатталады (Окишева және т.б., 2015).

Жылдық циклдің кезеңдерінің құрылымы және жыл құрамына кіретін маусымдар мен фазаларының атаулары Н.В. Рутковскаяның әдістемелігіне сәйкес алынды. Осы әдістемелікке сәйкес, жыл мезгілдерінің құрылымдық фазаларының атаулары келесідей: көктемгі - қар еру, көктемнің басталуы және жаз алды; жаз үшін - қоңыржай жылы жаз, қоңыржай ыстық жаз, жаздың баяулауы; күз үшін – күздің түсуі, қоңыр күз, қысалды; қыс үшін – қоңыржай аязды қыс, аязды қыс, көктемалды. ЖЦВК - фенологиялық күйлер мен биохимиялық үдерістердің өзгертін, климаттың жоғары сатыдағы өсімдіктердің табиғи жағдайын және олардың дамуындағы дәйекті фазалардан өту мүмкіндігін анықтайтын жылдық циклдегі уақытты білдіреді (Рутковская, 1974).

Зерттеу барысында қолданылған геотехнологиялық әдістердің басты міндеті: геодеректерді өңдеу мен нәтижелерін ұсынудың жетілдірілген әдістерін қолдану болып табылады. Бұл әдістер ЖҚЗ және ГАЖ технологиясын қамтиды, олар уақыт пен кеңістіктегі географиялық ортаның өзгеруін зерттеудің жоғары дәлдігіне мүмкіндік береді.

ЖҚЗ әдістері зерттеушінің аяғы жетуге қиын, тіпті мүмкін емес аумақтардың табиғи ортасында болып жатқан өзгерістерді зерттеудің таптырмас әдісі. Осы зерттеу жұмысында геодеректер EOS сандық платформасының LandViewer, Group Monitoring веб-шолғыштарының Analytics-Time series, Monitoring кіріктірілген модулдерінде орындалды. Шарын өзені алабы биіктаулы геожүйелерінің 2016-2020 жж. аралығындағы динамикасын анықтау, ғарыштық суреттердің (Sentinel-2) спектралды талдауын жасау негізінде, аталған модульдерде өңдеуден өтті (US Earth Observing System, 2021).

Сандық платформалар – ЖҚЗ арқылы табиғи үдерістердің мониторингін жасап, алынған мәліметтерді өңдеу негізіндегі, кеңістіктік аналитикалық және жүйелік зерттеуге бағытталған, алгоритмдік модулдердің автоматтандырылған бағдарламалар

жүйесі. Сандық платформа дәстүрлі мониторинг және зерттеу әдістерінің сандық трансформациясы, кіріктірілген модулдерден тұратын арнайы және мамандандырылған жүйені құруға негіз бола алатын технологиялар жүйесі.

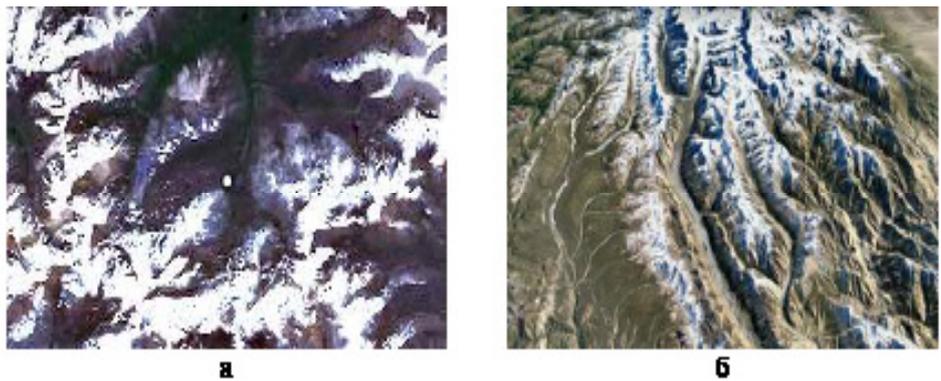
NDVI мәндері бүкіл әлемде кез-келген сәтте өсімдік жамылғысының салыстырмалы тығыздығын, ылғалдылығы арқылы жай-күйін, өзгерістерін көрсету үшін қолданылады. NDVI мәндерін талдауға А.С. Черепанова, Е.Г. Дружинина (Черепанов және т.б., 2009), О.В. Хромых, В.В. Хромых; LandViewer модулінде Б.С. Гао, Y. Gu, J.F. Brown, J.P. Verdin, V. Wardlow, Т.Дж. Джексон, Д. Чен, М. Кош, Ф. Ли, М. Андерсон, С.Дж. Такерлердің еңбектері негіз болды (Gao, 1996; Gu and others, 2007; Jackson and others, 2004; Tucker, 1980).

ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ НӘТИ-

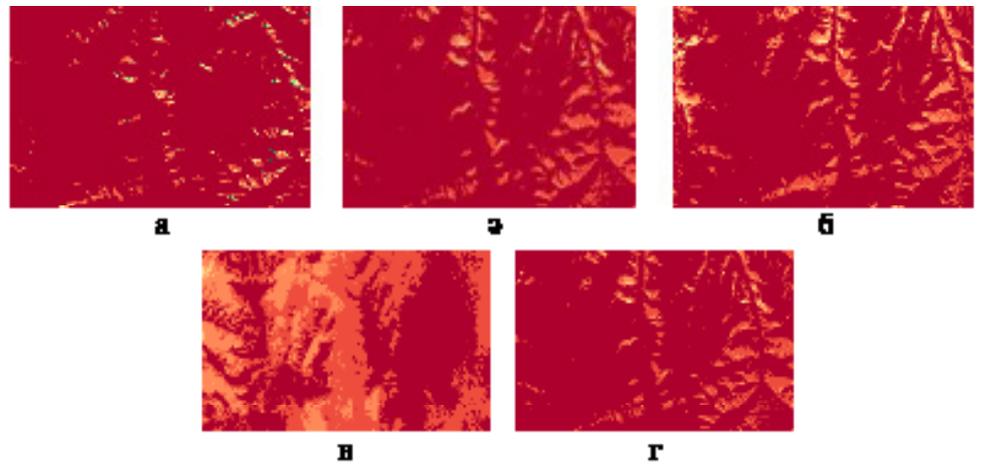
ЖЕЛЕРІ

Шарын өзенінің ағындының қалыптасу зонасында орналасқан, Эчкили-таш биіктаулы ландшафты Чон-Джаналач өзені алабында орналасқан, жер бедері альпілік пішіндегі, қазіргі заманғы мұзбасу фрагменттері бар, мүк-қынамен жабындалған, өсімдік жамылғысы дамымаған, бірлі-жарым сирек өсімдіктерімен сипатталады. Чон-Джаналач өзені Қарқара өзенінің ірі саласы Көкжар өзеніне сол жағынан келіп қосылады. Қарқара, Көкжар, Чон-Джаналач өзендері - Шарын өзенінің 1-ші, 2-ші және 3-ші реттік салалары.

Эчкили-таш биіктаулы ландшафтының 3D визуализациясы мен табиғи түстегі ғарыштық суреттері (сурет 1), 2016...2020 жылдар аралығындағы NDVI динамикасы (сурет 2) қарастырылып, ландшафтын сипаттайтын сандық көр-



а – табиғи түсте; б – 3D визуализация
Сур. 1. АҚЗ-дағы Эчкили-таш биіктаулы ландшафтының кар мұздықтарының ғарыштық суреттері, 06.07.2020 ж. (Sentinel-2)

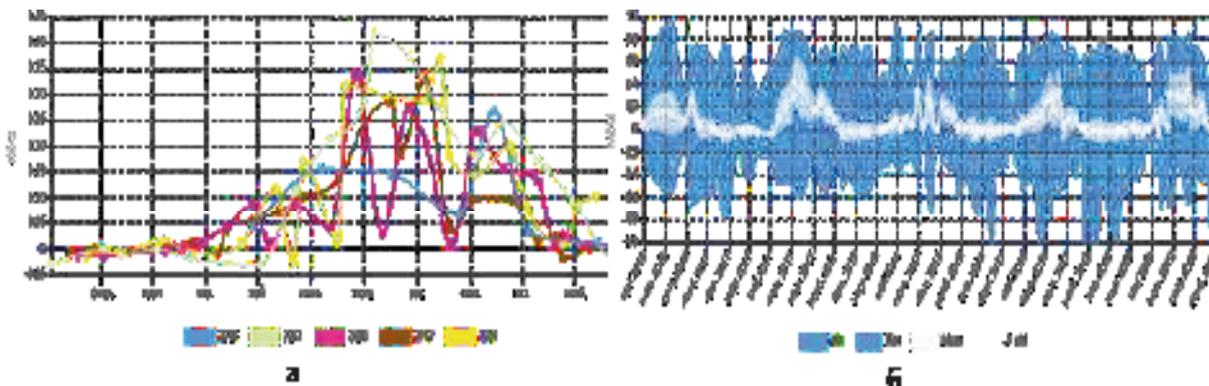


а – 2020; ә – 2019; б – 2018; в – 2017; г – 2016
Сур. 2. Эчкили-таш биіктаулы ландшафтының NDVI ғарыштық суреттері 2016...2020 жж. (Sentinel-2)

Эчкилিতаш биіктаулының ландшафтын сипаттайтын сандық көрсеткіштер

Координаттары	42°20/431//с.е. 79°21/511//ш.б.
Теңіз деңгейінен биіктігі, м	3974 м
Аңғар беткейлерінің биіктігі, м	3601...3800 м
Еңістігі	37-63°
Беткей экспозициясы	Б, СБ, Ш, ОШ
Ауа температурасы, °С	max:15 min:1,5
Ауа ылғалдылығы, %	35,89
Желдің бағыты мен орташа жылдамдығы, м/сек	СБ,С 5,36 м/с
Судың орташа жылдық деңгейі, см	192
Судың орташа жылдық шырыны, м³/сек	32,5
Ескерту – EOS сандық платформасының «Analytics-Time series» модулінде және «Климатология РММ»-нің мәліметтері негізінде құрастырылды	

Эчкилিতаш биіктаулы ландшафтының (сурет 3) өсімдік жамылғысы типі бойынша кеңістіктік-уақыттық қатарлары негізінде NDVI мәндері мен ауданы (кесте 2) анықталды.



Сур. 3. а – АҚЗ-дағы Эчкилিতаш биіктаулы ландшафтының өсімдік жамылғысы типіне сәйкес NDVI кеңістіктік-уақыттық қатарлары, 2016-2020 жж.; б – Эчкилিতаш биіктаулы ландшафтының жылдық циклдің маусымдарына бөлінген сызықтық қатарлары, 2016-2020 жж.

Кесте 2

Эчкилিতаш биіктаулы ландшафтының өсімдік жамылғысы типі бойынша NDVI динамикасы, 2016...2020 жж.

NDVI индексі	Жамылғы түрі	Ауданы, км², жыл				
		2016	2017	2018	2019	2020
0.6-1	Максималды тырыс өсімдік жамылғысы	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.6-0.8	Тырыс өсімдік жамылғысы	0.00	0.00	0.05	0.02	0.00
0.4-0.6	Қызылжар өсімдік жамылғысы	0.04	0.00	0.11	0.15	0.04
0.2-0.4	Сирек өсімдік жамылғысы	2.68	12.25	9.80	7.96	0.48
0.1-0.2	Ашық топырақ	24.48	15.98	25.76	15.01	1.22
-1-0.1	Вегетациясыз	165.87	162.77	157.40	169.90	191.32
Ескерту – EOS сандық платформасының «Analytics-Time series» модулінде құрастырылды						

Эчкилিতаш биіктаулы ландшафтының жылдық циклдің маусымдарына бөлінген сызықтық қатарлары негізінде вегетация ке-

зеңіндегі минималды, максималды және орташа: бастапқы (mean a) және соңғы (mean b) NDVI мәндері (кесте 3) қарастырылды.

Эчкелиташ биіктаулы ландшафтының вегетация кезеңіндегі минималды, максималды және орташа: (бастапқы-соңғы) NDVI мәндері, 2016...2020 жж.

Жылдар	NDVI			
	месin a	месin b	min	max
2016	0.01	0.01	-0.57	0.30
2017	0.10	0.10	-0.22	0.39
2018	0.03	0.02	-0.58	0.38
2019	0.01	0.01	-0.99	0.38
2020	0.02	0.02	-0.49	0.23

Ескерту – EOS сандық платформасы «Analytics-Time series» модулінде орындалды

Келесі түйінді зерттеу телімі ағынды қалыптасу зонасындағы Аюсай биіктаулы ландшафты. Көкжар өзені алабының бастауындағы Аюсай биіктаулы ландшафты жер бедері ежелгімұздықты, нивалды шатқалдары гранитоидтермен және диориттермен жабындалған, мүк-қыналы, өсімдік жамылғысы дамымаған, бірлі-жарым сирек өсімдікті, нашар

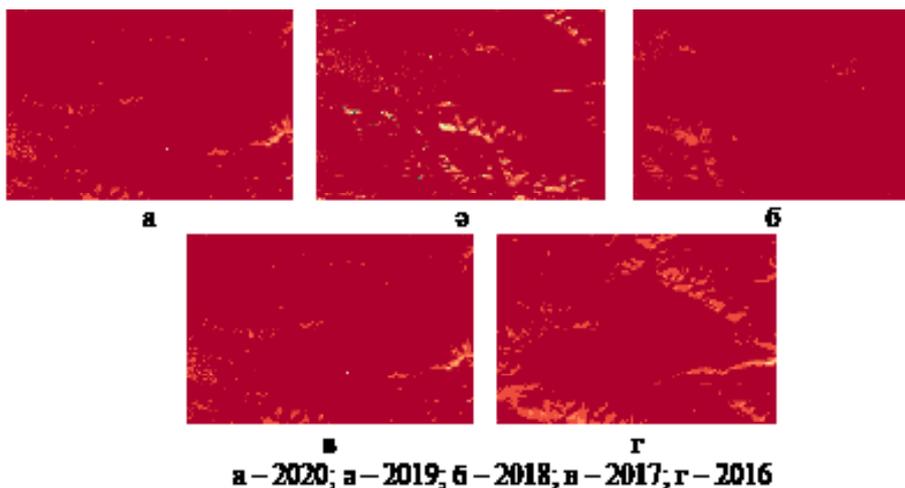
дамыған қаңқалы топырағымен сипатталады.

Аюсай биіктаулы ландшафтының 3D визуализациясы мен табиғи түстегі ғарыштық суреттері (сурет 4), 2016-2020 жылдар аралығындағы NDVI динамикасының ғарыштық суреттері (сурет 5) берілген. Аюсай биіктаулы ландшафтын сипаттайтын сандық көрсеткіштер 4-шы кестеде көрсетілді.



а – табиғи түстегі суреті; ә – 3D визуализация

Сур. 4. АҚЗ-дағы Аюсай биіктаулы ландшафтының ғарыштық суреттері, 5.07.2020 ж. (Sentinel-2)



а – 2020; ә – 2019; б – 2018; в – 2017; г – 2016

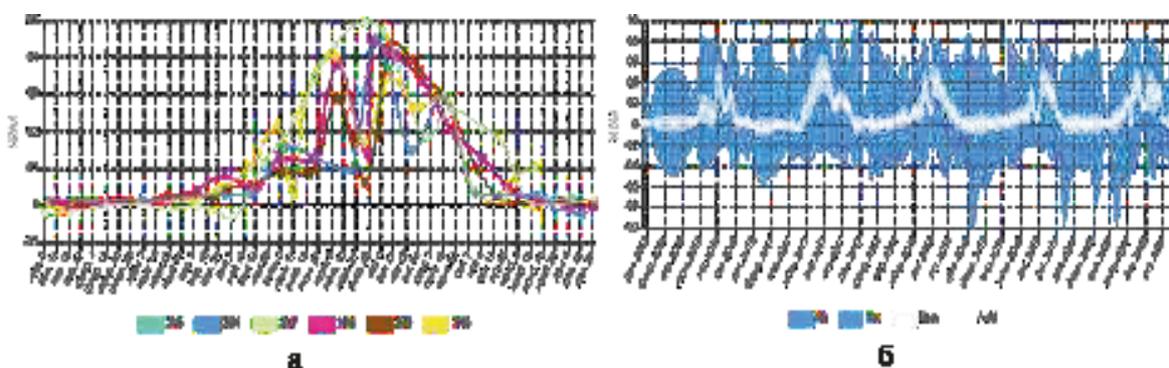
Сур. 5. Аюсай биіктаулы ландшафтының NDVI ғарыштық суреттері 2016-2020 жж. (Sentinel-2)

Шарын өзені алабы геожүйелерінің өсімдік жамылғысы типіне сәйкес NDVI кеңістіктік-уақыттық қатарлары және жылдық циклдің маусымдарына бөлінген сызықтық қатарлары

құрылды (сурет 6) (автор EOS сандық платформасының LandViewer веб-шолғышының Analytics-Time series модулінде орындалды).

Аюсай биіктаулы ландшафтын сипаттайтын сандық көрсеткіштер

Координаттары	42°45'918"с.е. 79°25'653"т.б.
Теңіз деңгейінен биіктігі, м	3857
Аңғар беткейлерінің биіктігі, м	3401-3600 м
Еңістігі	37-63°
Беткей экспозициясы	С, СБ, Б
Ауа температурасы, t°С	max: 15. min:1,2
Ауа ылғалдылығы, %	35,89
Желдің бағыты мен орташа жылдамдығы, м/сек	БСБ, 5,36
Судың орташа жылдық деңгейі, см	192
Судың орташа жылдық шығыны, м³/сек	32,5
Есепту – EOS сандық платформасының «Analytics-Time series» модулінде және «Климатология РММ»-нің параметрлері негізінде құрастырылды	



Сур. 6. а – АҚЗ-дағы Аюсай биіктаулы ландшафтының өсімдік жамылғысы типіне сәйкес NDVI кеңістіктік-уақыттық қатарлары, 2016-2020 жж.; б – Аюсай биіктаулы ландшафтының жылдық циклдің маусымдарына бөлінген сызықтық қатарлары, 2016-2020 жж.

Аюсай биіктаулы ландшафтының кеңістік-жамылғысы типі бойынша NDVI мән-тік-уақыттық қатарлары негізінде өсімдік дері мен ауданы (кесте 5) анықталды.

Кесте 5

Аюсай биіктаулы ландшафтының өсімдік жамылғысы типі бойынша NDVI динамикасы, 2016....2020 жж.

NDVI мән-тік	Жамылғы түрі	Ауданы, км² жыл				
		2016	2017	2018	2019	2020
0.8 деңі	Максималды тығыз өсімдік жамылғысы	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.6-0.8	Тығыз өсімдік жамылғысы	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
0.4-0.6	Қысқарып өсімдік жамылғысы	0.008	0.035	0.002	0.010	0.048
0.2-0.4	Сирек өсімдік жамылғысы	3.38	1.23	0.38	7.31	4.80
0.1-0.2	Алтың топырақ	29.00	7.50	10.22	10.10	8.50
-1 деңі 0.1	Вегетациясыз	135.35	158.98	157.11	150.21	159.00
Есепту – EOS сандық платформасының «Analytics-Time series» модулінде құрастырылды						

Аюсай биіктаулы ландшафтының вегетация анықталған минималды, максималды және кезеңіндегі жылдық циклдің маусымдарына орташа: бастапқы (mean a) және соңғы (mean b) NDVI мәндері (кесте 6) қарастырылды.

Аюсай биіктаулы ландшафтының вегетация кезеңіндегі минималды, максималды және орташа: (бастапқы-соңғы) NDVI мәндері, 2016-2020 жж

Жылдар	NDVI			
	mean a	mean b	min	max
2016	0.03	0.03	-0.33	0.24
2017	0.00	0.00	-0.40	0.26
2018	0.01	0.01	-0.36	0.30
2019	0.00	0.00	-0.54	0.31
2020	0.10	0.10	-0.41	0.20

Ескерту – EOS сандық платформасының «Analytics-Time series» модулінде орындалды)

Кеңістіктік аналитикалық мәліметтерге сәйкес (кесте 7) Шарын өзені алабының биіктаулы белдеуінің ландшафттарының жылдық циклдің маусымдарының құрылымдық ерекшеліктеріне талдау жасалды.

Кесте 7

Шарын өзені алабы биіктаулы ландшафттарының жылдық циклдің маусымдық ырғағының кеңістіктік-уақыттық аналитикасы

Мезгілі	NDVI	Мин. t°C	Мак. t°C	Ауаның ылғалдылығы (%)	Жауын-шашын (мм)
ЖІЗҚАҚ					
Қысқы мезгіл	0,01	-5,52	-18,79	50,54	0,27
	-	-7,13	-16,88	61	0
	0	-4,78	-17,03	63,86	0,31
	-	-7,25	-14,58	63,58	0,44
	-	-1,43	-12,87	64,64	2,76
	-	-5,08	-18,07	60,97	0,92
Қысқы мезгіл	-	-7,74	-18,99	56,53	0
	-	-4,16	-21,84	56,02	0
	-	-8,51	-21,69	74,13	0
	0,01	2,73	-9,64	39,89	3,94
	-	2,08	-9,86	26,93	5,32
	-	2,53	-11,23	50,18	7,85
-	2,44	-8,09	38,33	0	
ЖІЗІК					
Қызыл жұлдыз	0,01	2,14	-9,82	47,4	0
	-	3,7	-9,42	28,9	0
	-	3,21	-8,96	46,48	3,91
	-	8,7	-5,14	36,24	3,91
	0,02	5,02	-6,18	47,97	0
	-	5,85	-4,21	70,05	7,84
Қызыл жұлдыз	-	14,97	-2,23	38,35	13,5
	-	12,39	0,05	37,86	0
	-	12,26	3,33	38,51	0
	0,12	14,96	4,14	39,73	0
	-	17,3	4,35	19,09	5,78
	-	16,71	3,72	25,24	0
Жылқы бауы	-	17,07	2,17	31,26	0
	-	15,19	4,89	33,05	0
	0,15	15,3	4,44	23,32	12,72
	-	18,17	5,04	22,55	0
	-	17,41	5,96	35,04	9,4
	0,25	16,93	3,7	34,63	0
Қызыл жұлдыз	-	16,04	1,43	39,57	0
	-	11,6	4,8	52,06	0
	-	15,65	6,6	56,28	0
	0,1	20,53	8,52	30,86	0
	-	20,55	7,05	31,71	0
	-	14,18	6,05	41,64	9,57
Қызыл жұлдыз	-	14,18	5,86	45,19	12,29
	0,1	16,68	6,37	32,57	0
	-	17,98	4,86	44,83	0
	-	15,59	9,64	28,32	0
	-	13,14	7,92	29,85	0
	-	15,2	4,7	46,36	0
Қызыл жұлдыз	-	14,22	4,83	41,02	43,38
	-	13,1	-0,65	26	0

Мерзімі	NDVI	Макс t°C	Мин t°C	Ауаның ылғалдылығы (%)	Жауын-шашын (мм)
Жаздың фазасы	-	11,67	1,2	28,38	0
	0,05	10,93	2,26	42,65	18,89
	-	12,72	1,44	43,24	9,44
	-	11,08	0,96	66,33	11,1
	-	7,63	1,24	53,53	7,88
	-	7,71	1,19	38,74	5,55
	-	5,63	-0,87	47,01	4,66
Көктемнің басталу фазасы	0,03	5,46	0	40,81	3,98
	-	4,43	-8,12	38,35	0
	-	4,34	-4,24	42,1	6,8
	-	-0,74	-1,3	68,83	7,34
	-	-0,55	-0,9	58,03	7,34
ЖІҚСҚ					
Қар еру фазасы	-	-0,78	-2	46,79	2,86
	0,01	-0,36	-1,44	37,43	0
	-	-0,49	-10,75	47,64	1,45
	-	1,61	-9,57	30,71	1,53
	-	2,93	-9,44	57,43	0
	-	5,29	-10,44	42,84	0
Қыстамақтық фазасы	-	4,22	-12,56	45,49	0
	-	5,05	-12,42	46,99	0
	-	-9,43	-21,09	59,24	2,75
	-	-7,45	-21,66	50,11	0
	-	-2,57	-18,1	46,24	2,41
	-	-8,99	-21,73	67,85	0
	-	-12,06	-20,33	61,72	0
	-	-11,53	-18,06	59,4	0
Ақпаның қыс фазасы	-	-10	-17,08	78,26	1,59
	-	-9,38	-15,64	72,98	1,59
	-	3	4	8	9
	-	-9,63	-18,83	63,01	0
	-	-8,2	-20,43	66,11	0,37
	-	-7,23	-18,71	64,49	0,25
	-	-6,65	-13,56	74,44	0,46
	-	-6,65	-13,56	74,44	0,46

Бекетту – EOS сандық платформасының «Мониторинг» жерінде ұйымдастырылған

АҚЗ-ның нивал-гляциал белдеуінде, ЖЦВК-гі көктемнің басталу фазасының соңғы онкүндігінде, орташа ауа температурасының жоғарылауының тұрақсыздығы байқалады. Осы кездегі максималды ауа температурасы +5,63°C, ал енді минималды ауа температурасы әлі де -0,87°C көрсетеді. Өрі қарай жазалды фазасының екінші онкүндігі-

нен бастап, ауа температурасының оң динамикасы байқалады. Осы кездегі NDVI мәні вегетациясыз, яғни жамылғы түрінің теріс мәнін 0.03 көрсетеді, макс. t°C 5.46, мин. t°C 0, топырақтың беткі қабатының және төменгі өсімдіктің тамыры қабатындағы ылғалдылығы айқындалмайды, ауаның ылғалдылығы 40,81%, жауын-шашын мөлшері

4-5мм. Әрі қарай ауа температурасының +5о арқылы тұрақты жоғарылауы жазалды фазасының үшінші онкүндігінен басталады.

Аумақтың динамикасындағы ауа температурасының төмендеуі, күз маусымының ортаңғы фазасы – қоңыр күзге сәйкес келеді, және бұл вегетация кезеңінің соңғы фазасы. Орташа тәуліктік ауа температурасы басындағы +5°С-тан соңына қарай 2°С-қа ауысады. Қоңыр күз фазасының бірінші онкүндігінде NDVI мәні теріс 0.02 вегетациясыз жамылғы түрін көрсетіп, макс. t°С 5.02, мин. t°С -6.18 төмендейді, ауаның ылғал-

дылығы 47.97%, жауын-шашын мөлшері 0мм. Соңғы онкүндігінде NDVI мәні теріс 0.01 вегетациясыз жамылғы түрін көрсетіп, макс. t°С 2.14, мин. t°С -9.82 төмендейді, ауаның ылғалдылығы 47.4%, жауын-шашын мөлшері 0 мм. Осы фазаның аяқталу критеріі қар жамылғысының пайда болуы.

Шарын өзені алабы биіктаулы ландшафттарының жылдық циклдің маусымдық ырғағының кеңістіктік-уақыттық аналитикасы мәліметтері негізінде (кесте 8) жылдық циклдің маусымдық құрылымының жіктемесі жасалды.

Кесте 8

Шарын өзені алабының биіктаулы геожүйелерінің жылдық циклдің маусымдық құрылымының жіктемесі

Жылдық циклдің фазалары	АҚЗ-ның биіктаулы неогляциал биіктеуі (3601...4100 м)	АҚЗ-ның биіктаулы белдеуі (2601...3600)
Қар еру	-	-
Көктемнің басталуы	-	-
Жаздың басталуы	III декадада +5°С арқылы тұрақты жоғарылау	II декадада +5°С арқылы тұрақты жоғарылау
Қысқармайтын жаз	III декадада +10°С арқылы жоғарылау	II декадада +10°С арқылы жоғарылау
Қысқармайтын жаз	III декадада +5°С арқылы төмендеу	III декадада +5°С арқылы төмендеу
Жаздың баяулауы	III декадада +10°С арқылы төмендеу	III декадада +5°С арқылы төмендеу
Қысқармайтын күз	I декадада -5°С арқылы төмендеу	II декадада -5°С арқылы төмендеу
Қоңыр күз	-	I декаданың бастап вегетацияның төмендеуі
АҚЗ-ның мерзімі ЖЦБК-нің мерзімі (тәулігімен)	155-165	165-180
Ескерту – «Analytics-Time series» модулінің мәліметтері негізінде берілген		

ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеу жұмысында әдіснамалық қағидалар мен біртұтас қамтылған кешенді әдістер жүйесі қолданылды. Биіктік белдеулерге жіктеу арқылы түйінді зерттеу телімдеріндегі ландшафттардың құрамбөліктерінің физикалық географиялық кешенді сипаттамасы жасалып, геожүйелердің жылдық циклдің маусымдарының құрылымдық ерекшеліктері қарастырылды. Биіктаулы геожүйелердің

маусымдық құрылымының сандық және сапалық көрсеткіштеріне талдау жасалды.

Шарын өзені алабы биіктаулы белдеуінде кеңістіктік-уақыттық қатарлардың аналитикасына сәйкес, топырақтың беткі қабатының және төменгі, тамыр қабатының ылғалдылығы айқындалмайды. Осы мәліметтерден климаттық көрсеткіштерге сәйкес, биіктік теңіз деңгейінен 100 м жоғарылаған сайын, температура орта есеппен 0,4-0,8°С-қа төмендейтіні байқалады.

Геожүйелердің маусымдық ырғақтардың климаттық және фенологиялық сипаттамасының бірдей екендігі, ал уақыттық мәндерінің жылдық циклдің вегетация кезеңіндегі (ЖЦВК) басталуы (аяқталуы) орналасқан биіктік белдеулерге сәйкес өзгертіні анықталды.

Тянь-Шаньның солтүстік беткейлерінде биіктік төмендеген сайын, жылу балансы параметрінің көрсеткіштері жоғарылап, биіктаулы геожүйелерде ауаның орташа тәуліктік температурасы 5°C арқылы ЖЦВК-не жазалды фазасының үшінші онкүндігінде өтетіндігі, қарай әр түрлі сипатқа ие екендігі дәйектелді. ЖЦВК ағындының қалыптасу зонасының (АҚЗ) биіктаулы нивал-гляциал белдеуінде (3601-4100 м) – 155-165, биіктаулы геожүйелерде (2601-3600) – 165-180 тәулікті құрайды.

Нәтижесінде, Шарын өзені алабының биіктаулы геожүйелерінің өзгергіштігі мен динамикалық үрдістері: маусымдық құрылымының инварианттылығына сәйкес, зат және энергияның үздіксіз ағынына, жылумен және ылғалмен қамтамасыз етілуіне, жылдық циклдің маусымдық және тәуліктік ырғақтарына, яғни физикалық-географиялық негізгі заңдылыққа тәуелді екендігі тұжырымдалды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск: Наука, 1978. – 317 с.
2. Короткий Л.М. Бассейновый подход в географии // География и природные ресурсы. – 1985. – №1. – С. 54-57.
3. Солнцев Н.А. О суточном цикле в динамике ландшафта // Вестник московского университета. – 1960. – №6. – С. 70-73.
4. Исаченко А.Г. Теория и методология географической науки. – М.: Академия, 2004. – 400 с.
5. Ретеюм А.Ю., Дьяконов К. Н. и др. Количественные методы изучения природы: сб. – М.: Мысль, 1975. – 216 с.
6. Ретеюм А.Ю. Земные миры: о целостном изучении геосистем. – М.: Мысль, 1988. – 266 с.
7. Крауклис А.А. Теория и практика исследования геосистем // География и природные ресурсы. – 1987. – №4. – С. 18-25.
8. Мамай И.И. Динамика и функционирование ландшафтов. – М.:

- Изд-во Моск. ун-та, 2005. – 138 с.
9. Мұсабаева М.Н., Джаналеева К.М. Қазақстанның физикалық географиясы. – Астана: «ЕҰУ» баспасы, 2016. – 580 б.
 10. Керимбай Н.Н. Закономерности структурной организации геосистем бассейнар. Шарын и вопросы рационального природопользования. – Алматы: Таугуль-Принт, 2008. – 194 с.
 11. Окишева Л.Н., Филандышева Л.Б. Сезонные ритмы природы Западно-Сибирской равнины. – Томск: Изд-во Пеленг, 2002. – 402 с.
 12. Окишева Л.Н., Филандышева Л.Б. Временная динамика и функционирование ландшафтов Западной Сибири. – Томск, 2015. – 328 с.
 13. Рутковская Н.В. О сезонной структуре годового цикла лесной зоны Западно-Сибирской равнины на примере Томской области // Проблемы гляциологии Алтая. – 1974. – №2. – С. 102-108.
 14. US Earth Observing System / Exploring Geospatial Solutions // <https://eos.com/landviewer/cropmonitoring>. 01.02.2021.
 15. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. – 2009. – №3. – С. 28-32.
 16. Gao B.C. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // Remote Sensing of Environment. – 1996. – Vol. 58, №3. – P. 257-266.
 17. Gu Y., Brown J.F., Verdin J.P. et al. A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States // Geophysical Research Letters. – 2007. – Vol. 34. – P. 1-6.
 18. Jackson T.J., Chen D., Cosh M. et al. Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans // Remote Sensing of Environment. – 2004. – Vol. 92. – P. 475-482.
 19. Tucker C.J. Remote sensing of leaf water content in the near infrared // Remote Sensing of Environment. – 1980. – Vol. 10. – P. 23-32.

REFERENCES

1. Sochava V.B. Introduction to the doctrine of geosystems. - Novosibirsk: Nauka, 1978. - 317 p.
2. Korytny L.M. Basin approach in geography // Geography and natural

- resources. - 1985. - No. 1. - S. 54-57.
3. Solntsev N.A. On the diurnal cycle in landscape dynamics // Bulletin of the Moscow University. - 1960. - No. 6. - S. 70-73.
4. Isachenko A.G. Theory and methodology of geographical science. - M.: Academy, 2004. - 400 p.
5. Retezum A.Yu., Dyakonov K. N. et al. Quantitative methods for studying nature: Sat. - M.: Thought, 1975. - 216 p.
6. Retezum A.Yu. Terrestrial worlds: about the holistic study of geosystems. - M.: Thought, 1988. - 266 p.
7. Krauklis A.A. Theory and practice of research of geosystems // Geography and natural resources. - 1987. - No. 4. - S. 18-25.
8. Mamai I.I. Dynamics and functioning of landscapes. - M.: Publishing House of Moscow. un-ta, 2005. - 138 p.
9. Musabaeva M.N., Dzhanaleeva K.M. Kazakh physical geography. - Astana: «EYU» baspasy, 2016. - 580 b.
10. Kerimbay N.N. Patterns of the structural organization of geosystems of the basin of the river. Sharyn and issues of rational nature management. - Almaty: Taugul-Print, 2008. - 194 p.
11. Okisheva L.N., Filandysheva L.B. Seasonal rhythms of the nature of the West Siberian Plain. - Tomsk: Peleng Publishing House, 2002. - 402 p.
12. Okisheva L.N., Filandysheva L.B. Temporal dynamics and functioning of Western landscapes. Siberia. - Tomsk, 2015. - 328 p.
13. Rutkovskaya N.V. On the seasonal structure of the annual cycle of the forest zone of the West Siberian Plain on the example of the Tomsk region // Problems of glaciology of Altai. - 1974. - No. 2. - S. 102-108.
14. US Earth Observing System / Exploring Geospatial Solutions // <https://eos.com/landviewer/cropmonitoring>. 01.02.2021.
15. Cherepanov A.S., Druzhinina E.G. Spectral properties of vegetation and vegetation indices // Geomatics. - 2009. - No. 3. - S. 28-32.
16. Gao B.C. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // Remote Sensing of Environment. - 1996. - Vol. 58, №3. - P. 257-266.
17. Gu Y., Brown J.F., Verdin J.P. et al. A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States // Geophysical Research Letters. - 2007. - Vol. 34. - P. 1-6.
18. Jackson T.J., Chen D., Cosh M. et al. Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans // Remote Sensing of Environment. - 2004. - Vol. 92. - P. 475-482.
19. Tucker C.J. Remote sensing of leaf water content in the near infrared // Remote Sensing of Environment. - 1980. - Vol. 10. - P. 23-32.

ДИНАМИКА И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЫСОКОГОРНЫХ ГЕОСИСТЕМ БАССЕЙНА РЕКИ ШАРЫН

Б.С. Керімбай PhD

*Жетысуский университет им. И. Жансугурова, Талдыкорган, Казахстан
E-mail: bayan.kerimbay.65@mail.ru*

В основу исследования положен геосистемно-бассейновый подход, метод определения сезонной ритмичности годового цикла, обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и глобального мониторинга в интегрированных модулях веб-браузера цифровой платформы (EOS). Построены пространственно-временные и сезонные линейные ряды NDVI ключевых участков высокогорных геосистем бассейна реки Шарын, и на основе аналитических данных определены сезонные ритмы годового цикла. В результате составлена классификация сезонной структуры годового цикла, выявлена изменчивость и динамика геосистем нивально-гляциального пояса выше снеговой линий (3601...4100 м) и высокогорного пояса (2601...3600 м).

Ключевые слова: высокогорные геосистемы, ландшафт, NDVI, пространственно-временной ряд, годовой цикл, сезонные ритмы

DYNAMICS AND VARIABILITY OF HIGH-MOUNTAIN GEOSYSTEMS OF THE SHARYN RIVER BASIN

B.S. Kerimbay PhD

Zhetysu University by I. Zhansugurova, Taldykorgan, Kazakhstan

E-mail: bayan.kerimbay.65@mail.ru

The study is based on a geosystem-basin approach, a method for determining the seasonal rhythm of the annual cycle, processing data from remote sensing of the Earth (ERS) and global monitoring in the integrated modules web browser of the digital platform (EOS). Spatial-temporal and seasonal linear NDVI series of key areas of high-mountain geosystems of the Sharyn river basin were constructed, and seasonal rhythms of the annual cycle were determined based on analytical data. As a result, a classification of the seasonal structure of the annual cycle was compiled, were revealed and the variability and dynamics of the geosystems of the nival-glacial belt above the snow line (3601...4100 m) and the high mountain belt (2601...3600 m).

Key words: high-mountain geosystems, landscape, NDVI, space-time series, annual cycle, seasonal rhythms

УДК 556.048

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ КАЗАХСТАНСКОЙ ЧАСТИ РЕКИ СЫР-ДАРИЯ

М.Ж. Бурлибаев¹ д.т.н., А.А. Сапарова^{1,2}

¹АО «Институт географии и водной безопасности», г. Алматы, Республика Казахстан

E-mail: malikburlibayev@gmail.com, aselek.a.s@mail.ru

²Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан

E-mail: aselek.a.s@mail.ru

В статье рассматривается вопрос изменения минерализации казахстанской части реки Сырдария. Основными створами были выбраны гидрологические посты Кокбулак, который является приграничным постом для необходимости оценки минерализации со стороны Узбекистана и Казалы, который в свою очередь является замыкающим створом, учитывающий потребности речной экосистемы низовья и Аральского моря. В статье проанализированы изменения общей минерализации и главных ионов казахстанской части р. Сырдария в зависимости от водности года (25%, 50%, 75%, 95% обеспеченности) как за периоды с условно-естественным, так и с нарушенным режимом. Общий анализ изменения внутригодового распределения общей минерализации и группы главных ионов, показал, что на современном уровне, т.е. в нарушенный период отсутствуют зимние максимумы и летние минимумы, больше стало места для стохастичности чуждых для условно-естественного периода гидрологического режима.

Ключевые слова: гидрохимический режим, минерализация, главные ионы, внутригодовое распределение минерализации

Поступила: 14.02.22

DOI:10.54668/2789-6323-2022-104-1-115-128

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность изучения гидрохимического режима р. Сырдария определялась со времени начала инструментального наблюдения за этими параметрами. При этом, если в начальный период мониторинга ставилась и считалась первоочередной задачей определение питьевого и ирригационного качества вод водотока, то в настоящее время к этому прибавилась объективная оценка антропогенного изменения естественного гидрологического и гидрохимического режима р. Сырдария с целью получения однозначного ответа на вопрос о пригодности или непригодности использования речной воды для различных отраслей экономики. Между тем известно, что с ухудшением гидрологического и гидрохимического

режимов р. Сырдария, начиная с 1960 г. и по настоящее время в многочисленных трудах отечественных исследователей нет однозначного ответа на вышеперечисленные вопросы. Как необходимое отступление следует подчеркнуть, что до сих пор для р. Сырдария не производились полноценные сопоставительные оценки естественного и нарушенного гидрологического (гидрохимического) режимов для выявления картин их изменения под влиянием комплекса антропогенных факторов, а также не решена одна из главных задач гидрохимии речных вод, т.е. определение зависимости химического состава воды от водности реки (Бурлибаев М.Ж., 2005, Бурлибаев М.Ж. и др., 2011).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В этой работе, посвященной исследованию изменения минерализации р. Сырдария,

расчеты будут базироваться на многолетнем статистическом ряде гидрохимических створов Кокбулак, Томенарык, Кызылорда и Казалы, расположенных на р. Сырдария. Основными створами были выбраны с. Кокбулак и Казалы. Кокбулак был выбран так как река Сырдария является трансграничной необходима оценка приноса минерализации со стороны Узбекистана. Казалы был выбран не из-за наличия более длительного ряда наблюдения за водным режимом (наблюдения ведутся с 1912 г.), а с учетом эффекта контроля замыкающего створа. Так как известно, что изменения, произошедшие в гидрологическом режиме замыкающего створа, характеризуют изменения всего речного комплекса. Для определения изменения минерализации весь период наблюдения за гидрологическим режимом р. Сырдария разделен на два периода, т. е. условно-естественный и нарушенный периоды. Период с естественным гидрологическим режимом будет носить признаки условности, т. к. р. Сырдария, находясь в зоне традиционного орошения, своим началом хозяйственного освоения водных ресурсов уходит корнями в глубь предыдущих веков (Бурлибаев М.Ж. и др., 2001, Бурлибаев М.Ж., 2005, Бурлибаев М.Ж. и др., 2011, Грошев В.Л., 1985, Духовный В.А. и др., 2011.). Поэтому, несмотря на наличие исторических фактов раннего земледелия с элементами современного понятия мелиорации и орошения, в прикладные статические расчеты их невозможно приложить. С учетом этого фактора встает задача определения объективных критериев разделения имеющихся статических рядов на условно-естественные и нарушенные периоды. На наш взгляд, наряду с множеством факторов основное внимание заслуживает ухудшение состояния Аральского моря, т.е. те изменения, которые зафиксированы инструментальными замерами, будь то падение уровня, повышение минерализации и т. д. Если принять такое априори, то несомненно, за начало интенсивной деградации можно принять 1960 г. – год, совпадающей с началом ввода и эксплуатации Шардаринского водохранилища, положивший начало коренному переустройству исторически сложившихся экосистем низовья

р. Сырдария и Аральского моря. При этом период с 1912 г. до 1960 г. нами будет принят за условно-естественный период гидрологического режима (Бурлибаев М.Ж. и др., 2001, Бурлибаев М.Ж., 2005, Бурлибаев М.Ж. и др., 2011, Бурлибаев М.Ж. и др., 2012).

В настоящее время, несмотря на то, что имеются некоторые сведения о классификации стока реки Сырдария по рыбохозяйственным предельно-допустимым концентрациям (ПДКрыбхоз), водохозяйственники используют речной сток всецело на орошение, то есть речь идет о вторичном отравлении населения продуктами питания. Потому как все загрязнители речного стока через поливы переходят на выращиваемые продукты, в частности риса. Поэтому в данной работе все содержания загрязняющих веществ будут сравниваться как ПДКрыбхоз, так и предельно-допустимыми концентрациями определения ирригационного качества вод.

В статье проанализированы изменения общей минерализации и главных ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $Na^{++}K^{+}$, HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , Cl^{-}) казахстанской части р. Сырдария в зависимости от гидрологического режима. Для этих целей был проведен сравнительный анализ зависимости минерализации от водности (25%, 50%, 75%, 95% обеспеченности) как за периоды с условно-естественным, так и с нарушенным режимом. Чтобы не загромождать статью графики зависимости минерализации от водности будут представлены только для приграничного створа – Кокбулак и замыкающего створа – Казалы при средней по водности (50% обеспеченности) и крайне маловодный год (95% обеспеченности).

Основным отличием данной работы от предыдущих исследований, является оценка минерализации за два периода: условно-естественный и нарушенный режим (Бурлибаев М.Ж., 2005, Бурлибаев М.Ж. и др., 2011, Бурлибаев М.Ж. и др., 2018).

Как известно, минерализация природных вод – это суммарное содержание всех найденных при химическом анализе воды минеральных веществ (Алекин О.А., 1948, Никаноров А.М., 1989). Соотношение содержания в воде главных ионов (в мг-экв/дм³) определяет типы химического состава воды.

В зависимости от преобладающего вида анионов (>25 % эквивалента при условии, что суммы мг-экв анионов и катионов принимаются равными 50 % соответственно каждая) различают воды гидрокарбонатного класса (концентрация HCO_3 >25 % экв. анионов), сульфатного (SO_4 >25 % экв.), хлоридного (Cl >25 %, экв.). Иногда выделяют также воды смешанных, или промежуточных, типов. Соответственно, среди катионов выделяются группы кальциевых, магниевых, натриевых или калиевых вод (Алекин О.А., 1948, Алекин О.А., 1970, URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010774>).

Минерализация воды имеет важнейшее значение при характеристике химического состава вод. При этом проводят анализы воды на содержание минеральных компонентов в различные периоды гидрологической фазы для поверхностных вод: в зимнюю межень, весеннее половодье, летне-осеннюю межень, летне-осенний межень.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Из-за трансграничности реки Сырдария необходимо обратить внимание на створ с. Кокбулак из-за необходимости оценки приноса минерализации со стороны Узбекистана. К сожалению, в рассматриваемом створе данные о сумме минерализации за период наблюдения в естественном гидрологическом режиме отсутствуют, в связи с чем анализ минерализации р. Сырдарии в рассматриваемом створе ограничится только периодом нарушенного гидрологического режима.

Анализ данных при $P=50$ % обеспеченности по стоку показывает, постепенное уменьшение минерализации р. Сырдарии в рассматриваемом створе с. Кокбулак за период с января по декабрь с общим размахом от 1300 мг/дм³ до 640 мг/дм³. При этом особой стохастичности минерализации в рассматриваемой обеспеченности нет, максимум отмечен в январе, а минимум – в декабре (рисунок 1).

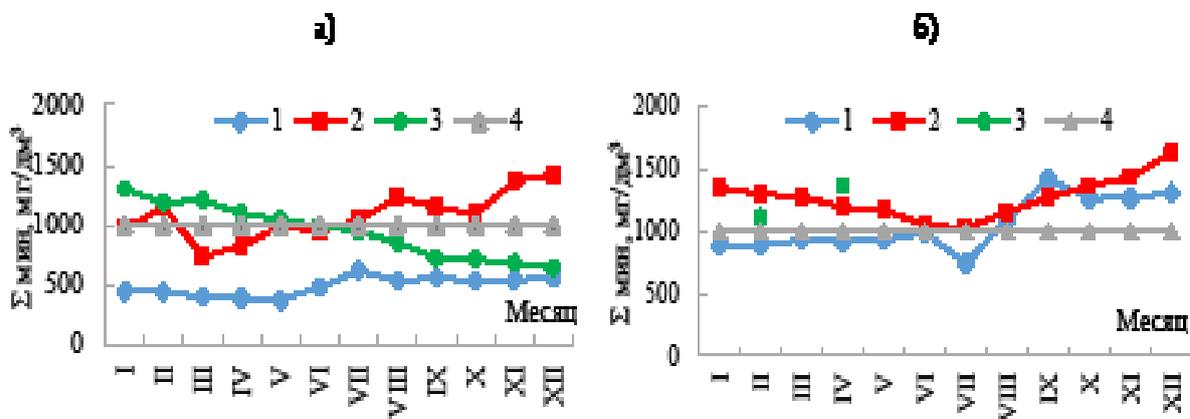


Рис. 1. Внутригодовые распределения минерализации реки Сырдария в створах с. Кокбулак и г. Казалы при 50% (а) и 95% (б) обеспеченностях условно естественного гидрологического режима (ЕГР) и нарушенном гидрологическом режим (НГР). 1 – при ЕГР в створе г. Казалы, 2 – при НГР в створе г. Казалы, 3 – при НГР в створе с. Кокбулак, 4 – требования к качеству питьевой воды в соответствии с гигиеническими требованиями

По сравнению с $P=50$ % обеспеченностью, минерализация в створе Кокбулак при $P=75$ % обеспеченности отличается большей стохастичностью, т. е. нет четко выраженной тенденции увеличения или уменьшения минерализации во внутригодовом распределении. Внутригодовое распределе-

ние минерализации р. Сырдарии рассматриваемой обеспеченности показывает, что максимальные значения приходятся на июнь, август, сентябрь, октябрь и ноябрь месяцы с амплитудой от 1677 мг/дм³ до 1210 мг/дм³. В остальные месяцы колебания минерализации составляет от 948 мг/дм³ до 828 мг/дм³.

При $P=95$ % обеспеченности в гидрохимическом створе с. Кокбулак имеются данные по минерализации р. Сырдария только за три месяца – февраль, март и декабрь.

Результаты внутригодового распределения общей минерализации в створах Томенарык, Кызылорда и Казалы за условно-естественный период гидрологического режима 25 % обеспеченности, показывают, что от первого створа к последнему прослеживается постепенное увеличение или уменьшение фактической концентрации в зависимости от водности и периода года в стохастическом режиме. При этом в створе Томенарык максимумы содержания от 800 до 950 мг/дм³ отмечаются в осенне-зимние периоды с минимумами до 400 мг/дм³ в летние месяцы, т. е. совпадающие во времени с половодьем. При всех обеспеченностях нарушенного периода во всех трех створах в фактических концентрациях общей минерализации отмечается аномальная стохастичность, причем с резким возрастанием показателей в летний период, очевидно, связанного с ростом сброса возвратных вод с орошаемых территорий. Например, ранее наблюдавшиеся максимумы в осенне-зимние месяцы и минимумы в весенне-летнее время в настоящее время сглажены стохастичностью (Бурлибаев М.Ж., 2005, Бурлибаев М.Ж. и др., 2011).

Практически при всех обеспеченностях условно-естественного периода на р. Сырдария отмечались максимумы содержания минерализации на уровне до 1000 мг/дм³, тогда как в современных условиях они повсеместно превышают этот уровень и доходят до 2000 мг/дм³ независимо от водности года и периода во внутригодовом распределении. Такой же вывод справедлив и в отношении 1969, 1964 гг., которые приблизительно соответствуют по водности года 50 и 75 % обеспеченностям. Результаты исследования также показывают, что ранее отмеченные увеличения или уменьшения значений минерализации от створа к створу в настоящее время полностью утрачены и характеризуются неоднозначностью внутригодового распределения (Бурлибаев М.Ж., 2005, Бурлибаев М.Ж. и др., 2011).

В водохозяйственной практике многие производства, в т. ч. сельское хозяйство, предприятия питьевого водоснабжения предъявляют определенные требования к качеству вод, в частности, к минерализации, так как воды, содержащие большое количество солей, отрицательно влияют на растительные и животные организмы, технологию производства и качество продукции, засоление почв.

В соответствии с гигиеническими требованиями к качеству питьевой воды суммарная минерализация не должна превышать величины 1000 мг/дм³ (Бурлибаев М.Ж. и др., 2012).

Как видно из рисунка 1, наблюдается некоторое повышение значений минерализации речной воды на рассматриваемых створах при всех обеспеченностях, достигая до 1400...1600 мг/дм³, тогда как минимумы минерализации отмечены 400...800 мг/дм³. Отсюда следует, что так называемый период «условно-естественный период гидрологического режима», тоже имеет относительное название. Потому как за период 1928...1961 годах речной сток уже подвергался влиянию хозяйственной деятельности человека.

Далее в данной работе будут проанализированы изменения главных ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $Na^{++}K^{+}$, HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , Cl^{-}) казахстанской части р. Сырдария и сравнение их значений с ПДКрыбхоз.

Ежемесячные показатели содержания кальция (Ca) при $P=50$ % обеспеченности на гидрохимическом створе с. Кокбулак показывают тенденцию уменьшения с марта месяца (156 мг/дм³) по август (112 мг/дм³), а в дальнейшем – с сентября (152 мг/дм³) по декабрь – наблюдается рост содержания кальция, тогда как в январе и феврале присутствует элемент стохастичности (рисунок 2).

Совершенно иная картина, т.е. полностью подчиненная стохастичности содержания и внутригодового распределения кальция наблюдается при $P=75$ % обеспеченности. При этом максимальным содержанием кальция отличается август месяц (149 мг/дм³), а минимальной в марте месяце (97,2 мг/дм³). В остальные месяцы рассматриваемой обеспеченности наблюдается стохастичность

распределения кальция в пределах, указанных максимума и минимума содержания данного ингредиента, проявляя при этом независимость от расходов воды р. Сырдария.

Маловодный год, т. е. $P=95\%$ обеспеченности стока, по содержанию кальция, как и при изучении минерализации, имеет данные только за четыре месяца.

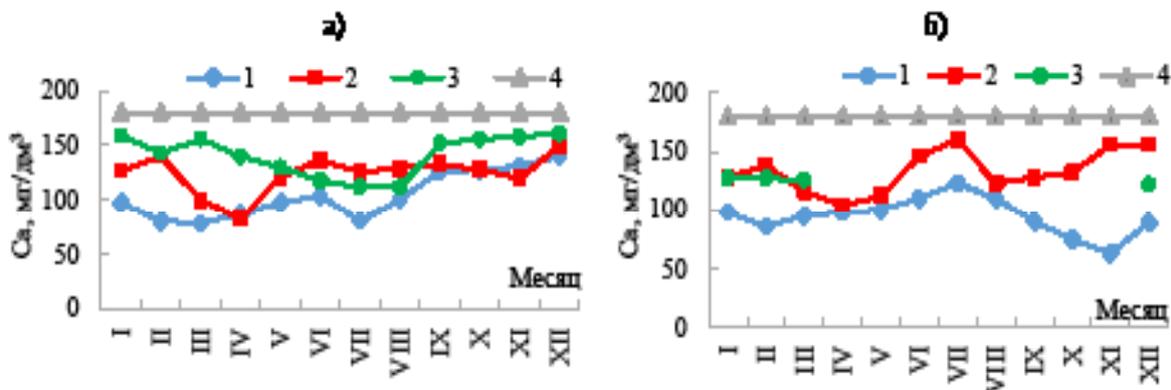


Рис. 2. Внутригодовые распределения Ca реки Сырдария в створах с. Кокбулак и г. Казалы при 50% (а), 95% (б) обеспеченностях условно естественного гидрологического режима (ЕГР) и нарушенном гидрологическом режим (НГР). 1 – при ЕГР в створе г. Казалы, 2 – при НГР в створе г. Казалы, 3 – при НГР в створе с. Кокбулак, 4 – предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения

На замыкающем створе интегрирующие все показатели реки Сырдария (у г. Казалы) анализ изменения внутригодового распределения Ca показывает, что во всех трех створах идет также неоднозначный процесс, т.е. по сравнению с условно-естественным периодом гидрологического режима в зимние месяцы идет уменьшение, а в летние месяцы возрастание их содержания. Например, если до 1960 г. зимние содержания отмечались на уровне 400 мг/дм^3 , то после ввода Шардаринского водохранилища эти же показатели отмечены в пределах $800\text{--}1000\text{ мг/дм}^3$, причем независимо от обеспеченности. Летние минимумы кальция от 60 до 100 мг/дм^3 возросли до 150 мг/дм^3 , одновременно со сглаживанием зимних максимумов и летних минимумов.

Следующим элементом анализа гидрохимического створа с. Кокбулак из всего перечня главных ионов является магний (Mg) (рисунок 3), для которого имеется полный ряд наблюдений при $P=50\%$ и $P=75\%$ обеспеченностях по стоку р. Сырдарии, тогда как при $P=25\%$ обеспеченности абсолютно нет данных и имеются обрывочные данные контроля при $P=95\%$ обеспеченности и за 2001 г.

Внутригодовое распределение Mg при $P=50\%$ обеспеченности полностью по-

вторяет картину распределения Ca в среднемноголетний год ($P=50\%$), за исключением января и февраля месяцев. В отличие от внутригодового распределения Ca, в данном случае наблюдается рост содержания Mg с января по февраль от $60,8\text{ мг/дм}^3$ до $63,2\text{ мг/дм}^3$, тогда как по кальцию наблюдалось уменьшение – от 159 мг/дм^3 до 143 мг/дм^3 . С февраля по сентябрь месяцы идет стабильный процесс уменьшения содержания Mg – от $63,2\text{ мг/дм}^3$ до $19,9\text{ мг/дм}^3$, и наблюдается рост данного элемента с сентября по ноябрь месяцы – от $19,90\text{ мг/дм}^3$ до $24,2\text{ мг/дм}^3$, и с уменьшением содержания Mg до $23,2\text{ мг/дм}^3$ в декабре месяце (рисунок 3).

Анализ внутригодового распределения Mg при $P=75\%$ обеспеченности свидетельствует о наличии стохастического принципа распределения. Максимумом содержания Mg выделяется октябрь месяц ($69,8\text{ мг/дм}^3$), а минимумом – ноябрь ($25,3\text{ мг/дм}^3$), в остальные месяцы характеризуются неоднозначностью уменьшения или увеличения внутри рассматриваемого года.

Как нами ранее отмечено, маловодный год с $P=95\%$ обеспеченностью имеет данные по содержанию Mg только за три месяца – февраль, март, декабрь.

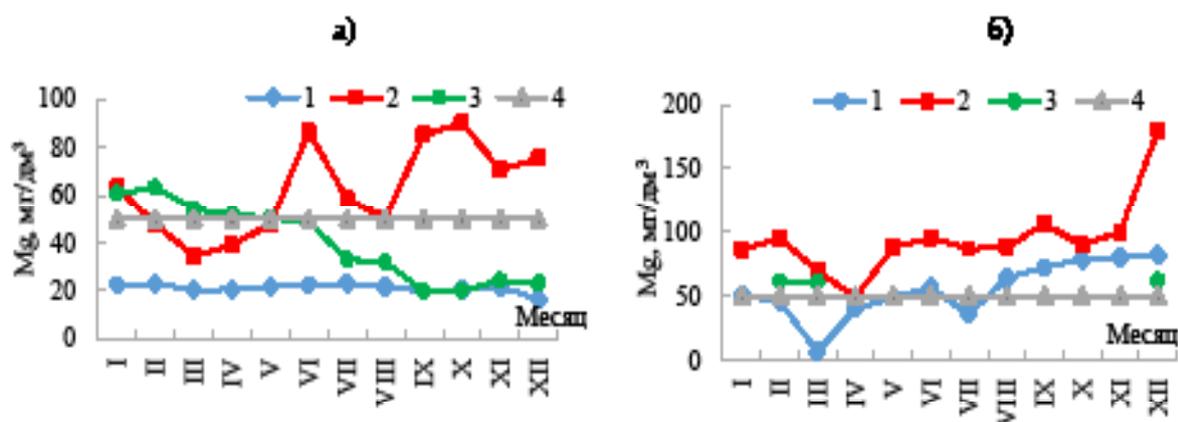


Рис.3. Внутригодовое распределение Mg реки Сырдария в створах с. Кокбулак и г. Казалы при 50% (а) и 95% (б) обеспеченности условного естественного гидрологического режима (ЕГР) и нарушенном гидрологическом режиме (НГР). 1 – при ЕГР в створе г. Казалы, 2 – при НГР в створе г. Казалы, 3 – при НГР в створе с. Кокбулак, 4 – ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения

По сравнению с Са, анализ изменения внутригодового распределения Mg показывает, что независимо от периода года идет постоянный рост содержания этого ингредиента, причем самый максимальный рост отмечается в створе Кызылорда. Ранее отмеченные максимумы содержания Mg в пределах от 7,0 до 60 мг/дм³ в настоящее время стабильно находятся на уровне 100 мг/дм³ и более. Минимумы содержания от 10 до 20 мг/дм³, отмеченные во время половодья, в современных условиях фиксируются в пределах от 60 до 120 мг/дм³, различаясь в зависимости от створов наблюдения. Для Mg тоже характерна потеря зимних максимумов и летних минимумов с одновременным ростом содержания на протяжении всего года при всех обеспеченностях (Бурлибаев М.Ж., 2005, Бурлибаев М.Ж. и др., 2011).

По полноте охвата контроля над суммой натрия и калия (Na + K) створ с. Кокбулак не выдерживает никакой критики в силу наличия самого минимального периода наблюдения за этими ингредиентами. Поэтому, не имея возможности полноценного анализа Na + K, мы вынуждены ограничиться констатацией содержания этих веществ за отдельные месяцы при различной обеспеченности по стоку р. Сырдария.

Исходя из приведенных данных, можно отметить, что максимум содержания Na + K приходится на октябрь месяц (370 мг/дм³) и минимум – на август (93 мг/дм³). Не-

смотря на отсутствие данных по отдельным месяцам рассматриваемого года, можно в первом приближении отметить тенденцию снижения содержания Na + K с января по август включительно, с дальнейшим резким ростом данных ингредиентов в сентябре.

По своему содержанию Na + K и внутригодовому распределению год с P=75 % обеспеченностью в корне отличается от года с P=50 % обеспеченностью. Например, в год с P=50 % обеспеченностью содержание Na + K с показателем ниже 100 мг/дм³ было отмечено только на примере одного месяца – августа (93,7 мг/дм³), тогда как в год с P=75 % обеспеченностью сумма натрия и калия превысила отметку в 100 мг/дм³ только однажды – в октябре месяце (172 мг/дм³), находясь в остальное время ниже этого предела (рисунок 4).

В год с P=95 % обеспеченностью створ с. Кокбулак по содержанию Na + K имеет данные только по трем месяцам: февраль, март и декабрь, тогда как за 2001 г. эти данные отсутствуют вообще.

Изменения внутригодового распределения суммы Na + K не похожи изменениям магния, т.е. идет стохастический процесс этого показателя в течение всего года независимо от обеспеченностей (рисунок 4). Например, в створе Томенарык в зимние месяцы фактические содержания суммы натрия и калия составляют 100 мг/дм³ при 25 % обеспеченности условно-естественного периода,

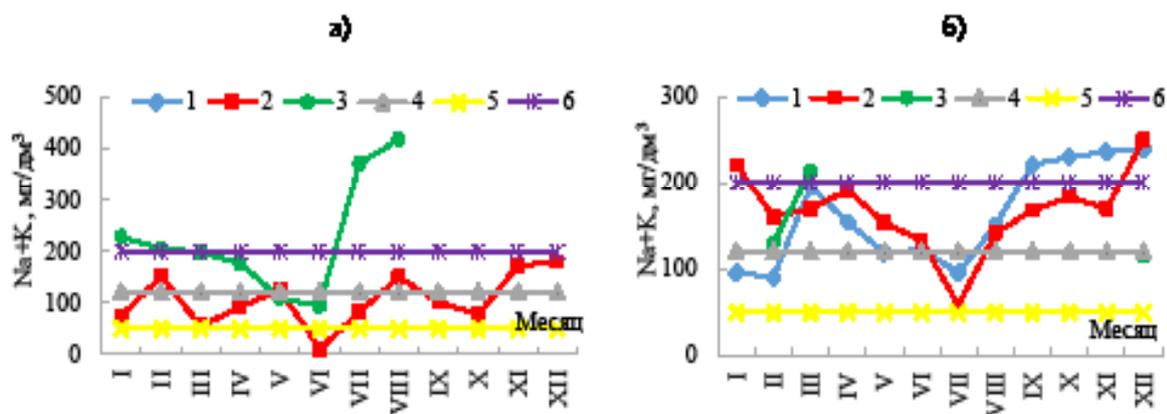


Рис. 4. Внутригодовое распределение Na+K реки Сырдария в створах с. Кокбулак и г. Казалы при 50% (а) и 95% (б) обеспеченности условного естественного гидрологического режима (ЕГР) и нарушенном гидрологическом режиме (НГР). 1 – при ЕГР в створе г. Казалы, 2 – при НГР в створе г. Казалы, 3 – при НГР в створе с. Кокбулак, 4 – ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения по Na, 5 – ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения по K, 6 – ПДК воз по Na

в нарушенный период они отмечены уже на уровне 175 мг/дм³, а для створа г. Кызылорда соответственно равен 75 и 175 мг/дм³.

В створе Томенарык летние минимумы составили от 25 мг/дм³ до 150 мг/дм³, тогда как в створе Казалы они возросли до 98...250 мг/дм³. Такая же четкая картина роста содержания суммы натрия и калия на протяжении всего года отмечена и при 25% и 75% обеспеченностях параллельной потерей летних минимумов. В некоторые периоды во внутригодовом распределении суммы натрия и калия в створах Кызылорда и Казалы соответственно достигают 408 и 440 мг/дм³.

Следующим анализируемым элементом из группы главных ионов являются гидрокарбонаты (НСО₃), которые в створе с. Кокбулак отличаются полнотой только для P = 50 % и P=75 % обеспеченностей. В год с P=50 % обеспеченностью тенденция уменьшения гидрокарбонатов наблюдается с марта по август включительно в диапазоне от 207,00 мг/дм³ до 137,00 мг/дм³, а период роста – с сентября по декабрь месяцы (от 198 мг/дм³ до 208 мг/дм³). Период с января по март характеризуется неоднозначностью распределения, т. е. наличием снижения содержания НСО₃ с января по февраль и подъемом с февраля по март. Этот рассматриваемый год имеет максимум со-

держания НСО₃ на уровне 208 мг/дм³ и минимум содержания 137 мг/дм³ (рисунок 5).

Стохастичность внутригодового распределения НСО₃ характерна и для года с P=75 % обеспеченностью. Год с 75 % обеспеченностью имеет периоды с уменьшением содержания НСО₃ с января (1970 мг/дм³) по апрель включительно (190 мг/дм³), и с некоторым дальнейшим подъемом в мае (202 мг/дм³) и июне (205 мг/дм³). С июля (199 мг/дм³) по сентябрь (233 мг/дм³) наблюдается период со стабильным ростом содержания НСО₃ и некоторой стабилизацией с октября по декабрь на уровне 225...27 мг/дм³.

В год P=95 % обеспеченности имеющиеся данные по контролю над концентрацией НСО₃ также имеются не за все месяцы. Имея обрывочные данные мониторинга за гидрокарбонатами, трудно выявить тенденцию их уменьшения или увеличения от месяца к месяцу во внутригодовом распределении.

Содержание НСО₃ отмечаемые на уровне 250 мг/дм³ в створе Томенарык, при условно-естественном режиме достигли отметки 175 мг/дм³ в зимние месяцы. Обратная картина, т. е. некоторое повышенное содержание гидрокарбонатов отмечается в этом же створе при 25 % обеспеченности в летний период: порядка 150 мг/дм³ против 120 мг/дм³ естественных.

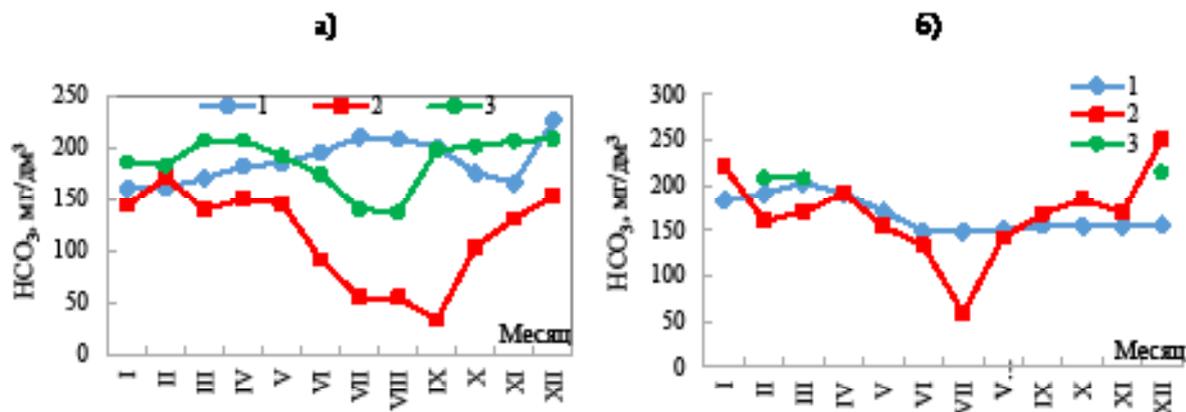


Рис. 5. Внутригодовое распределение HCO_3 реки Сырдария в створах с. Кокбулак и г. Казалы при 50% (а) и 95% (б) обеспеченности условного естественного гидрологического режима (ЕГР) и нарушенном гидрологическом режиме (НГР). 1 – при ЕГР в створе г. Казалы, 2 – при НГР в створе г. Казалы, 3 – при НГР в створе с. Кокбулак

Сопоставительный анализ также показывает, что при условно-естественном периоде гидрологического режима максимальные показатели гидрокарбонатов были зафиксированы в Казалы, причем эти максимумы были отмечены как в летние месяцы, так и в зимние, соответственно 240 и 275 мг/дм³. Аналогично ранее отмеченной стохастичности, характерной для всех ингредиентов, эта же стохастичность характерна и для гидрокарбонатов, разумеется, в нарушенном периоде гидрологического режима при всех обеспеченностях. Самые минимальные значения содержания гидрокарбонатов нарушенного периода на уровне 38 мг/дм³ в летние месяцы отмечаются в створе Томенарык при 75 и 95 % обеспеченностях. Анализом установлено, что минимальный размах колебаний разности зимних и летних колебаний содержания из всей группы главных ионов присущи только для гидрокарбонатов как при условно-естественном периоде, так и нарушенном периоде для всех рассматриваемых обеспеченностей (Бурлибаев М.Ж., 2005, Бурлибаев М.Ж. и др., 2011).

Исследования изменения внутригодового распределения сульфатов (SO_4) дает однозначную тенденцию на повсеместный рост этого ингредиента, разумеется, при нарушенном периоде гидрологического режима против наблюдаемых значений SO_4 условно-естественного режима.

Во внутригодовом распределении SO_4 в створе с. Кокбулак в год с $P = 50\%$ максимальное содержание SO_4 характерно для осенних месяцев (634...653 мг/дм³) и декабря месяцев (642 мг/дм³). В остальные месяцы концентрация SO_4 колеблется от 240 мг/дм³ (август) до 480 мг/дм³ (апрель) при наличии стохастичности внутригодового распределения рассматриваемого ингредиента.

Распределение SO_4 в год с $P=75\%$ обеспеченностью характеризуется стохастическими. Анализ данных распределения SO_4 за рассматриваемый год показывает, что и в этом году, как и при $P=50\%$ обеспеченности, максимальные содержания SO_4 приходятся на осенние месяцы (464, 481, 485 мг/дм³) и декабрь (490 мг/дм³). В остальные месяцы рассматриваемого года содержание SO_4 , подчиняясь стохастическому принципу внутригодового распределения, имеет максимум содержания SO_4 в апреле (397 мг/дм³) и минимум – в феврале (241 мг/дм³) месяце (рисунок 6).

Год с $P=95\%$ обеспеченностью результаты мониторинга за содержанием SO_4 в створе с. Кокбулак имеются только за месяцы: февраль; март и декабрь. По сравнению с этим годом, 2001 г. отличается относительно более подробными данными внутригодового распределения SO_4 .

При 25 % обеспеченности естественного режима максимальные

содержания SO_4 для створа Томенарык были отмечены в пределах от 200 до 300 мг/дм³ в зимние месяцы и минимальные – порядка 180 мг/дм³ – в летние. На современном уровне они наблюдаются на уровне 500...600 мг/дм³ в зимние месяцы и 200 мг/дм³ в летние. Для створа Кызылорда при условно-естественном периоде в зимний период максимумы были равны 200-320 мг/дм³ и минимумы – в пределах 150...180 мг/дм³. Современные максимумы фактической содержания SO_4 находятся в пределах 620...670 мг/дм³ с минимумами летних месяцев от 400 до 480 мг/дм³. Эти же показатели для створа Казалы при условно-естественном периоде отмечались на уровне 300 мг/дм³ и с летними миниму-

мами 140...145 мг/дм³. Современный зимний максимум содержания находится на отметке 650...670 мг/дм³, тогда как летний минимум составляет порядка 500 мг/дм³. Такая же картина характерна и для 50 % обеспеченности. При 75 % и 95 % обеспеченностях нарушенного режима зимние максимумы содержания сульфатов зачастую переваливают отметку в 1000 мг/дм³, тогда как летние минимумы находятся на уровне 400...600 мг/дм³.

Как видно из этих статистических данных, абсолютные максимумы содержания SO_4 для створа с. Казалы, за многолетний период наблюдения достигнуты именно – 855,00 мг/дм³ (май); 845 мг/дм³ (июль) и 744 мг/дм³ (сентябрь) (рисунок 6).

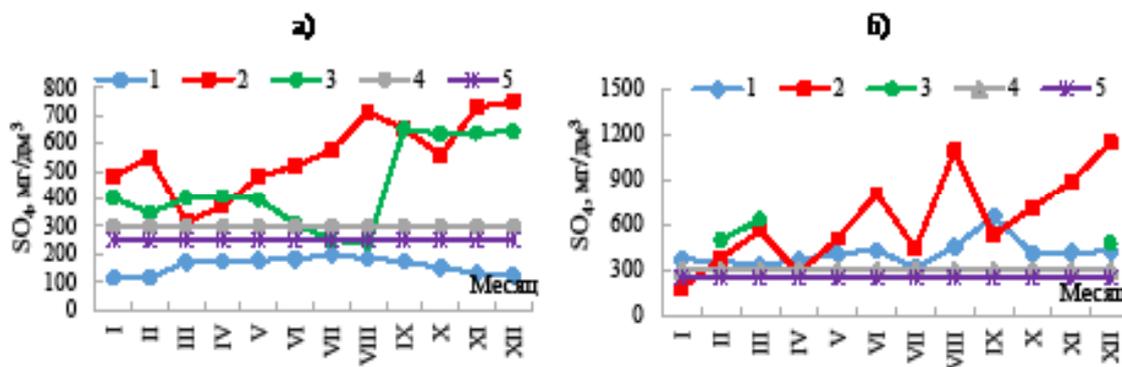


Рис. 6. Внутригодовое распределение SO_4 реки Сырдария створах с. Кокбулак и г. Казалы при 95% обеспеченности условного естественного гидрологического режима (ЕГР) и нарушенном гидрологическом режиме (НГР). 1 – при ЕГР в створе г. Казалы, 2 – при НГР в створе г. Казалы, 3 – при НГР в створе с. Кокбулак, 4 – ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения, 5 – ПДК воз

По объему данных мониторинга сведения о хлоридах (Cl) в створе Кокбулак ничем не отличаются от остальных представителей группы главных ионов, т. е. имеется относительная полнота сведений за годы с P=50 % и P=75 % обеспеченностями и отрывочные данные за год с P=95 % обеспеченностью.

В современных условиях р. Сырдария подвергается загрязнению на всем протяжении самой реки, т. е. в пределах Узбекистана и Казахстана. При этом немалую лепту в загрязнение водотока вносит Республика Узбекистан. Например, по результатам анализа данных Казгидромета (Информационный бюллетень, январь-декабрь, 2006) видно, что в 1996 г. были достигнуты

самые максимальные содержания хлоридов.

В год с P=50 % обеспеченностью загрязнение реки Сырдарьи хлоридами в створе с. Кокбулак характеризуется максимумом их содержания на июль (93,9 мг/дм³), август (92,2 мг/дм³) и сентябрь (92,2 мг/дм³), тогда как относительный минимум был отмечен в апреле (79,8 мг/дм³). Для рассматриваемого года характерным является стохастический тип внутригодового распределения хлоридов (рисунок 7).

Следующий рассматриваемый год, т.е. год с P=95 % обеспеченностью имеет возрастающий тип внутригодового распределения хлоридов. На примере данного внутригодового распределения хлоридов

можно четко проследить возрастание содержания хлоридов с января (62,4 мг/дм³) по октябрь (210 мг/дм³) включительно и некоторый спад содержания в ноябре (200 мг/дм³) и декабре (196 мг/дм³).

Маловодный год с P=95 % обеспеченностью имеет за три месяца: февраль; март и декабрь. В 2001 г. в створе с. Кокбулак был осуществлен мониторинг за содержанием хлоридов в течение четырех месяцев: январь, март, июль и ноябрь.

Тенденция роста Cl также очевидна для всех рассматриваемых створов. Например, в настоящее время во внутригодовом их распределении отсутствуют ярко выраженные зимние максимумы и летние минимумы, характерные для условно-естественного периода гидрологического режима. Естественные максимумы в 50...60 мг/дм³ на современном уровне находятся в пределах 100...140 мг/дм³, а летние же минимумы возросли от 20...30 мг/дм³ до 250 мг/дм³. При 75 и 95 % обеспеченностях современные максимумы достигли отметки 400 мг/дм³, тогда как эти максимумы при условно-естественном периоде гидрологического режима никогда не превышали 100 мг/дм³. Современные же минимумы содержания Cl, находящихся в пределах 200 мг/дм³, превышают естественные минимумы порядка 4 раза (Бурлибаев М.Ж., 2005, Бурлибаев М.Ж. и др., 2011).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты внутригодового распределения общей минерализации показывают, что в условно-естественном периоде (до 1960 г.) отмеченные возрастания или уменьшения фактических минерализаций от створа к створу на р. Сырдария в нарушенный период (после 1960 г.) полностью утрачены и характеризуются неоднозначностью внутригодового распределения. Анализ изменения внутригодового распределения по главным ионам показали следующее:

- по кальцию показывает, что во всех рассматриваемых створах идет также неоднозначный процесс, т. е. по сравнению с условно-естественным периодом в нарушенный период в зимние месяцы идет уменьшение, а в летние месяцы возрастание их содержания;

- по магнию и сумме натрия и калия показывает, что независимо от периода года идет постоянный рост его содержания. Для магния тоже характерна потеря зимних максимумов и летних минимумов с одновременным ростом концентрации на протяжении всего года при всех обеспеченностях;

- установлено, что минимальный размах колебаний разности зимних и летних колебаний содержания из всей группы главных ионов присущи только для гидрокарбонатов как при условно-естественном периоде, так и нарушенном периоде для всех рассматриваемых обеспеченностей;

- по сульфатам дает однозначную тенденцию на повсеместный рост этого ингредиента, разумеется, при нарушенном периоде гидрологического режима против наблюдаемых значений сульфатов условно-естественного режима. В маловодные годы 75 % и 95 % обеспеченностях нарушенные периоды зимние максимумы содержания сульфатов зачастую переваливают отметку в 1000 мг/дм³, т. е. превышают предельно допустимые концентрации;

- по хлоридам в нарушенный период отсутствуют ярко выраженные зимние максимумы и летние минимумы, характерные для условно-естественного периода для всех рассматриваемых створов.

Резюмируя общий анализ изменения внутригодового распределения общей минерализации и группы главных ионов, необходимо подчеркнуть, что, за исключением кальция и гидрокарбонатов, произошли коренные изменения, как во внутригодовом распределении, так и в фактических их содержаниях, ассоциирующихся только ростом. Напротив, такому положению, наблюдается обратный процесс в отношении кальция и гидрокарбонатов, т. е. повсеместное уменьшение. Общим для всех является то, что во внутригодовом распределении всех рассматриваемых ингредиентов на современном уровне, т. е. в нарушенный период отсутствуют зимние максимумы и летние минимумы, больше стало места для стохастичности чуждых для условно-естественного периода гидрологического режима.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекин О.А. Общая гидрохимия. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1948. – 186 с.
2. Алекин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
3. Бурлибаев М.Ж., Достай Ж.Д., Турсунов А.А. Арало-Сырдарьинский бассейн (Гидроэкологические проблемы, вопросы вододеления) – Алматы: Дәуір, 2001. – 180 с.
4. Бурлибаев М.Ж. Проблемы оценки качества вод трансграничных рек и принципы экологического нормирования стока // Гидрометеорология и экология. – 2005. – №2. – С. 101-119.
5. Бурлибаев М.Ж., Бурлибаева Д.М. Качество поверхностных вод и принципы экологического нормирования // Гидрометеорология и экология. – 2011. – №1. – С. 119-140.
6. Бурлибаев М.Ж., Бурлибаева Д.М. Методические рекомендации по комплексной оценке качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям. – Астана: МООС РК; ИП «Волкова Е.В.», 2012. – 84 с.
7. Бурлибаев М.Ж., Бурлибаева Д.М. Методические указания по организации и функционированию подсистемы мониторинга состояния трансграничных поверхностных вод Казахстана. – Астана: МООС РК; ИП «Волкова Е.В.», 2012. – 139 с.
8. Бурлибаев М.Ж., Дюсенова Ж.А., Линник А.С., Смирнова Д.А., Бурлибаева В.Н., Орлова И.В., Марынич О.В., Стогова Л.Л. Некоторые аспекты гидроэкологических проблем Казахстана: сборник научных трудов КАПЭ. – Алматы: «Қағанат», 2018. – 488 с.
9. Грошев В.Л. Ирригация Южного Казахстана в средние века. – Алма-Ата: Наука, 1985. – 156 с.
10. Духовный В.А., Юп Л.Г. де Шутер Вода в Центральной Азии: прошлое, настоящее, будущее. – Тейлер и Френсис, Лондон, Великобритания, 2011. – 466 с.
11. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды. Выпуск 1 (75) (январь 2006 г.). – Алматы, 2006. – 31 с.
12. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды. Выпуск 2 (76) (февраль 2006 г.). – Алматы, 2006. – 30 с.
13. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды. Выпуск 3 (77) (март 2006 г.). – Алматы, 2006. – 58 с.
14. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды. Выпуск 4 (78) (апрель 2006 г.). – Алматы, 2006. – 39 с.
15. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды. Выпуск 5 (79) (май 2006 г.). – Алматы, 2006. – 27 с.
16. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды. Выпуск 6 (80) (июнь 2006 г.). – Алматы, 2006. – 27 с.
17. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды. Выпуск 7 (81) (июль 2006 г.). – Алматы, 2006. – 27 с.
18. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды. Выпуск 8 (82) (август 2006 г.). – Алматы, 2006. – 26 с.
19. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды. Выпуск 9 (83) (сентябрь 2006 г.). – Алматы, 2006. – 77 с.
20. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды. Выпуск 10 (84) (октябрь 2006 г.). – Алматы, 2006. – 32 с.
21. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды. Выпуск 11 (85) (ноябрь 2006 г.). – Алматы, 2006. – 30 с.
22. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды. Выпуск 12 (86) (декабрь 2006 г.). – Алматы, 2006. – 110 с.
23. Никаноров А.М. Гидрохимия – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 351 с.
24. Об утверждении Санитарных правил «Санитарно-эпидемиологические требования к водоемким объектам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов» [Электронный ресурс]. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010774>

REFERENCES

1. Alekin O.A. Obshchaya gidrokhimiya (General hydrochemistry), Leningrad, LGU, 1948, 186 p.
2. Alekin O.A. Osnovy gidrokhimii (Fundamentals of hydrochemistry), Leningrad, Gidrometeoizdat, 1970, 444 p.

3. Burlibaev M.Zh., Dostai Zh.D., Tursunov A.A. Aralo-Syrdar'inskii bassein (Gidroekologicheskie problemy, voprosy vododeleniya) (Aral-Syrdarya basin (Hydroecological problems, water allocation issues)), Almaty, Dәuir, 2001, 180 p.
4. Burlibaev M.Zh. Problemy otsenki kachestva vod transgranichnykh rek i printsipy ekologicheskogonormirovaniyastoka(Problems of assessing the quality of waters of transboundary rivers and the principles of ecological regulation of runoff), Gidrometeorologiya i ekologiya, 2005, No 2, pp. 101-119.
5. Burlibaev M.Zh., Burlibaeva D.M. Kachestvo poverkhnostnykh vod i printsipy ekologicheskogo normirovaniya (The quality of surface waters and the principles of environmental regulation), Gidrometeorologiya i ekologiya, 2011, No 1, pp. 119-140.
6. Burlibaev M.Zh., Burlibaeva D.M. Metodicheskie rekomendatsii po kompleksnoi otsenke kachestva poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam (Guidelines for a comprehensive assessment of the quality of surface waters by hydrochemical indicators), Astana, MOOSRK; IP "Volkova E.V.", 2012, 84 p.
7. Burlibaev M.Zh., Burlibaeva D.M. Metodicheskie ukazaniya po organizatsii i funktsionirovaniyu podsistemy monitoringa sostoyaniya transgranichnykh poverkhnostnykh vod Kazakhstana (Guidelines for the organization and functioning of the subsystem for monitoring the state of transboundary surface waters in Kazakhstan), Astana, MOOS RK; IP "Volkova E.V.", 2012, 139 p.
8. Burlibaev M.Zh., Dyusenova Zh.A., Linnik A.S., Smirnova D.A., Burlibaeva V.N., Orlova I.V., Marynich O.V., Stogova L.L. Nekotorye aspekty gidroekologicheskikh problem Kazakhstana: sbornik nauchnykh trudov KAPE (Some aspects of hydroecological problems of Kazakhstan: collection of scientific papers of KAPE), Almaty, Kaganat, 2018, 488 p.
9. Groshev V.L. Irrigatsiya Yuzhnogo Kazakhstana v srednie veka (Irrigation of South Kazakhstan in the Middle Ages), Alma-Ata, Nauka, 1985, 156 p.
10. Dukhovnyi V.A., Yup L.G. de Shuter Voda v Tsentral'noi Azii, proshloe, nastoyashchee, budushchee (Water in Central Asia, past, present, future), Teiler i Frensis, London, Great Britain, 2011, 466 p.
11. Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy (State of the Environment Fact Sheet). Vol.1 (75) (yanvar' 2006), Almaty, 2006, 31 p.
12. Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy (State of the Environment Fact Sheet). Vol. 2 (76) (fevral' 2006), Almaty, 2006, 30 p.
13. Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy (State of the Environment Fact Sheet). Vol. 3 (77) (mart 2006), Almaty, 2006, 58 p.
14. Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy (State of the Environment Fact Sheet). Vol. 4 (78) (aprel' 2006), Almaty, 2006, 39 p.
15. Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy (State of the Environment Fact Sheet). Vol. 5 (79) (mai 2006), Almaty, 2006, 27 p.
16. Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy (State of the Environment Fact Sheet). Vol. 6 (80) (iyun' 2006), Almaty, 2006, 27 p.
17. Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy (State of the Environment Fact Sheet). Vol. 7 (81) (iyul' 2006), Almaty, 2006, 27 p.
18. Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy (State of the Environment Fact Sheet). Vol. 8 (82) (avgust 2006), Almaty, 2006, 26 p.
19. Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy (State of the Environment Fact Sheet). Vol. 9 (83) (sentyabr' 2006), Almaty, 2006, 77 p.
20. Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy (State of the Environment Fact Sheet). Vol. 10 (84) (oktyabr' 2006), Almaty, 2006, 32 p.
21. Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy (State of the Environment Fact Sheet). Vol. 11 (85) (noyabr' 2006), Almaty, 2006, 30 p.
22. Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy (State of the Environment Fact Sheet). Vol. 12 (86) (dekabr' 2006), Almaty, 2006, 110 p.

23. Nikanorov A.M. *Gidrokimiya* (Hydrochemistry), *Gidrometeoizdat*, 1989, 351 p.
24. Ob utverzhdenii Sanitarnykh pravil "Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k vodoistochnikam, mestam vodozabora dlya khozyaistvenno-pit'evykh tselei, khozyaistvenno-pit'evomu vodosnabzheniyu i mestam kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniya i bezopasnosti vodnykh ob"ektov" (On approval of the Sanitary Rules "Sanitary and epidemiological requirements for water sources, places of water intake for domestic and drinking purposes, domestic and drinking water supply and places of cultural and household water use and safety of water bodies") [Elektr. resurs]. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010774>

СЫРДАРИЯ ӨЗЕНІНІҢ ҚАЗАҚСТАНДЫҚ БӨЛІГІНІҢ МИНЕРАЛДАНУЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

М.Ж. Бурлибаев¹ техн. ғылымд. докторы, **А.А. Сапарова**¹²

¹*«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы қ., Қазақстан Республикасы*

E-mail: malikburlibayev@gmail.com, aselek.a.s@mail.ru

²*Satbayev University Алматы қ., Қазақстан Республикасы*

E-mail: aselek.a.s@mail.ru

Мақалада Сырдария өзенінің қазақстандық бөлігінің минералдануының өзгеру мәселесі қарастырылады. Негізгі тұстамалар ретінде Көкбұлақ және Қазалы гидрологиялық бекеттері таңдалды. Көкбұлақ тұстамасы Өзбекстан тарапынан минералдануды бағалау үшін қажетті шекаралық бекет болып табылады, Қазалы төменгі ағыс пен Арал теңізінің өзен экожүйесінің қажеттіліктерін ескеретін тұйықтаушы тұстама болып табылады. Мақалада Сырдария өзенінің қазақстандық бөлігінің жалпы минералдануы мен негізгі иондарының жылдың сулылығына байланысты (25%, 50%, 75%, 95% қамтамасыздықтар үшін) шартты-табиғи және бұзылған кезеңдердегі өзгерістері талданды. Жалпы минералданудың және негізгі иондар тобының жыл ішіндегі үлестірілуінің өзгерістерін жалпы талдау қазіргі деңгейде, яғни бұзылған кезеңде қысқы максимумдар мен жазғы минимумдар жоқ екенін көрсетті, гидрологиялық режимнің шартты-табиғи кезеңіне жат стохастикалық орын көбірек болды.

Түйін сөздер: гидрохимиялық режим, минералдану, басты иондар, сушаруашылық алап, су шығыны, ағынды нормасы минералданудың жыл ішіндегі таралуы

**FEATURES OF MINERALIZATION OF THE KAZAKHSTAN PART OF THE
SYRDARIA RIVER KAZAKHSTAN**

M. Zh Burlibayev¹ Doctor of Technical Sciences, **A.A. Saparova**¹²

¹ JSC «Institute of geography and water security», Almaty, Republic of Kazakhstan
E-mail: malikburlibayev@gmail.com, aselek.a.s@mail.ru

² Satbayev University Almaty, Republic of Kazakhstan
E-mail: aselek.a.s@mail.ru

The article changes the question of the mineralization of the Kazakh part of the Syrdarya River. The hydrological posts Kokbulak were chosen as the main creators, which is a border post for assessing the degree of mineralization of pine from the side of Uzbekistan and Kazaly, which in turn is the closure of the creator, taking into account the needs of the river ecosystem of the lower reaches and the Aral Sea. The article analyzes the changes in the total mineralization and the main ions of the Kazakhstani part of the river. Syrdarya, depending on the water content of the year (25%, 50%, 75%, 95% availability) both for periods with a conditionally natural and disturbed regime. A general analysis of changes in the intra-annual total distribution of minerals and groups of basic ions showed that at an important level, i.e. in the disturbed period of the absence of winter maxima and summer minima, there was more room for stochasticity alien to the conditionally natural period of the hydrological regime.

Keywords: hydrochemical regime, mineralization, main ions, intra-annual distribution of mineralization

НАГРАЖДЕНИЕ МЕДАЛЬЮ ФЛЕЙШМАНА

Селевые потоки в горных регионах наносят значительный ущерб хозяйству и нередко приводят к жертвам среди населения. Для решения селевой проблемы требуется сотрудничество экспертов из различных стран. В связи с этим в 2005 году в г. Пятигорске была создана Межрегиональная общественная организация «Селевая ассоциация» (Debris Flow Association). «Селевая ассоциация» присуждает профессиональную награду – медаль Флейшмана, которую вручают выдающимся ученым в области селеведения.



Медаль Флейшмана

В 2013 и 2021 годах медалью Флейшмана были награждены сотрудники Казгидромета: **СТЕПАНОВ БОРИС СЕРГЕЕВИЧ, ЯФЗОВА РОЗА КАЙЮМОВНА И ГОЛУБЦОВ ВСЕВОЛОД ВИКТОРОВИЧ.**



Профессор, доктор географических наук, кандидат технических наук Степанов Борис Сергеевич награжден Российской селевой ассоциацией в 2013 году медалью Флейшмана за выдающиеся заслуги в области селеведения. Сель – сложное многофакторное явление опасное для жизни и деятельности человека. Как научное направление селеведение проявило себя по окончании Второй мировой войны наблюдением за условиями формирования и следами прохождения селей с целью выявления их природы. Однако редкость формирования селей, отсутствие данных о реологических характеристиках селевой массы и достоверных сведений об условиях формирования селей не позволяли в должной мере выявить их причинно-следственные связи необходимые для прогнозирования селей.

Необходимость экспериментов по воспроизведению селей в натуральном масштабе возникла, когда стало очевидным, что физическое и математическое моделирование не способны ответить на вопросы, возникающие при обосновании мероприятий по защите от селей. Проведению таких экспериментов препятствовало отсутствие приборов, не имеющих механического контакта с селевым потоком.

В 1968 году начальнику бюро СКБ завода «Казгеофизприбор» Б.С. Степанову было поручено (по заказу КазНИГМИ) разработать методы и приборы для бесконтактного измерения характеристик селей. В период 1969–1972 годы, к началу проведения первого эксперимента на Чемолганском полигоне КазНИГМИ, осуществлявшегося по инициативе и под руководством доктора технических наук Ю.Б. Виноградова, были разработаны и изготовлены двухчастотный доплеровский измеритель уровня и скорости селевого потока, сейсмический способ определения расхода селя. К эксперименту 1975 года – магнитометрический способ определения плотности селевой массы. На все методы и устройства получены «Авторские свидетельства на изобретения СССР».

В период с 1972 по 1978 годы измерения, проводившиеся во время Чемолганских экспериментов с помощью этих приборов, и интерпретация полученных данных осуществлялись под руководством Б.С. Степанова. По своим масштабам, технической оснащенности и научной значимости, проведенные эксперименты до настоящего времени не знают равных.

В эти же годы была высказана идея использования сейсморасходомеров в системе оповещения о селевой опасности. Первую опытную партию сейсмооповестителя о селях разработали сотрудники бюро СКБ завода «Казгеофизприбор». Система сейсмооповестителя о селях прошла испытание в бассейнах рек Кумбель и Малая Алматинка в 1978 году.

В 1973 году Б.С. Степанову была присвоена ученая степень кандидата технических наук. В 1974 году Ю.Б. Виноградов – заместитель директора по научной работе и заведующий отдела селевых потоков, пригласил Б.С. Степанова в КазНИГ-

МИ, где он возглавил селеметрическую лабораторию отдела селевых потоков.

Под руководством Б.С. Степанова был выполнен большой комплекс экспериментальных и теоретических исследований в области селей; для изучения свойств селевой массы и моделирования селевых процессов в селеметрической лаборатории были разработаны и изготовлены следующие моделирующие устройства:

- для изучения вязкости селевой массы: горизонтальный и ротационный вискозиметры;
- приборы для изучения пластичности селевой массы: большой СНС (установка для измерения статического напряжения сдвига), устройство для реологических исследований грубодисперсных материалов;
- приборы для изучения скорости распада селевой массы: устройство для измерения скорости осаждения твердого компонента селевой массы, большой распадометр;
- устройство для измерения энергии, необходимой для поддержания твердой компоненты селевой массы во взвешенном состоянии;
- вертикальный круговой лоток для изучения реологических характеристик селевой массы, кинематических и динамических характеристик селевого потока;
- устройство для изучения процессов дробления, истирания и скалывания твердой компоненты селевой массы.

С помощью этих устройств на Аксайской экспериментальной базе было проведено разномасштабное моделирование, которое позволило выявить главные факторы, определяющие ход тех или иных процессов, основные закономерности в поведении селевой массы. Изучение физико-механических свойств селевой массы выявило важную роль минералогического и гранулометрического составов твердой компоненты селевой массы на ход селевых процессов, характеристики движения селей (в том числе показатели перемешивания), отложения твердой компоненты селевой массы, ее распад и остановку.

В результате проведенных Чемолганских и Аксайских экспериментов получены уникальные данные, на основе которых Б.С. Степановым

открыто и объяснено явление скачкообразного изменения плотности селевой массы (конечного увеличения плотности селевой массы при бесконечно малом увеличении угла наклона пути движения селя) в зависимости от уклона пути движения селя (эффект Степано-ва), его расхода и реологических характеристик селевой массы. Это открытие позволяет разрабатывать методы оценки объема селя, плотности и реологических характеристик селевой массы при слиянии селя с водными (селевыми) потоками. Неоднозначная зависимость плотности селевой массы от уклона русла делает возможным определение дальности продвижения селя, изменения его характеристик во времени, оптимизацию мероприятий по защите от селей. В 2000 году Б.С. Степанову присвоена ученая степень доктора географических наук, в 2003 году присвоено ученое звание профессора за подготовку высококвалифицированных научных кадров.

В последние два десятилетия научные интересы Б.С. Степанова связаны с изучением природы селевых явлений, влияния изменения климата на селевую активность, а также разработкой методов краткосрочного и сверхкраткосрочного прогнозов дождевых и водолеяных селей. Профессор Б.С. Степанов является одним из основоположников селеведения и палеоселеведения. Им получено 18 авторских свидетельств на изобретения СССР. Под его руководством была подготовлена и издана Карта селевой опасности территории Республики Казахстан, автор и соавтор более 160 опубликованных научных работ, в том числе 5 монографий:

- Основные характеристики селевых потоков и селевой массы. Методы измерений (монография) // Труды КазНИГМИ. – М.: Гидрометеоиздат, 1982. – Вып. 79. – 136 с.
- Механика селей. – М.: Гидрометеоиздат, 1991. – 379 с. (в соавторстве с Т.С. Степановой).
- Сейсмическая опасность орогенов Казахстана. – Алматы: Эверо, 2006. – 293 с. (в соавторстве с А.К. Курскеевым и др.).
- Селевые явления Юго-Восточного Казахстана. Том 3: Селевые процессы и селе-технические сооружения. – Алматы, 2014. – 434 с. (в соавторстве с Р.К. Яфязовой).
- Селевые явления Юго-Восточного Ка-

захстана. Том 2. Часть 2: Основы мониторинга в Иле Алатау. – Алматы, 2018. – 287 с. (в соавторстве с А.Р. Медеу и др.).

Имеет награды:

- Юбилейная медаль «За доблестный труд».
- Медаль Государственного комитета по изобретениям СССР за внедрение изобретений.
- Бронзовая медаль ВДНХ СССР за успехи в научных исследованиях, пропаганде результатов разработок.
- Почетная грамота Госкомгидромета СССР за многолетнюю и безупречную работу в системе Госкомгидромета и в связи с 60-летием Гидрометслужбы КазССР.
- Медаль Ветеран труда.
- Нагрудный знак «МЧС» 2 степени.
- Почетная грамота Акимата г. Алматы за самоотверженный труд и активное участие по ликвидации и предупреждению чрезвычайных ситуаций.
- Юбилейные медали к 90-летию Казгидромета и «Қазақстан Гидрометеорологиялық қызметіне 100 жыл».
- Юбилейная медаль в честь 40-летия ГУ «Казселезащита».
- Медаль Флейшмана за выдающиеся заслуги в области селеведения.

Селевед доктор технических наук Яфязова Роза Кайюмовна награждена Российской селевой ассоциацией в 2021 году медалью Флейшмана за выдающиеся заслуги в области селеведения.



Университетское образование, опыт, приобретенный в научных экспедиционных исследованиях, проводившихся в Северном и Западном Тянь-Шане, Памиро-Алае, Крыму, изучение процессов зарождения, развития и деградации селей, геологического и геоморфологического строения конусов выноса, климатических условий, определяющих формирование селей, позволили не только оценить изменение селевой активности за последние 400 тысяч лет, но и научно обосновать характер селевой активности на ближайшие 100 лет, заложив основы палеоселеведения.

С целью определения генезиса отложений (речные, селевые), образовавших конусы выноса, расположенные на предгорной равнине Иле Алатау, изучались гранулометрический состав отложений конусов выноса и геоморфологические особенности их поверхностей на крупномасштабных географических картах.

Установлено, что форма поверхности конусов выноса, образованных в основном речными отложениями, принципиально отличается от формы конусов выноса, образованных преимущественно селевыми отложениями. Это позволяет с высокой степенью достоверности выявлять на крупномасштабных географических картах территории, подверженные воздействию селей.

Выявление генезиса отложений позволяет на качественно более высоком уровне осуществлять оценку селевой опасности на территории Казахстана, многократно снизить затраты на возведение инженерных сооружений, обеспечивающих защиту населения и объектов хозяйственного назначения.

Установлено, что основной объем конусов выноса рек северного склона Иле Алатау представляют не речные отложения, а отложения селей. Анализ объема наносов и стратиграфического разреза конусов выноса рек Аксай и Киши Алматы позволил сделать вывод об определяющей роли климата в селевой активности.

Научное обоснование генезиса ко-

нусов выноса, взаимосвязи объемов конусов выноса с селевой активностью стали темой кандидатской диссертации Р.К. Яфязовой. Работа над этой проблемой продолжилась в последующее десятилетие.

Было установлено, что селевая активность на северном склоне Иле Алатау в ледниковые эпохи практически прекращалась. Незначительные сели дождевого генезиса формировались в низкогорной зоне и откладывались в горных долинах. В течение нескольких десятков тысяч лет сели не выходили на конусы выноса, создавая условия для образования на их поверхности лессового покрова. Мощность лессового покрова на конусах выноса достигала 20–30 м. Там, где лессовый покров в межледниковые эпохи не разрушался, его суммарная мощность превышает 100 м. Наличие лессовых фрагментов в разрезе отложений конусов выноса позволило дифференцировать отложения по возрастному признаку. Стратиграфический разрез конусов выноса рек Аксай и Киши Алматы позволил уверенно судить о селевой активности Иле Алатау.

Резкая активизация селей, достигающих предгорной равнины, происходит, когда температура воздуха превышает температуру воздуха 20 века на 2–3 °С. Установлено, что мощность селевых отложений на территории г. Алматы за рисс-вюрмское межледниковье составляет около 30 м. Столь высокая селевая активность характерна для всех горных систем, несущих в настоящее время оледенение и расположенных в средних широтах с континентальным климатом.

Экспертной оценке генезиса рыхлообломочных пород, слагающих борта Аксайского карьера, подверглось около 50 тыс. м² практически вертикальных откосов карьера. Количественный и качественный анализ гранулометрического состава отложений, вскрытых при разработке карьера на конусе выноса реки Аксай и котлованов на конусах выноса других рек, показал: особенности рельефа поверхности конусов выноса, проявляющиеся в форме гори-зонталей, доказывают, что конусы выноса, расположенные на предгорной равнине Иле Ала-тау, образованы преимущественно селевыми отложениями.

Разработанные геолого-геоморфологический метод определения генезиса конуса выноса, а также метод расчета объема конуса выноса значительно упростили оценку селевой активности речных бассейнов.

Исследование проблем, связанных с определением генезиса конусов выноса, селевой активности и ее изменения в условиях глобального потепления климата, а также разработка новой стратегии защиты от селей стали основным содержанием докторской диссертации Р.К. Яфязовой, которую она защитила в 2009 году.

Под руководством Р.К. Яфязовой разработан метод сверхкраткосрочного прогноза катастрофических селей дождевого генезиса для бассейнов рек Киши и Улкен Алматы. Принципиальным отличием этого метода является то, что прогноз селей основывается на информации об уже идущих осадках, в то время как более ранние методы были основаны на прогнозе осадков. Это увеличило в несколько раз оправданность (при достаточной преду-прежден-

ности) прогноза селей дождевого генезиса.

При ее участии впервые 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.

По результатам исследований опубликовано более 100 научных работ в Казахстане, ближнем и дальнем зарубежье, в том числе Карта селевой опасности территории Республики Казахстан и 3 монографии:

Природа селей Заилийского Алатау. Проблемы адаптации. – Алматы, 2007. – 158 с.

Селевые явления Юго-Восточного Казахстана. Том 3: Селевые процессы и селе-технические сооружения. – Алматы, 2014. – 434 с. (в соавторстве с Б.С. Степановым).

Селевые явления Юго-Восточного Казахстана. Том 2. Часть 2: Основы мониторинга в Иле Алатау. – Алматы, 2018. – 287 с. (в соавторстве с А.Р. Медеу и др.).

Яфязова Р.К. активно участвует в международной деятельности, связанной с селевой проблематикой: член Российской селевой ассоциации; рабочей группы Asian Network on Debris Flow (Азиатско-Тихоокеанской селевой ассоциации); совещательного комитета международных конференций «Debris-Flow Hazards mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment»; на протяжении многих лет является рецензентом журнала «International Journal of Sediment Research», издатель Elsevier (имеет благодарность за вклад в высокое качество журнала).

В 2011 году номинировалась на международную премию Норбера Жеррье-Мумм (ВМО) за исследование «Оценка селевой активности и прогнозирование ее изменения в условиях глобального потепления климата».

Имеет награды:

- Медаль Флейшмана за выдающиеся заслуги в области селеведения (2021 год).
- Юбилейная медаль «Қазақстан Гидрометеорологиялық қызметіне 100 жыл».



Голубцов Всеволод Викторович один из самых видных ученых в области гидрологии Казахстана. Более 60-ти лет своей жизни Всеволод Викторович посвятил своему любимому делу и Гидрометслужбе. Не смотря на то, что родился и вырос Всеволод Викторович в России, где окончил Воронежский Государственный университет, он волею судьбы попал на казахстанскую землю, когда работал начальником партии по изучению водных ресурсов целинных и залежных земель в Северном Казахстане. После этого он так и остался трудиться в Казахстане. С 1959 г. Всеволод Викторович Голубцов работал в Казахском научно-исследовательском гидрометеорологическом институте (КазНИГМИ), занимая последовательно должности от младшего научного сотрудника до директора института.

Всеволод Викторович внес неоценимый вклад в гидрометеорологическую науку. Под его руководством выполнен большой комплекс экспериментальных и теоретических исследований, поднявший знания о водных ресурсах республики и их гидрологическом режиме на качественно новый уровень. Им разработаны оригинальные методы моделирования и расчета годового стока равнинных и горных рек, минерализации воды озера Балхаш, а также уровня и водного баланса Аральского и Каспийского морей. В различных отраслях экономики Казахстана нашли широкое применение результаты его исследований, изложенные в научно-прикладных монографиях «Ресурсы поверхностных вод» для районов Северного, Центрального и Юго-восточного Казахстана, которые являются настольными книгами специалистов проектно-исследовательских институтов и планирующих организаций. Голубцов В.В. награжден значком «Отличник Гидрометслужбы СССР», внесен в Книгу Почета Госкомгидромета СССР. Указом Президента Республики Казахстан № 951 от 19.03.2010 г., он награжден памятной медалью, как участник трудового фронта, в связи с 65-летием Победы в Великой Отечественной войне (1941...1945 гг.).