



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

2

2017



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

Ежеквартальный
научно-технический журнал

2

2017

АЛМАТЫ

*Қазақстан Республикасының
энергетика Министрлігі*

*Министерство энергетики
Республики Казахстан*

«Қазгидромет» Республикалық
мемлекеттік кәсіпорны

Республиканское государственное
предприятие «Казгидромет»

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯ

әр тоқсанда шығарылатын
ғылыми-техникалық журнал

№ 2

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

Ежеквартальный
научно-технический журнал

АЛМАТЫ
2017

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР М.П. Кынатов

РЕДКОЛЛЕГИЯ

П.Ж. Кожаметов (*зам. главного редактора*)
Н.И. Ивкина (*зам. главного редактора*)
О.С. Галаева (*ответственный секретарь*)

Р.Г. Абдрахимов (Алматы, Казахстан)
А.Х. Ахмеджанов (Алматы, Казахстан)
А.М. Мусакулкызы (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)
Ж.Д. Достай (Алматы, Казахстан)
А.Р. Медеу (Алматы, Казахстан)
С.К. Монахов (Астрахань, Россия)
Е.Ж. Мургазин (Алматы, Казахстан)
Ж.С. Мустафаев (Алматы, Казахстан)
К. Опп (Марбург, ФРГ)
В.Г. Сальников (Алматы, Казахстан)
С.Г. Сафаров (Баку, Азербайджан)
А.В. Чередниченко (Алматы, Казахстан)

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

№ 2 (85)

©

Журнал издается с 1995 года.
Регистрационное свидетельство
№ 1538 от 14 марта 1995 г.

Адрес редакции: 050022, Алматы,
пр. Абая, д. 32, к. 405
Телефон: (7272) 55-84-06
E-mail: caspian_almaty@mail.ru
<http://www.kazhydromet.kz>

Подписано в печать

Формат бумаги 70 × 100/16. Печать офсетная. Бумага офсетная.
Объем 14,1 п.л. Тираж 500 экз. Заказ

Цена договорная.

Отпечатано в типографии
ТОО «Карагандинское учебно-производственное предприятие»
ОО «Казахское общество слепых»
г. Караганда, ул. Методическая, 19

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

А.Х. Ахмеджанов, Т.К. Караданов Расчет аэрозольной оптической толщины атмосферы по данным спутникового зондирования	7
А.И. Белолобцев, Е.А. Дронова, И.Ф. Асауляк Агроклиматическая оценка условий формирования урожая кукурузы в степной зоне Украины на период до 2050 года	16
Е.Н. Вилесов, Б.К. Акмолдаева Изменение основных величин климата Прибалхашья за 80 лет ..	27
Н.И. Ивкина, А.В. Галаева Прогнозирование ветрового волнения на Каспийском море с помощью модели SWAN	36
М.Ж. Бурлибаев, А.А. Волчек, Д.М. Бурлибаева Клообания уровня воды озера Балкаш в условиях изменяющегося климата	46
Р.И. Гальперин, А.Г. Чигринец Оценка годового местного, транзитного и суммарного стока по водохозяйственным участкам Ертисского ВХБ	66
Р.К. Ащанова Определение нормы и изменчивости стока рек бассейна реки Нуры	79
А.С. Амиргалиева, Р.И. Гальперин Анализ данных трансграничного поста река Иле – пристань Добын за период с 2011 по 2015 годы	90
А.Г. Чигринец, Л.П. Мазур Водные ресурсы и внутригодовое распределение стока воды реки Терисбутаг	98
Б.С. Степанов, Р.К. Яфязова Состояние проблемы краткосрочного прогноза селей дождевого генезиса	114
О.А. Шарипова Современный гидрохимический режим озерных систем нижней дельты реки Иле	126

Т.К. Томина	
Засоленность, химизм и трансформация состава почв и рекультивированных грунтов на нефтяном месторождении	135
С.Н. Досбергенов	
Защищенность грунтовых вод территории месторождений Кара-Арна и восточная Кокарна при нефтехимическом загрязнении . . .	149
Ж.С. Мустафаев, А.Т. Козыкеева, Н.А. Турсынбаев	
Оценка биоклиматического потенциала водосбора бассейна трансграничной реки Талас при комплексном обустройстве	163
Т.К. Салихов, Т.С. Салихова	
Рекомендуемая категория проектируемого государственного природного резервата «Бокейорда»: предлагаемые границы, режимы охраны, использование и предложения по функциональному зонированию территории	176
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ	
К.Т. Нарбаева	
Методика определения речного стока в Казахстанской части бассейна реки Иле	191
ХРОНИКА	
Памяти метеорологов Казахстана, участников Великой Отечественной Войны	196

CONTENTS

SCIENTIFIC ARTICLES

A.KH. Akhmedzhanov, T.K. Karadanov The calculation of the aerosol optical thickness of the atmosphere using remote sensing data	7
A.I. Belolybtsev, E.A. Dronova, I.F. Asaulyak Agroclimatic evaluation of the conditions for forming the yield of corn in the steppe zone of Ukraine for the period up to 2050	16
E.N. Vilesov, B.K. Akmoldaeva Changes in the main values of the climate of Pribalhashya in 80 years	27
N.I. Ivkina, A.V. Galayeva Forecasting wind wave in the Caspian sea by using SWAN model . . .	36
M.ZH. Burlibayev, A.A. Volchek, D.M. Burlibayeva Flowing of the water level of lake Balkhash in the conditions of a changing climate	46
R.I. Galperin, A.G. Chigrinets Estimation of the annual local, transit and total runoff on the water economic areas of Ertis WEB	66
R.K. Aschanova Determination of the norm and variability of the rivers of the Nura river basin	79
A.S. Amirgaliyeva, R.I. Galperin Data analysis of the transboundary hydrological station Ile river – quay Dobyn for the period from 2011 to 2015	90
A.G. Chigrinets, L.P. Mazur Water resources and intra-annual distribution of Terisbutak river water runoff	98
B.S. Stepanov, R.K. Yafyazova State of problem of the short-term forecast for rainfall-induced debris flows	114
O.A. Sharipova Modern hydrochemical regime of lake systems of the lower delta of the Ile river	126

T.K. Tomina	
The chemistry of salinization and transformation of the chemical composition of soils and reclaimed soils in the oil field	135
S.N. Dosbergenov	
Groundwater protection Kara-Arna territory of deposits and east in Kokarna of petrochemical contamination	149
ZH.S. Mustafayev, A.T. Kozykeeva, N.F. Tursynbayev	
Evaluation of the bioclimatic potential of water conservation of the basis of the transboundary river Talas with the integrated device	163
T.K. Salikhov, T.S. Salikhova	
Recommended category of the projected state nature reserve «Bokeiord»: suggested borders, regimes of protection and use, proposals for functional zoning of the territory	176
BRIEF REPORTS	
K.T. Narbayeva	
Method of definition the river flow in the Ile river basin of Kazakhstan .	191
CHRONICLE	
In memory of meteorologists of Kazakhstan, participants of the Great Patriotic War	196

УДК 551.501: 629.195.1

Доктор техн. наук А.Х. Ахмеджанов¹
Канд. техн. наук Т.К. Караданов¹

РАСЧЕТ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИНЫ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Ключевые слова: атмосфера, излучение, аэрозоль, оптическая толщина, спутниковое зондирование

Разработан алгоритм расчета аэрозольной оптической толщины атмосферы по спутниковым данным на основе численной задачи переноса коротковолнового излучения в атмосфере. Получены расчетные значения аэрозольной оптической толщины атмосферы над территорией Казахстана.

Исследования спектральной аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы стимулируются такими проблемами как ускоренные изменения глобального климата, региональные особенности антропогенной нагрузки и влиянию естественных источников замутнения атмосферы, в том числе вулканических извержений, пылевых бурь, крупных лесных пожаров и др. Кроме того результаты исследований спектральных АОТ находят широкое применение при разработке оптических систем, работающих через атмосферу, и интерпретации спутниковой информации. Созданы новые методы и алгоритмы решения уравнения переноса излучения в приложении к задачам атмосферной оптики. На основе математического моделирования получены количественные оценки учета особенностей аэрозольного рассеяния света крупными частицами в расчетах интегральных потоков солнечного излучения в атмосфере [7]. Полученные результаты позволяют построить улучшенную аппроксимацию плоского альбеда для использования в задачах дистанционного зондирования [2]. Выполнено моделирование переноса солнечного излучения в различных атмосферных условиях, предложены различные методы расчета атмосферных функций пропускания и потоков излучения [4]. Разработан новый метод определения микрофизических параметров аэрозоля из спектральных измерений оптической толщины и яркости солнечного ореола [3]. На основе экспедиционных исследований показано, что высокие значения

¹ АО «НЦКИТ» АК МИР РК, г. Алматы, Казахстан

аэрозольной оптической толщины (АОТ) наблюдаются во всем диапазоне спектра (0,3...2,14 мкм) и обусловлены совокупным влиянием выносов аэрозоля (пылевого, антропогенного, дымового) из соседних районов континента. Результаты измерений АОТ над океанами, сравнения со спутниковыми данными и модельными расчетами, роль морской аэрозольной сети Maritime Aerosol Network (MAN), как составляющей сети AERONET представлены в работах [1]. Показано, что в многолетней изменчивости аэрозольной оптической толщины для различных географических регионов не проявляется значимой зависимости от циклов солнечной активности [8]. Получена формула расчета оптической толщины атмосферы за счет рэлеевского рассеяния [9].

Спектральные области, в которых сосредоточена коротковолновая и длинноволновая солнечная радиация, практически не перекрываются, следовательно, перенос коротковолновой и длинноволновой радиации можно рассматривать отдельно. При таком подходе уравнение переноса излучения в атмосфере можно упростить. Для длинноволновой радиации пренебрежимо мало рассеяние, тогда как в коротковолновой области мало собственное излучение земли, облаков и атмосферы. В видимой области спектра, где существенно значение рассеяния излучения можно пренебречь поглощением.

Методы решения уравнения переноса излучения в безоблачной атмосфере опираются на данные о её составе и информацию о спектре поглощения различными газами с учетом влияния неоднородности [5]. Решения трехмерного уравнения переноса представляют собой решение в виде многочленных рядов при представлении индикатрисы рассеяния в виде полиномов Лежандра. Численные методы, среди которых весьма распространены являются метод Монте-Карло и метод дискретных ординат, также громоздки. Эти методы позволяют получить значения характеристик поля излучения в атмосфере с высокой точностью. Однако они требуют больших вычислительных затрат, что ограничивает их использование в гидродинамических моделях атмосферы.

В задачах прогноза погоды часто применяют приближенные методы, основанные на упрощении уравнения переноса излучения. Проводится процедура усреднения интенсивности излучения по углам, в предположении изотропности рассеяния, что позволяет привести трехмерное уравнение переноса к одномерному виду для расчета односторонних потоков (двух потоковые методы). Эти методы характеризуются экономичностью расчетов и широко используются в гидродинамических моделях атмосферы.

ры. Алгоритм и результаты расчета потоков методом решения уравнения переноса основаны на работах [10, 11].

Метод двух потокового приближения может применяться для расчета потоков в безоблачной и облачной атмосфере. Для расчета потоков при наличии облачности необходима информация об оптических свойствах облаков. Разработанный алгоритм расчета потоков солнечного излучения в атмосфере основан на решении уравнения переноса излучения в двух потоковом приближении в многослойной атмосфере.

Спектральные области, в которых сосредоточена коротковолновая и длинноволновая солнечная радиация, практически не перекрываются, следовательно, перенос коротковолновой и длинноволновой радиации можно рассматривать отдельно. При таком подходе уравнение переноса излучения в атмосфере можно упростить. Для длинноволновой радиации пренебрежимо мало рассеяние, тогда как в коротковолновой области мало собственное излучение земли, облаков и атмосферы. В видимой области спектра, где существенно значение рассеяния излучения можно пренебречь поглощением.

Значение общей оптической толщины атмосферы определяется из задачи переноса по спутниковым данным уходящего коротковолнового излучения в атмосфере (radians) и отражательной способности выбранного участка земной поверхности (reflectance).

Рассмотрим численную реализацию задачи переноса коротковолнового излучения в атмосфере при условии многократного рассеяния по данным космического зондирования.

Уравнение переноса коротковолнового излучения в атмосфере можно записать в следующем виде:

$$\mu \frac{\partial I}{\partial z} + \sigma I = \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_{-1}^1 g(\mu, \mu', \varphi, \varphi') I d\mu' d\varphi' + \sigma_s g(\mu, \mu_0, \varphi, \varphi_0) E_\lambda e^{-\frac{\tau_\lambda}{\mu}}, \quad (1)$$

где $I(z, \mu, \varphi)$ – интенсивность излучения; $\mu = \cos \theta$, θ – угол зондирования ($\mu > 0$ – соответствует нисходящему потоку, $\mu < 0$ – восходящему); E_λ – поток солнечной радиации на верхней границе атмосферы; $g(\gamma)$ – индикатриса рассеяния; γ – угол рассеяния; $q(\mu, \varphi)$ – альbedo земной поверхности; μ_0, φ_0 – направление распространения солнечного излучения; σ_s – коэффициент рассеяния излучения; τ_λ – оптическая толщина атмосферы; $\sigma = \sigma_s + \sigma_n$, σ_n – коэффициент поглощения излучения; z, φ, θ – сферическая система координат.

Были приняты следующие граничные условия:

– поток прямого солнечного излучения на верхней границе атмосферы $E_\lambda \cos i$, E_λ – солнечная постоянная, i – зенитный угол Солнца;

– нисходящий поток рассеянного излучения на верхней границе атмосферы $I(0, \mu, \varphi) = 0$ при $\mu > 0$;

– восходящий поток рассеянного излучения на верхней границе атмосферы $I(0, \mu, \varphi) = \text{Radians}$ при $\mu < 0$;

– на нижней границе

$$I(H, \mu, \varphi) = \frac{q}{\pi} \left(\int_0^{2\pi} \int_0^1 I(H, \mu', \varphi') \mu' d\mu' d\varphi' + \mu_0 E_\pi e^{-\frac{\tau_\lambda}{\mu}} \right) \text{ при } \mu < 0, \quad (2)$$

где q – альbedo земной поверхности.

Среди параметров задачи, обуславливающих изучаемый процесс, важное значение имеет выбор E_λ , являющегося величиной потока солнечной радиации, поступающей на верхнюю границу атмосферы. В таблице со значениями монохроматического потока солнечной радиации E_λ (вт/м²·мкм) на верхней границе атмосферы при значении солнечной постоянной $I_0 = 1,353$ квт/м² при длинах волн от 0,18 до 20,00 мкм.

Индикатрису рассеяния $P(\gamma)$ принято представлять в виде разложения по полиномам Лежандра. В [6] предложено ограничиться двумя членами разложения и представлять индикатрису в виде:

$$P(\gamma) = 1 + x_1 \cos \gamma$$

где γ – угол рассеяния; $x_1 = \frac{3}{2} \int_0^\pi P(\gamma) \cdot \cos \gamma d\gamma$.

Параметр x_1 является первым коэффициентом разложения и характеризует вытянутость индикатрисы рассеяния. Чем больше вытянутость индикатрисы вперед, тем больше значение x_1 [1].

Угол рассеяния γ связан с углом визирования θ и азимутом φ соотношением:

$$\cos \gamma = \cos \theta \cos \theta_0 + \sin \theta \sin \theta_0 \cos \varphi,$$

где θ_0 – зенитное расстояние Солнца.

Индикатриса при релеевском рассеянии описывается формулой:

$$g(\gamma) = \frac{3}{4} (1 + \cos^2 \gamma).$$

Оптическая толщина экстинкции τ_λ определяется в виде суммарного по высоте значения, хотя τ_λ является функцией по высоте. Это проявляется в решении задач переноса излучения. В задаче переноса исходящего излучения оптическая толщина растет от верхней границы, а для переноса восходящего излучения от земной поверхности.

В видимой области спектра, где существенно значение рассеяния излучения можно пренебречь поглощением.

Представим релеевскую $\tau_{\lambda\rho}$ и аэрозольную $\tau_{\lambda\alpha}$ составляющие оптических толщин в следующем виде:

$$\tau_{\lambda\rho} = \int_0^z \rho \delta_{\lambda\rho} dz, \quad \tau_{\lambda\alpha} = \int_0^z \rho_\alpha \delta_{\lambda\alpha} dz,$$

где $\delta_{\lambda\rho}$ и $\delta_{\lambda\alpha}$ – релеевский и аэрозольный коэффициенты рассеяния, ρ – плотность воздуха, ρ_α – плотность аэрозоля.

Оптическая толщина слоя атмосферы за счет рэлеевского рассеяния рассчитывается по формуле [9]:

$$\tau_{\lambda\rho} = 0,02152 \frac{1,0455996 - 342,2906\lambda^{-2} - 0,9023085\lambda^2}{1 + 0,0022705988\lambda^{-2} - 85,965863\lambda^2} \cdot \frac{\Delta P}{P_s},$$

где λ – длина волны; ΔP – толщина слоя атмосферы (гПа); P_s – приземное давление (гПа).

Значения аэрозольной оптической толщины для данной территории в заданное время можно определить из общей оптической толщины атмосферы, состоящей из релеевского и аэрозольного оптических толщин:

$$\tau_{\lambda\alpha} = \tau_\lambda - \tau_{\lambda\rho}.$$

В общем виде индикатриса рассеяния является функцией угла рассеяния θ : $g = g(\cos \gamma)$, где γ – угол рассеяния. Полный коэффициент рассеяния является суммой коэффициентов молекулярного (релеевского) и аэрозольного рассеяния. До высоты 3000 м рассеяние солнечной радиации обусловлено в основном аэрозольным, и только выше этой высоты молекулярная составляющая становится более аэрозольной.

Рассмотрим численное решение задачи переноса коротковолнового излучения в атмосфере. Уравнение (1) представим в виде конечно-разностной схемы с направленными разностями, а двойной интеграл в правой части уравнения в виде двойного ряда с использованием метода Симпсона для вычисления определенных интегралов.

$$\mu \frac{I_{i,j,k} - I_{i,j,k-1}}{h} + \sigma I_{i,j,k} = \frac{\sigma_S}{2\pi} F1_{i,j,k} + F_{i,j,k}, \quad \mu > 0, \quad (3)$$

$$\mu \frac{I_{i,j,k+1} - I_{i,j,k}}{h} + \sigma I_{i,j,k} = \frac{\sigma_S}{2\pi} F1_{i,j,k} + F_{i,j,k}, \quad \mu < 0, \quad (4)$$

где h – шаг расчетной сетки по z ,

$$F_{i,j,k} = \pi g_{i,j} E_\lambda e^{-\frac{\tau}{\mu}}, \quad \mu > 0,$$

$$F_{i,j,k} = \pi g_{i,j} E_\lambda e^{\frac{\tau}{\mu}}, \quad \mu < 0,$$

$$F1_{i,j,k} = \sum_{m=1}^M g_{i,j,1,m} I_{1,m,k} + \sum_{m=1}^M g_{i,j,N,m} T_{N,m,k} + 2 \sum_{n=2}^{N-1} g_{i,j,n,1} T_{n,1,k} + 2 \sum_{n=2}^{N-1} g_{i,j,n,M} T_{i,j,n,M} + 4 \sum_{m=2}^{M-1} \sum_{n=2}^{N-1} g_{i,j,n,m} T_{i,j,n,m}.$$

Итерационный алгоритм по определению искомой функции $I_{i,j,k}$ заменяется в виде:

$$I_{i,j,k}^{n+1} = \left(\mu I_{i,j,k-1}^{n+1} + h \frac{\sigma_S}{2\pi} F1_{i,j,k} + F_{i,j,k} h \right) / (\mu + \sigma h), \quad \mu > 0, \quad (5)$$

$$I_{i,j,k}^{n+1} = \left(-\mu I_{i,j,k+1}^{n+1} + \frac{\sigma_S}{2\pi} h F1_{i,j,k} + F_{i,j,k} h \right) / (\sigma h - \mu), \quad \mu < 0, \quad (6)$$

В $F1_{i,j,k}$ входит определяемая функция $I_{i,j,k}^n$. В первом приближении $I_{i,j,k}^{(1)} = 0$.

По экспериментальным данным значение оптической толщины изменяется в пределах от 0,25 до 0,39 при среднем значении 0,35. В эксперименте определяется общее значение оптической толщины. Для решения поставленной задачи важно изменение значения оптической толщины при нисходящем и восходящем потоке. При нисходящем потоке оптическая толщина нарастает от верхней границы до земной поверхности, тогда как при восходящем от земной поверхности до верхней границы атмосферы.

По данным сенсора ОМІ аэрозольная оптическая толщина атмосферы (длина волны 500 нм) над Казахстаном 2 мая 2016 года представлена на рис. 1. Расчетное поле распределения аэрозольной оптической толщины атмосферы (длина волны 0,550 мкм) над этим районом 15 августа 2015 года показано на рис. 2. Согласно статистическому анализу по территории Казахстана за июнь 2016 года значения аэрозольной оптической толщины атмосферы на длине волны 0,550 мкм на рассматриваемом участке меняется в диапазоне 0 до 8,0, среднее квадратическое отклонение 1,79.

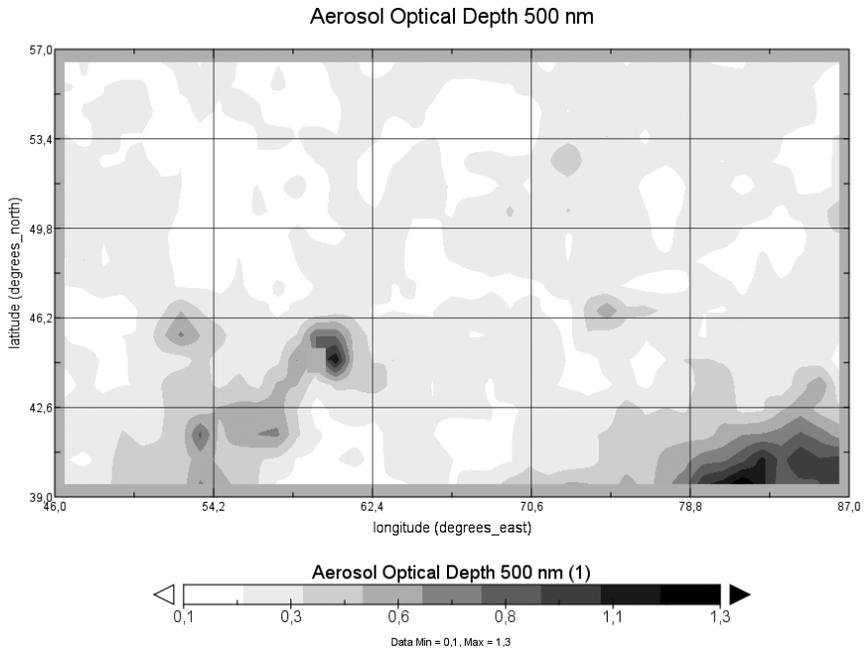


Рис. 1. Аэрозольная оптическая толщина атмосферы (длина волны 0,550 мкм) над Казахстаном за июнь 2016 года по данным 3 канала сенсора OMI.

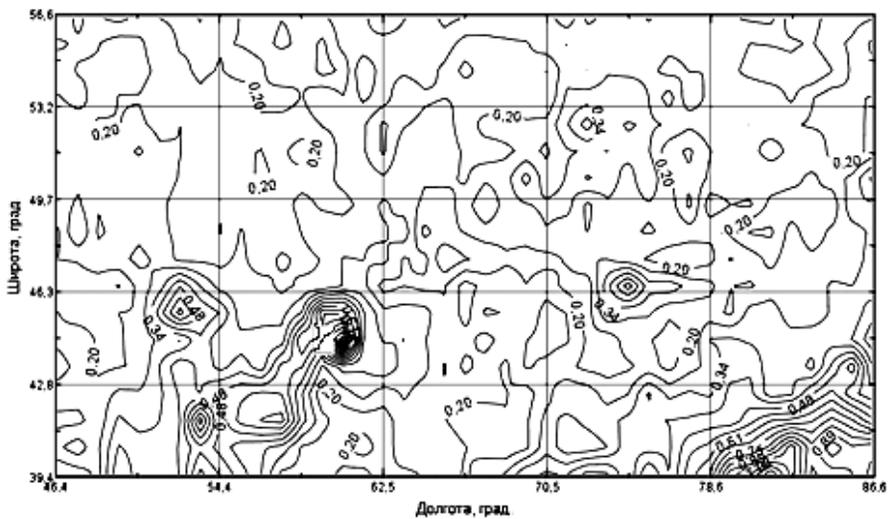


Рис. 2. Расчетное поле распределения аэрозольной оптической толщины атмосферы (длина волны 0,550 мкм) над Казахстаном за июнь 2016 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афонин С.В., Энгель М.В., Майор А.Ю. и др. Результаты комплексного аэрозольного эксперимента в переходной зоне материк – океан

- (Приморье и Японское море). / Часть 2. Анализ пространственной и временной изменчивости характеристик аэрозоля по спутниковым данным и лидарным измерениям // Оптика атмосферы и океана. – 2010. – Т. 23. – №9. – С. 811-819.
2. Басс Л.П., Гермогенова Т.А., Николаева О.В. и др. Численное моделирование краевых эффектов в оптике аэрозоля и облаков // Оптика атмосферы и океана. – 2009. – Т. 22. – №2. – С. 201-206.
 3. Веретенников В.В. Совместное определение микроструктуры и показателя преломления аэрозоля по данным солнечной фотометрии // Оптика атмосферы и океана. – 2007. – Т. 20. – №3. – С. 214-221.
 4. Журавлева Т.Б. Моделирование переноса солнечного излучения в различных атмосферных условиях. / Часть I: Детерминированная атмосфера; Часть 2: Стохастическая облачность // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21. – №2. – С. 99-114; №3. – С. 189-202.
 5. Ленобль Ж. Перенос радиации в рассеивающих и поглощающих атмосферах: Стандартные методы расчета. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 264 с.
 6. Рублев А.Н. Алгоритм и результаты расчетов аэрозольных индикаторов. – М.: РНЦ «Курчатовский институт», 1994. – 51 с.
 7. Рублев А.Н., Горчакова И.А., Удалова Т.А. Влияние крупных частиц на оценки оптических и радиационных характеристик пылевого аэрозоля // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2011. – Т. 47. – № 2. – С. 1-11.
 8. Сакерин С.М., Горбаренко Е.В., Кабанов Д.М. Особенности многолетней изменчивости аэрозольной оптической толщины атмосферы и оценки влияния различных факторов // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21. – №7. – С. 625-631.
 9. Bodhaine B.A., Wood N.B., Dutton E.G., Slusser J.R. On Rayleigh Optical Depth Calculations // J. Atmos. Oceanic Technol. – 1999. – Vol. 16. – P. 1854-1861.
 10. Geleyn J.-F. Parameterization of radiative transfer at ECMWF // Proceedings of the ECMWF 1977 seminar on the parameterization of the physical processes in the free atmosphere, 1977. – P. 273-345.
 11. Ritter B., Geleyn J.F. A comprehensive radiation scheme for numerical weather prediction models with potential applications in climate simulations // Mon. Wea. Rev. – 1992. – Vol. 120. – P. 303-325.

Поступила 11.05.2017

Техн. ғылымд. докторы
Техн. ғылымд. канд.

А.Х. Ахмеджанов
Т.К. Караданов

АТМОСФЕРАНЫҢ ЗОНДТАУ СПУТНИКТИК ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША АЭРОЗОЛЬ ОПТИКАЛЫҚ ҚАЛЫҢДЫҒЫН ЕСЕПТЕУ

Түйін сөздер: сәуле, аэрозоль, оптикалық қалыңдығы, спутниктік зондтау

Әзірленген есептеу алгоритмі аэрозоль оптикалық қалыңдығы бойынша атмосфераның жерсеріктік деректері негізінде іске асыру міндеттері көшіру сәуле атмосферада. Алынған мәндерін аэрозоль оптикалық қалыңдығы атмосфера аумағы үстінен.

Akhmedzhanov A.KH., Karadanov T.K.

THE CALCULATION OF THE AEROSOL OPTICAL THICKNESS OF THE ATMOSPHERE USING REMOTE SENSING DATA

Keywords: atmosphere, radiative transfer, aerosol optical thickness, remote sensing

The algorithm of calculation of the aerosol optical thickness of the atmosphere using remote sensing data on the basis of numerical realization of the objectives of the transfer of shortwave radiation in the atmosphere. The calculated values of the aerosol optical thickness of atmosphere above the territory of Kazakhstan.

УДК 633.15:551.58

Доктор с.-х. наук

Канд. геогр. наук

А.И. Белолобцев¹Е.А. Дронова¹И.Ф. Асауляк¹

АГРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЯ КУКУРУЗЫ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ УКРАИНЫ НА ПЕРИОД ДО 2050 ГОДА

Ключевые слова: климат, теплообеспеченность, влагообеспеченность, кукуруза, фотосинтез, продуктивность, урожай

Разработаны рекомендации по адаптации технологий выращивания кукурузы и улучшения условий формирования урожая при изменении климата.

Введение. Важным звеном проблемы изменения глобального климата является оценка изменения агроклиматических условий выращивания сельскохозяйственных культур и влияния этих изменений на их продуктивность. В связи с ожидаемым повышением температуры воздуха Северного полушария продовольственная безопасность любой страны в значительной степени будет зависеть от того, насколько эффективно адаптируется сельское хозяйство к этим изменениям. Это предполагает заблаговременную оценку влияния ожидаемых изменений климата на агроклиматические условия выращивания сельскохозяйственных культур.

Важным фактором повышения эффективности сельского хозяйства в условиях изменения климата является научно обоснованное размещение посевных площадей сельскохозяйственных культур, адаптация растениеводства к этим изменениям. Это позволит наиболее эффективно использовать природные ресурсы в новых климатических условиях, добиваться устойчивого роста величины и качества урожая, повышать отдачу сырьевых, энергетических и трудовых ресурсов [2, 3].

Материалы и методы исследований. Для оценки изменений агроклиматических ресурсов при возможных изменениях климата был использован сценарий изменения климата в Украине – А1В, как наиболее вероятный на период до 2050 года, региональная климатическая модель MPI-M-REMO, глобальная модель – ECHAM5-r3 [1, 3].

¹ ФГБОУ ВПО РГАУ МСХФ им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

Сценарий изменения климата А1В в данной работе реализован в региональной климатической модели REMO с шагом сетки 25×25 км, которая разработана в Институте метеорологии им. Макса Планка в Гамбурге. Особенностью REMO является моделирование не только годовых режимов осадков и температуры, но и изучение меж- и внутрисезонных характеристик. Наиболее точные результаты моделирования REMO показывает именно в пределах Европы, что делает эту модель наиболее приемлемой для использования в этом регионе.

В ходе выполнения работы авторами были проанализированы агроклиматические условия роста и развития кукурузы на территории степной зоны Украины за базовый период 1986...2005 гг. Анализ тенденции изменения климата выполнен путем сравнения данных по климатическим сценариям и средним многолетним характеристикам климатических и агроклиматических показателей за три периода: 1970...2010 гг. (базовый период), 2011...2030 гг. (первый сценарный период), 2031...2050 гг. (второй сценарный период). Для оценки продуктивности кукурузы на фоне изменения климатических условий за первый и второй периоды рассматривались следующие варианты:

- климатические условия периода;
- климатические условия периода + увеличение CO_2 в атмосфере (для первого периода с 380 до 470 ppm, для второго периода с 380 до 520 ppm);
- климатические условия периода + увеличение $\text{CO}_2 + \text{N}_{40}$;
- климатические условия периода + увеличение $\text{CO}_2 +$ внесение удобрений в дозах N_{80} .

Как теоретическая основа для выполнения расчетов и сравнения результатов была использована модель формирования продуктивности агроэкосистемы, разработанная А.М. Полевым [2]. Идентификация модели формирования урожайности кукурузы выполнена на основе материалов агрометеорологических наблюдений метеостанций степной зоны и материалов средней по зоне урожайности кукурузы.

Результаты исследований и их анализ. Весь период вегетации кукурузы был разбит на два больших межфазных периода: всходы – выметывание метелки, выметывание метелки – восковая спелость. По данным сценария изменения климата А1В были определены даты наступления основных межфазных периодов кукурузы. За дату посева была взята дата перехода температуры воздуха через 10 °С. По данным Чиркова Ю.И. [4]

от посева до всходов накапливается сумма активных температур выше 10 °С, равная 83 °С. Таким образом, набирая необходимую сумму температур мы определяли дату всходов. Даты выметывания метелки и восковой спелости мы определяли по такой же методике, полагая, что основные биологические закономерности роста и развития культуры не изменятся.

В среднем многолетнем дата всходов кукурузы на территории северной степи отмечается во второй декаде мая. Дата выметывания метелки – во второй декаде июля. Продолжительность периода всходы – выметывание метелки составляет 60 суток. Средняя за этот период температура воздуха составляет 18,9 °С. Сумма активных температур – 1135 °С, эффективных – 535 °С. Сумма осадков, которая выпадает за межфазный период всходы – выметывание метелки составляет 142 мм.

Период выметывание метелки – восковая спелость на территории северной степи длится около 38 суток, при средней температуре 20,6 °С. Он начинается в конце второй декады июля и заканчивается в середине третьей декады августа. Сумма активных температур, которая накапливается за этот период, составляет 785 °С, эффективных – 406 °С. Сумма осадков – 65 мм.

В первый расчетный период 2011...2030 гг. дата всходов может сместиться на конец первой декады мая, что на 9 суток раньше, чем в среднем многолетнем. Дата наступления фазы выметывания метелки, вероятно, может сдвинуться в сторону весны не существенно. Таким образом, период всходы – выметывание метелки может увеличиться, по сравнению с базовым, на 7 суток и составит 67. При этом температура воздуха в среднем за период уменьшится до 17,0 °С, а сумма осадков почти не изменится и составит 146 мм (142 мм за базовый период). Период выметывания метелки – восковая спелость в этот расчетный период также увеличится до 42 суток, что на 4 больше по сравнению с базовым. При этом на 2,2 °С уменьшится средняя температура воздуха за этот межфазный период и сумма осадков до 48 мм, что на 17 мм меньше, чем в базовый период.

Во втором расчетном периоде дата всходов может наблюдаться еще на 2 суток раньше, чем в период 2011...2030 гг., и на 11 суток раньше, чем в базовом периоде. Дата наступления фазы выметывания метелки может наблюдаться почти на неделю раньше по сравнению с базовым периодом – в начале первой декады июля. Таким образом, продолжительность периода всходы – восковая спелость также увеличится на 5 суток и может составлять 65 дней. Сумма осадков за этот период по сравнению с базовым периодом почти не изменится. Продолжительность второго межфазного периода выме-

тывание метелки – восковая спелость по сравнению с базовым почти не изменится и составит четыре декады, при этом температура воздуха может держаться на уровне 20,0 °С, а сумма осадков за этот период может увеличиться до 76 мм, что на 11 мм больше, чем за базовый период.

Сравнительная характеристика условий вегетации кукурузы на территории северостепной зоны представлена в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика агроклиматических условий вегетационного периода кукурузы на территории северной степи

Период	Всходы	Восковая спелость	N, сутки	\bar{T} , °С	Сумма температур, °С		Сумма осадков мм
					$\Sigma T_{\text{акт.}}$, °С	$\Sigma T_{\text{эфф.}}$, °С	
всходы – восковая спелость							
1986...2005	18.05	24.08	98	19,8	1936	955	207
по сценарию изменения климата							
2011...2030	9.05	26.08	109	17,8	1924	834	194
Разница	-9	+2	+11	-2,0	-12	-121	-13
2031...2050	7.05	19.08	104	18,4	1914	874	220
Разница	-11	-5	+6	-1,4	-22	-81	+13

Весь вегетационный период от всходов до восковой спелости кукурузы может увеличиться до 109 суток в первый и до 104 суток во второй расчетные периоды соответственно. При этом может наблюдаться снижение средней за период вегетации температуры воздуха – в первый период до 17,8 °С, а во второй до 18,4 °С, базовая температура воздуха за весь вегетационный период кукурузы составляет 19,8 °С. Следует отметить, что можно ожидать незначительное снижение суммы осадков за первый расчетный период на 13 мм, а во второй, наоборот, увеличение на 13 мм.

Наиболее существенные изменения вегетационного периода кукурузы следует ожидать на территории сухой степи. Так, в среднем многолетнем дата всходов кукурузы на территории сухой степи наблюдается в начале третьей декады мая. В случае реализации сценария изменения климата А1В можно ожидать существенный сдвиг даты всходов в сторону весны. Почти на две недели в первый расчетный период и на три во второй по сравнению со средними многолетними значениями. Фаза выметывания метелки в период 2011...2030 гг. может наблюдаться на 5 суток раньше, чем в среднем многолетнем – в начале второй декады июля. А во второй расчетный период ее можно будет ожидать в первой декаде июля, что на

целую декаду раньше, чем в базовом периоде. Продолжительность этого межфазного периода увеличится до 63 суток вместо 56 в базовом периоде. При этом, за счет более низких температур в начале вегетации, можно ожидать снижения средней за этот период температуры воздуха – до 18,2 °С. Тогда как в базовом периоде она составляет 20,5 °С. Сумма активных температур, которая накапливается за этот период в среднем многолетнем составляет 1144 °С, сумма эффективных – 584 °С. Средняя многолетняя сумма осадков составляет 142 мм, но в последующие периоды следует ожидать ее существенного уменьшения – до 91 мм в период 2011...2030 гг. и до 62 мм в период 2031...2050 гг. Это на 51 мм и 80 мм меньше, чем по средним многолетним данным.

Дата наступления восковой спелости в среднем многолетнем наблюдается на территории сухой степи в середине третьей декады августа. В первый расчетный период она почти не претерпевает существенных изменений, может немного сдвинуться в сторону лета – на 4 суток. Но во второй расчетный период ее можно ожидать, на целую декаду раньше. При этом общая продолжительность этого межфазного периода не претерпит существенных изменений. При среднем многолетнем значении в 38 суток она может увеличиться до 40 суток в первый расчетный период и 39 суток во второй. Также не претерпит существенных изменений и температурный фон. Средняя температура воздуха за этот период составляет 22,4 °С, в расчетные периоды она может составлять 21,5 и 22,1 °С соответственно. Но, к сожалению, может наблюдаться значительное уменьшение количества осадков – с 65 мм в базовый период до 34 мм в период 2011...2030 гг. и до 24 мм в период 2031...2050 гг. В среднем многолетнем за этот межфазный период накапливается 851 °С сумм активных температур и 471 °С – сумм эффективных температур.

Продолжительность всего периода вегетации кукурузы на территории сухой степи в среднем многолетнем составляет 95 суток при температуре воздуха 21,2 °С (табл. 2).

В случае реализации сценария изменения климата А1В можно ожидать ее увеличения до 103 суток, при этом средняя за период вегетации температура воздуха может составлять 19,5 °С, что на 1,7 °С ниже, чем в базовый период. В среднем многолетнем на территории сухой степи за вегетационный период кукурузы накапливается 2014 °С сумм активных температур и 1064 °С сумм эффективных температур. Сумма осадков в среднем многолетнем составляет 207 мм, но она может претерпеть суще-

ственные изменения. В первый расчетный период в целом за вегетацию кукурузы она может снизиться до 125 мм, что на 82 мм меньше чем в базовом периоде. А во второй расчетный период может наблюдаться ее дальнейшее уменьшение – до 86 мм. Таким образом, наиболее негативные изменения агроклиматических условий вегетационного периода кукурузы может испытывать территория сухой степи. Под влиянием изменения агроклиматических условий выращивания кукурузы, произойдет смена показателей фотосинтетической продуктивности культуры, к которым в первую очередь относится площадь ассимилирующей поверхности посевов (рис. 1). На рисунке на оси x расположены декады вегетации, на оси y – площадь листовой поверхности m^2/m^2 .

Таблица 2

Сравнительная характеристика агроклиматических условий вегетационного периода кукурузы на территории сухой степи

Период	Всходы	Восковая спелость	N, сутки	\bar{T} , °C	Сумма температур, °C		Сумма осадков мм
					$\Sigma T_{\text{акт.}}$, °C	$\Sigma T_{\text{эфф.}}$, °C	
всходы – восковая спелость							
1986...2005	21.05	24.08	95	21,2	2014	1064	207
по сценарию изменения климата							
2011...2030	9.05	20.08	103	19,5	2007	977	125
Разница	-12	-4	+8	-1,7	-7	-87	-82
2031...2050	4.05	14.08	102	19,6	2003	983	86
Разница	-17	-10	+7	-1,6	-11	-81	-121

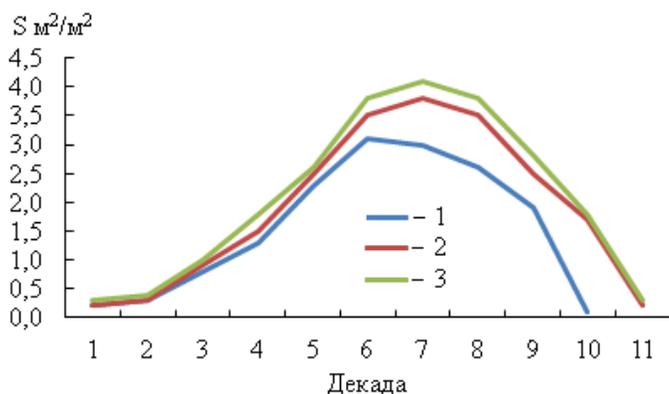


Рис. 1. Динамика относительной площади листовой поверхности кукурузы в условиях изменения климата по сравнению с базовым периодом по сценарию на 2011...2030 гг. 1 – базовый период; 2 – по сценарию изменения климата; 3 – сценарий + CO₂.

Как видно из данных рис. 1, в период 2011...2030 гг. площадь листовой поверхности наиболее интенсивно будет расти в 5...6 декаде вегетации, когда ее увеличение только за счет изменения климатических условий может достигать 0,9...1,1 м²/м² за декаду. Для 2-го периода уровень интенсивности фотосинтеза в начале вегетации за счет изменения климатических условий увеличится на 0,4...0,7 мг·СО₂/(дм²·ч) по сравнению с базовым периодом.

Рост содержания СО₂ в атмосфере до 470 ppm приведет к еще большим темпам формирования листовой поверхности. Площадь листовой поверхности за период максимального развития увеличится с 3,09 до 4,07 м²/м². Это свидетельствует о том, что улучшатся условия вегетации, на которые растения реагируют в первую очередь увеличением площади листьев. Так, внесение азотных удобрений в дозе 60 кг (д.в.)/га повлечет увеличение темпов роста листьев до 1,1...1,3 м²/м²·за декаду в период максимального роста.

При внесении азотных удобрений в дозе 120 кг (д.в.)/га максимальная площадь листьев будет достигать 4,9 м²/м². Фотосинтетический потенциал посевов увеличится при внесении удобрений на 70...84 % по сравнению с базовым периодом.

Климатические условия периода 2031...2050 гг. обусловят несколько менее быстрый темп нарастания ассимилирующей поверхности посевов кукурузы по сравнению с базовым периодом. При повышении содержания СО₂ в атмосфере до 520 ppm будет происходить более стремительное нарастание листовой поверхности и в период максимального развития она составит 4,15 м²/м², что в 1,3 раза больше чем в базовый период.

Внесение азотных удобрений в дозах N₄₀ и N₁₂₀ приведет к существенному росту площади листьев, размеры которой могут достигать 4,6 и 5,0 м²/м². При этом значительно возрастет фотосинтетический потенциал посевов, который будет составлять соответственно 168 и 182 % от базового периода.

За счет изменения климатических условий в 1-ом периоде будет наблюдаться повышение фотосинтеза в первые пять декад вегетации по сравнению с базовым периодом на 0,2...0,4 мг·СО₂/(дм²·ч) (рис. 2).

Повышение СО₂ приведет к увеличению разницы в интенсивности фотосинтеза, которая будет на 0,6...0,8 мг·СО₂/(дм²·ч) превышать базовую. Внесение удобрений повысит уровень интенсивности фотосинтеза в период его максимальных значений до 8,7...8,9 мг·СО₂/(дм²·ч) по сравнению с базовым периодом.

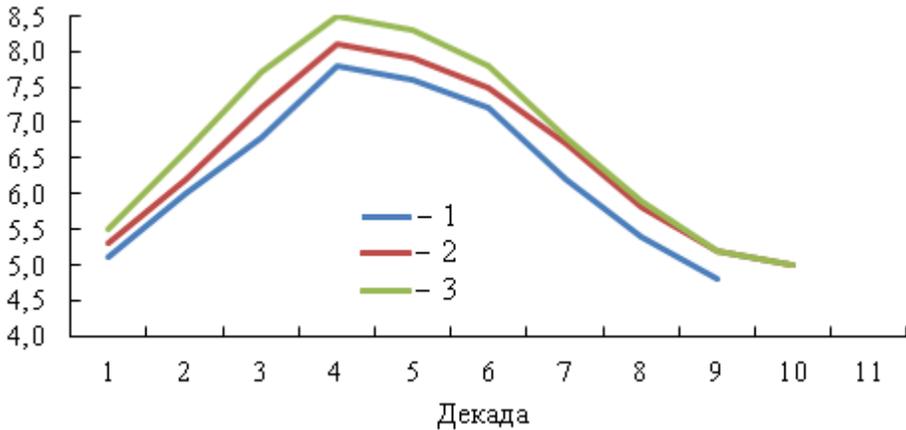


Рис. 2. Динамика интенсивности фотосинтеза кукурузы в условиях изменения климата по сравнению с базовым периодом по сценарию на 2011...2030 гг. Усл. обозн. см. рис. 1.

В условиях увеличения содержания CO_2 в атмосфере с 380 до 470 ppm, повысится уровень интенсивности фотосинтеза посевов в декаду с его максимальными значениями с 7,9 до 8,8 $\text{мг}\cdot\text{CO}_2/(\text{дм}^2\cdot\text{ч})$. При внесении удобрений уровень интенсивности фотосинтеза повысится до 9,1...9,4 $\text{мг}\cdot\text{CO}_2/(\text{дм}^2\cdot\text{ч})$.

Такая динамика площади ассимилирующей поверхности и интенсивности фотосинтеза приведет к соответствующему уровню динамики общей сухой биомассы посевов. При изменении климатических условий в 1-м периоде накопление общей биомассы будет происходить довольно быстрыми темпами. Наиболее высокие приросты общей биомассы будут наблюдаться в 7...8 декадах. Только за счет изменений климатических условий максимальный прирост увеличится от 17,8 до 19,0 $\text{г}/(\text{м}^2\cdot\text{сут})$. С учетом изменения содержания CO_2 в атмосфере с 380 до 470 ppm рост будет составлять 22 % по сравнению с базовым периодом. Внесение удобрений увеличит максимальные приросты биомассы до 23,8...25,7 $\text{г}/(\text{м}^2\cdot\text{сут})$. По сравнению с базовым периодом приросты увеличатся на 34...44 %. Во 2-й период не ожидается существенного увеличения прироста биомассы по сравнению с базовым периодом. Повышение содержания CO_2 в атмосфере до 520 ppm увеличит уровень приростов общей биомассы особенно в 7...8-ю декады вегетации. Приросты общей биомассы увеличатся с 17,8 до 22,6 $\text{г}/(\text{м}^2\cdot\text{сут})$ или на 27 %. Внесение удобрений приведет к дальнейшему увеличению максимальных приростов общей биомассы до 24,9...26,8 $\text{г}/(\text{м}^2\cdot\text{сут})$, что составит 140...151 % по сравнению с базовым периодом. Изменение и рост уровня показателей фотосинтетической про-

дуктивности посевов кукурузы в условиях изменения климата приведет и к увеличению урожая зерна. Наибольший эффект будет наблюдаться при внесении удобрений. В ожидаемых климатических условиях 1-го периода урожай зерна вырастет с 26,1 до 35,2 ц/га (на 27 %). Повышение концентрации CO_2 в атмосфере приведет к росту уровня урожая зерна на 44 %. Внесение удобрений в дозе N_{60} 60 кг(д.в.)/га повысит этот эффект роста урожая на 59 %, а внесение дозы N_{120} кг(д.в.)/га позволит получить урожай зерна на 70 % выше по сравнению с базовым периодом.

Во 2-й период за счет только изменения климатических условий ожидается увеличение урожая зерна до 31,8 ц/га (на 22 %). Увеличение содержания CO_2 в атмосфере от 380 до 520 ppm обусловит увеличение урожая зерна до 38,7 ц/га (на 48 %). Внесение удобрений на фоне изменения климатических условий и существенное увеличение содержания CO_2 в атмосфере обеспечит дальнейшее повышение урожая зерна кукурузы. В зависимости от дозы вносимых удобрений N_{60} и N_{120} урожай зерна может составить при внесении удобрений в дозе N_{60} – 42,5 ц/га, а при дозе N_{120} – 45,9 ц/га, что соответственно на 63 и 76 % выше по сравнению с базовым периодом.

Следует отметить, что в последние годы внедряются в производство новые высокопродуктивные сорта и гибриды кукурузы. Методика проведенных расчетов также может быть применена при оценке возможных изменений производительности новых сортов и гибридов в условиях изменения климата.

Производство зерна кукурузы в степной зоне Украины обеспечивают благоприятные почвенно-климатические условия, высокоурожайные сорта и современная технология выращивания культуры. Агроклиматические условия выращивания кукурузы в целом по зоне достаточно благоприятны, но изменение климата повлечет необходимость адаптации к ним. Оценка агроклиматических условий вегетации кукурузы позволила установить, что несколько повышенный температурный режим в апреле даст возможность сдвинуть оптимальные сроки сева кукурузы на 10...15 суток раньше по сравнению с установленными оптимальными средними многолетними сроками. Это позволит уменьшить затраты влаги на испарение, сформировать дружные всходы и более продуктивно использовать влагу для формирования ассимиляционного аппарата и роста початков. Опоздание со сроками сева на 15...20 суток ставит формирование урожая в большую зависимость от условий увлажнения второй половины вегетации, которые могут быть достаточно напряженными, особенно на территории сухой степи.

В этих условиях следует отдавать предпочтение гибридам ранне-спелых и среднеранних групп кукурузы, которые имеют менее длительный вегетационный период по сравнению со среднеспелыми и средне-позднеспелыми группами и более продуктивно используют влагу для формирования урожая.

Оценка агроклиматических условий темпов развития и наступления спелости кукурузы позволила установить сроки наступления фазы восковой спелости, что также поможет несколько скорректировать сроки уборки урожая. Сроки спелости зерна определяют способы и начало уборки урожая кукурузы.

Учет сроков уборки урожая позволит заблаговременно подготовить уборочную технику в новых климатических условиях, чтобы избежать недобора урожая за счет осыпания, запала и щуплости зерна, подготовить предприятия и элеваторы для приемки, хранения и переработки зерна.

Выводы. Выращивание кукурузы в степной зоне в целом обусловлено благоприятными почвенно-климатическими условиями, применением высокоурожайных сортов и современными технологиями выращивания культуры. Но изменение климата приведет к изменению агроклиматических условий вегетационного периода кукурузы, что повлечет необходимость адаптации к этим изменениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ЕАОС, ОБСЕ, ЮНЕП, ПРООН, ЕЭК ООН, РЭЦ, НАТО. Изменение климата и продовольственная безопасность в Восточной Европе / Отчет о проведении практического семинара по разработке сценариев. – Берлин. 2011. – 62 с.
2. Полевой А.Н. Моделирование фотосинтеза зеленого листа у растений типа С3 и С4 при изменении концентрации CO₂ в атмосфере / В сб. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – М.: ИГКЭ, Том XXIII. – 2010. – С. 297-315.
3. Польовий А.М., Божко Л.Ю., Дронова О.О. Зміна показників термічного режиму повітря в Україні на період до 2030 р. // Український Гідрометеорологічний Журнал – 2014. – № 14. – С. 35-43.
4. Чирков Ю.И. Агрометеорологические условия и продуктивность кукурузы // Под ред. акад. Ф.Ф. Давитая. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 251 с.

Поступила 7.06.2017

А.-ш. ғылымд. докторы
Геогр. ғылымд. канд.

А.И. Белолобцев
Е.А. Дронова
И.Ф. Асауляк

УКРАИНАНЫҢ ДАЛАЛЫҚ АЙМАҒЫНДА 2050 ЖЫЛДАРҒА ДЕЙІНГІ КЕЗЕҢДЕ ЖҮГЕРІ ӨНІМДІЛІГІНІҢ ҚҰРЫЛУ ЖАҒДАЙЫН АГРОКЛИМАТТЫҚ БАҒАЛАУ

Түйінді сөздер: климат, жылуқамтамасыздық, ылғалқамтамасыздық, жүгері, фотосинтез, өнімділік, өнім

Жүгері өнімділігінің құрылуының агроклиматтық жағдайының 2050 жылдарға дейінгі кезеңде өзгеруіне баға берілген. Климаттың өзгеру жағдайына жүгеріні өсіру технологиясын бейімдеу және өнімділігінің құрылу жағдайын жақсарту туралы ұсыныстар жасалған.

Belolybtsev A.I., Dronova E.A., Asaulyak I.F.

AGROCLIMATIC EVALUATION OF THE CONDITIONS FOR FORMING THE YIELD OF CORN IN THE STEPPE ZONE OF UKRAINE FOR THE PERIOD UP TO 2050

Key words: climate, heat supply, moisture supply, corn, photo-synthesis, productivity, yield

The estimation of agroclimatic conditions for the formation of maize productivity for the period up to 2050 is given. Recommendations for adaptation of technologies for growing corn and improving the conditions for crop formation under conditions of climate change.

УДК 551.582

Доктор геогр. наук Е.Н. Вилесов¹
Б.К. Акмолдаева¹

ИЗМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ВЕЛИЧИН КЛИМАТА ПРИБАЛХАШЬЯ ЗА 80 ЛЕТ

Ключевые слова: континентальность, аридность, испаряемость, многолетние значения, средняя температура, коэффициент увлажнения, температурный режим

В статье оценены изменения основных элементов климата, прежде всего, температуры воздуха, территории Прибалхашья по данным М Балхаш за период с 1935 по 2014 г. Рассмотрены средние многолетние месячные осадки и их внутригодовое распределение. Рассчитан средний многолетний индекс континентальности. Для Балхаша он составил 66 %, что соответствует континентальному климату. За 80 лет средние десятилетние температуры повысились на 1,4 °С. Судя по выявленным трендам годовой температуры воздуха, величина последней к 2030 г. в Балхаше может повыситься на 1,0 °С (относительно нормы) и составить 6,8 °С.

Введение. Известно, что современное глобальное потепление наиболее интенсивно проявилось в высоких широтах – в Арктике, Субарктике, северных зонах умеренного пояса. К югу интенсивность этого потепления постепенно убывает. В этом аспекте представляет интерес вопрос об изменениях основных элементов климата, прежде всего, температуры воздуха, в аридных зонах полупустынь и пустынь, в том числе на юге Казахстана. В связи с этим авторы попытались оценить эти изменения для условной аридной территории Прибалхашья по данным М Балхаш за последние 80 лет, с 1935 по 2014 г.

Район исследования. Особенности климатического режима Прибалхашья обусловлены, прежде всего, его географическим положением. Город Балхаш находится на высоте 350 м. Его координаты: 46°51' с.ш. и 75°00' в.д. Площадь города – 230 км², население – 78 тыс. человек. Балхаш – город областного подчинения в Карагандинской области, расположен-

¹ КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

ный на северном побережье оз. Балхаш, у бухты Бертыс, в южной части Центрально-Казахстанского мелкосопочника (рис. 1).

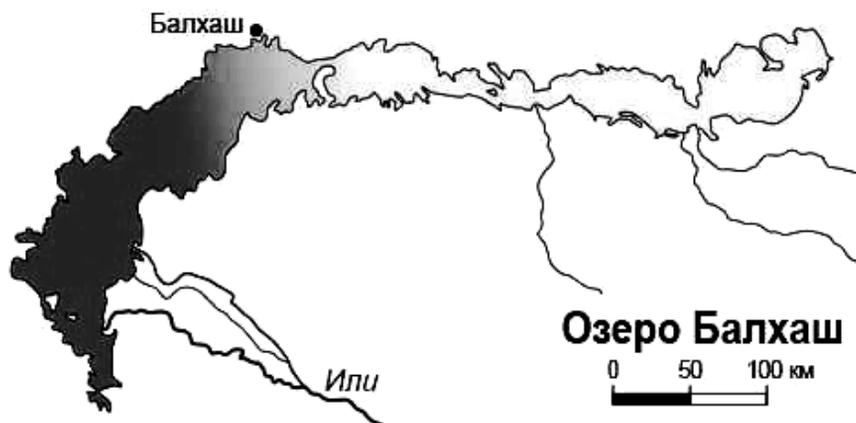


Рис. 1. Местоположение города Балхаш.

Исходные данные и результаты исследования. Важнейшим показателем климата, погоды и состояния приземного слоя атмосферы любой местности, изменчивым во времени и пространстве, является температура воздуха с её разнообразными характеристиками.

Термический режим рассматриваемой территории определяется радиационным фактором и влиянием циркуляции атмосферы. Типичным для ее климата является материковый режим температуры воздуха, который отличается большой контрастностью и разностью сезонных и межгодовых колебаний, значительной суточной и годовой амплитудой. Одной из основных характеристик термического режима служат средние месячные температуры воздуха (рис. 2).

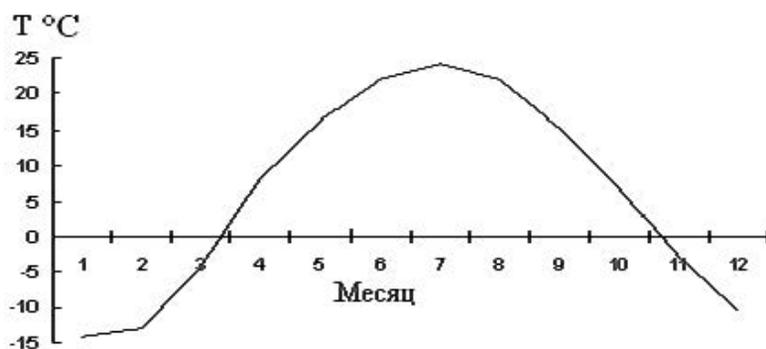


Рис. 2. Внутригодовой ход температуры воздуха в Балхаше.

Средний месячный (29,6 °C) и абсолютный 40,9 °C (9 июля 2005 г.) максимумы приходятся на июль. В годовом ходе минимум температуры

воздуха наблюдается в январе ($-6,7\text{ }^{\circ}\text{C}$), тогда как абсолютный минимум приходится на декабрь – $-41,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (19 декабря 1939 г.). Низкие абсолютные минимумы отмечены и в другие месяцы холодного периода: в ноябре – $-32,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1952 г.), в январе – $-40,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1943 г.) и феврале – $-40,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такие понижения температуры часто обусловлены ультраполярными вторжениями холодных масс воздуха из района Карского моря.

Повышение средней многолетней температуры от января к февралю незначительно, $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, поскольку циркуляционные и радиационные условия этих месяцев близки между собой. От февраля к марту, с увеличением прихода солнечной радиации, отмечается заметное повышение температуры – до $8,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в связи со сменой отрицательного радиационного баланса на положительный в апреле происходит наибольшее в году увеличение температуры – на $12,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В дальнейшем интенсивность нарастания температуры от месяца к месяцу уменьшается, от июля к августу начинается медленный спад температуры. Наиболее значительное понижение температуры, вызванное перестройкой циркуляции, наблюдается от октября к ноябрю ($9,7\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Наибольшая межгодовая изменчивость температуры имеет место в холодное время года, а наименьшая – в теплый сезон. В январе и феврале отклонения средней месячной температуры от нормы достигают $11,1$ и $10,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно, а в июле и августе $-3,2\dots 3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Типичный зимний месяц – январь со средней температурой $-14,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ и абсолютным месячным минимумом $-25,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в 1969 г.). Нередки годы, когда самым холодным бывает не январь, а февраль или декабрь (в 50 % случаев). Величина годовой амплитуды температуры, т.е. разность между температурой самого холодного и самого теплого месяцев составляет $38,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Абсолютная амплитуда – $82,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Достаточно наглядное представление о многолетнем температурном режиме и его межгодовой изменчивости дают графики хода средних годовых температур воздуха («нормы»), вычисленные для десятилетних периодов, а также кумулятивной суммы временного ряда температуры.

Межгодовой ход температуры воздуха за период наблюдений в Балхаше представлен на рис. 3. За весь период минимальная средняя годовая температура составила $3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1969 г.), а максимальная – $8,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2002 г.). Среднее многолетнее значение годовой температуры за 80 лет составляет $5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

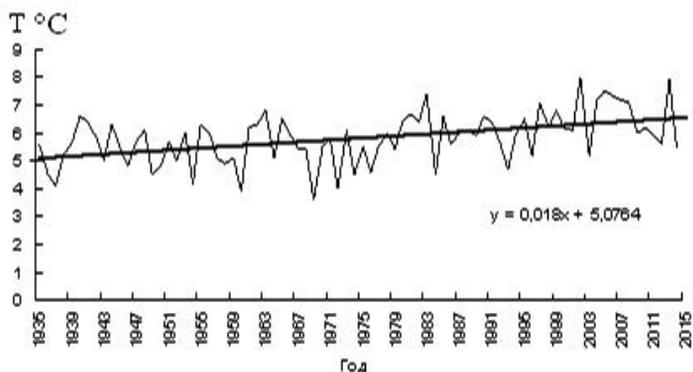


Рис. 3. Межгодовой ход температуры воздуха и его линия тренда по М Балхаш за 1935...2014 гг.

При анализе межгодового хода температуры были рассчитаны её средние значения по десятилетним периодам (рис. 4).

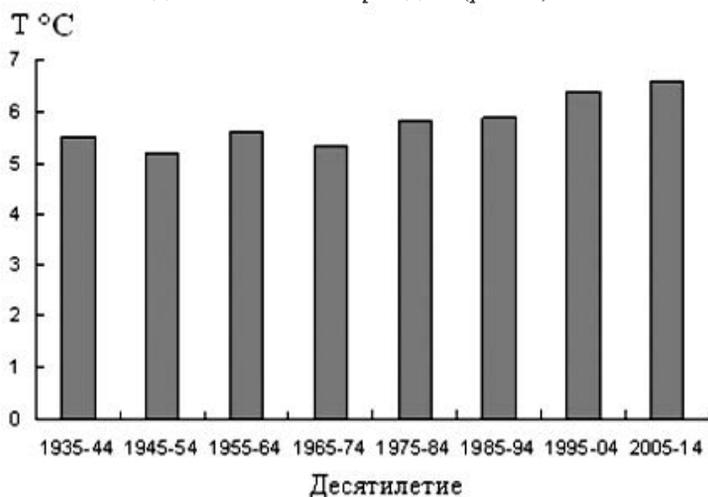


Рис. 4. Средние температуры воздуха за 10-летние периоды.

В течение первых 40 лет (1935...1975 гг.), величины средних десятилетних температур варьировали в пределах 0,4 °C – от 5,2 до 5,6 °C. Во второй половине периода (1975...2014 гг.), эти температуры неуклонно повышались от 5,6 до 6,6 °C, т.е. на 1,0 °C. Таким образом, за 80 лет средние десятилетние температуры повысились на 1,4 °C. При этом последние полтора десятка лет были самыми теплыми, за весь период наблюдений, как и всюду на нашей планете.

Кумулятивная кривая на рис. 5 показывает, что в первой половине периода происходило накопление отрицательных разностей годовых температур (относительно средней многолетней нормы, равной 5,8 °C). С се-

редине 70-х гг. 20 в. ускоренными темпами шло повышение средних годовых температур, достигших в 2002 г. 8,0 °С и в 2013 г. 7,9 °С.

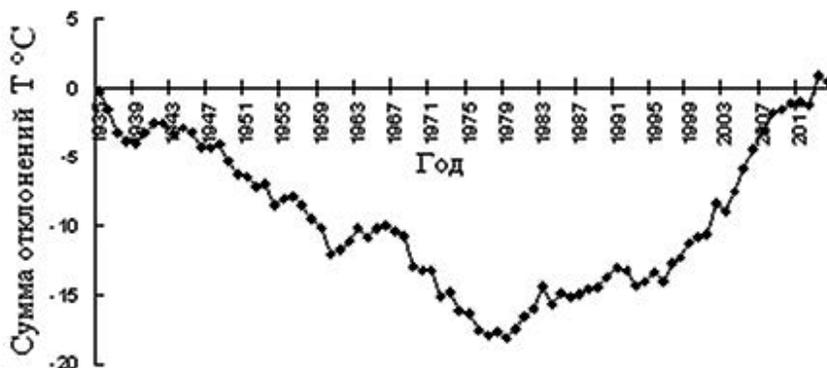


Рис. 5. Кумулятивная кривая аномалий средних годовых температур воздуха на мс Балхаш.

В свете выявленных тенденций изменения температуры представляет интерес знание того, на какие годы за 80 лет наблюдений в Балхаше пришлось самые теплые и самые холодные месяцы (табл. 1).

Таблица 1

Экстремальные средние месячные температуры воздуха, °С

Месяц	Средние температуры самых холодных месяцев	Год	Средние многолетние температуры	Средние температуры самых теплых месяцев	Год
Январь	-25,4	1969	-14,3	-5,2	1985
Февраль	-23,7	1969	-13,0	-5,5	2002
Март	-11,6	1960	-4,3	3,7	2013
Апрель	4,0	1936	8,1	12,8	1985
Май	11,7	1960	16,2	19,1	1951
Июнь	18,1	1954	22,1	26,2	1998
Июль	21,0	1960	24,2	26,6	1989
Август	18,3	1936	22,0	25,1	1998
Сентябрь	11,7	1968	15,2	18,4	1953
Октябрь	2,9	1976	6,8	11,3	1997
Ноябрь	-10,5	1952	-2,9	1,9	1994
Декабрь	-19,6	1935	-10,7	-2,5	1989

Как видно из данных табл. 1, средние месячные температуры наиболее теплых месяцев зафиксированы во второй половине 20 в., в том числе за два месяца (февраль и март) – уже в 21 в. Напротив, средние месячные температуры наиболее холодных месяцев отмечаются преимущественно

венно в первой половине рассматриваемого периода. Такое распределение экстремумов средних месячных температур вполне согласуется с установленными тенденциями, свидетельствующими о заметном потеплении климата в регионе за последние десятилетия.

Судя по выявленным трендам годовой температуры воздуха, величина последней к 2030 г. в Балхаше может повыситься на 1,0 °С (относительно нормы) и составить 6,8 °С.

Многолетние нормы месячных осадков и их внутригодовое распределение по М Балхаш (с поправками показаний осадкомеров на смачивание и выдувание ветром) даны на рис. 6.

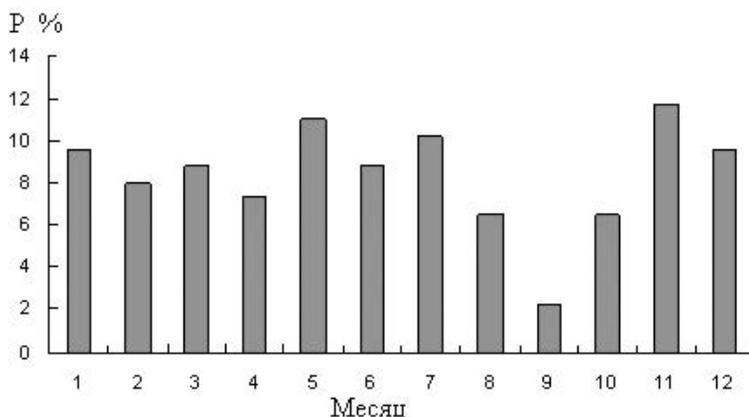


Рис. 6. Среднее многолетнее внутригодовое распределение осадков в г. Балхаше (месячные суммы осадков в процентах от годовых – P, %).

Среднее годовое количество осадков в Балхаше составляет 137 мм. Свообразие их годового распределения (рис. 6) и высокий температурный фон теплого периода создают здесь условия засушливости. Так, с мая по октябрь (полгода) испаряемость превышает осадки в десятки раз.

Максимум осадков приходится на три месяца (май, июнь и июль) – 41 мм (чуть более 30 % годовых). В любом месяце года бывает полное отсутствие или ничтожно малое количество осадков.

Довольно значительна временная изменчивость годового количества осадков. В отдельные годы осадки могут превышать норму в 1,5 раза. В наиболее дождливом 1962 г. выпало 220 мм, а в самом сухом 1974 г. их было лишь 53 мм, в четыре раза меньше.

Велика изменчивость и месячных сумм осадков в отдельные годы. Практически в любой месяц года может не выпасть ни капли дождя. Максимум месячных осадков зафиксирован в июне 1954 г. и в июле 2010 г. – 55 мм. Июльские осадки 2010 г. составили более 31 % от суммы осадков

этого года. Максимум суточных осадков (39 мм) зафиксирован в июле 1966 г. (табл. 2).

Таблица 2

Экстремальные значения средних месячных осадков и их суточных максимумов, мм

Месяц	Норма	Месячный минимум	Месячный максимум	Суточный максимум
Январь	13	1,0 (1963)	27 (1991)	10 (1980)
Февраль	11	0,0 (1942)	28 (1993)	17 (1965)
Март	12	0,1 (1947)	30 (2007)	20 (1969)
Апрель	10	0,0 (1951)	37 (1958)	12 (1980)
Май	15	0,0 (1938)	54 (1972)	23 (1996)
Июнь	12	0,0 (1955)	55 (1954)	25 (1981)
Июль	14	0,0 (1943)	55 (2010)	39 (1966)
Август	9	0,0 (1938)	45 (1988)	32 (1958)
Сентябрь	3	0,0 (1947)	40 (1954)	32 (1954)
Октябрь	9	0,0 (1954)	32 (1962)	17 (1962)
Ноябрь	16	0,4 (1967)	35 (2004)	19 (2002)
Декабрь	13	0,0 (1944)	44 (1971)	15 (1971)

Межгодовой ход осадков за 62 года (1953...2014 гг.) показывает, что их количество подвержено довольно резким колебаниям от года к году. Вместе с тем не выявлено сколько-нибудь заметной тенденции к увеличению суммы годовых осадков (рис. 7). Судя по очень слабому тренду изменения осадков (рис. 7), их среднее годовое количество в Балхаше к 2030 г. может приблизиться к 140 мм.

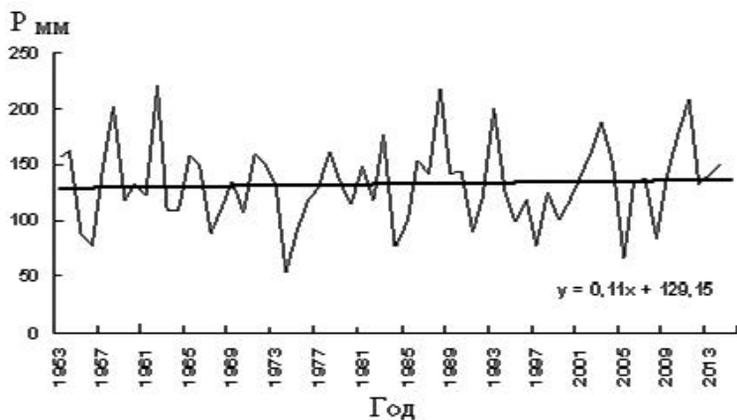


Рис. 7. Межгодовой ход осадков и его линия тренда по М Балхаш за 1953...2014 гг.

Для оценки влагообеспеченности любой местности используется коэффициент увлажнения – отношение количества выпавших в данном

месте осадков к величине возможного испарения, т.е. испаряемости. По существу, этот коэффициент показывает, в какой мере выпадающие осадки возмещают величину испаряемости, отражающую иссушающую способность воздуха. Средняя многолетняя величина испаряемости в Балхаше, определенная по известной формуле Л. Тюрка, адаптированной к аридным условиям Казахстана, равна 1100 мм. Значение коэффициента увлажнения оказалось равным 0,12. По известной классификации Н.Н. Иванова, город находится в зоне скудного увлажнения. В течение последних 60 лет величина коэффициента увлажнения находилась на среднем многолетнем уровне.

При решении ряда вопросов прикладной климатологии важное значение имеет степень континентальности климата, для расчета которой использована формула В. Горчиньского: $K = 1,7 \cdot A / \sin \varphi$, в которой A – годовая амплитуда температуры воздуха, °С; φ – географическая широта.

Среднее многолетнее значение индекса континентальности для Балхаша составляет 66 %, что соответствует континентальному, как и в Казахстане в целом, а не резко континентальному климату, как это трактуется в ряде учебников и монографий. Для справки: резко континентальный климат характерен для Средней (Восточной) Сибири, в междуречье Енисея и Лены, где континентальность превышает 70 %.

Выводы. За последние десятилетия индекс континентальности климата в Балхаше уменьшился на несколько процентов. Наиболее интенсивное снижение континентальности происходило в последней четверти прошлого и в начале нынешнего века.

Очевидно, уменьшение степени континентальности свидетельствует о том, что климат становится чуть более мягким для жизни живущих здесь людей. Жители города, хозяйствующие субъекты, планирующие органы, должны считаться с грядущими изменениями климата. Во всяком случае, эти изменения следует учитывать при разного рода расчетах элементов климата, при составлении перспективных планов и проектов более рационального использования климатических, водных и земельных ресурсов на территории Прибалхашья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Климат Казахстана. / Под ред. Утешева А.С. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 368 с.

УДК 556.536

Канд. геогр. наук Н.И. Ивкина¹А.В. Галаева¹

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ НА КАСПИЙСКОМ МОРЕ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ SWAN

Ключевые слова: спектральная волновая модель, высота волны, оперативный модуль ЕСИМО, скорость ветра

В статье рассмотрены возможности прогнозирования высоты волны на Каспийском море с помощью спектральной волновой модели SWAN. Приводятся результаты адаптации модели к условиям Каспийского моря. Показаны результаты сравнения высоты волны, смоделированной SWAN, оперативным модулем ЕСИМО (Россия) и Wave watch III (Турция).

Исследования ветрового волнения на морях и океанах имеют большое значение, так как данные по режимному волнению необходимы для нужд судоходства, компаний по добыче нефти и строительству в прибрежной зоне. Качественные и вовремя полученные данные, помогают предотвращать экологические и техногенные катастрофы и вести рациональное природопользование.

Хозяйственная деятельность человека в открытых водах Каспийского моря и вдоль его побережий в значительной степени зависит от погоды и состояния поверхности моря, особенно от условий волнения, которые часто являются решающим фактором, приводящим к ограничению или полному прекращению работ на море. В связи с этим прогноз волнения приобретает большое практическое значение, так как позволяет выбрать наиболее благоприятные пути прохождения морских судов и рационально спланировать сроки и место проведения каких-либо морских операций, тем самым обеспечить не только безопасность работ на море, но и повысить их экономическую эффективность [3].

Для эффективного прогнозирования ветровых волн в настоящее время применяется численное моделирование волнения с помощью современных моделей. Наиболее известные из них это SWAN, Wave Watch III, METU 3, RABM и другие [6]. Для прогнозирования ветрового волнения на

¹ Казгидромет, г. Алматы, Казахстан

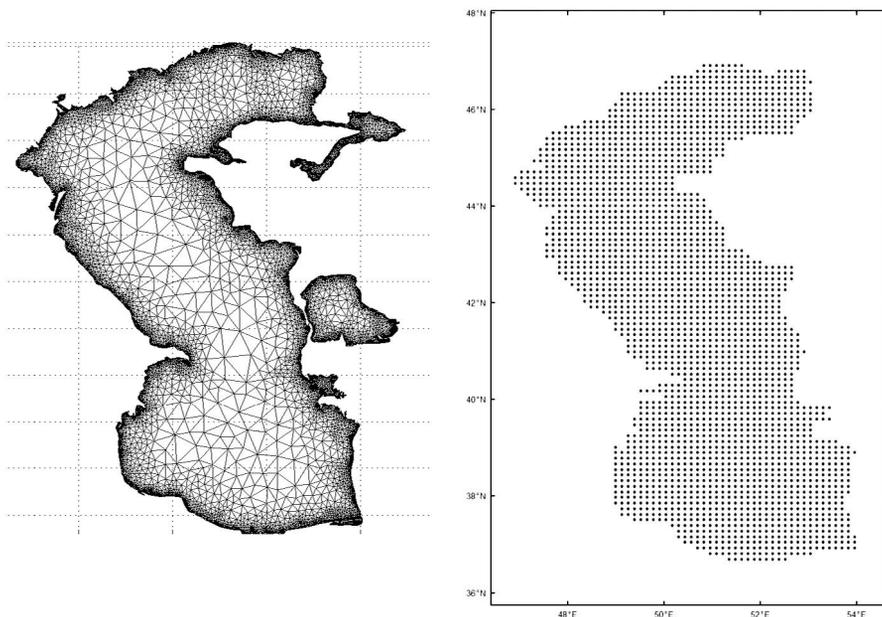
Каспийском море авторами была применена и адаптирована спектральная волновая модель SWAN. Эта модель активно используется в других странах, например, в России SWAN адаптирована для прогнозирования волнения в Цемесской бухте Черного моря [4] и Керченском проливе [5, 7].

Моделирование волнения на Каспийском море производилось с помощью модели SWAN версии 41.01. Эта модель была создана Дельфийским университетом технологий (Нидерланды) и находится в свободном доступе на их сайте [9]. SWAN является волновой моделью третьего поколения для получения параметров волн, как в прибрежных зонах, так и на открытой воде. Данная модель рассматривает состояние волнового поля в любой точке как суперпозицию бесконечного числа синусоидальных волн распространяющихся независимо друг от друга, представляющую собой плотность волновой энергии. Она основана на законе сохранения волнового действия и балансе волновой энергии, учитывает процесс рефракции волн, а также генерацию волн ветром, диссипацию волновой энергии и нелинейное резонансное взаимодействие [1, 8]. Причем диссипация волновой энергии учитывается в нескольких механизмах: обрушение гребней волн, трение о дно и обрушение волн на мелководье. Расчет по модели SWAN проводился в узлах сетки (регулярной и нерегулярной). Нерегулярная триангуляционная сетка была построена с помощью программы Triangle версия 1.6 (рис. 1а). Она представляет собой набор узлов с определенными значениями глубины и треугольников, со сторонами, соединяющими узлы. На рис. 1б приведена регулярная сетка Каспийского моря, созданная в программе ArcMap 10.1. Она представляет собой набор узлов с шагом 10×10 км с определенными значениями глубины. Расчеты проводились по двум сеткам одновременно.

В качестве входных параметров используются данные полей ветра с шагом сетки $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$. Данные о скорости и направлении ветра ежедневно поступают в РГП «Казгидромет» в соответствии с Соглашением из Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды с заблаговременностью 5 суток. Также одним из входных параметров является батиметрическая модель Каспийского моря (рис. 2), которая была построена в программе ArcMap 10.1.

В результате расчетов по модели SWAN получаем основные характеристики волнения в узлах выбранной сетки: координаты точки (X и Y), скорость и направление ветра в этой точке; значительная высота волны (Hsig); направление волнения (Dir); период волны и другие параметры,

расчет которых можно выбирать по желанию. Для составления прогноза ветрового волнения нам необходимо лишь два параметра – это значительная высота волны и направление волнения.



а *б*
Рис. 1. *а* – триангуляционная сетка; *б* – регулярная сетка
Каспийского моря.

Прогноз волнения производился как для отдельных точек Каспийского моря (например, форт Шевченко), так и для всей акватории моря. В работе [3] приведено полное описание адаптации модели и результат моделирования ветровых волн в районе форта Шевченко с использованием стационарного ветра, визуальных наблюдений и таблиц Бретшнейдера.

Также проводилось тестирование модели на основе имеющихся в РГП «Казгидромет» данных с буйковых станций. В частности, результаты расчета были сравнены с данными наблюдений морского буя №2, расположенного на открытой акватории моря. Период моделирования: 23.08.2016 – 24.08.2016 с шагом 1 час. В качестве входных характеристик был использован численный прогноз погоды, получаемый из Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды. Результаты сравнения приведены на рис. 3.

Как видно из данных рис. 3, смоделированные и наблюдаемые значения высоты волны очень хорошо согласуются.

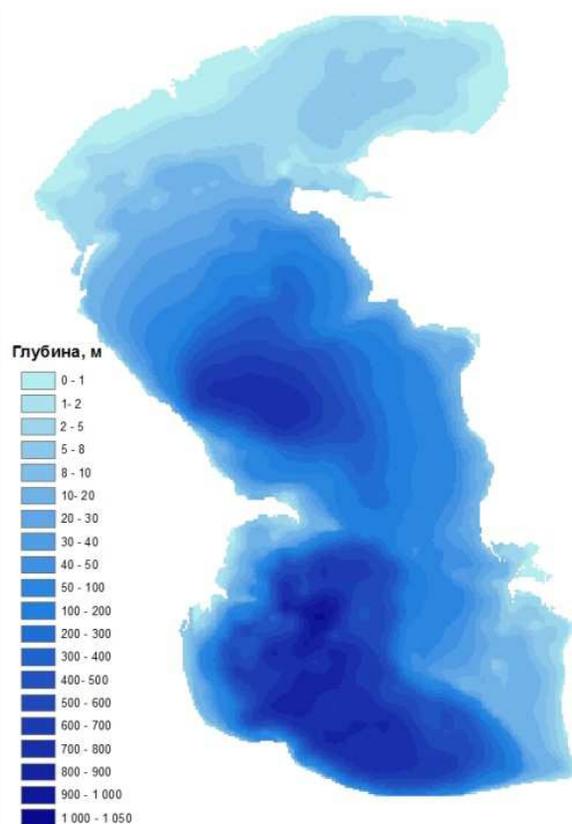


Рис. 2. Батиметрическая модель Каспийского моря.



Рис. 3. Результаты сравнения смоделированных (1) и наблюдаемых (2) с помощью SWAN значений высоты волны.

Однако, наблюдения на открытой акватории моря имеются лишь за короткий период и не достаточны для полного анализа и адаптации модели. Поэтому, для дальнейшей проверки модели, результаты расчетов по модели SWAN сравнивались с расчетами ученых Российской Федерации (оперативный модуль ЕСИМО) [2], и данными, смоделированными учеными из Турции с помощью модели Wave Watch III [10].

Для этого первым этапом оценки правильности прогнозов волнения явилась оценка прогнозируемого ветра. Прогнозы ветра, получаемые из Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП), сравнивались с прогнозами ветра, представленными оперативной продукцией систем среднесрочного метеорологического прогноза Гидрометцентра России и NCEP/NOAA. График скоростей ветра, представленный на рис. 4, наглядно показывает хорошую сходимость прогнозируемых значений скорости ветра разными системами. Данные о ветре анализировались в течение трехмесячного периода. Большинство исследуемых значений хорошо совпадали, но выявлялись случаи, когда значения прогнозируемой скорости ветра значительно отличались друг от друга. На рис. 5, для наглядности представлен такой случай. Прогнозируемые значения скорости ветра ЕЦСПП и Турецкой гидрометслужбой за 6...11 июня 2017 г. практически не имели совпадений. Это связано с тем, что прогноз скорости ветра ЕЦСПП и Турецкой гидрометслужбой рассчитываются по разным моделям и иногда имеют различия.

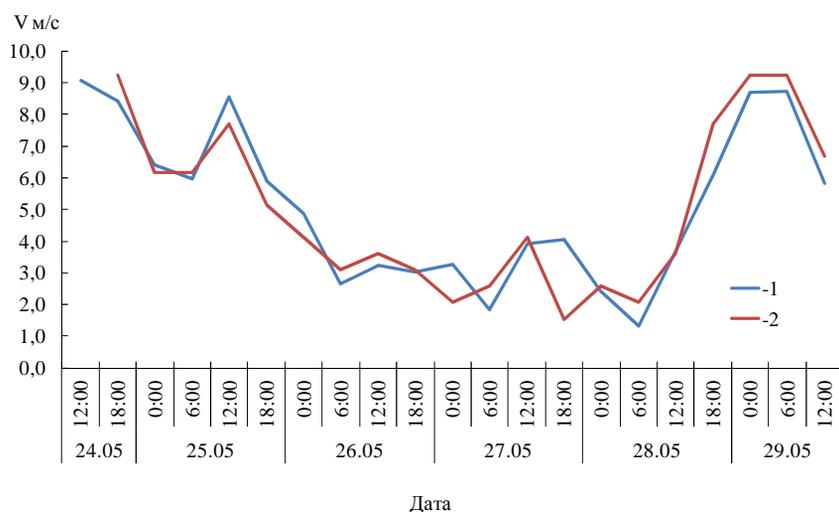


Рис. 4. Ветровые условия в бухте Баутино по данным европейского среднесрочного центра прогноза погоды (ЕЦСПП) (1) и по Турецким данным (2) за 24...29 мая 2017 г.

Модель SWAN удобна тем, что прогноз волнения можно получить абсолютно в любой точке акватории моря, можно прогнозировать волнение согласно координатам маршрута судов, можно выбирать координаты станций наблюдений или морских буев.

Для калибровки модели, мы рассчитывали прогноз ветрового волнения для района форта Шевченко. Это показательный район за счет особенностей ветрового режима, от влияния мысового эффекта полуострова Мангышлак, и для всего Каспийского моря в целом.

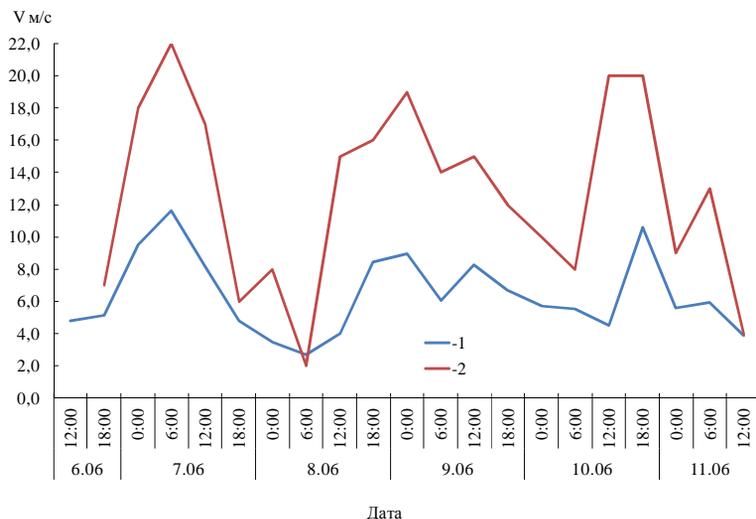


Рис. 5. Ветровые условия в бухте Баутино за 6...11 июня 2017 г.
Усл. обозн. см. рис. 4.

Прогнозируемые значения по модели SWAN сравнивались с прогнозируемыми значениями Гидрометцентром России (оперативный модуль ЕСИМО) и Турецкой гидрометслужбой, которые используют модель Wave watch III [2, 10]. На рис. 6 приведена величина совпадения прогнозируемых значений ветрового волнения в процентах. При оценке качества прогнозов применялась допустимая погрешность, равная $\pm 0,5$ м.

Как видно из данных, приведенных на рис. 6, за 7 месяцев испытаний, прогнозируемые авторами высоты ветрового волнения очень хорошо совпадают с высотой ветрового волнения, прогнозируемой Россией и Турцией. Сходимость результатов колеблется от 70 до 100 %.

На рис. 7 приведено визуальное сравнение результатов моделирования ветрового волнения разными моделями за 19 июля 2017 г., срок 9:00. Как показывают данные, приведенные на рис. 7, SWAN дает хорошие результаты моделирования.

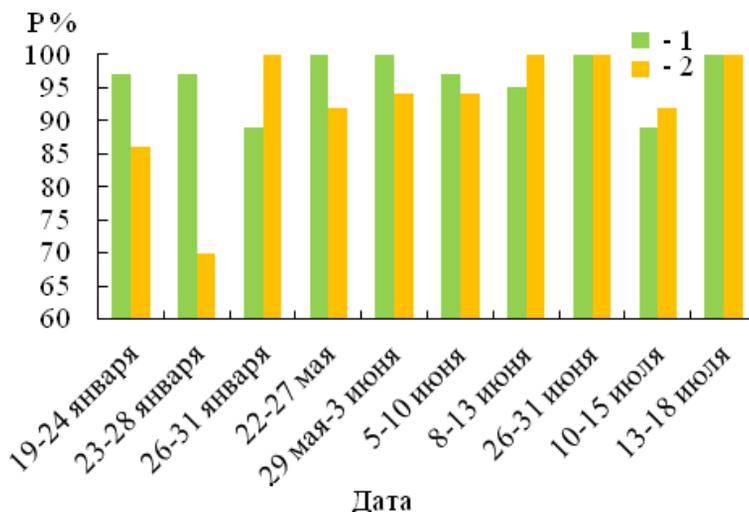


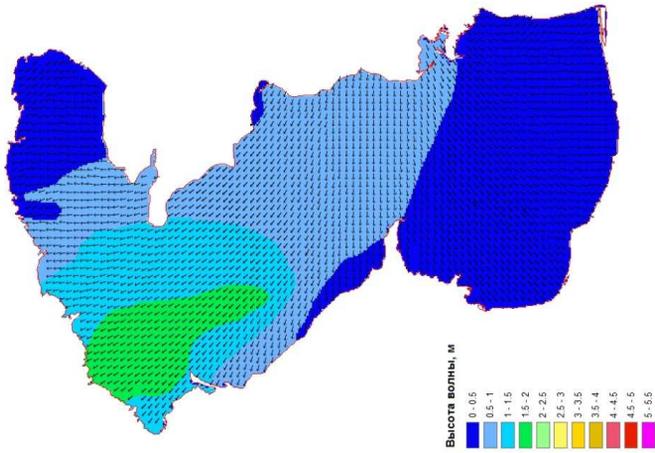
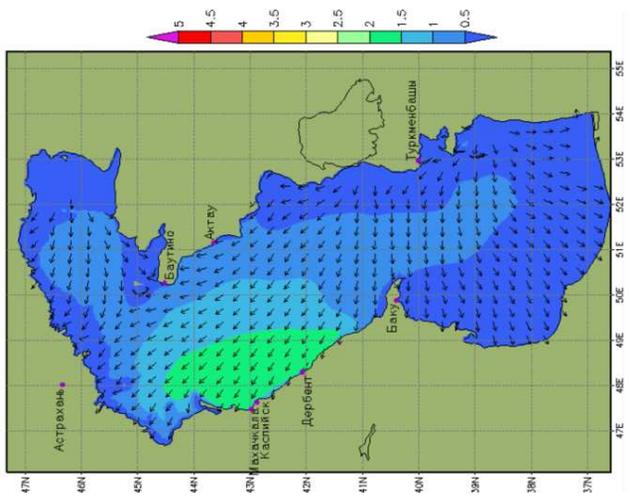
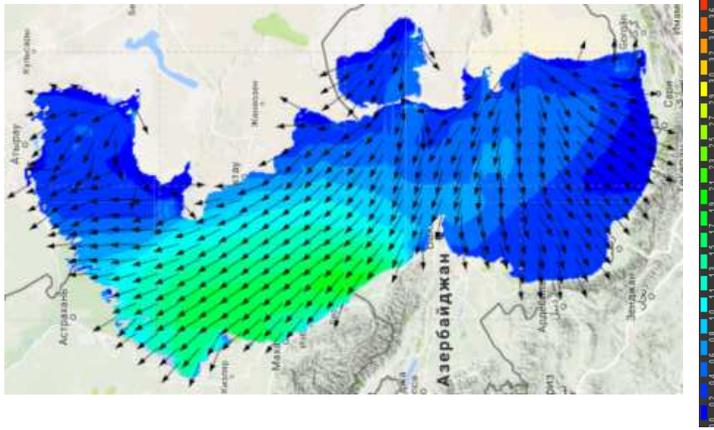
Рис. 6. Величина совпадения прогнозных значений ветрового волнения, смоделированных с помощью SWAN, Гидрометцентром России (оперативный модуль ЕСИМО) (1) и Турецкой службой с помощью Wave watch III (2).

Спектральная волновая модель SWAN была адаптирована для прогнозирования ветрового волнения на Каспийском море. Она может применяться в оперативной практике Казгидромета, а именно Управления гидрометеорологических исследований Каспийского моря, при прогнозировании ветрового волнения для нужд потребителей.

В настоящее время ведется работа по автоматизации процесса моделирования и по улучшению визуализации смоделированных параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демченко Р.И., Дикий П.В., Коломиец П.С. Оценка рефракции и диссипации волновой энергии в модели SWAN при исследовании трансформации нерегулярных волн на неоднородностях дна и генерации вдольбереговых течений // Математичні машини і системи. – № 3. – 2011.- С. 83-96. – [Электрон. ресурс]. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-difraksii-i-dissipatsii-volnovoy-energii-v-modeli-swan-pri-issledovanii-transformatsii-neregulyarnyh-voln-na-neodnorodnostyah>. (Дата обращения: 20.06.2016).
2. Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане. [Электронный ресурс]. – URL: http://193.7.160.230/web/esimo/casp/wwf/wwf_casp.php. (Дата обращения: 12.05.2017).



а

б

в

Рис. 7. Визуальное сравнение результатов моделирования ветрового волнения: а – Турецкой гидрометслужбой, с помощью модели Wave watch III; б – Российской гидрометслужбой, с помощью оперативного модуля ЕСИМО; в – Казгидрометом, с помощью модели SWAN, за 19 июля 2017 г., срок 09:00.

қарастырылады. Моделді Каспий теңізі жағдайына дағдылау нәтижелері келтіріледі. SWAN моделі, ЕСИМО жедел модулі (Ресей) және Wave watch III (Түркия) көмегімен есептелген толқын биіктіктерін салыстыру нәтижелері көрсетіледі.

Ivkina N.I., Galayeva A.V.

FORECASTING WIND WAVE IN THE CASPIAN SEA BY USING SWAN MODEL

Keywords: spectral wave model, wave height, ESIMO operational module, wind speed

The article shows the possibilities of forecasting the wave height in the Caspian Sea by using spectral wave model SWAN. The results of adaptation this model to the Caspian Sea conditions are presented. In addition, the results of comparing the wave height simulated by the SWAN, the operational module ESIMO (Russia) and Wave watch III (Turkey) are also shown.

УДК 556.048(574)

Доктор техн. наук	М.Ж. Бурлибаев ¹
Доктор геогр. наук	А.А. Волчек ²
PhD	Д.М. Бурлибаева ³

КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ ОЗЕРА БАЛКАШ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Ключевые слова: прогнозная модель, тренд, ряд Фурье, статистические параметры, независимый материал

Проведенная оценка степени однородности основных статистических характеристик временных рядов уровней воды оз. Балкаш за период инструментальных наблюдений, позволяет сделать вывод о наличии статистически значимых изменений в динамике среднегодовых уровней воды обусловленных как естественно-климатическими, так и антропогенными факторами гидрологического цикла. Показана возможность построения прогнозных моделей уровня воды озера с заблаговременностью в один год.

Введение. Озера являются уникальными водными объектами и имеют важное экономическое и экологическое значение. В Республике Казахстан имеется 48 262 озера, из которых 45 248 имеют площадь менее 1 км². Крупных озёр с площадью более 100 км² – 21. По территории Казахстана озёра расположены неравномерно. На северный Казахстан приходится 45 % всех озёр, на центральный вместе с южным – 36 %, в остальных регионах находится только 19 %. Общая поверхность озёр Казахстана достигает – 45 тыс. км². Общий объём воды – 190 км³. Они служат накопителями пресной воды, а также выполняют функцию регулирования поверхностных и подземных вод. В связи с тем, что водообмен в озерах замедлен, они являются более уязвимыми по сравнению с реками, могут служить чувствительным индикатором изменений большинства климатических факторов. В последнее время природно-климатические факторы и антропогенные воздействия вызвали трансформацию гидрологического режима озера Казахстана и в ряде случаев существенную. Поэтому появи-

¹ Казахское агентство прикладной экологии, г. Алматы, Казахстан;

² Брестский государственный технический университет, Беларусь;

³ Институт географии МОН РК, г. Алматы, Казахстан

лась необходимость экологического прогноза в условиях изменяющегося климата и антропогенных воздействий на водные объекты, которая ставит перед исследователями ряд конкретных задач по изучению эволюции озерных экосистем, разработке количественных, качественных диагностических, имитационных и прогностических моделей.

Существенной трудностью при моделировании гидрологического режима озер во времени является недостаток данных для ретроспективного анализа их эволюции. Кроме того, проблема усугубляется возрастающим антропогенным влиянием на водные экосистемы, сложностью выделения природных и антропогенных составляющих в наблюдаемых процессах. Индивидуальность в формировании водного режима озер требует в каждом конкретном случае отдельного рассмотрения. Однако создание математических моделей, отражающих объективные закономерности развития гидрологических процессов во времени, и построение прогнозов представляет значительный научный и практический интерес и разрабатывается в самых различных направлениях. Одной из главных количественных гидрологических характеристик озера является его уровень, с помощью которого можно выявить и отследить результаты тех или иных воздействий. Кроме того, данные об уровне озера требуются при решении ряда гидрологических и водохозяйственных задач [5, 7].

Целью настоящей работы является анализ временного ряда уровней воды оз. Балкаш (Балхаш) для выявления закономерностей в их колебании, количественной оценки трансформации гидрологического режима озерной экосистемы и построении прогнозных моделей.

Исходные материалы и методы исследования. Материалом для исследования послужили данные многолетних инструментальных наблюдений за уровнем воды оз. Балкаш, выполненные РГП «Казгидромет» Министерства энергетики Республики Казахстан.

Объектом изучения является оз. Балкаш, имеющее большое хозяйственное и природоохранное значение. Балкаш – бессточное полупресноводное озеро в Балкаш-Алакольской котловине на юго-востоке Казахстана, второе по величине непересыхающее солёное озеро (после Каспийского моря) и 14-е в списке крупнейших озёр мира. Уникальность озера состоит в том, что оно разделено узким проливом на две части с различными химическими характеристиками воды – в западной части она практически пресная, а в восточной – солоноватая. Озеро относится к Балкаш-

Алакольскому водохозяйственному бассейну и расположено сразу в трёх областях Казахстана: Алматинской, Жамбылской и Карагандинской.

Площадь озера составляет примерно 16,4 тыс. км² (2000 г.), что делает его самым крупным из озёр, целиком расположенных на территории Казахстана. Балкаш лежит на высоте примерно 340 м над уровнем моря и имеет форму полумесяца. Его длина составляет примерно 600 км, ширина изменяется от 9 до 19 км в восточной части, до 74 км – в западной. Длина береговой линии составляет 2385 км. Полуостров Сарыесик, расположенный примерно посередине озера, гидрографически делит его на две сильно отличающиеся части. Западная часть относительно мелководная и почти пресная, а восточная имеет большую глубину и солёную воду. Через формируемый полуостровом пролив Узынарал шириной 3,5 км вода из западной части пополняет восточную. Глубина пролива составляет около 6 м. На рис. 1 представлен космический снимок озера.



Рис. 1. Вид на озеро Балкаш. Снимок NASA, август 2002 г. Цифрами обозначены крупнейшие полуострова, острова и заливы: 1 – полуостров Сарыесик, разделяющий озеро на две части, и пролив Узынарал; 2 – полуостров Байгабыл; 3 – полуостров Балай; 4 – полуостров Шаукар; 5 – полуостров Кентубек; 6 – острова Бесарал и Ортаарал; 7 – остров Тасарал; 8 – залив Шемпек; 9 – залив Сарышаган.

Котловина озера состоит из нескольких маленьких впадин. В западной части Балкаша имеются две впадины глубиной до 7...11 м – одна из них протянулась с западного побережья от острова Тасарал до мыса Коржынтубек, вторая тянется на юге от залива Бертыс, который является самым глубоким местом западного Балкаша. Глубина впадины восточного Балкаша достигает 16 м, наибольшая глубина всей восточной части – 27 м.

Средняя глубина всего озера составляет 5,8 м, общий объём воды – около 112 км³. Береговая линия очень извилиста и расчленена многочисленными заливами и бухтами.

Балкаш-Алакольский бассейн имеет площадь 512 тыс. км², а его суммарный поверхностный сток в средний по водности год составляет 27,76 км³, включая 11,5 км³, поступающих с территории КНР. Площадь водосборного бассейна только озера Балкаш составляет около 413 тыс. км², причём 15 % его территории лежит на северо-западе Синьцзян-Уйгурского автономного района Китая, и небольшая часть – в Киргизии. Из суммарного стока Балкаш-Алакольского бассейна 86 % приходится на оз. Балкаш, сток р. Иле (Или) составляет до 12,3 км³/год. Иле, впадающая в западную часть озера, даёт 73...80 % всего притока воды. Другие реки, Каратал, Лепсы, Аягуз, Тентек, Коксу и Аксу приносят небольшой вклад в пополнение озера водой, потому что используются для орошаемого земледелия и хозяйственных нужд. Год от года сток пресных вод из маленьких рек сокращается и увеличивается процент ядохимикатов и вредных веществ [5, 7].

Климат окрестностей Балкаша является пустынным. Средняя температура июля составляет +30 °С, января – около -14 °С. Осадков в среднем выпадает 131 мм в год. Относительная влажность воздуха составляет 55...60 %. Средняя годовая скорость ветра около 4,5...4,8 м/с, причём в западной части озера преобладают северные ветры, а в восточной части – северо-восточные. Ветер вызывает на озере сильное волнение (высота волны может достигать 2...3,5 м), в западной части наблюдается постоянное круговое течение. Число солнечных дней составляет 110...130 в год, энергетическая освещённость – 15,9 МДж/м² в день. Сухой климат, ветра и температура приводят к большой скорости испарения воды – в прохладные годы норма составляет от 950 мм, а в засушливые достигает 1200 мм. Балкаш является теплым, хорошо прогреваемым озером. Температура воды на его поверхности колеблется от 0 °С в декабре до +28 °С в июле. Среднегодовая температура западной части озера равняется +10 °С, восточной – +9 °С. Каждый год озеро замерзает, и лед тут обычно есть с ноября до начала апреля, к тому же сход оледенения на востоке осуществляется с задержкой на 10...15 суток [5, 7].

Факторы, влияющие на формирование уровня режима воды озер можно условно разделить на две группы. К первой группе относятся глобальные факторы, которые касаются больших территорий, а ко второй – локальные факторы. Тогда уровень воды в озере можно представить как [1-4, 6]:

$$H(t) = H_{\phi}(t) \pm \Delta H_{\lambda}(t), \quad (1)$$

где $H(t)$ – уровень воды в озере в расчетном календарном году, см; $H_{\phi}(t)$ – фоновая составляющая в формировании уровенного режима озера в том же году, м; $\pm \Delta H_{\lambda}(t)$ – вклад в формирование уровенного режима озера локальных факторов, м.

Влияние глобальных факторов на формирование уровенного режима озера можно оценить с помощью различных моделей. В ряде случаев, с достаточной для практических расчетов точностью, можно описать с помощью линейных трендов:

$$H_{\phi}(t) = H_{\phi}(0) \pm \Delta H \cdot t; \quad (2)$$

где $H_{\phi}(0)$ – уровень воды в озере на начало расчетного периода, см; ΔH – скорость изменения уровня воды, см/год; t – календарный год.

Однако с увеличением временного ряда использование линейных моделей не всегда корректно. Кроме того, многие процессы, происходящие в природе, обладают свойствами повторяться через определенные промежутки времени, т.е. периодическими. Периодические процессы описываются функциями, составленными либо из конечного, либо из бесконечного числа слагаемых такого вида. Математическим аппаратом для исследования таких задач и служат ряды Фурье, для которых тригонометрические функции взяты в качестве базовых. В общем виде колебания фоновая составляющая уровней озера может быть представлена в виде [4]:

$$H_{\phi}(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_n^{\infty} (a_n \cdot \cos(n \cdot t) + b_n \cdot \sin(n \cdot t)), \quad (3)$$

где $a_0 = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{-\pi}^{\pi} f(t) dx$, $a_n = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \cdot \cos(n \cdot t) dx$, $b_n = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \cdot \sin(n \cdot t) dx$, $n = 1, 2, 3, \dots$ – коэффициенты ряда (коэффициенты Фурье).

Скорость изменения уровня воды в озере определяется как первая производная функции изменения уровенного режима. Для уравнения (2) скорость изменения уровней является величиной постоянной и равна коэффициенту регрессии. При описании динамики колебаний уровней воды в озере уравнениями отличными от линейных, скорость изменения уровенного режима является величиной переменной.

Разность между фактическим уровнем воды и модельной фоновой составляющей определяются, в основном, колебаниями погодных условий и влиянием локальных факторов.

Динамика локальной составляющей формирования уровенного режима воды озера может быть представлена в виде аддитивной функции.

$$\Delta H_{\lambda}(t) = H_u(t) \pm H_{\eta}(t), \quad (4)$$

где $H_u(t)$ – детерминированная функция, $H_{\eta}(t)$ – случайная составляющая.

Функцию $H_u(t)$ часто удается подобрать так, что процесс $H_{\eta}(t)$ оказывается значительно более простым, чем $\Delta H_{\lambda}(t)$, и тогда решение задач, связанных с этими процессами, существенно упрощается.

Для стационарных процессов практический интерес представляет выявление закономерностей в динамике формирования уровней воды: плавного возрастания или убывания (монотонный тренд), периодических изменений (циклический тренд), постоянства в течение каких-то периодов времени и резкого изменения при переходе от одного отрезка к другому (ступенчатый тренд). Все эти ситуации могут быть описаны полиномиальной аппроксимацией тренда вида [1]:

$$H_u(t) = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i \cdot \varphi_i(t), \quad (5)$$

где $\varphi_i(t) \dots \varphi_k(t)$ – заданные функции времени; $a_0 \dots a_k$ – коэффициенты регрессии.

Функции времени могут быть либо линейными, степенными, показательными или логарифмическими при монотонном тренде, либо тригонометрическими при циклическом и кусочно-постоянными при ступенчатом тренде. Во всех этих случаях параметры $a_0 \dots a_k$ оцениваются по имеющемуся ряду наблюдений $H_1 \dots H_n$.

Когда тренд явно не выражен, необходимо рассматривать совместно выборочные автокорреляционную (АКФ) и частную автокорреляционную (ЧАКФ) функции данного процесса, с помощью которых определяются характер изменения уровней воды озер. При этом используются следующие критерии оценки степени нестационарности процесса и выбора модели [1, 2] приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Критерии нестационарности процесса и выбора модели [1, 2]

АКФ	ЧАКФ	Вид модели
Экспоненциально затухает	Высокое значение лишь при $\tau = 1$	(АР(1)) авторегрессия первого порядка

АКФ	ЧАКФ	Вид модели
Форма затухания в виде синусоидальной волны или экспоненциально затухает	Высокое значение лишь при $\tau = 1, \tau = 2$	(АР(2)) авторегрессия второго порядка
Высокое значение при $\tau = 1$, остальные значения нулевые	Экспоненциально затухает или осциллирует с изменением знака	(СС(1)) скользящее среднее первого порядка
Высокое значение при $\tau = 1$ и $\tau = 2$, остальные значения нулевые	Форма синусоидальной волны или экспоненциально затухает	(СС(2)) скользящее среднее второго порядка
Экспоненциально затухает, начиная с $\tau = 1$ (затухание может быть монотонным или осциллирующим)	Экспоненциально затухающие значения ординат либо монотонно осциллирующие	(АР СС(1)) авторегрессия и скользящее среднее первого порядка

Вклад случайной составляющей в динамику формирования уровня режима можно определить как:

$$H_{\eta}(P_{\%}) = \overline{H}_{\eta}(\overline{\Phi}_{P_{\%}} \cdot C_v + 1), \quad (6)$$

где \overline{H}_{η} – среднее значение случайной составляющей испарения с водной поверхности, мм; $\overline{\Phi}_{P_{\%}}$ – число Фостера расчетной обеспеченности $P_{\%}$; C_v – коэффициент вариации.

Используя стандартные статистические методы, находят значения средней величины случайной составляющей (\overline{H}_{η}), коэффициенты вариации (C_v) и асимметрии (C_s). По найденным параметрам строят теоретическую кривую обеспеченности. По таблице случайных чисел путем розыгрыша моделируются значения обеспеченности (P_i). Таким образом, имея некоторый ограниченный объем информации можно получить, при принятом законе распределения, временной ряд уровней воды озера практически неограниченной длины.

При статистическом анализе временных рядов использованы следующие методики:

- для выявления тенденций изменений использовались хронологические графики колебаний и разностные интегральные кривые;
- для оценки различий в статистических параметрах использовался критерий Стьюдента и критерий Фишера:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{n_x \cdot \hat{\sigma}_x^2 + n_y \cdot \hat{\sigma}_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_x \cdot n_y \cdot (n_x + n_y - 2)}{n_x + n_y}}; \quad (8)$$

$$F = \frac{\hat{\sigma}_x^2}{\hat{\sigma}_y^2}; \quad (9)$$

где \bar{x} , \bar{y} – выборочные средние; $\hat{\sigma}_x^2$ и $\hat{\sigma}_y^2$ – выборочные дисперсии; n_x и n_y – объемы выборок.

Полученные значения критерия Стьюдента (t) и критерия Фишера (F) сравнивались с их критическими значениями при заданном уровне значимости $\alpha = 5\%$. Если $t > t_\alpha$, принимается гипотеза статистического различия двух выборочных средних, а при $F > F_\alpha$ принимается гипотеза статистического различия в колебаниях рассматриваемых рядов.

Для исследования цикличности использованы АКФ и ЧАКФ. Проведение более тонких исследований амплитудно-частотных характеристик процесса требует применения спектрального анализа. Для обнаружения характерных ритмов, анализа их устойчивости или, наоборот, изменчивости во времени, нами использована процедура спектрально-временного анализа (СВАН), который представляет спектральный анализ в скользящем временном окне. Длина окна выбирается исходя из требований о гармониках в наиболее широком частотном диапазоне, из требуемой детальности фактического частотного состава процесса. При слишком малом окне теряется информация о низких частотах, а при большом окне СВАН-диаграмма становится слишком зарегулированной. В нашем случае величина временного окна принята 11, 22, 33 и 44 года.

Анализ результатов исследований. Годовой ход колебаний уровня воды оз. Балкаш за время инструментальных наблюдений охватывает период продолжительностью 132 года, с 1879 по 2010 гг. (рис. 2). Временной ход колебаний уровня воды носит циклический характер. Среднее значение уровня воды за период наблюдений составило $H_{cp.} = 341,8$ м, минимальное значение наблюдалось в 1884 и 1885 гг. и составило $H_{min} = 340,52$ м, максимальное значение наблюдалось в 1908 г. и составило $H_{max} = 343,71$ м, размах колебаний составил $\Delta H = 3,19$ м.

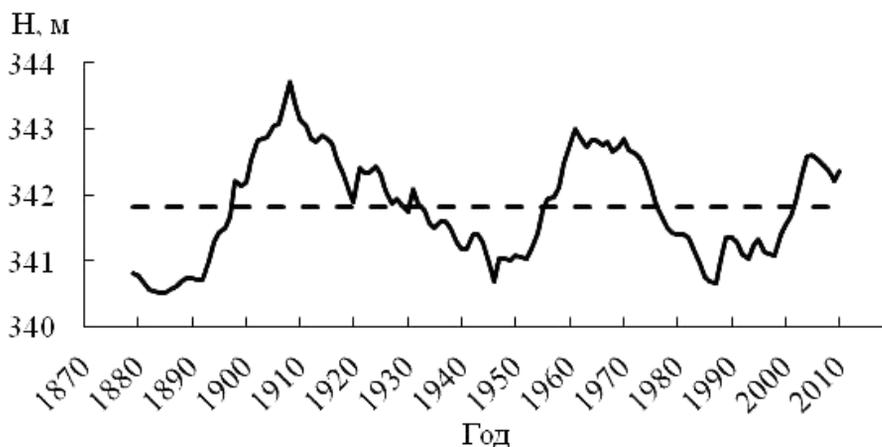


Рис. 2. Многолетний ход колебаний уровня вод оз. Балкаш. Пунктиром показано среднее многолетнее значение.

Площадь и объём озера сильно изменяются в соответствии с долговременными колебаниями и краткосрочными флуктуациями уровня воды. Долговременные колебания имеют амплитуду 12...14 м, минимальные значения пришлись на период с 5 по 10 век, а максимум уровня воды наблюдался с 13 по 17 век. В начале 20 века и в период с 1958 по 1969 год площадь озера увеличивалась до 18...19 тыс. км², а во время засух, например, в конце 19 века, а также в 30-х и 40-х годах 20 века, озеро сокращалось до 15,5...16,3 тыс. км². Амплитуда колебаний уровня воды в озере при этом составляла около 3 м. В 1946 году площадь поверхности озера составляла 15 730 км², а объём – 82,7 км³. На начало 2000-х годов озеро находилось в стадии уменьшения из-за отвода впадающих в него рек в хозяйственных целях. Так, на р. Иле в 1970 г. была построена плотина Капшагайской ГЭС, образовавшая Капшагайское водохранилище. При заполнении этого резервуара водный баланс Балкаша был нарушен, что вызвало ухудшение качества воды, особенно в восточной части озера. С 1970 по 1987 год уровень воды снизился на 2,2 м, а объём – на 30 км³. Проведённые исследования показали, что если бы естественный режим питания сохранился, то с 1975 по 1986 год наступила бы фаза сокращения озера, т.е. антропогенные и природные факторы воздействовали на экосистему озера в одном направлении. Предлагались варианты решения проблемы увеличения засоленности западной части, основывавшиеся на разделении озера плотиной, однако реализация подобных планов была невозможной из-за экономической ситуации в стране.

Локальный минимум уровня воды в озере (340,65 м) был зафиксирован в 1987 г. после окончания заполнения Капшагайского водохранилища, а в январе 2005 г. наблюдалось повышение уровня до 342,5 м, которое некоторые специалисты связали с большим количеством осадков, выпавших за последние годы.

Для удобства анализа колебания уровней воды озера, введены новые координаты, т.е. за ноль-графика принята отметка 340 м. Пересчет отметок выполнен по зависимости $h_i = H_i - 340$, где h_i – уровень воды озера в новых координатах.

Временной ход колебаний уровня воды оз. Балкаш отслеживался с помощью хронологических графиков. Анализ среднегодовых уровней воды озера свидетельствует о наличии в многолетнем ходе этих значений статистически значимых на 95 %-ном уровне локальных трендов. Исходя из характера колебаний уровня, выделено 5 интервалов, а именно: 1879...1908 гг., 1909...1946 гг., 1947...1961 гг., 1962...1987 гг., 1988...2010 гг., а также период инструментальных наблюдений 1879...2010 гг. Динамика уровня воды в озере носит сложный и неоднозначный характер. Для выделенных интервалов и периода наблюдений в целом построены линейные тренды и определены основные статистические характеристики: относительный средний уровень, коэффициенты вариации, асимметрии, автокорреляции, корреляции линейных трендов и средний градиент (изменения) уровня воды (табл. 2).

Таблица 2

Основные статистические параметры среднегодовых уровней воды оз. Балкаш за различные периоды осреднения

Период осреднения, год	$h_{cp.},$ м	Коэффициент				
		C_v	C_s	$r(1)$	r	$\Delta h \cdot м/10 лет$
1879...2010	1,82	0,44	0,15	0,97	0,05	0,01
1879...1908	1,56	0,67	0,64	0,99	0,93	1,10
1909...1946	2,02	0,32	0,17	0,96	-0,96	-0,57
1962...1987	2,01	0,39	-0,41	0,99	-0,96	-0,99
1988...2010	1,70	0,35	0,43	0,96	0,87	0,75

Примечание: Жирным выделены статистически значимые коэффициенты корреляции.

Анализ однородности уровней воды за различные интервалы. Рассмотрим устойчивость выборочных статистик (средних, коэффициентов вариации) при изменении интервалов осреднения применительно к среднегодовым уровням воды оз. Балкаш за период инструментальных наблюде-

ний. Для оценки различий в режиме уровней воды озера использованы статистические критерии Стьюдента (оценка выборочных средних, формула (8)) и Фишера (оценка выборочных дисперсий, формула (9)). В табл. 3 приведены результаты сравнительного анализа основных выборочных статистик на однородность для рассматриваемых интервалов осреднения.

Таблица 3

Эмпирические значения критерия Стьюдента (t) и критерия Фишера (F) для различных интервалов осреднения

Интервал осреднения					
	1879...1908	1909...1946	1947...1961	1962...1987	1988...2010
1879...2010	$t = 1,27$ $F = 1,71$	$t = 1,60$ $F = 1,46$	$t = 0,81$ $F = 1,32$	$t = 1,16$ $F = 1,01$	$t = 0,85$ $F = 1,80$
1879...1908		$t = 2,12$ $F = 2,50$	$t = 0,39$ $F = 2,26$	$t = 1,85$ $F = 1,72$	$t = 0,60$ $F = 3,09$
1909...1946			$t = 1,73$ $F = 1,11$	$t = 0,03$ $F = 1,45$	$t = 2,00$ $F = 1,23$
1947...1961				$t = 1,49$ $F = 1,31$	$t = 0,16$ $F = 1,37$
1962...1987					$t = 1,60$ $F = 1,79$

Примечание: Жирным выделены эмпирические критерии выше пороговых.

В результате анализа статистически значимые различия при уровне значимости $\alpha = 5\%$ были установлены только для интервалов 1879...1908 и 1909...1946 гг. Статистически значимые различия коэффициентов вариации выявлены для следующих интервалов: 1879...2010 и 1879...1908; 1879...1908 и 1909...1946; 1879...1908 и 1988...2010. Что касается коэффициентов автокорреляции, то статистически значимых различий не установлено.

Анализ цикличности в колебаниях среднегодовых уровней воды за период инструментальных наблюдений. Параллельно с концепцией случайности многолетних колебаний уровня воды необходимо рассматривать концепцию цикличности. Сложность в использовании циклов для прогноза уровня режима озер заключается в их аперiodичности, так как фаза, амплитуда и длительность цикла меняются без видимых закономерностей. Кроме того, пока нет единого мнения о природе этих циклов: отсутствует объективная методика выделения и анализа циклов уровней воды озер. Считается, что циклы обусловлены либо влиянием внешних (космофизических факторов), либо автоколебательными процессами в

системе атмосфера-гидросфера Земли, либо естественными свойствами любой случайной последовательности.

Анализ колебаний уровня воды оз. Балкаш начнем с использованием разностных интегральных кривых, так как они дают наглядное представление о характере колебаний (рис. 3). На рис. 3 в колебаниях средне-многолетних уровней воды Балкаша прослеживается определенная цикличность с затуханием размаха колебаний, которые вызваны антропогенными воздействиями.

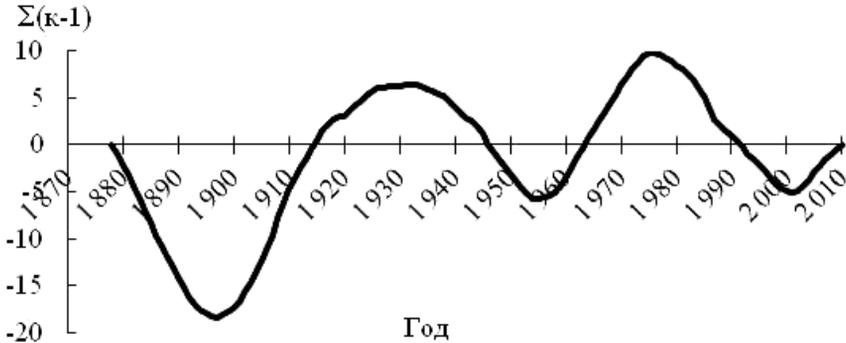


Рис. 3. Разностная интегральная кривая среднегодовых уровней воды озера Балкаш.

Далее используем прием скользящих средних с различными периодами осреднения: 11, 22 и 33 года (рис. 4). Как видно длина первой гармоники по максимальным величинам составляет 54 года, а по минимальным – 64 года, а для второй гармоники эти длины равны 42 и 40 лет соответственно. Для модельных рядов с периодом осреднения 11 лет длина первой гармоники по максимальным величинам составляет 58 лет, по минимальным – 63 года. При 22 летнем осреднении 58 и 56 лет соответственно; при 33 летнем осреднении 54 и 44 года соответственно. При этом как для реальных уровней воды, так и модельных уровней наблюдается уменьшение амплитуды колебаний уровней и сокращение длины гармоник.

На следующем этапе исследования периодичности в колебаниях среднегодовых уровней воды оз. Балкаш использованы более сложные модели. Была испытана полиномиальная модель 6 порядка. Модель удовлетворительно описывает наблюдаемые уровни (коэффициент корреляции $r = 0,80$), учитывает неравномерность амплитуды колебания и длины лага. Главным недостатком данной модели является заниженная амплитуда колебания и большая сглаженность отдельных колебаний, что в значительной степени упрощает реальную картину. Модель колебания уровней во-

ды с использованием преобразования Фурье в значительной степени приблизилась к реальному ходу, коэффициент корреляции $r = 0,87$. Главным недостатком данной модели является постоянность амплитуды колебаний и длины лага. В действительности, в силу антропогенных воздействий, амплитуда и длина лага уменьшаются. Поэтому в модель разложения в ряды Фурье введены соответствующие коэффициенты. Это позволило несколько улучшить представление хода уровней ($r = 0,89$). В табл. 4 приведены статистические параметры исходного ряда и полученных моделей.

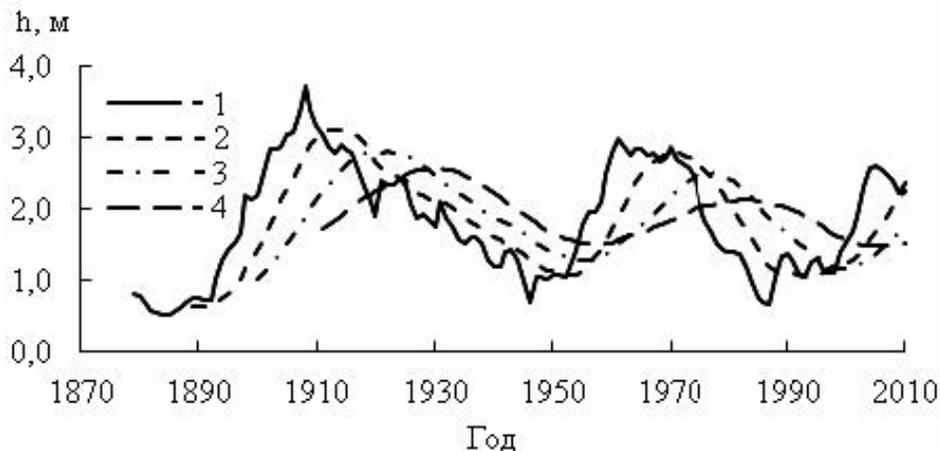


Рис. 4. Хронологический ход среднегодовых уровней воды оз. Балкаш и скользящие средние с различными периодами осреднения. 1 – уровень озера, 2 – 11-летний период осреднения, 3 – 22-летний период осреднения, 4 – 33-летний период осреднения.

Таблица 4

Статистические параметры наблюдаемых и смоделированных временных рядов уровней воды озера Балкаш

Параметр	Ряд		
	исходный	модель Фурье	модель Фурье (уточненная)
$h_{cp.}$, м	1,82	1,82	1,82
C_v	0,44	0,38	0,39
C_s	0,15	0,19	0,08
h_{max} , м	3,71	2,93	3,07
h_{min} , м	0,52	0,86	0,56
Размах, м	3,19	2,07	2,51

Главный недостаток полученных моделей заключается в том, что они сужают диапазон возможных колебаний и сглаживают колебания с

короткими периодами. Модель Фурье (уточненная) в большей степени отражает реальную картину колебаний уровня воды.

Анализ выборочных АКФ показал наличие устойчивых циклов (рис. 5). Коэффициенты автокорреляции носят синусоидальный характер.

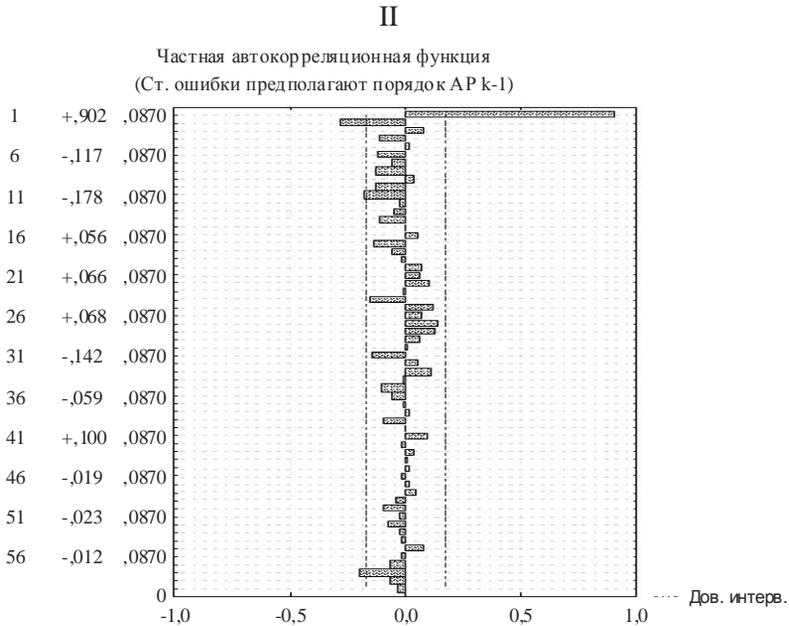
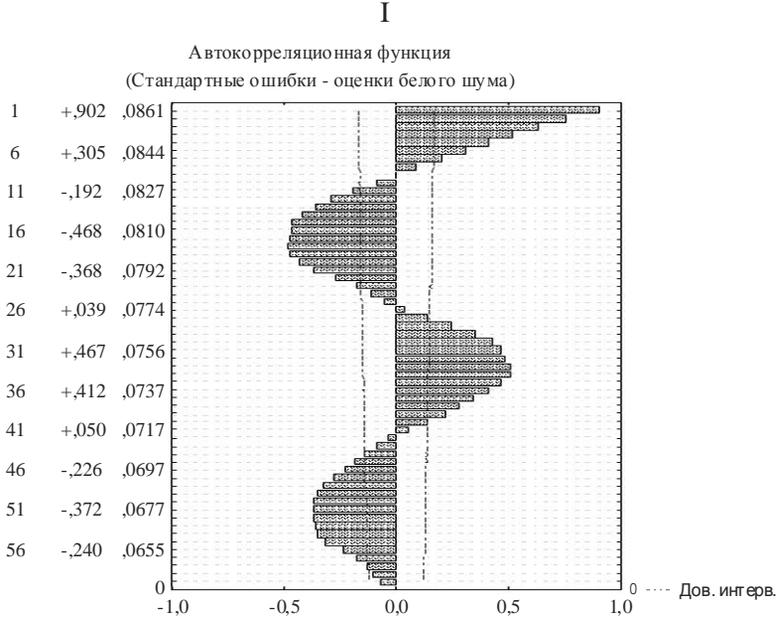


Рис. 5. Автокорреляционная функция (I) и частная автокорреляционная функция (II) среднегодовых уровней воды оз. Балкаши.

Статистически значимые положительные значения коэффициентов корреляции имеют место при $\tau = 1...7; 28...40$ и отрицательные – при $\tau = 11...23; 44...58$. ЧАКФ имеет значимые коэффициенты корреляции при $\tau = 1$ и $\tau = 2$, причем они имеют разные знаки, т.е. находятся в антифазе колебаний. Можно отметить, что и при $\tau = 11$ коэффициент корреляции также значим, и имеет отрицательное значение.

СВАН-анализ временного ряда среднегодовых уровней воды оз. Балкаш выполнен с длиной временного окна 11, 22, 33 и 44 года. С помощью данного анализа удалось выделить и дать количественную оценку длиннопериодических колебаний уровня, в частности обосновать 54 летний сдвиг, который использован при построении модели Фурье.

Как показала практика применение спектрального анализа и методов отыскания скрытых периодичностей результаты в моделях прогноза не дали положительного результата [2]. К числу слабых сторон такого подхода помимо неустойчивости циклов относится и возможность их физической (генетической) интерпретации. Последнее характерно и для всех методов, разработанных в рамках статистической концепции.

В связи с тем, что рассматриваемые методы дают сравнимые результаты, использование принципа цикличности (квазипериодичности) при анализе и прогнозе многолетних колебаний среднегодовых уровней воды оз. Балкаш допустимо.

Построение прогнозных моделей. Исходя из вышесказанного, фоновую составляющую ($H_{\phi}(t)$) в формировании среднегодовых уровней воды оз. Балкаш удалось представить, с достаточной для практики точностью, с помощью модели разложения в ряд Фурье с переменной амплитудой колебания:

$$\begin{aligned}
 h_{\phi}(t) = & 1,90767 + 1,11841 \cdot \cos(0,938522 \cdot (t - 1878)) - 1,18471 \cdot \cos(0,938706 \cdot (t - 1878)) + \\
 & + (0,004 \cdot (t - 1878) - 0,666009) \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot (t - 1878)}{54 - 0,03 \cdot (t - 1878)}\right) - 2,00086 \cdot \sin(0,938522 \cdot (t - 1878)) + \\
 & + 1,93561 \cdot \sin(0,938706 \cdot (t - 1878)) + (0,004 \cdot (t - 1878) - 1,1366) \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot (t - 1878)}{54 - 0,03 \cdot (t - 1878)}\right).
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Хронологический ход $\pm \Delta H_{\phi}(t)$ определенной как разница между наблюдаемыми и смоделированными уровнями воды по формуле (10), представлен на рис. 6.

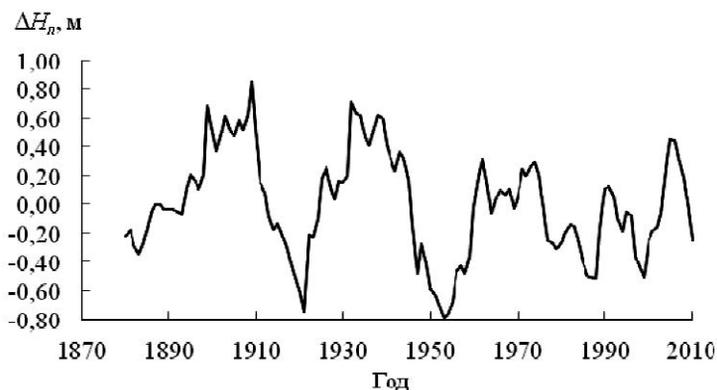


Рис. 6. Хронологический ход $\pm\Delta H_n(t)$.

В связи с тем, что тренд явно не выражен, воспользуемся совместным анализом выборочных АКФ и ЧАКФ данного процесса (рис. 5), с помощью которых определяем характер изменения среднегодовых уровней воды. При этом используем рекомендации приведенные в табл. 1. В нашем случае АКФ синусоидально затухает, а ЧАКФ имеют значительную величину при $\tau = 1, 2$ и 11 тогда как все остальные значения их ординат статистически незначимы и характеризуются чередованием положительных и отрицательных значений (рис. 5). Следовательно, рассматриваемый процесс колебания уровней воды озера может быть идентифицирован авторегрессионной моделью третьего порядка. Статистически значимыми и включенными в модель являются $\tau = 1, 2$ и 11 . Это служит основанием для описания среднегодовых уровней воды в виде сложной цепи Маркова сдвигом до 11 лет. На основании анализа цикличности во временных рядах с помощью АКФ и ЧАКФ удалось построить прогнозную модель позволяющую дать оценку динамики процесса с заблаговременностью в 1 год, т.е.:

$$h(t+1) = 0,000652 + 1,114119 \cdot h(t) - 0,243828 \cdot h(t-1) - 0,098143 \cdot h(t-10), \quad (11)$$

где $h(t+1)$ – прогнозируемый уровень воды в последующем году, м; $h(t)$, $h(t-10)$ – уровни воды в предшествующем году и уровень воды в $(t-10)$ -ом году.

Коэффициент корреляции модели $r = 0,92$.

При прогнозировании уровня воды авторами дополнительно учитывались два фактора: прогнозное значение не должно быть больше (меньше) соответствующего максимального (минимального) значения; изменение прогнозируемых величин $(h(t+1) - h(t))$ не должно быть больше наблюдаемых. Хорошее совпадение наблюдаемых и смоделиро-

ванных значений уровня свидетельствуют о корректности используемой модели. Графическая интерпретация результатов моделирования представлена на рис. 7. Так в диапазон $\pm 5\%$ попало 49,6 % всех точек, в 10 % – 80,2 %, в 15 % – 91,0 %, в 20 % – 93,4 %, в 25 % – 97,5 %, в 30 % – 99,2 %.

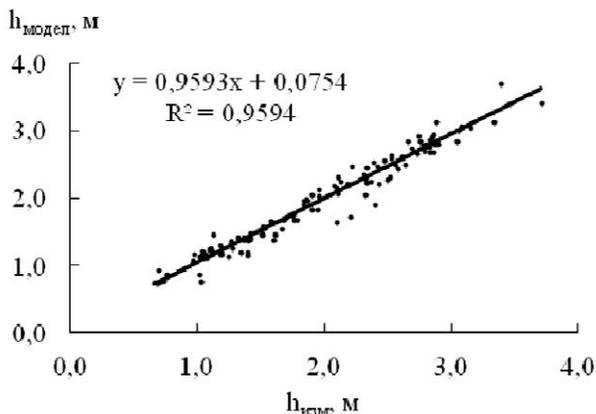


Рис. 7. Фактические и прогнозные уровни воды оз. Балкаш.

Значение основных статистических характеристик временных рядов наблюдаемых и смоделированных годовых уровней воды Балкаш представлен в табл. 5. Незначительное расхождение статистических параметров свидетельствует о корректности и практической значимости предлагаемой методики моделирования годовых уровней воды озера Балкаш.

Таблица 5

Статистические параметры наблюдаемых и смоделированных временных рядов уровней воды озера Балкаш за период с 1890 по 2010 гг.

Параметр	Ряд		
	наблюденный	смоделированный	расхождение
$h_{ср.}$, м	1,92	1,92	0
C_v	0,38	0,38	0
C_s	0,15	0,20	0,05
$r(1)$	0,97	0,96	-0,01
$r(t)$	-0,21	-0,17	0,04
h_{max} , м	3,71	3,69	-0,02
h_{min} , м	0,66	0,74	0,08
Размах, м	3,05	2,96	-0,09

В заключение проведено тестирование предлагаемой методики на независимом материале, т.е. уровнях воды озера за период с 2011 по

2015 гг., которые не использовались в анализе и построении прогнозных моделей.

Алгоритм прогнозирования уровня воды с дискретностью в один год состоит из следующих шагов:

- принимаем за ноль-графика отметку 340 м и переходим к условным уровням по зависимости $h_i = H_i - 340$;

- используя данные наблюдений за период 1879...2010 гг., моделируем фоновую составляющую ($H_\phi(t)$) с помощью разложения в ряд Фурье с переменной амплитудой колебания (по формуле (3)), которая имеет вид уравнения (10);

- определяем разницу между наблюдаемыми уровнями воды и фоновыми значениями $\pm \Delta H_x(t)$;

- по результатам анализа цикличности с помощью АКФ и ЧАКФ подбираем прогнозную модель уравнение (11);

- используем формулу (1), получаем прогнозное значение уровня воды в озере для будущего года;

- вычисляем величину изменения уровня и сравниваем с наблюдаемым. Если эти изменения превышают абсолютные значения исследуемого ряда, принимаем максимальные значения;

- включаем полученное значение в исследуемый ряд и повторяем процедуру начиная со второго пункта.

Используя приведенную методику и алгоритм расчета, получены прогнозные значения уровня воды озера Балхаш за период с 2011 по 2015 гг., которые представлены в табл. 6.

Таблица 6

Измеренные и прогнозные значения среднегодовых уровней воды озера Балхаш за период с 2011 по 2015 гг.

Год	Абсолютные уровни, м		Уровни относительно ноль-графика, м			Ошибка прогноза	
	измеренные	прогнозные	прогнозные	фоновые	локальные	абсолютная, м	относительная, %
2011	342,74	342,42	2,42	2,50	-0,08	-0,32	-11,5
2012	342,79	342,80	2,80	2,49	0,31	0,01	0,28
2013	342,50	342,76	2,76	2,47	0,29	0,26	10,5

Год	Абсолютные уровни, м		Уровни относительно ноль-графика, м			Ошибка прогноза	
	измеренные	прогнозные	прогнозные	фоновые	локальные	абсолютная, м	относительная, %
2014	342,27	342,42	2,42	2,49	-0,07	0,15	6,41
2015	342,15	342,22	2,22	2,51	-0,29	0,07	3,14

Полученные результаты показывают приемлемые для практики результаты, а методика исследования и алгоритм прогнозирования могут использоваться для анализа динамики уровней воды других озер.

Выводы. Проведенная оценка степени однородности основных статистических характеристик временных рядов уровней воды оз. Балкаш за период инструментальных наблюдений, позволяет сделать вывод о наличии статистически значимых изменений в динамике среднегодовых уровней воды обусловленных как естественно-климатическими, так и антропогенными изменениями гидрологического цикла. При анализе закономерностей многолетних колебаний уровня воды использование методов теории случайных процессов должно сочетаться с анализом генезиса рассматриваемого процесса и определяющих его природно-хозяйственных факторов, прежде всего климатических.

Показана возможность построения прогнозных моделей уровня воды озера с заблаговременностью в один год. Вся сложность построения прогнозных моделей заключается в их индивидуальности, наличии большого объема исходной информации и невозможности оперативной оценки полученных результатов. Кроме того, неоднородность временных рядов уровня воды в озере создает дополнительные трудности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление – М.: Мир, 1974. Вып. 1. – 406 с.
2. Исмайылов Г.Х., Федоров В.М. Анализ многолетних колебаний годового стока Волги // Водные ресурсы. – 2001. – Т. 28. – №5. – С. 517-525.
3. Логинов В.Ф., Волчек А.А. Изменение испарения с водной поверхности на территории Белоруссии // География и природные ресурсы. – 2005. – №2. – С. 137-144.

4. Логинов В.Ф., Волчек А.А., Волобуева Г.В. Изменение ветрового режима на территории Беларуси в 20 в. // Природные ресурсы. – 2005. – №4. – С. 5-12.
5. Проблемы гидроэкологической устойчивости в бассейне озера Балхаш. / Под ред. Самаковой А.Б. – Алматы, «Каганат», 2003. – 584 с.
6. Раткович Д.Я. Многолетние колебания речного стока – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 255 с.
7. Современное экологическое состояние бассейна озера Балхаш. / Под ред. Кудекова Т.К. – Алматы: «Каганат», 2002. – 388 с.

Поступила 27.04.2017

Техн. ғылымд. докторы	М.Ж. Бурлибаев
Геогр. ғылымд. докторы	А.А. Волчек
PhD	Д.М. Бурлибаева

КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРУ ЖАҒДАЙЫНДА ДЕҢГЕЙІНІҢ АУЫТҚУЫ БАЛҚАШ КӨЛІ

Түйінді сөздер: болжалды моделі, Фурье қатарына тренд, статистикалық параметрлері, тәуелсіз материалдық

Уақыт сериясы көл су деңгейінің негізгі статистикалық сипаттамаларын біртектілігі дәрежесін бағалау. Аспаптық жазба Балқаш, гидрологиялық цикл екі табиғи-климаттық және антропогендік факторларға байланысты орташа жылдық су деңгейінің динамикасы статистикалық маңызды өзгерістер болуын ұсынады. Бір жыл қорғасын уақыт көл су деңгейінің болжамды модельдерін құру мүмкіндігі.

Burlibayev M.ZH., Volchek A.A., Burlibayeva D.M.

FLOWING OF THE WATER LEVEL OF LAKE BALKHASH IN THE CONDITIONS OF A CHANGING CLIMATE

Keywords: forecast model, trend, Fourier series, statistical parameters, independent material

The evaluation of the degree of homogeneity of the basic statistical characteristics of the time series of water levels in Lake Baikal. Balkash during the period of instrumental observations allows us to conclude that there are statistically significant changes in the dynamics of average annual water levels caused by both natural climatic and anthropogenic factors of the hydrological cycle. The possibility of constructing predicted models of the lake water level with a lead time of one year is shown.

УДК 556.048

Доктор геогр. наук Р.И. Гальперин¹Канд. геогр. наук А.Г. Чигринец¹**ОЦЕНКА ГОДОВОГО МЕСТНОГО, ТРАНЗИТНОГО И СУММАРНОГО СТОКА ПО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫМ УЧАСТКАМ ЕРТИССКОГО ВХБ**

Ключевые слова: водные ресурсы, приток, местный сток, норма стока, обеспеченность, дефицит воды, гидрологический пост, бассейн реки, межприточный участок

Для Ертысского ВХБ произведена оценка ресурсов речного стока в разрезе водохозяйственных участков. Рассчитаны: приток, местный сток, сток изученных, неизученных рек и межприточных пространств. Рассчитаны обеспеченные величины стока. Подготовлен материал для прогноза стока на ближайшие десятилетия.

В отдаленном будущем человечеству пророчат немало серьезнейших проблем, но вполне очевидно, что в 21 веке главной из них будет проблема водных ресурсов. Как сформулировано в документе ВМО [1]: «в течение ближайших 50 лет проблемы, связанные с недостатком воды или загрязнением водных объектов, скажутся по существу на каждом жителе планеты». К сожалению, Казахстан – не исключение. Более того, для нас эта проблема особенно остра, и мы с ней сталкиваемся уже сегодня. Это обусловлено рядом вполне объективных обстоятельств:

- природной скудностью водных ресурсов территории РК (она составляет почти 2 % всей территории суши, но на нее приходится всего 0,20...0,25 % стока всех рек мира, при этом регион характеризуется самой высокой в мире градацией водного стресса [8]);

- трансграничным характером самых значительных рек РК (Ертыс, Иле, Жайык, Сырдария и др. реки приходят к нам из-за границы, в результате мы не хозяева почти половины суммарного стока наших рек);

- исключительной, рекордной для континента [6], изменчивостью стока рек значительной части нашей территории, что обуславливает наступление на них очень маловодных лет;

¹ КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

- высокой внутригодовой изменчивостью равнинных рек территории (особый «казахстанский» тип по Б.Д. Зайкову), в итоге почти весь сток проходит в короткий весенний период, а большую часть года реки очень маловодны или вообще пересыхают;

- общеклиматической тенденцией, ведущей к уменьшению речного стока на соответствующих широтах внутриконтинентальных областей Евразии;

- деградацией горного оледенения, что с неизбежностью приведет в дальнейшем к исчезновению имеющейся сейчас «ледовой надбавки» к стоку рек, формирующемуся в высокогорье, в итоге их сток снизится.

К этому следует добавить влияние антропогенной деятельности, мягко говоря – не идеальное современное использование наличных водных ресурсов. В итоге водная проблема грозит стать тормозом успешному хозяйствованию в будущем и весьма неприятными экологическими последствиями.

Естественно, данному вопросу должно быть уделено серьезнейшее внимание. Что и делается. Президентом РК поставлена задача – к 2050 г. «раз и навсегда решить проблему водообеспечения» в Казахстане [4]. И, естественно, необходимо иметь четкое представление о водных ресурсах (речных, в самую первую очередь). И не только об общих, но и в пределах каждого из восьми водохозяйственных бассейнов (ВХБ), а в их пределах – каждого водохозяйственного участка (ВХУ).

Такая задача была поставлена в разрезе научной Программы Водная безопасность республики Казахстан: Геопространственная информационная система «Водные ресурсы Казахстана и их использование», по заданию: «Ресурсы речного стока: ретроспективное и перспективное состояние», выполняемой под эгидой Института географии МОН РК. Ниже приведены основные результаты первого этапа этих исследований в разрезе Ертисского ВХБ. Этот ВХБ имеет особую важность для Казахстана в аспекте водохозяйственной проблемы. Ведь его территория, составляя всего 12 % от общей площади Республики, располагает примерно третью всех ее речных водных ресурсов. И примерно 2/3 этого суммарного стока формируется именно в пределах казахстанской части бассейна. К тому же, поскольку основной сток формируется в горах, здесь сравнительно благоприятное его внутригодовое распределение. И межгодовые изменения стока также не столь значительны как в некоторых других районах Казахстана. Наконец, сток крупных рек, питающихся с гор, не так сильно зависит от ледниковой составляющей, как, например, на юге и юго-востоке страны.

Река Ертыс (Иртыш) уже сейчас является водным донором Центрального Казахстана (по каналу им. К.И. Сатпаева). Эта его донорская роль неизбежно усилится в будущем. В частности, именно вода данного ВХБ, в случае необходимости, будет использована для спасения от высыхания оз. Балхаш [2]. Более того, Институтом географии предложена обновленная схема самотечного Трансказахстанского канала Ертыс-Сырдария с водозабором из Шульбинского водохранилища с целью повышения водообеспеченности бассейнов рек Есиль, Нура, Тобыл, Сырдария [2, 3].

Общая характеристика Ертысского ВХБ. Ертысский ВХБ включает восемь водохозяйственных участков (ВХУ). Схема расположения этих ВХУ представлена на рис. 1.

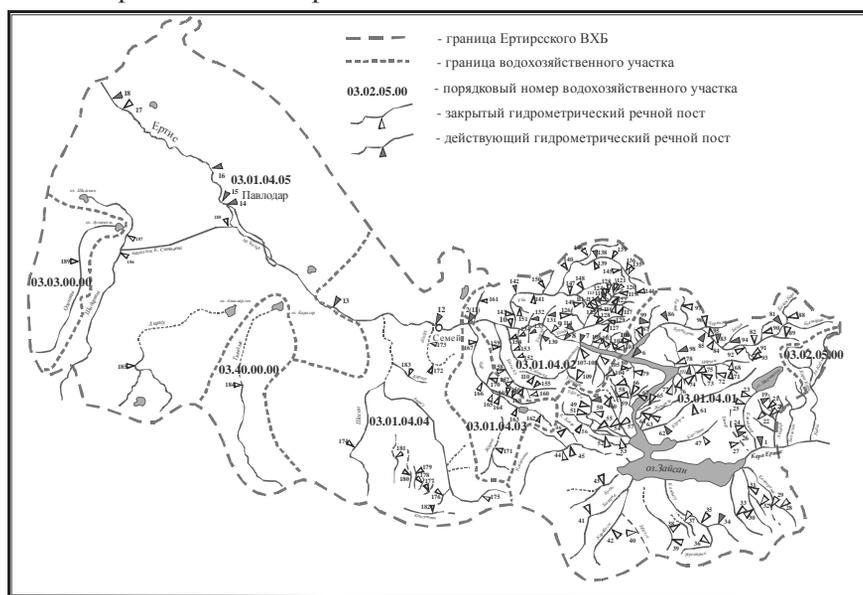


Рис. 1. Схема расположения водохозяйственных участков и пунктов гидрологических наблюдений в Ертысском водохозяйственном бассейне. ВХУ Ертысского ВХБ.

Участок 03.02.05.00 – бассейны рек Кара-Коба и Ак-Коба. Суммарная площадь 3618 км². Верховья Ак-Кобы, притока Кара-Кобы, относятся к КНР, а сама Кара-Коба с территории РК уносит свои воды в КНР.

Участок 03.01.04.01. Площадь 92646 км². Суммарная площадь водосборов рек как изученных, так и неизученных, 57380 км², суммарная площадь межприточных участков 34350 км². Транзитный приток из КНР осуществляется по р. Кара-Ертыс.

Участок 03.01.04.02 включает, в частности, бассейны крупных рек Оба и Ульби. Общая площадь 29867 км², из них суммарная площадь водо-

сборов изученных и неизученных рек 23828 км², а межприточных участков 6039 км².

Участок 03.01.04.03 включает реки Шар и Жарму, сток формируется на хр. Калба и отрогах Шынгызтау. Площадь участка 15538 км², из них межприточные участки занимают 11430 км², а водосборы рек – всего 4158 км².

Участок 03.01.04.04. включает бассейны рек Шаган, Ащису, а также мелкие водотоки, стекающие с северного склона хребта Шынгызтау. Площадь участка равна 63912 км². Правобережье Ертиса здесь практически бесприточно.

Участок 03.40.00.00. Площадь участка 16542 км², из них 5120 км² приходится на водосбор р. Тюндык до створа г. Аркалык. Неизученные в гидрологическом отношении площади составляют 11412 км². Водные ресурсы представлены исключительно местным стоком.

Участок 03.01.04.05 имеет площадь 115318 км². Отсюда сток по Ертису уходит на территорию России. В отток с участка включается также переброска стока р. Ертис по каналу им. К.И. Сатпаева.

Участок 03.03.00.00. Здесь протекает р. Оленты. Площадь участка 11718 км². Суммарный местный сток и представляет суммарные водные ресурсы участка, поскольку ни внешнего притока к нему, ни оттока из него нет.

Исходная информация. Для оценки ресурсов каждого ВХУ требуется оценка притока к нему воды извне и местного стока, формирующегося непосредственно на территории участка. Здесь, в свою очередь, требовалось оценить сток изученных в гидрологическом отношении рек, сток неизученных водотоков, а также сток с межприточных участков.

Основополагающей информацией, естественно, должны послужить данные сети гидрологических постов.

Хотя в рассматриваемом бассейне в разное время функционировало более 200 гидрологических постов, причем первый из них собственно на Ертисе с 1899 г. (работает и сейчас), стационарная изученность сложной по своему строению территории ВХБ недостаточна для вполне надежной оценки водных ресурсов. Как правило, ряды неполные, нуждаются в реконструкции. Более 20 лет функционировало 44 поста, более 30 лет – 37. В отдельных пунктах наблюдения за стоком воды производились лишь за вегетационный период. Но даже за этот период расходы воды нередко определены не за все месяцы. После 1990 г. непрерывные наблюдения ве-

лись лишь на нескольких реках (Ертис, Кара-Ертис, Буктырма, Оба, Ульби, Куршим, Нарым, Улькен Бокен, Левая Березовка). В настоящее время действующими числятся только 36 постов, из которых два поста (р. Калжыр – с. Калжыр и р. Кандысу – с. Сарыулен) открыты только в 2012 году, а шесть постов на р. Ертис относятся к уровенным.

Оценка характеристик годового стока. В процессе исследования из общего количества рядов стока были реконструированы 148 рядов с наблюдениями 6 лет и более и 25 ультракоротких рядов с наблюдениями (от 1 года до 5 лет). Реконструкция рядов годового стока была произведена методами гидрологической аналогии и корреляционного анализа, с соблюдением действующих нормативов [7]. В отдельных случаях использовалась связь стока годового и за вегетационный период в том же створе. При использовании ультракоротких рядов (1...5 лет) использован метод отношений.

Базовый расчетный период – 1960...2012 гг. При отсутствии гидрометрических данных норма стока (h мм) оценивалась либо по районным эмпирическим зависимостям, либо по составленной карте стока. Поскольку бассейн характеризуется сложным рельефом, значительными контрастами в распределении высот местности, наличие зависимости характеристик стока от средней высоты водосбора. В горных районах высота местности (H) является интегральным показателем гидрометеорологических условий. С высотой в горах меняются все метеорологические условия, в том числе атмосферные осадки и температура воздуха, во многом определяющие речной сток. Как правило, меняются и залесенность местности, уклоны склонов и речных русел, во многом обуславливающие характер накопления и расходования влаги и условия стекания вод по склонам и руслам. Поэтому закономерности территориального распределения стока связаны, в первую очередь, с высотой водосборов. Наиболее часто используемым ее показателем является средняя высота водосбора. Выделено 10 отдельных районов и выведено 10 степенных уравнений для региональных зависимостей: $h = a \cdot H_{cp}^n$. В отдельных случаях в одну зависимость (одно математическое выражение) объединены водосборы, несколько отдаленные друг от друга, если условия формирования стока в них идентичны. Районирование территории по принципу $h = a \cdot H_{cp}^n$ автоматически учитывает местные особенности, в частности, влияние ориентации склонов по отношению к направлению преобладающего влагопереноса. Границы выделенных районов зависимости $h = f(H_{cp})$ в основном

совпадают с таковыми источника [5], но они, естественно, не идентичны с границами ВХУ. Соответствующая схема представлена на рис. 2.

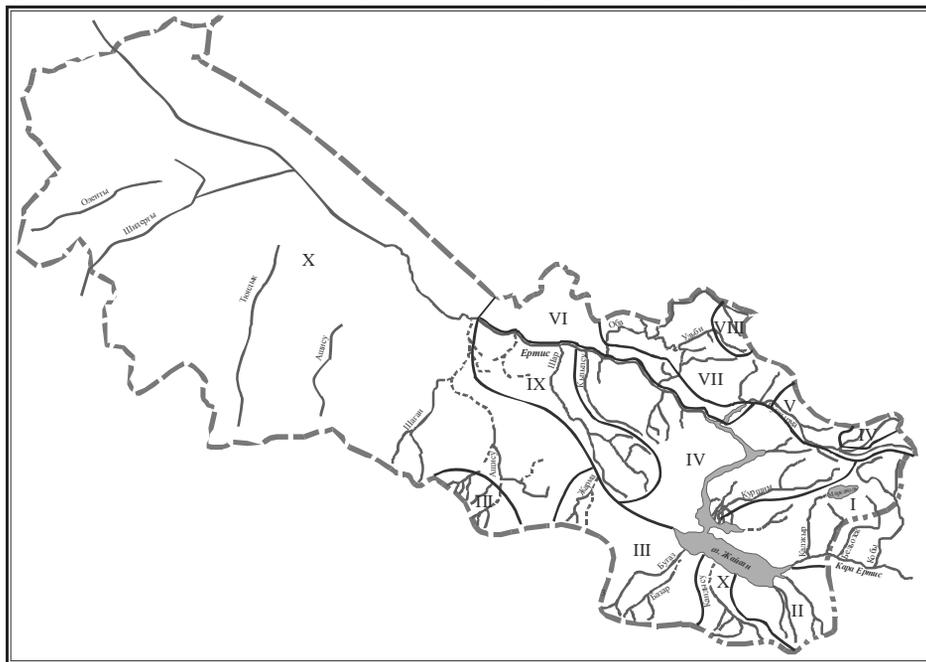


Рис. 2. Границы районных зависимостей $h = f(H_{cp})$ рек Ертысского водохозяйственного бассейна.

Найденные зависимости среднего слоя стока от средней высоты водосбора характеризуются табл. 1.

Основные статистические характеристики годового стока по Ертысскому ВХБ: норма, коэффициенты вариации и асимметрии, оценены с помощью традиционных методов расчета на основе полученных рядов стока по 178 створам.

Распределение нормы стока по исследуемой территории характеризуется исключительной неравномерностью, связанной, прежде всего, с рельефом. На Западном Алтае, в верхнем течении рек Берель, Громотуха, Тургысын, Куршим значения модуля стока достигают $50 \text{ дм}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$, на Южном Алтае – $25\text{...}30 \text{ дм}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$, на Калбе – $10 \text{ дм}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$, а в нижнем (в пределах РК) Прииртышье они опускаются до $0,1 \text{ дм}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ и местами даже ниже. Построена карта стока для данного ВХБ.

Для горных неизученных рек нормы стока получены по упомянутым зависимостям. В области же малых высот значения модуля стока мизерны, поэтому для оценки нормы стока неизученных рек предпочтитель-

нее пользоваться построенной картой распределения слоя стока. Средний многолетний сток по карте находят для центра водосбора неизученной реки прямолинейной интерполяцией между изолиниями стока. В случае пересечения водосбора несколькими изолиниями вычисляют средневзвешенный сток по формуле:

$$\bar{q} = (q_1 A_1 + q_2 A_2 + \dots + q_n A_n) / A, \quad (1)$$

где q_1, q_2, q_n – средний сток между соседними изолиниями, пересекающими водосбор; A_1, A_2, A_n – соответствующие площади между изолиниями; A – общая площадь водосбора до расчетного створа

Таблица 1

Уравнения расчетных зависимостей годового стока от средней высоты водосбора рек

Район	Бассейн реки	Зависимость
1	Оба, Ульби	$h = 91,8 \cdot H^{2,336}$
2	Громотуха, Кара-Оба, Ак-Оба	$h = 64,4 \cdot H^{2,305}$
3	Селезневка, Серебрянка, Пихтовка, Смолянка, Шульбинка	$h = 39,6 \cdot H^{2,311}$
4	Куршим, левобережье Ертиса от бассейна р. Кокпекты до бассейна р. Кызылеу	$h = 190,5 \cdot H^{2,035}$
5	Буктырма до устья р. Черемошка	$h = 169,4 \cdot H^{1,603}$
6	Шар, Мукур, Карасу	$h = 526 \cdot H^{2,606}$
7	Алкабек, Калжыр, Калгуты	$h = 673 \cdot H^{1,314}$
8	Кендерлик, Уйдене и др.	$h = 496,6 \cdot H^{1,562}$
9	Тарбагатай и Казахский мелкосопочник	$h = 116 \cdot H^{2,185}$
10	Казахский мелкосопочник: Шаган, Ащису, Тюндык, Шидерты, Оленты	$h = 22,2 \cdot H^{2,622}$

Рассчитаны погодичные значения стока. Принято, что переход к погодичным значениям стока неизученных рек целесообразно производить по модульному коэффициенту стока данного года, полученному по изученным рекам данного района. Такое приближение существенно не скажется на суммарном стоке рек участка, поскольку сток неизученных рек незначителен в сравнении со стоком изученных рек. Естественно, значение стока изученной реки оценивается по створу с максимальной водностью.

На основе изложенного произведена оценка водных ресурсов каждого ВХУ за расчетный период 1960...2012 гг.

Таким образом, оценен суммарный сток рек каждого водохозяйственного участка за каждый год расчетного периода.

В табл. 2 приводятся результаты расчета объемов местного стока, формирующегося на территории восьми водохозяйственных участков Ертисского водохозяйственного бассейна.

Таблица 2

Местные водные ресурсы в разрезе водохозяйственных участков Ертисского ВХБ

ВХУ	Приток, млн. м ³	Местные ресурсы, млн. м ³	Суммарные ресурсы, млн. м ³
03.02.05.00	362,7	1516,9	1879,5
03.01.04.01	9839,2	14932,3	24765,2
03.01.04.02	18606,2	10671,8	29268,6
03.01.04.03	28051,3	405,9	28451,8
03.01.04.04	28249,9	574	28830,2
03.40.00.00	0	49,2	49,2
03.01.04.05	28919	241,9	29161,3
03.03.00.00	0	25,5	25,5
Ертисский ВХБ	9839	28418	38256

Итак, получено следующее.

Участок 03.02.05.00 – бассейны рек Кара-Коба и Ак-Коба. Верховья Ак-Кобы, притока Кара-Кобы, относятся к КНР, а сама Кара-Коба с территории РК уносит свои воды в КНР. Водные ресурсы участка 1,88 км³, из них 1,517 км³ – это местный сток и 0,363 км³ – транзитный, приходит по Ак-Кобе из КНР. Суммарный отток из ВХУ – все 1,88 км³.

Участок 03.01.04.01. Средний слой стока с межприточных участков оценен в 10 мм. В итоге суммарный местный сток участка по суммарной кривой обеспеченности оценен в 14,932 км³. Транзитный приток по Ертису (с. Боран) составляет 9,839 км³. В итоге суммарные водные ресурсы составляют 24,765 км³.

Отток оценивался по сумме стока р. Ертис – Бухтырминская ГЭС и рек Серебрянка и Пихтовка, впадающих в Ертис перед границей участка, а также реки Бельозек, уносящей свои воды в КНР. Он составляет 18,784 км³: 18,606 км³ уходит на нижерасположенный участок 03.01.04.02 и 0,178 км³ – в КНР.

Участок 03.01.04. Суммарный местный сток оценен в 10,672 км³. Сток межприточных участков получен при оценочной величине среднего слоя стока с них 25 мм. Суммарный приток к участку 18,606 км³ (транзит

по р. Ертис в створе БГЭС плюс приток Серебрянки и Пихтовки), а отток – 28,051 км³ фиксируется в створе р. Ертис – с. Шульба. Суммарные водные ресурсы 29,268 км³.

Участок 03.01.04.03. Местный сток оценен в 0,406 км³ при среднем слое стока с межприточных участков 18 мм, а транзитный приток по Ертису – в 28,051 км³ (в створе р. Ертис – с. Шульба). Суммарный отток, полученный по суммарной кривой по Ертису плюс сток р. Шар составляет 28,250 км³. Суммарные водные ресурсы 28,452 км³.

Участок 03.01.04.03 включает реки Шар и Жарму, сток формируется на хр. Калба и отрогах Шынгызтау. Местный сток оценен в 0,406 км³ – при среднем слое стока с межприточных участков 18 мм, а транзитный приток по Ертису – в 28,051 км³ (в створе р. Ертис – с. Шульба). Суммарный отток, полученный по суммарной кривой по Ертису плюс сток р. Шар составляет 28,250 км³. Суммарные водные ресурсы 28,452 км³.

Участок 03.01.04.04. Правобережье Ертиса здесь практически бесприточно. Местный сток по суммарной кривой оценен в 0,574 км³. Сток с неизученных территорий получен при среднем слое стока с них 8 мм. Суммарный транзитный приток (рр. Ертис и Шар) составляет 28,250 км³, а отток, оцененный по створу р. Ертис – с. Семиярка, 28,919 км³.

Участок 03.40.00.00. Суммарные водные ресурсы р. Тюндык до названного створа и сток с неизученных территорий при слое стока 3 мм составляют 49,2 млн. м³ и представлены исключительно местным стоком, так как ни притока вод извне на участок, ни оттока из него нет.

Участок 03.01.04.05 Суммарный местный сток оценен в 241,9 млн. м³, а суммарные водные ресурсы – в 29,161 км³. Последние, кроме местного стока включают приток Ертиса в створе с. Семиярка в объеме 28,919 км³. Уходит по Ертису за пределы участка на территорию России (створ с. Прииртышское) 25,355 км³, т.е. налицо значительные потери стока. В отток с участка включается также переброска стока р. Ертис по каналу им. К.И. Сатпаева в ВХУ 06.03.04.00 Нура-Сарысуского ВХБ, которая приближенно (исходные данные очень скудны) оценена в 0,264 км³. Суммарный отток с территории 25,619 км³.

Местные же ресурсы включают сток с неизученных территорий при слое стока $h = 2$ мм и сток водотоков составляют 241,9 млн. м³. В верховьях р. Шидерты формируется 36,9 млн. м³ стока, который по водохозяйственному делению отнесен к ВХУ 03.03.04.00. Этот сток вычленяется из ресурсов, поскольку он уходит потом по каналу им. К.И. Сатпаева («антирека»).

Участок 03.03.00.00. Здесь протекает р. Оленты. Ее сток в створе аул Бозтал составляет 7,88 млн. м³. Сток с неизученных территорий при слое 2 мм оценен в 17,7 млн. м³. Суммарный местный сток по суммарной кривой составляет 25,5 млн. м³. Он и представляет суммарные водные ресурсы участка, поскольку ни внешнего притока к нему, ни оттока из него нет.

Ресурсы речного стока различной обеспеченности. Итак, оценены погодичные значения речного стока в разрезе каждого ВХУ. Для оценки ресурсов различной обеспеченности использовалась кривая обеспеченности Пирсона III типа, или биномиальная кривая распределения. Принято соотношение $C_s = 2C_v$, так как оно дает наилучшее соответствие эмпирическим данным. В этом случае кривая распределения Пирсона III типа трансформируется в новый закон распределения, больше известный как распределение С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля. В табл. 3 приведены результаты оценок суммарных водных ресурсов по каждому ВХУ, а также дифференцировано-приточная и местная его составляющие.

Таблица 3

Естественные ресурсы различной обеспеченности по водохозяйственным участкам Ертисского ВХБ

ВХУ	W, млн. м ³	C _v	Ресурсы различной обеспеченности, млн. м ³				
			5 %	25 %	50 %	75 %	95 %
03.02.05.00							
Приток в ВХУ	362,7	0,19	482,5	408,6	359,7	313,9	253,3
Местные	1516,9	0,34	2406,2	1854,1	1490,9	1153,7	712,8
Суммарные	1879,5	0,3	2859,3	2247,9	1848,9	1481,1	1003,1
03.01.04.01							
Приток в ВХУ	9839,2	0,24	14009,5	11343,5	9655,0	8162,6	6306,6
Местные	14932,3	0,24	21386	17216,4	14614,4	12342,7	9584,8
Суммарные	24765,2	0,24	35281,5	28541,4	24291,7	20545,2	15903,2
03.01.04.02							
Приток в ВХУ	18606,2	0,15	23290,4	20541,4	18594,3	16675,7	13898,1
Местные	10671,8	0,24	15141,1	12325,9	10501	8857,6	6765,9
Суммарные	29268,6	0,14	36638,3	31986,2	28975,0	26276,3	22857,0
03.01.04.03							
Приток в ВХУ	28051,3	0,25	40325,3	32596,4	27589,9	23092,2	17380,5
Местные	405,9	0,54	821,7	528,4	367,5	243,4	121,1
Суммарные	28451,8	0,25	40946,6	33062,8	27959,7	23386,4	17591,7
03.01.04.04							
Приток в ВХУ	28249,9	0,25	40552,8	32788,2	27762,2	23258,0	17550,9
Местные	574,0	0,78	1476,2	741,5	428,3	263,0	172,4
Суммарные	28830,2	0,25	41510,7	33445,5	28292,1	23712,8	17975,6

ВХУ	W, млн. м ³	C _v	Ресурсы различной обеспеченности, млн. м ³				
			5 %	25 %	50 %	75 %	95 %
03.40.00.00							
Приток в ВХУ	0	0	0	0	0	0	0
Местные	49,2	1,39	1669,6	430,9	231,3	211,2	99,4
Суммарные	49,2	1,39	1669,6	430,9	231,3	211,2	99,4
03.01.04.05							
Приток в ВХУ	28919	0,25	41548,7	33585,2	28426,9	23792,7	17907,8
Местные	241,9	0,92	667,6	361,0	198,3	77,2	15,2
Суммарные	29161,3	0,25	41897,6	33867,3	28665,6	23992,5	18058,2
03.03.00.00							
Приток в ВХУ	-	-	-	-	-	-	-
Местные	25,5	1,00	75,7	35,5	17,4	7,30	1,21
Суммарные	25,5	1,00	75,7	35,5	17,4	7,30	1,21
Ертисский ВХБ							
Приток	9839,2	0,24	14009,5	11343,5	9655,0	8162,6	6306,6
Местные ресурсы	28417,4	-	43644,1	33493,8	27849,1	23156,1	17472,8
Суммарные ресурсы	38256,6	-	57653,6	44837,3	37504,1	31318,7	23779,4
Отток в КНР	2057,5	0,35	3142,3	2465,9	2023,9	1617,1	1087,1
Отток в Нура-Сарыусуский ВХБ	264,3	0,33	405,1	322,7	264,3	206,7	123,4
Отток в Россию	25355,0	0,27	38009,0	29140,0	24235,0	20428,0	16575,0
Суммарный отток за пределы	27676,8	-	41556,4	31928,6	26523,2	22251,8	17785,5

Показательно, что суммарный сток даже исключительно маловодного года, обеспеченностью 95 %, составляет почти 2/3 значения его нормы. Этот факт очень благоприятен для использования ресурсов данного ВХУ в хозяйственных целях, включая его донорскую функцию – для «подпитки» других районов, характеризующихся дефицитом водных ресурсов вообще и большими временными колебаниями значений годового стока.

На взгляд авторов, полученные результаты могут быть учтены и использованы хозяйственными и планирующими органами для чисто практических целей.

Выводы. Таким образом, оценены ресурсы поверхностного стока для каждого из восьми водохозяйственных участков самого богатого водой ВХБ – современного и перспективного водного донора для других ВХБ. Материалы могут быть использованы в чисто практических целях, в частности – при решении поставленной Правительством цели: «раз и навсегда решить проблему водообеспечения» в Казахстане. Подготовлена база для прогноза водных ресурсов на ближайшие десятилетия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вода всего мира: достаточно ли ее? // Всемирная Метеорологическая организация. – ЮНЭСКО, 1997. – 22 с.
2. Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С. Водная безопасность Республики Казахстан: проблемы и решения // Вопросы географии и геоэкологии. – 2012. – № 4. – С. 7-17.
3. Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С. Водная безопасность – глобальная проблема 21 века // Вопросы географии и геоэкологии. – 2016. – № 1. – С. 3-13.
4. Послание Президента Республики Казахстан – лидера нации Н.А. Назарбаева народу Казахстана «Стратегия «Казахстан-2050»: новый политический курс состоявшегося государства». – Астана: Аккорда, 2012. – 57 с.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Алтай и Западная Сибирь. Горный Алтай и Верхний Иртыш. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – Т. 15. – Вып. 1. – Ч. 1. – 318 с.
6. Румянцев В.А., Бовыкин И.В. Пространственно-временные закономерности колебаний стока рек Евразии. – Л.: Наука, 1985. – 148 с.
7. СП-33-101-2003. Определение основных расчетных характеристик – М.: Госстрой России, 2004. – 71 с.
8. Шикломанов И.А. Мировые водные ресурсы // Природа и ресурсы. – 1991. – Т. 27. – № 1-2. – С. 81-91.

Поступила 31.03.2017

Геогр. ғылымд. докторы Р.И. Гальперин
Геогр. ғылымд. канд. А.Г. Чигринец

ЕРТІС СУ ШАРУАШЫЛЫҚ АЛАБЫНЫҢ УЧАСКЕЛЕРІ БОЙЫНША ЖЕРГІЛІКТІ ЖЫЛДЫҚ, ТРАНЗИТТІК ЖӘНЕ ЖИЫНТЫҚ АҒЫНДЫСЫН БАҒАЛАУ

Түйін сөздер: су ресурстары, сала, жергілікті ағынды, ағынды нормасы, қамтамасыздық, су тапшылығы, гидрологиялық бекет, өзен алабы, салааралық учаске

Ертіс су шаруашылық алабы үшін су шаруашылық учаскелер қимасында өзен ағындысының ресурстары бағаланды. Салалардың, жергілікті ағындының, зерттелген, зерттелмеген өзендердің және салааралық кеңістіктіктердің ағындысы есептелді. Ағындының қамтамасыздық шамалары анықталды. Ағындыны алдағы онжылдыққа болжау үшін мағлұматтар дайындалды.

R.I. Galperin, Chigrinets A.G.

ESTIMATION OF THE ANNUAL LOCAL, TRANSIT AND TOTAL RUNOFF ON THE WATER ECONOMIC AREAS OF ERTIS WEB

Keywords: water resources, inflow, local runoff, runoff rate, exceedance probability, water deficiency, hydrologic post, river basin, inter-inflow area

There have been estimated the river runoff resources in view of water economic areas for Ertis WEB. The inflow, local runoff, runoff of the studied and unstudied rivers, as well as inter-inflow spaces have been calculated. The runoff exceedance probability values have been calculated. The material has been prepared for forecasting the runoff for the coming decades.

УДК 556.164.048

Р.К. Ащанова¹**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМЫ И ИЗМЕНЧИВОСТИ СТОКА РЕК
БАСЕЙНА РЕКИ НУРЫ**

Ключевые слова: норма стока, изменчивость стока, бассейн реки Нура, оценка водных ресурсов, коэффициент ассиметрии, восстановление естественного стока

Рассмотрен бассейн р. Нуры, выполнено удлинение рядов наблюдений за стоком и восстановление пропусков в наблюдениях на основных гидропостах, восстановлен естественный сток р. Нуры у с. Р. Кошкарбаев, выбран репрезентативный расчетный период и определены обновленные статистические характеристики стока рек бассейна р. Нуры.

Нура берет начало в центральной части Казахского мелкосопочника в западных отрогах Каркаралинских гор, на высоте 1060 м абс, впадает в бессточное озеро Тенгиз на отметке 304,4 м абс. Длина 866 км. Площадь водосбора 60 800 км², без бессточного бассейна р. Жарлы, тяготеющего к бассейну р. Нуры, 55 100 км². Бессточные области занимают 6500 км² – 12 % всего водосбора. Общее падение реки 756 м, средний уклон 0,77 ‰ [11, 12].

Наиболее крупные притоки: р. Ащису, р. Шерубай Нура, р. Улькенкундызды. Исследуемый бассейн р. Нуры расположен на территории Карагандинской (83 % от площади водосбора реки) и Акмолинской (17 %) областей, которые являются экономически и социально активно развивающимися, и нуждающиеся в воде для нормальной работы различных отраслей экономики региона.

Водные ресурсы бассейна Нуры не велики и распределены крайне неравномерно. На сегодняшний день в бассейне существует дефицит воды, и по оценкам экспертов он будет только увеличиваться. Дефицит оказывает значительное воздействие на качество жизни населения и состояние экосистем, а также может повлиять на перспективы экономического роста государства [1]. Поэтому для их эффективного использования очень важно располагать сведениями об их величине в целом по бассейну реки, а

¹ РГП «Казгидромет», г. Астана, Казахстан

также в пределах его отдельных речных суббассейнов. Достоверная оценка ежегодных ресурсов речного стока водохозяйственных бассейнов Республики Казахстан является одной из важнейших задач реализации Государственной программы управления водными ресурсами Казахстана на 2014...2040 годы (указ Президента РК от 04 апреля 2014 года №786), цель которой – обеспечение водной безопасности Республики Казахстан и эффективное управление водными ресурсами [1].

Для решения прикладных задач в области проектирования и строительства различных гидротехнических сооружений для оценки и рационального использования водных ресурсов в целях устойчивого развития региона, страны и отдельных административных районов, для мониторинга экологического состояния речных бассейнов необходимо иметь достаточно полные сведения о гидрологических характеристиках и режиме водных объектов. В связи с этим возникает необходимость определения ежегодных значений стока, установление расчетных параметров: среднего многолетнего стока – нормы стока, коэффициента вариации и коэффициента асимметрии. Норма годового стока, или средний многолетний сток, является основной и устойчивой характеристикой, определяющей общую водность рек и потенциальные водные ресурсы данного бассейна или района. Она служит своего рода гидрологическим «эталоном», от которого исходят при определении других характеристик стока.

Последние исследования по определению нормы и изменчивости стока проводились в 1960-х годах прошлого века в рамках гидрологических исследований ГГИ в Карагандинской области. В связи с кратковременностью наблюдений за стоком на имеющихся на то время в бассейне гидростворах, и большой изменчивостью стока рек бассейна не было возможности оценить норму годового стока. Поэтому при анализе многолетнего хода водности были вынуждены использовать ряды наблюдений на реках в сопредельных районах, а также пользовались результатами ранее проведенных исследований ГГИ в соседних областях. Расчетный период был выбран с 1892 по 1960 гг. [11], по реке аналогу Иртыш у г. Тобольска (69 лет) и опорным пунктам Нура у с. Р. Кошкарбаева (44 года) и Кара-Кенгир – 5 км выше устья Жиланды (29 лет). Прошло больше 50 лет и опорные гидропосты бассейна имеют более продолжительные ряды наблюдений, что позволяет пересчитать норму стока с учетом нового расчетного периода и изменчивости стока.

Таким образом, цель исследования – определение нормы и изменчивости стока бассейна реки Нура.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Удлинение имеющихся рядов наблюдений за стоком и восстановление пропусков в наблюдениях на основных гидропостах;
2. Расчетным путем восстановлен естественный сток р. Нуры;
3. Определены статистические характеристики стока в исследуемых створах – норма стока, коэффициент вариации (изменчивость стока) и коэффициент асимметрии.

Гидрологическая изученность бассейна р. Нуры. Сведения о стоке рек заимствованы из опубликованных кадастровых материалов, приведенных в «Гидрологических ежегодниках», «Основных гидрологических характеристиках», «Ежегодных данных о режиме и ресурсах поверхностных вод суши», «Многолетних данных о режиме и ресурсах поверхностных вод суши», «Ресурсах поверхностных вод», по бассейну рек Нура и Сарысу» [2, 3, 4, 5, 10, 11, 13].

В бассейне р. Нуры за режимом стока функционировало 70 пунктов наблюдений. Продолжительность периодов наблюдений (число лет с полными данными) от 1...2 до 79 лет (р. Нура – с. Р. Кошкарбаева).

В качестве основных опорных пунктов для приведения рядов наблюдений к многолетнему периоду приняты следующие гидропосты: р. Нура – с. Шешенкара (Пролетарское), р. Нура – ж.-д. ст. Балыкты (с. Сергиопольское), р. Нура – с. Р. Кошкарбаева (Романовское), р. Шерубайнура – с. Карамурун.

В бассейне р. Нуры данные по расходам воды имеются по 19 постам. Действующими являются 6 постов. Сведения гидрологической изученности рек бассейна приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные сведения о гидрологической изученности рек бассейна р. Нуры

Река – пост	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км ²	Период действия	
			открыт	закрыт
р. Нура – с. Бес-Оба	894	1050	18.06.1959	действует
р. Нура – с. Шешенкара	785	13980	02.04.1951	действует
р. Нура – с. Балыкты	705	17960	26.10.1973	действует
р. Нура – с. Чкалово	672	19600	01.12.1976	1991
р. Нура – с. Волковское	614	36400	28.06.1930	22.02.1944

Река – пост	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км ²	Период действия	
			открыт	закрыт
р. Нура – с. Меркеле	576	32000	01.01.1968	01.01.1970
р. Нура – с. Акмечеть	550	36800	26.10.1975	действует
р. Нура – с. Р. Кошкарбаева	369	50760	14.04.1915	действует
р. Нура – с. Коргальджин	182	46932	01.11.2009	действует
р. Нура – с. Алмаз	85.0	54200	15.08.1979	1990
р. Акбастау – с. Жанаул	47.0	452	01.11.1949	1991
р. Тузды – с. Красная Шапочка	18.0	497	15.10.1948	31.12.1957
р. Шерубайнура – раз. Карамурын	102	8700	01.08.42 (01.01.51)	действует
р. Шерубайнура – с. Шопан	142	5875	27.10.2006	действует

В связи с наличием пропусков наблюдений за стоком возникла необходимость в восстановлении его значений за отдельные годы. При восстановлении пропусков и удлинении рядов наблюдений использовалась корреляционная связь стока с реками аналогами, а также связи внутри рядов наблюдений [6, 8, 14]. Для восстановления использовались зависимости, имеющие коэффициент корреляции более 0,8. В табл. 2 приведены сведения о восстановлении пропусков в рядах наблюдений за стоком по отдельным пунктам в бассейне р. Нуры.

Таблица 2

Сведения о восстановлении годового стока рек по отдельным пунктам бассейна р. Нуры

Уравнение зависимости	Коэффициент корреляции, r	Период расчета зависимости	Количество лет	Восстановленные годы
р. Нура – с. Р. Кошкарбаева / р. Нура – с. Балыкты				
$Q = 2,58 \cdot Q_a + 0,4$	0,88	1916...2007	92	2005, 2006 (2)
р. Куланотпес – с. Кургальджинское / р. Шерубайнура – раз. Карамурын				
$Q = 1,26 \cdot Q_a + 0,25$	0,90	1956, 1963...1981, 1983...1986, 1988...1989, 1991, 1995	28	2005...2015 (11)

Уравнение зависимости	Коэффициент корреляции, r	Период расчета зависимости	Количество лет	Восстановленные годы
$Q = 0,61 \cdot Q_a + 0,41$	0,95	1964...1965, 1968...1973, 1975...1980, 1982, 1986	14	1956, 1959, 1963, 1966, 1967, 1981, 1988, 1990...2000, 2006, 2008...2015

Примечание: Q_a – среднегодовой расход воды по гидропосту – аналогу.

Восстановление естественного стока. В последние годы на реках отмечается нарушение однородности стоковых рядов в связи с влиянием хозяйственной деятельности. В рассматриваемом бассейне такое нарушение среди исследуемых створов выявлено только по р. Нура у с. Р. Кошкарбаев. Наблюдения в этом створе начаты в 1916 г. С 1941 года в исследуемом створе было отмечено нарушение однородности стокового ряда в связи с введением в строй Самаркандского водохранилища. С этого года по 1957 г. для того, чтобы восстановить значения среднегодовых расходов воды в естественных условиях к величинам наблюдаемых расходов воды прибавлялась величина $4,25 \text{ м}^3/\text{с}$ [9], рассчитанная при существующих в то время условиях испарения, атмосферных осадках и водопотреблении. Исключением являются 1942 и 1949 гг. За период 1958...2015 гг. естественный сток в створе р. Нура – с. Р. Кошкарбаев был восстановлен по уравнению:

$$Q_{НК} = 1,55 \cdot Q_{НБ+ШК} + 1,40, \quad (1)$$

где $Q_{НК}$ – сток в створе р. Нура – с. Р. Кошкарбаев, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q_{НБ+ШК}$ – суммарный сток в створах р. Нура – с. Балыкты и р. Шерубайнура – раз. Карамурын, $\text{м}^3/\text{с}$.

Уравнение было получено за 1931...1941, 1943, 1946...1957 гг. В обработку не были включены 1942, 1944, 1945 гг. Коэффициент корреляции связи $r = 0,97$. Эта зависимость представлена на рис. 1.

При выборе расчетного периода для определения нормы и изменчивости применяются разностные интегральные кривые в пунктах с наиболее продолжительными наблюдениями. Эти кривые удобны для выбора репрезентативного расчетного периода из длинного ряда наблюдений.

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. Таким образом, фаза подъема кривой означает многоводный период, фаза спада – маловодный (ниже среднего), а точка перегиба – граница этих периодов [6, 7].

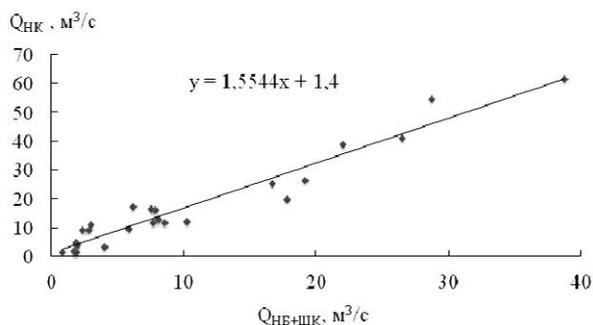


Рис. 1. График связи годового стока р. Нура – с. Р. Кошкарбаев и суммарного стока в створах р. Нура – с. Балыкты и р. Шерубайнура – с. Карамурын за 1931...1941, 1943, 1946...1957 гг.

На рис. 2 представлены разностно-интегральные кривые естественного годового стока и стока при относительно-устойчивом водопотреблении по данным гидропоста р. Нура – с. Р. Кошкарбаев. В многолетнем ходе стока р. Нура – с. Р. Кошкарбаев (рис. 2) видно, что в указанные периоды встречаются годы с повышенными и пониженными средними годовыми расходами воды.

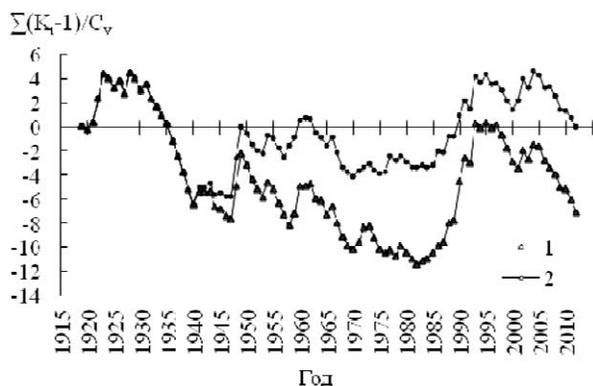


Рис. 2. Разностно-интегральные кривые среднегодовых расходов воды по гидропосту р. Нура – с. Р. Кошкарбаев. 1 – при относительно-устойчивом водопотреблении, 2 – в естественных условиях.

С помощью разностно-интегральной кривой естественного годового стока в многолетнем периоде колебания водности р. Нуры можно наблюдать несколько характерных периодов: маловодные – 1916...1918, 1929...1940, 1950...1957, 1963...1970, 1995...2000, 2005...2012 гг.; многоводные – 1919...1928, 1947...1949, 1958...1962, 1984...1994, 2001...2004 гг. Циклы колебаний стока 1941...1946, 1971...1983, 1993...1996 гг. характеризуются несколькими многоводными и маловодными периодами. В результате анализа было выделено 4 полных цикла изменения водности – 1919...1940, 1941...1970, 1971...2000, 2001...2012 гг. Два периода – 1941...1970, 1971...2000 гг. имеют модульный коэффициент $k = 1$, период 1919...1940 гг. – $k = 0,78$ и период 2001...2012 гг. – $k = 0,89$. Иными словами, водность каждого из этих периодов, включающих полные циклы колебания годового стока, равна или близка к средней водности реки Нура у села Р. Кошкарбаев ($Q_{0n} = 20,93 \text{ м}^3/\text{с}$) за период наблюдений 100 лет. Следовательно, каждый из этих периодов или несколько последовательно объединенных в один более продолжительный период могут быть приняты в качестве расчетных периодов для определения нормы годового стока. Итак, расчетный период был принят с 1919 по 2012 гг.

В данной работе норма годового стока вычислялась, как средняя арифметическая величина статистического ряда по формуле, так как относительная погрешность многолетних величин Q_{0n} во всех случаях не превышает 5 %:

$$Q_{0n} = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_{n-1} + Q_n}{n} = \frac{\sum_1^n Q_n}{n}, \quad (2)$$

где Q_{0n} – норма годового стока, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q_1, Q_2, \dots, Q_{n-1}, Q_n$ – годовые значения стока за длительный период (n лет), при котором дальнейшее увеличение ряда наблюдений не меняет или мало меняет среднюю арифметическую величину Q_{0n} .

Коэффициент вариации C_v , или изменчивости, годового стока служит мерой оценки колебания годовых величин стока относительно его нормы и определяется непосредственно по имеющемуся ряду наблюдений по следующей формуле:

$$C_v = \frac{\sigma_Q}{Q_{0n}}, \quad (3)$$

где σ_Q – среднее квадратическое отклонение (ошибка) единичных значений годового стока Q_i от среднего за n лет или среднее из сумм квадратов отклонений членов ряда годовых величин стока Q_i от их среднего значения Q_{0n} .

Определяется σ_Q по следующей формуле:

$$\sigma_Q = \pm \sqrt{\frac{\sum (Q_i - Q_{0n})^2}{n}}. \quad (4)$$

Коэффициент асимметрии C_s характеризует несимметричность ряда величин стока относительно его среднего значения. В данной работе C_s определяется графическим способом, путем последовательного подбора его значений, исходя из условий наилучшего соответствия эмпирическим точкам принятой теоретической кривой обеспеченности, ординаты которой уже вычислены при значениях $C_s = 2C_v$ [14].

При анализе изменений годового стока использовались разностные интегральные кривые. На рис. 3 приведены совмещенные разностно-интегральные кривые, в таблице 3 результаты расчетов и анализа – статистические характеристики стока основных рек бассейна р. Нуры.

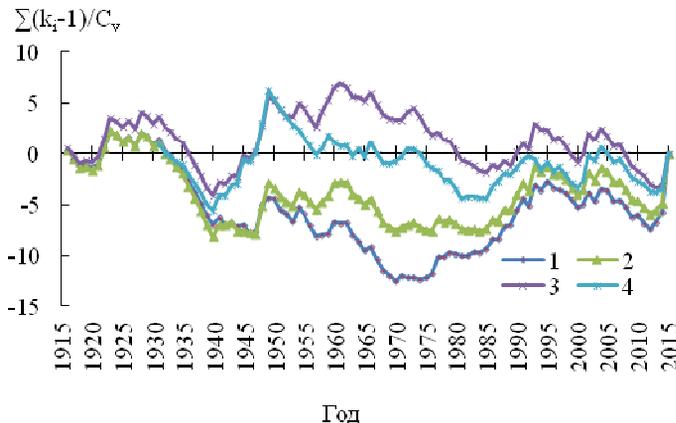


Рис. 3. Разностно-интегральные кривые среднегодовых расходов воды по основным гидропостам. 1 – р. Нура – с. Балыкты, 2 – р. Нура – с. Р. Кошкарбаев (естественный сток), 3 – р. Шерубайнура – рзд. Карамурын, 4 – р. Куланотпес – с. Кургальджинское.

Годовой сток рек и временных водотоков бассейна колеблется в значительных пределах. Соотношение наибольших и наименьших средних годовых расходов достигает больших значений. Так, для р. Нуры у с. Р. Кошкарбаев это соотношение составляет 66 (расход 2015 г. – 94,7 м³/с, 1939 г. – 1,44 м³/с), а для р. Кон оно достигает 3810 (расход 1986 г. – 7,62 м³/с, 1968 г. – 0,002 м³/с). В исключительно многоводные годы модульные коэффициенты годовых расходов указанных рек соответственно составляют 6,98 и 3,18, а в крайние маловодные – сток практически отсутствует. Многолетний ход стока характеризуется большей повторяемостью маловодных лет. Наиболее многоводными годами за период 1919...2015 гг. были 1948 г. в восточной части бассейна и 1949 г. в западной части бассейна. Самыми маловодными годами были 1939 г. в восточной части и 2010...2012 гг. в западной части бассейна.

Таблице 3

Статистические характеристики стока основных рек бассейна реки Нура

Среднемноголетние параметры				Расчетный сток различной обеспеченности, м ³ /с						
Q , м ³ /с	W , млн. м ³	C_v	C_s	5 %	10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	95 %
20,2	637	0,65	1,19	45,3	38,0	27,3	17,7	10,5	5,99	3,87
р. Нура – с. Романовское (ест.)										
7,32	231	0,68	1,22	16,9	14	9,99	6,35	3,64	1,96	1,19
р. Нура – с. Сергиопольское										
5,06	160	0,78	1,52	12,8	10,3	7,01	4,11	2,18	1,07	0,62
р. Шерубайнура – с. Карамурын										
5,63	178	0,82	1,72	14,7	11,7	7,74	4,37	2,31	1,17	0,77
р. Куланотпес – свх.Кургальджинский										
2,39	75,5	0,91	1,64	6,65	5,27	3,42	1,83	0,82	0,25	0,03
р. Кон – зим. Бирлик										

Для определения указанных параметров использовались ряды наблюдений за принятый период с 1919 по 2012 гг. Расчетные величины средних годовых расходов воды заданной обеспеченности или повторяемости (в среднем 1 раз в n лет) с использованием установленных параметров Q_0 , C_v и C_s определялись с помощью биномиальной асимметричной кривой обеспеченности.

Полученные результаты являются основой обновленной гидрологической оценки поверхностных вод бассейна р. Нуры и могут служить базовой составляющей в гидрологических расчетах при проектировании

водохранилищ для гидроэнергетики, орошения, водоснабжения и других видов водохозяйственного строительства.

Достоверность результатов работы достигается корректной постановкой решаемых задач оценки водных ресурсов бассейна, репрезентативностью исходных фактических данных РГП «Казгидромет», использованием апробированных методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная программа Управления водными ресурсами на 2014 – 2040 годы (указ Президента РК от 04 апреля 2014 года № 786) [Электр. ресурс]. – 2014. – URL: <https://egov.kz/cms/ru/law/list/P1300001423> (дата обращения: 18.11.2016).
2. Государственный водный кадастр Республики Казахстан. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 1981...1990 гг. Кн. 2, вып. 1, ч. 1. Бассейн озера Балхаш и бессточных районов Центрального Казахстана. – Алматы: Казгидромет, 2002. – 284 с.
3. Государственный водный кадастр Республики Казахстан. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 1991...2000 гг. Кн. 1, вып. 1, ч.1. Бассейн озера Балхаш и бессточных районов Центрального Казахстана. – Алматы: Казгидромет, 2004. – 171 с.
4. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1980...2015 гг. Ч. 1. Реки и каналы. Ч. 2. Озера и водохранилища. Вып 8. Бассейн рек Нура и Сарысу. – Алматы: Казгидромет, 1981...2016 гг.
5. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 5. Казахская ССР Вып. 4. Бассейны рек оз. Балхаш и бессточных районов Центрального Казахстана. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 574 с.
6. Клибашев К.П., Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 460 с.
7. Лаврентьев П.Ф., Голубцов В.В. Методика расчета нормы годового стока рек и временных водотоков Центрального Казахстана // Труды КазНИГМИ. – 1967. – № 3 – С. 99-109.
8. Методическое руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 247 с.
9. Разработка методики составления обобщенных изданий Государственного водного кадастра для Тобол-Торгайского и Нура-Сарысууйского водохозяйственного бассейнов – Алматы: Казгидромет, 2006 г. – 136 с.

10. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель / Под ред. В.А.Урываева. Вып.1. Акмолинская область Казахской ССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1958. – 789 с.
11. Ресурсы поверхностных вод СССР / Под ред. Г.Л. Шимкевич. – Т. 13., Вып. I. Карагандинская область – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 481 с.
12. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 13. Центральный и Южный Казахстан. Вып. 2. Карагандинская область. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 645 с.
13. Ресурсы поверхностных вод. Основные гидрографические характеристики. Т. 13. Центральный и Южный Казахстан. Вып. 2. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 471 с.
14. Рождественский А.В., Чеботарев А.И., Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.

Поступила 7.06.2017

Р.К. Ащанова

НҰРА ӨЗЕНІ АЛАБЫНДАҒЫ НОРМАНЫ АНЫҚТАУ ЖӘНЕ ӨЗЕНДЕР АҒЫНЫНЫҢ ӨЗГЕРУІ

Түйін сөздер: ағын нормасы, ағынның құбылмалылығы, Нұра өзені алабы, су ресурстарын бағалау, ассиметрия коэффициенті, табиғи ағынды қалпына келтіру

Нұра өзені алабы қарастырылды, ағын бойынша бақылау қатары ұзартылды және негізгі гидробекеттердегі жасалмаған бақылау қатары қалпына келтірілді, Нұра өзенінің Р. Кошкарбаев ауылындағы табиғи ағын қалпына келтірілді, Нұра өзені алабы өзендер ағынының жаңартылған сипаттамалық статистикалары анықталды және репрезентативті есептік аралық таңдалды.

Aschanova R.K.

DETERMINATION OF THE NORM AND VARIABILITY OF THE RIVERS OF THE NURA RIVER BASIN

Keywords: norm of runoff, variability of runoff, Nura River basin, water resources assessment, coefficient of asymmetry, restoration of natural runoff

The Nura river basin is considered, the series of observations of the runoff are extended and the gaps in observations at the main hydrological stations are restored, the natural flow of the Nura River is restored in the village R. Koshkarbaev, a representative settlement period was selected and updated statistical characteristics of the river flow of the Nura River were determined.

УДК 551.482

А.С. Амиргалиева¹Доктор геогр. наук Р.И. Гальперин²**АНАЛИЗ ДАННЫХ ТРАНСГРАНИЧНОГО ПОСТА РЕКА ИЛЕ – ПРИСТАНЬ ДОБЫН ЗА ПЕРИОД С 2011 ПО 2015 ГОДЫ**

Ключевые слова: среднегодовой расход воды, измеренные расходы воды, подсчет стока, интерполяция, кривая зависимости, код состояния водного объекта, переходный коэффициент, процентное отклонение, трансграничный гидрологический пост

В настоящее время основными проблемами двухсторонних отношений Республики Казахстан (РК) и Китайской Народной Республики (КНР) в сфере использования и охраны трансграничных рек является вопрос увеличения водозаборов на территории КНР из трансграничной р. Иле. В условиях дефицита водных ресурсов РК, и учитывая трансграничный характер реки, очень важна точная оценка расхода воды непосредственно на входе реки в РК. В статье излагаются результаты детального анализа расходов воды и подсчета стока р. Иле в приграничной ее части по данным двух гидропостов по обе стороны границы за 2011...2015 гг. Расчетные значения не слишком отличаются, они вполне сопоставимы, что свидетельствует о достаточно высоком качестве мониторинга с обеих сторон. На этой основе сформулированы практические рекомендации по деталям усовершенствования мониторинга водности на рассматриваемом участке реки.

Бассейн оз. Балкаш (Балхаш) расположен на юго-востоке Казахстана и включает территории Алматинской, юго-восточную часть Карагандинской, юго-западную часть Восточно-Казахстанской и восточную Жамбылской областей, а также северо-западную часть Синьцзяна в пределах КНР.

Балкаш-Алакольский бассейн имеет площадь 512 тыс. км², а его суммарный поверхностный сток в средний по водности год составляет 27,76 км³, включая 11,5 км³, поступающие с территории КНР. Площадь водосборного бассейна только оз. Балкаш составляет около 413 тыс. км²,

¹ РГП «Казгидромет», Алматы, Казахстан;

² КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

причём 15 % его территории лежит на северо-западе Синьцзян-Уйгурского автономного района Китая, и небольшая часть – в Киргизии. Из суммарного стока Балкаш-Алакольского бассейна 86 % приходится на оз. Балкаш, сток р. Иле (Или) составляет до 12,3 км³/год (по данным БСЭ — около 23 км³ в год). Река Иле, впадающая в западную часть озера, даёт примерно 73...80 % всего притока воды в него. Река начинается в горах Тянь-Шань, питается в значительной степени ледниками, что обуславливает дневные и сезонные колебания уровня воды в период таяния горных ледников, проходящийся на июнь – июль. В восточную часть озера впадают реки Каратал, Аксу, Лепси, а кроме того, озеро подпитывается грунтовыми водами. Берущая начало на склонах Жетису Алатау река Каратал является вторым по значимости притоком Балкаша. Годовая разница в притоках западной и восточной частей озера составляет около 1,15 км³.

В 1970 г. на р. Иле была построена Капшагайская ГЭС мощностью 364 МВт, позволившая использовать гидроэнергетический потенциал реки, а также брать воду на орошение из образовавшегося Капшагайского водохранилища. Водные ресурсы Иле интенсивно используются и в верхнем течении (на территории СУАР) для выращивания хлопка, под который отведено 40 % пахотных земель региона.

По водному режиму рек, рассматриваемая территория может быть разделена на несколько обособленных физико-географических районов: I – бассейн р. Иле, включающий бассейны рек Илейского (Заилийского) Алатау и хр. Кетмень; II – бассейны рек Жетису Алатау; III – Северное Прибалкашье, куда входят бассейны рек Мойынты и Тоқырауын и бассейны рек хр. Тарбагатай [4, 5].

В связи с вышеизложенным и учитывая трансграничный характер р. Иле, ее исключительное значение в водообеспечении большого региона Казахстана, очень важна точная оценка расхода воды реки непосредственно на ее входе в РК. Но на приграничных, близко расположенных гидропостях (ГП) на территории КНР и РК используется разная методика измерения расходов и подсчета стока. В итоге получаются неодинаковые результаты. В этих условиях целесообразен детальный анализ мониторинга водности реки в приграничной ее части.

Пост **р. Иле – пристань Добын** (Дубунь) расположен в 35 км от границы с Китайской Народной Республикой, на территории бывшей нефтебазы Дубунь. Долина реки на участке поста корытообразной формы. Левый склон долины крутой, покрыт саксаулом и кустарником; правый – пологий, порос-

ший деревьями, а ближе к руслу – луговой травой. Пойма реки двухсторонняя: правобережная, шириной 20...30 м, левобережная 2...3 м. Русло реки на участке поста прямолинейное, подвержено незначительной деформации. Выше и ниже участка поста образуются отмели, косы и острова. Берега умеренно-пологие, суглинистые. В зимнее время на реке образуются забереги, шуга, ледостав, весной – ледоход, характерны заторно-зажорные явления. Пост смешанного типа, расположен на левом берегу. 12.11.2011 года на гидрологическом посту установлен радарный уровнемер (измеряются уровень и температура воды). 22.05.2000 г. на посту принята Балтийская система высот, переданная нивелировкой 4 класса РГП «Казгидромет». Гидроствор № 1 оборудован паромной переправой. Температура воды измеряется у левого берега, толщина льда – в створе поста на середине реки [1].

Сток был подсчитан посредством автоматизированной программы «Реки – Режим» (Обнинск, РФ). Один из методов подсчета стока: расчет по кривой Глушкова.

При этом способе используются значения измеренных расходов воды (ИРВ), уровня воды при измерении расхода, коды состояния водного объекта (КСВО). Для построения кривой выбираются только расходы, измеренные при чистом русле. Строится кривая расходов $Q = f(H) = a \cdot (H - H_0) \cdot b$, где значения a , b , H_0 находятся из условия минимума среднеквадратического отклонения путем решения оптимизационной задачи [2].

Расчет стока за 2011 г.

01.01 – 01.2011 г. Интерполяция между измеренными расходами воды.

21.01 – 31.03.2011 г. По зимнему переходному коэффициенту $K_{зим}$.

01.04 – 19.12.2011 г. По кривой зависимости $Q = f(H)$.

20.12 – 31.12.2011 г. Интерполяция между расходами воды.

При предварительном сравнительном анализе разница данных по двум пограничным постам на р. Иле (рис. 1) составляет $\pm 8,2\%$.

Расчет стока за 2012 г.

Последний измеренный расход был 09.12.2011 г. при состоянии реки «чисто». С 20.12.2011 г. начался шугоход, который продолжался до 05.01.2012 г. С 06.01 по 11.03.2012 г. был неполный ледостав. За указанный период не производилось измерений (согласно Правилам техники безопасности). Первый расход воды измерен 14.03.2012 г. при состоянии реки «чисто».

В связи с вышеизложенным, начало 2012 года до состояния «чисто» подсчитано по методу интерполяции между измеренными расходами воды.

При предварительном сравнительном анализе разница данных по двум пограничным постам на р. Иле составляет $\pm 0,53\%$ (рис. 2).

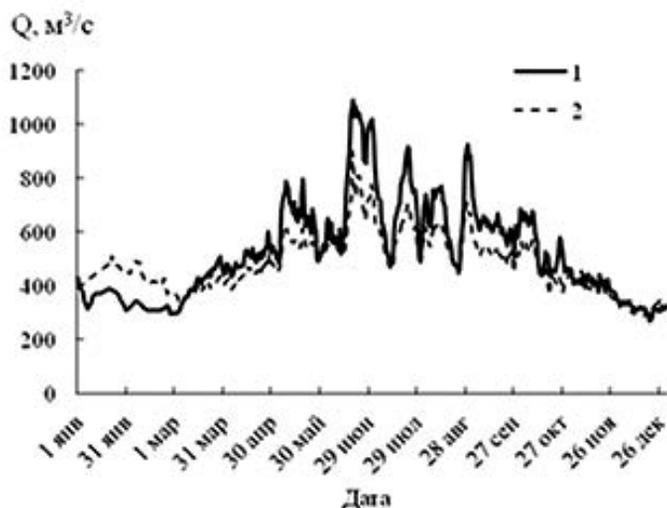


Рис. 1. Гидрографы стока 2-х приграничных постов за 2011 год.
1 – р. Иле – ст. Сандаохэцзы, 2 – р. Иле – пристань Добын.

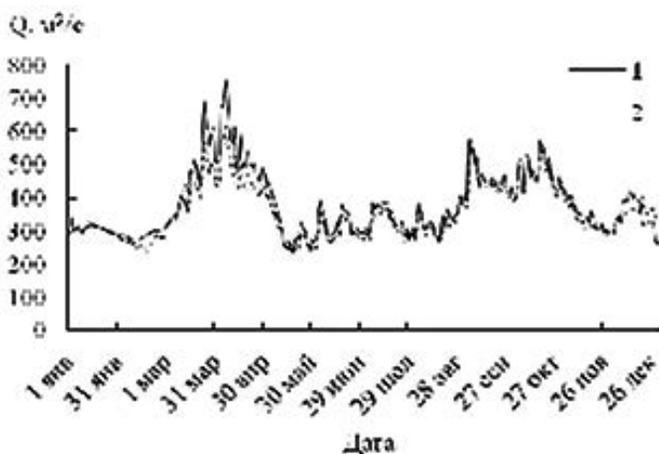


Рис. 2. Гидрографы стока 2-х приграничных постов за 2012 год.
Усл. обозн. см. рис. 1.

Расчет стока за 2013 г.

01.01 – 25.01.2013 г. По зимнему переходному коэффициенту $K_{зим}$.

26.01 – 30.01.2013 г. Интерполяция между измеренными расходами воды.

30.01 – 02.02.2013 г. Интерполяция между измеренными расходами воды. Расход воды за 02.02 вычислен методом $K_{зим}$.

28.02 – 04.03.2013 г. Интерполяция между расходами воды с переходным коэффициентом $K_{зим}$.

25.11 – 17.12.2013 г., 17.12 – 23.12 и 23.12.2012 – 10.01.2014 гг. Интерполяция между измеренными расходами воды. С 28.11.2013 г. применяется новая отметка «0» поста. Построение кривой за период с 28.11 до 23.12 считается необоснованным.

При предварительном сравнительном анализе разница данных по двум пограничным постам на р. Иле составляет $\pm 4,4\%$ (рис. 3).

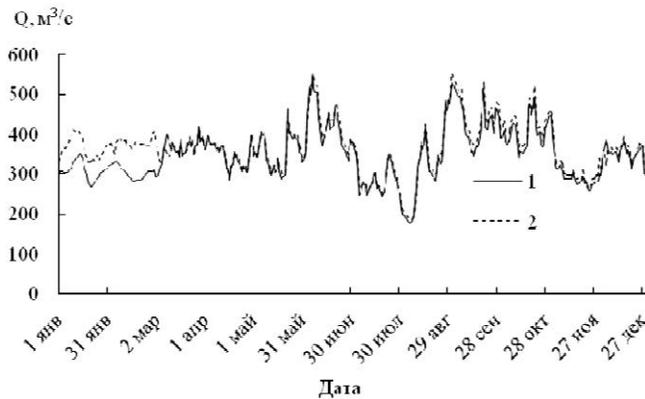


Рис. 3. Гидрографы стока 2-х приграничных постов за 2013 год.
Усл. обозн. см. рис. 1.

Расчет стока за 2014 г.

31.12.2013 г. – 10.01.2014 г. Интерполяция между расходами воды.

Расход воды за 10.01.2014 г. Интерполяция с учетом хода уровня.

10.01 – 25.01.2014 г., 26.01 – 30.01.2014 г., 31.01 – 08.02.2014 г.,
09.02 – 22.02.2014 г. Интерполяция между измеренными расходами воды.

Расходы воды взяты из таблицы, вычисленной по кривой зависимости $Q = f(H)$ за период с 13.03 – 07.12.2014 г.

23.02 – 12.03.2014 г. Интерполяция между измеренными расходами воды.

09.12 – 31.12.2014 г. По зимнему переходному коэффициенту $K_{зим}$, который условно принят как 0,8, так как в этот период состояние реки характеризовалось как «шугоход».

При предварительном сравнительном анализе разница данных по двум пограничным постам на р. Иле составляет $\pm 8,0\%$ (рис. 4).

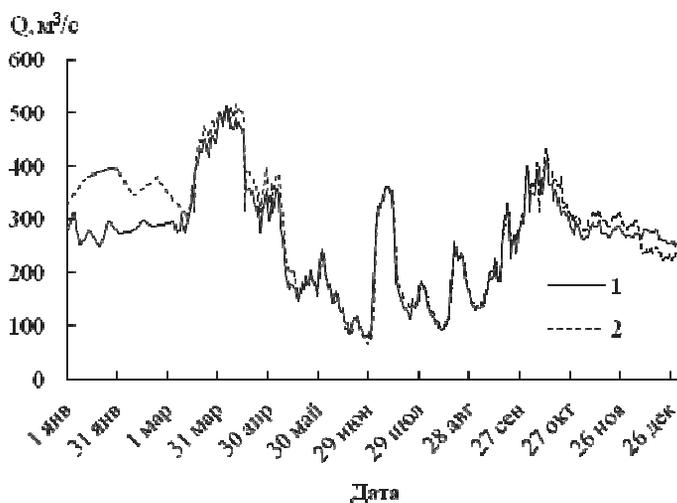


Рис. 4. Гидрографы стока 2-х приграничных постов за 2014 год.
Усл. обозн. см. рис. 1.

Расчет стока за 2015 г.

01.01 – 22.01.2015 г. Интерполяция между измеренными расходами воды.

23.01 – 20.02.2015 г. Интерполяция между измеренными расходами воды.

21.02 – 20.12.2015 г. По кривой зависимости $Q = f(H)$.

21.12 – 31.12.2015 г. Интерполяция между расходами воды.

При предварительном сравнительном анализе данных с 2-х транс-граничных постов на р. Иле (рис. 5) разница составляет $\pm 4,0 \%$, что соответствует принятым нормам, согласно Наставления [3].

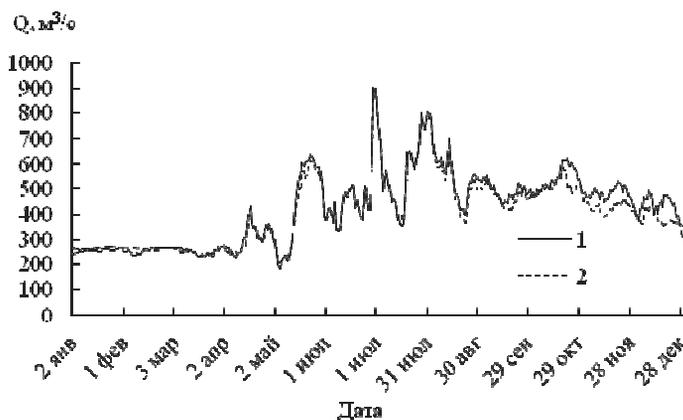


Рис. 5. Гидрографы стока 2-х приграничных постов за 2015 год.
Усл. обозн. см. рис. 1.

Выводы:

1. Различия в оценке стока по двум приграничным постам на р. Иле неизбежны ввиду неодинаковой методики измерения и расчета в КНР и РК, а также в связи с разными местными условиями.

2. В то же время расчетные значения не слишком отличаются, они вполне сопоставимы, что свидетельствует о достаточно высоком качестве мониторинга с обеих сторон.

3. Тем не менее, целесообразен постоянный обмен соответствующей информацией по мере поступления данных измерений с целью сравнения текущих результатов.

4. Целесообразно также прилагать дальнейшие усилия для повышения точности измерения стока на трансграничных постах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. – Астана: 2012. – 204 с.
2. Методические указания по подготовке и занесению гидрологической информации на технический носитель. / Разд. 1. Поверхностные воды. Вып.6. Методика подготовки. Ч.1. Реки и каналы (второе издание, переработанное и дополненное). – Обнинск. 2000. – 123 с.
3. Наставление по обработке и подготовке гидрологических данных к изданию. / Раздел 1. Поверхностные воды. – Алматы: 2007. – 153 с.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 13, вып. 2. Бассейн озера Балхаш. – М.: Гидрометеоиздат, 1970. – 645 с.
5. Современное экологическое состояние озера Балхаш. – Алматы: Каганат, 2002. – 388 с.

Поступила 11.05.2017

А.С. Әмірғалиева

Геогр. ғылымд. докторы Р.И. Гальперин

2011-2015 ЖЖ. АРАЛЫҒЫНДАҒЫ ІЛЕ ӨЗЕНІ – ДОБЫН АЙЛАҒЫ ТРАНСШЕКАРАЛЫҚ БЕКЕТІ МӘЛІМЕТТЕРІНІҢ САРАПТАМАСЫ

Түйін сөздер: орташажылдық су өтімі, өлшенген су өтімдері, ағындыны есептеу, интерполяция, тәуелділік қисығы, су объектісі

жағдайының коды, өтпелі коэффициент, пайыздық ауытқу, трансшекаралық гидрологиялықбекет

Қазіргі таңда Қазақстан Республикасы және Қытай Халық Республикасының трансшекаралық өзендерді қолдану және қорғау аясында екіжақты келісім-шарттың негізі мәселелері болып Қытай аумағындағы трансшекаралық Іле өзенінен су алуды ұлғайту жағдайы болып отыр. Су қорының тапшылығы шартында және Іле өз. трансшекаралық сипатын ескере отырып, тікелей ҚР кіріс бөлігіндегі су өтімінің нақты бағалануы өте маңызды. Мақалада 2011-15 жж аралығындағы шекараның екі жағындағы екі гидробекет мәліметтері бойынша Іле өз. оның шекаралық бөлігіндегі су өтімін өлшеу және ағындысын есептеу нәтижелерінің толық сараптамасының нәтижелері баяндалған. Осының негізінде қарастырылып отырған телімдегі өзен сулылығының жетілдіру мониторингін бөлшектеу бойынша тәжірибелік ұсыныстар тұжырымдалған.

Amirgaliyeva A.S., Galperin R.I.

DATA ANALYSIS OF THE TRANSBOUNDARY HYDROLOGICAL STATION ILE RIVER – QUAY DOBYN FOR THE PERIOD FROM 2011 TO 2015

Keywords: average annual discharge, measured discharge, runoff calculation, interpolation, dependence curve, water object status code, transition coefficient, percentage variance, transboundary hydrological station

Currently, the main problems of bilateral relations between the Republic of Kazakhstan and the People's Republic of China in the use and protection of transboundary rivers are the issue of increasing water intakes in the territory of the PRC from the transboundary river Ile. In the face of a scarcity of water resources, and taking into account the transboundary nature of Ile River, it is very important to estimate the exact water discharge of the river directly at its entrance to the RK. The article presents the results of a detailed analysis of the results of the measurement of water flow and the calculation of the flow of the Ile River in its border part according to the data of two gauging stations on both sides of the border for 2011...2015. On this basis, practical recommendations on the details of improving the monitoring of river water availability in the area under consideration are formulated.

УДК 556.048

Канд. геогр. наук

А.Г. Чигринец¹

Канд. геогр. наук

Л.П. Мазур²**ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ВНУТРИГODOVое РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
СТОКА ВОДЫ Р. ТЕРИСБУТАК**

Ключевые слова: горная река, расход воды, водные ресурсы, обеспеченность стока, метод гидрологической аналогии, редукция, средняя высота водосбора, внутригодовое распределение стока, гидрограф стока, модуль стока, фазы водного режима, метод компоновки

Приводятся результаты исследований водных ресурсов и внутригодового распределения стока воды горной реки Терисбутак, расположенной в бассейне р. Улькен Алматы (северный склон Илейского Алатау). Расчеты внутригодового распределения стока произведены с использованием нескольких методов, что позволяет сделать выбор оптимального варианта при наличии исходных гидрологических данных различного объёма. Статистические характеристики стока воды р. Терисбутак использованы для обоснования строительства и эксплуатации водозаборов в этом бассейне при организации горнолыжного курорта Кок-Жайлау.

Исследование водных ресурсов и внутригодового распределения стока воды р. Терисбутак выполнено в связи с предстоящим строительством системы водоснабжения горнолыжного курорта Кок-Жайлау в Талгарском районе Алматинской области. Основная цель строительства горнолыжного курорта Кок-Жайлау – популяризация горнолыжного спорта и дальнейшее развитие горнолыжного туризма в Республике Казахстан. Река Терисбутак является одним из основных источников водоснабжения строящегося курортного горнолыжного комплекса, поэтому проведенные расчеты играют важную роль для организации процесса его бесперебойного водообеспечения.

Район будущего горнолыжного комплекса расположен на северном склоне Илейского Алатау, одного из наиболее увлажненных районов Респуб-

¹ КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан;

² Централно-Азиатский университет, г. Алматы, Казахстан

лики Казахстан. Урочище Кок-Жайлау – одно из популярнейших мест воскресного отдыха горожан, отличается красивыми горными пейзажами, чистым горным воздухом и доступностью из-за близкого расположения к г. Алматы. Урочище находится в бассейне р. Улькен Алматы с развитой речной сетью, в среднем составляющей по данным [2] $0,8...1,0 \text{ км/км}^2$. Реки в исследуемом районе по положению истоков, характеру питания разделяются на два основных типа: горный и предгорный.

Район будущего строительства водозаборов расположен в бассейне р. Терисбутак, правобережного притока р. Улькен Алматы. *Р. Терисбутак* является последним значительным притоком р. Улькен Алматы в горной части бассейна. Берет начало на северном склоне хребта Илейского Алатау на высоте 3300 м над уровнем моря. Длина реки составляет всего 11 км, а площадь водосбора $32,3 \text{ км}^2$. При этом река принимает около 15 мелких притоков, наиболее значительным из которых по водности является р. Казашка, с площадью водосбора $14,8 \text{ км}^2$. Кроме этого, река интенсивно подпитывается многочисленными родниками. Средняя высота водосбора р. Терисбутак в створе гидрологического поста составляет 2250 м абс., а средний уклон водосбора – 519‰ [4]. Уклоны поверхности в районе расположения курорта незначительные, в среднем они составляют 119 м на 1000 м.

Сток многочисленных малых рек и временных водотоков в горных условиях, как правило, очень слабо освещен данными наблюдений или вовсе не изучен. Большинство неизученных водосборов находится в зоне средних высот от 1000 до 3000 м, а имеющиеся гидрометрические створы в основном приурочены к значительным водотокам или размещены у нижней границы зоны формирования стока, при выходе рек из гор, где они интегрируют сток со всех вышерасположенных физико-географических зон.

На площадях водосборов гидрометеорологические наблюдения полностью отсутствуют. Поэтому все гидрологические характеристики для расчетных створов получены с применением метода гидрологической аналогии. Створы проектируемых водозаборов расположены в бассейне р. Терисбутак: створ №1 – на р. Терисбутак в её среднем течении ($F_{\text{водосб.}} = 4,79 \text{ км}^2$); створ №2 – на левобережном притоке р. Казашка, при впадении её в р. Терисбутак ($F = 14,85 \text{ км}^2$).

Данных наблюдений за стоком в расчетных створах №1 и №2, как отмечено выше, не имеется, так как регулярные измерения расходов воды в них не производились. Расходы для створов проектирования определены

с применением данных по аналогу, за который принят гидрологический пост РГП «Казгидромет» р. Терисбутак – устье ($F = 31 \text{ км}^2$). При этом соблюдены требования нормативных документов [6, 7], а именно учтены редуция расхода воды в зависимости от площади водосбора и изменение модуля стока с изменением средней высоты водосборов горных рек.

Прежде всего были проведены расчеты среднегодового стока воды, стока, среднего за вегетационный период, а также водных ресурсов по гидропосту-аналогу р. Терисбутак – устье.

Расчитанные статистические характеристики среднегодового стока воды и среднего стока за вегетационный период сведены в табл. 1. В этой же таблице приведены значения среднегодовых и средних расходов воды за период вегетации различной обеспеченности.

Таблица 1

Среднегодовые расходы воды и средние расходы за период вегетации различной обеспеченности по гидропосту р. Терисбутак – устье и расчетным створам №1 и №2, (период 1947...2011 гг.)

Характеристика	$Q_{\text{ср.мн.}}$ м ³ /с	Q_0 , м ³ /с	C_v	C_s	Расходы воды различной обеспеченности, м ³ /с								
					10 %	25 %	50 %	75 %	80 %	90 %	95 %	97 %	99 %
					р. Терисбутак – устье								
$Q_{\text{ср.год}}$	0,45	0,46	0,34	0,78	0,67	0,55	0,44	0,35	0,33	0,28	0,24	0,22	0,19
$Q_{\text{ср.вегет.}}$	0,63	0,63	0,35	0,79	0,93	0,76	0,60	0,47	0,44	0,37	0,32	0,29	0,24
р. Терисбутак – расчетный створ №1													
$Q_{\text{ср.год}}$	0,070	0,07 1	0,34	0,68	0,10 4	0,08 5	0,06 8	0,05 4	0,05 1	0,04 3	0,03 7	0,03 4	0,02 9
$Q_{\text{ср.вегет.}}$	0,097	0,09 7	0,35	0,70	0,14 4	0,11 7	0,09 3	0,07 3	0,06 8	0,05 7	0,04 9	0,04 5	0,03 7
р. Казашка – расчетный створ №2													
$Q_{\text{ср.год}}$	0,23	0,24	0,34	0,68	0,35	0,28	0,23	0,18	0,17	0,14	0,12	0,11	0,10
$Q_{\text{ср.вегет.}}$	0,33	0,33	0,35	0,70	0,48	0,39	0,31	0,24	0,23	0,19	0,17	0,15	0,12

Годовые водные ресурсы различной обеспеченности в гидростворе р. Терисбутак – устье, а также в расчетных створах приведены в табл. 2.

Для проектирования и эксплуатации водозаборов системы водоснабжения горнолыжного курорта Кок-Жайлау необходимы данные не только о водных ресурсах различной обеспеченности, но и сведения о внутригодовом распределении стока воды в створах будущих водозаборов, полученном с использованием различных методов.

Внутригодовое распределение стока от года к году постоянно изменяется вследствие различия в величинах расхода воды в одинаковые фазы водного режима (пики половодья, паводков, низкая межень и т.п.) и из-за сдвига времени наступления однозначных фаз режима в различные годы.

Таблица 2

Годовые водные ресурсы поверхностного стока р. Терисбутаг – устье, (1947...2011 гг.), млн. м³

$W_{cp.}$	W_0	Объем воды различной обеспеченности, млн. м ³							
		25 %	50 %	75 %	80 %	90 %	95 %	97 %	99 %
Река Терисбутаг – устье									
14,2	14,5	17,3	13,9	11,0	10,4	8,83	7,57	6,94	5,99
Река Терисбутаг – расчетный створ №1									
2,19	2,24	2,67	2,15	1,70	1,61	1,36	1,17	1,07	0,93
Река Казашка – расчетный створ №2									
7,34	7,50	8,94	7,19	5,69	5,38	4,57	3,91	3,59	3,10

На внутригодовое распределение стока рек оказывают влияние самые различные факторы: климатические условия, рельеф местности, тип питания рек, гидрогеология и т.д. В рассматриваемом районе особенно большое влияние оказывает рельеф местности. Он определяет общие условия увлажнения, доступность речных бассейнов влажным воздушным массам, величину и распределение атмосферных осадков. Причем вертикальная поясность рельефа является одним из главных факторов внутригодового распределения стока [3].

Для расчета внутригодового распределения стока к настоящему времени имеется достаточно много методов. Из них наиболее известны следующие:

- 1) среднеарифметического (фиктивного) гидрографа;
- 2) гидрографа реального характерного года;
- 3) равнообеспеченного гидрографа;
- 4) применение специальных показателей расчета внутригодового распределения стока;

5) использование кривых продолжительности суточных расходов для описания внутригодового распределения стока;

б) метод компоновки.

Метод среднеарифметического (фиктивного) гидрографа расчета внутригодового распределения стока получил в практике большое распространение. Метод обладает тем преимуществом, что исключаются нетипичные особенности режима стока отдельных лет, а получаемые характеристики имеют большую устойчивость и мало изменяются с добавлением новых лет наблюдений.

Часто применяемые в практике характеристики внутригодового распределения стока по нескольким фактическим (реальным) годам различной водности дают наглядное представление об особенностях внутригодового режима стока, но могут содержать случайные, нетипичные подробности, которые свойственны только данному году.

При расчете методом «равнообеспеченного гидрографа» строятся эмпирические кривые обеспеченности среднемесячных расходов воды за каждый месяц. На практике этот метод применяется очень редко, так как реальный год не состоит из месячного стока одинаковой обеспеченности.

Сущность метода специальных показателей состоит в том, что для расчета внутригодового распределения стока применяются специальные показатели, которые дают в основном общую характеристику внутригодового распределения стока. Известно несколько десятков показателей: коэффициент естественной зарегулированности, внутригодовой неравномерности стока и др. [3].

При расчете с использованием кривых продолжительности суточных расходов внутригодовое распределение стока представляется не только по месяцам или сезонам, но и в виде кривых продолжительности суточных расходов, которые выражают продолжительность стояния расходов, равных данному или превышающему его. Существенным недостатком кривой продолжительности расходов является отсутствие представления о календарной последовательности расходов воды.

В практике гидрологических расчетов наибольшее распространение получил метод компоновки В.Г. Андреянова [1]. Этот метод расчета внутригодового распределения стока пригоден для любых задач проектирования и любых физико-географических условий, при любых типах внутригодового режима. Эта методика вошла в СНиП [6, 7], как основная, рекомендуемая для расчета внутригодового распределения стока. Харак-

теристика методов и подробный расчет внутригодового распределения стока по методу компоновки приводится в [1, 3, 5, 8].

Результаты расчета внутригодового распределения стока по месяцам методами реального характерного года для разных по водности лет и среднеарифметического (фиктивного) гидрографа приведены в табл. 3. Результаты расчета внутригодового распределения стока по месяцам методом компоновки (Андреянова В.Г.) представлены в табл. 4, а по сезонам – в табл. 5.

Таблица 5

Расчетное распределение сезонного стока (в процентах от годового) по гидростворам р. Терисбутак – устье, р. Терисбутак – расчетный створ №1 и р. Казашка – расчетный створ №2, (метод компоновки)

Водность года	Сезонный сток		
	III-IX	X-XI	XII-II
Многоводный	76,0	11,3	12,7
Средний	75,6	11,4	13,0
Маловодный	75,0	11,7	13,3
Очень маловодный	73,7	12,3	14,0

Кривые продолжительности (обеспеченности) суточных расходов воды. Построение кривых продолжительности (обеспеченности) суточных расходов воды – один из способов описания внутригодового распределения стока. Они выражают продолжительность стояния внутри года расходов, равных данному или превышающих его без привязки к календарной последовательности. Данная кривая позволяет определять величины среднесуточных расходов воды, обеспеченных в течение определенного количества дней в году и наоборот определять, сколько дней в году будет обеспечен определенный расход. Если по оси ординат откладываются расходы воды, а по оси абсцисс – продолжительность в днях, то кривая называется кривой продолжительности, если по оси ординат откладывать величины этих расходов в долях от нормы, то кривая называется кривой обеспеченности. На рис. 1 приведены кривые продолжительности суточных расходов воды за реальные годы различной водности, а в табл. 6 – продолжительность суточных расходов воды для реальных лет различной водности р. Терисбутак – устье. На рис. 2 приведена кривая обеспеченности средних суточных расходов воды $K = f(P)$ по р. Терисбутак – устье в среднем за период с 1947 по 2011 гг. В табл. 7 приводятся ординаты средней кривой продолжительности суточных расходов воды за многолетний период (1947...2011 гг.) для р. Терисбутак – устье.

Таблица 3
 Внутригодовое распределение расходов воды за характерные по водности годы по исследуемым гидростворам, м³/с

Обеспеченность, %	Год (факт)	Месяц												$Q_{ср.год}$	$Q_{ср.всегл.}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
		р. Терисбугак – устье													
25	2010	0,26	0,22	0,27	0,49	0,66	1,14	0,99	0,69	0,58	0,52	0,45	0,41	0,56	0,76
50	1990	0,23	0,24	0,26	0,4	0,96	0,99	0,52	0,4	0,31	0,31	0,29	0,25	0,43	0,60
75	1978	0,16	0,16	0,17	0,31	0,63	0,84	0,51	0,37	0,28	0,24	0,23	0,22	0,34	0,49
	1962	0,21	0,21	0,26	0,29	0,59	0,7	0,4	0,32	0,25	0,24	0,24	0,29	0,33	0,43
80	1971	0,21	0,2	0,26	0,38	0,66	0,69	0,39	0,28	0,23	0,22	0,22	0,2	0,33	0,44
	средн.	0,21	0,21	0,26	0,34	0,63	0,70	0,40	0,30	0,24	0,23	0,23	0,25	0,33	0,43
90	1974	0,20	0,15	0,2	0,44	0,67	0,36	0,24	0,25	0,23	0,2	0,17	0,17	0,28	0,37
95	1968	0,21	0,21	0,21	0,44	0,58	0,35	0,22	0,17	0,18	0,16	0,14	0,14	0,25	0,32
97	1975	0,14	0,13	0,17	0,26	0,35	0,46	0,25	0,2	0,21	0,23	0,21	0,16	0,23	0,29
Ср. арифм. (фактив.)		0,22	0,21	0,23	0,44	0,87	1,02	0,66	0,44	0,36	0,32	0,29	0,26	0,45	0,63
		р. Терисбугак – расчетный створ №1													
25	2010	0,040	0,034	0,042	0,076	0,10	0,18	0,15	0,11	0,090	0,080	0,070	0,063	0,087	0,12
50	1990	0,036	0,037	0,040	0,062	0,15	0,15	0,080	0,062	0,048	0,048	0,045	0,039	0,066	0,093
75	1978	0,025	0,025	0,026	0,048	0,097	0,13	0,079	0,057	0,043	0,037	0,036	0,034	0,053	0,076
	1962	0,032	0,032	0,040	0,045	0,091	0,11	0,062	0,049	0,039	0,037	0,037	0,045	0,051	0,066
80	1971	0,032	0,031	0,040	0,059	0,10	0,11	0,060	0,043	0,036	0,034	0,034	0,031	0,051	0,068
	средн.	0,032	0,032	0,040	0,053	0,097	0,11	0,062	0,046	0,037	0,036	0,036	0,039	0,051	0,066
90	1974	0,031	0,023	0,031	0,068	0,10	0,056	0,037	0,039	0,036	0,031	0,031	0,026	0,043	0,057
95	1968	0,032	0,032	0,032	0,068	0,090	0,054	0,034	0,026	0,028	0,025	0,025	0,022	0,039	0,049
97	1975	0,022	0,020	0,026	0,040	0,054	0,071	0,039	0,031	0,032	0,036	0,032	0,025	0,036	0,045
Ср. арифм. (фактив.)		0,034	0,032	0,036	0,068	0,13	0,16	0,10	0,068	0,056	0,049	0,045	0,040	0,070	0,097

Обеспеченность, %	Год (факт)	Месяц												$Q_{\text{ср.год}}$	$Q_{\text{ср.векст.}}$	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
		р. Казашка – расчетный створ №2														
25	2010	0,13	0,11	0,14	0,25	0,34	0,59	0,51	0,36	0,30	0,27	0,23	0,21	0,29	0,39	
50	1990	0,12	0,12	0,13	0,21	0,50	0,51	0,27	0,21	0,16	0,16	0,15	0,13	0,22	0,31	
75	1978	0,08	0,08	0,09	0,16	0,33	0,43	0,26	0,19	0,14	0,12	0,12	0,11	0,18	0,25	
	1962	0,11	0,11	0,13	0,15	0,31	0,36	0,21	0,17	0,13	0,12	0,12	0,15	0,17	0,22	
80	1971	0,11	0,10	0,13	0,20	0,34	0,36	0,20	0,14	0,12	0,11	0,11	0,10	0,17	0,23	
	средн.	0,11	0,11	0,13	0,18	0,33	0,36	0,21	0,16	0,12	0,12	0,12	0,13	0,17	0,22	
90	1974	0,10	0,08	0,10	0,23	0,35	0,19	0,12	0,13	0,12	0,10	0,10	0,09	0,14	0,19	
95	1968	0,11	0,11	0,11	0,23	0,30	0,18	0,11	0,09	0,09	0,08	0,08	0,072	0,13	0,17	
97	1975	0,07	0,07	0,09	0,13	0,18	0,24	0,13	0,10	0,11	0,12	0,11	0,083	0,12	0,15	
Ср. арифм. (фиктив.)		0,11	0,11	0,12	0,23	0,45	0,53	0,34	0,23	0,19	0,17	0,15	0,13	0,23	0,33	
в % (для створов р. Терисбутак – устье, р. Терисбутак – расчетный створ №1 и р. Казашка – расчетный створ №2)																
Многоводный	25 %	3,89	3,29	4,04	7,34	9,88	17,1	14,8	10,33	8,68	7,78	6,74	6,14	100	68,11	
Средний	50 %	4,46	4,65	5,04	7,75	18,60	19,19	10,08	7,75	6,01	6,01	5,62	4,84	100	69,38	
Маловодный	75 %	3,88	3,88	4,13	7,52	15,29	20,39	12,38	8,98	6,80	5,83	5,58	5,34	100	71,36	
	80 %	5,30	5,18	6,57	8,46	15,78	17,55	9,97	7,58	6,06	5,81	5,81	6,19	100	65,40	
	90 %	6,04	4,53	6,04	13,29	20,24	10,88	7,25	7,55	6,95	6,04	6,04	5,14	100	66,16	
Очень маловодный	95 %	6,93	6,93	6,93	14,52	19,14	11,55	7,26	5,61	5,94	5,28	5,28	4,62	100	64,03	
	97 %	5,07	4,71	6,16	9,42	12,68	16,67	9,06	7,25	7,61	8,33	7,61	5,80	100	62,68	
	99 %	5,07	4,71	6,16	9,42	12,68	16,67	9,06	7,25	7,61	8,33	7,61	5,80	100	62,68	
Ср. арифм. (фиктив.)		4,19	3,97	4,32	8,31	16,24	19,08	12,34	8,29	6,79	6,06	5,48	4,93	100	59,2	

Расчетное распределение стока по месяцам методом компоновки, за период 1947...2011 гг.

Водность года	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	р. Терисбугак – устье											
	Месячный сток в % от годового											
Многоводный	4,03	3,68	3,53	9,11	16,09	21,05	12,64	7,57	6,04	5,94	5,33	4,99
Средний	4,23	4,00	4,15	8,33	16,59	21,56	11,46	7,34	6,21	6,05	5,35	4,74
Маловодный	4,37	3,99	5,82	11,11	19,27	14,95	8,98	7,84	7,03	6,01	5,64	4,99
Очень маловодный	4,57	4,17	5,72	10,91	18,94	14,69	8,82	7,71	6,91	6,36	5,97	5,22
	Месячные расходы воды для лет различной водности, м ³ /с											
Многоводный, 25 %	0,25	0,23	0,22	0,57	1,01	1,33	0,80	0,48	0,38	0,37	0,34	0,31
Средний, 50 %	0,22	0,20	0,21	0,42	0,84	1,10	0,58	0,37	0,32	0,31	0,27	0,24
Маловодный, 75 %	0,18	0,16	0,24	0,46	0,79	0,62	0,37	0,32	0,29	0,25	0,23	0,21
Очень маловодный, 95 %	0,14	0,13	0,18	0,34	0,58	0,45	0,27	0,24	0,21	0,20	0,18	0,16
Очень маловодный, 97 %	0,12	0,11	0,15	0,29	0,50	0,39	0,23	0,20	0,18	0,17	0,16	0,14
Очень маловодный, 99 %	0,10	0,10	0,13	0,25	0,43	0,33	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,12
	р. Терисбугак – расчетный створ №1											
	Месячный сток в % от годового											
Многоводный	4,03	3,68	3,53	9,11	16,09	21,05	12,64	7,57	6,04	5,94	5,33	4,99
Средний	4,23	4	4,15	8,33	16,59	21,56	11,46	7,34	6,21	6,05	5,35	4,74
Маловодный	4,37	3,99	5,82	11,11	19,27	14,95	8,98	7,84	7,03	6,01	5,64	4,99
Очень маловодный	4,57	4,17	5,72	10,91	18,94	14,69	8,82	7,71	6,91	6,36	5,97	5,22
	Месячные расходы воды для лет различной водности, м ³ /с											
Многоводный, 25 %	0,039	0,036	0,034	0,088	0,156	0,206	0,124	0,074	0,059	0,057	0,053	0,048
Средний, 50 %	0,034	0,031	0,032	0,065	0,130	0,170	0,090	0,057	0,049	0,048	0,042	0,037
Маловодный, 75 %	0,028	0,025	0,037	0,071	0,122	0,096	0,057	0,049	0,045	0,039	0,036	0,032

Водность года	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Очень маловодный, 95 %	0,022	0,020	0,028	0,053	0,090	0,070	0,042	0,037	0,032	0,031	0,028	0,025
Очень маловодный, 97 %	0,019	0,017	0,023	0,045	0,077	0,060	0,036	0,031	0,028	0,026	0,025	0,022
Очень маловодный, 99 %	0,015	0,015	0,020	0,039	0,066	0,051	0,031	0,028	0,025	0,023	0,022	0,019
р. Казанка – расчетный створ №2												
Месячный сток в % от годового												
Многоводный	4,03	3,68	3,53	9,11	16,09	21,05	12,64	7,57	6,04	5,94	5,33	4,99
Средний	4,23	4,00	4,15	8,33	16,59	21,56	11,46	7,34	6,21	6,05	5,35	4,74
Маловодный	4,37	3,99	5,82	11,11	19,27	14,95	8,98	7,84	7,03	6,01	5,64	4,99
Очень маловодный	4,57	4,17	5,72	10,91	18,94	14,69	8,82	7,71	6,91	6,36	5,97	5,22
Месячные расходы воды для лет различной водности, м ³ /с												
Многоводный, 25 %	0,13	0,12	0,11	0,29	0,52	0,69	0,41	0,25	0,20	0,19	0,18	0,16
Средний, 50 %	0,11	0,10	0,11	0,22	0,43	0,57	0,30	0,19	0,17	0,16	0,14	0,12
Маловодный, 75 %	0,093	0,083	0,12	0,24	0,41	0,32	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11
Очень маловодный, 95 %	0,072	0,067	0,093	0,18	0,30	0,23	0,14	0,12	0,11	0,10	0,093	0,083
Очень маловодный, 97 %	0,062	0,057	0,078	0,15	0,26	0,20	0,12	0,10	0,093	0,088	0,083	0,072
Очень маловодный, 99 %	0,052	0,052	0,067	0,129	0,222	0,171	0,103	0,093	0,083	0,078	0,072	0,062

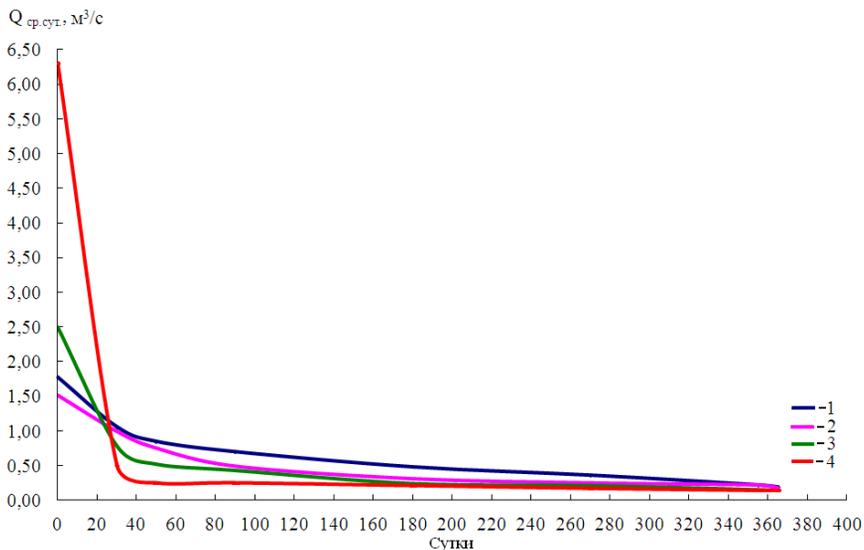


Рис. 1. Кривые продолжительности суточных расходов воды за реальные годы различной водности р. Терисбутак – устье. 1 – 2010 г. (25 %); 2 – 1990 г.(50 %); 3 – 1978 г.(75 %); 4 – 1968 г.(95 %).

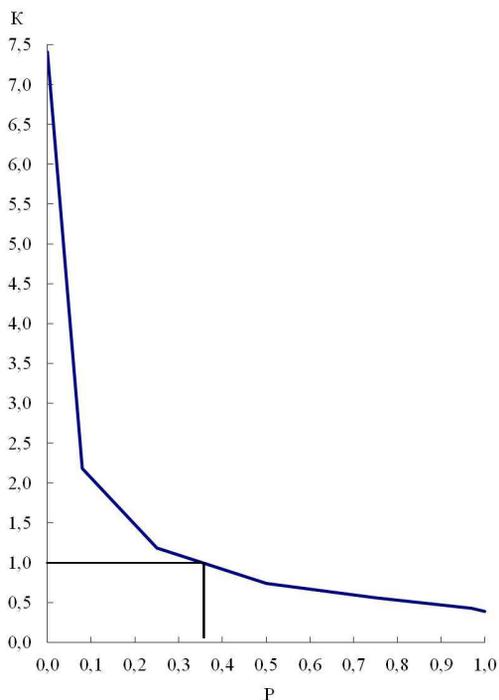


Рис. 2. Кривая обеспеченности суточных расходов воды $K = f(P)$, р. Терисбутак – устье, за период 1947...2011 гг.

Таблица 6

Продолжительность суточных расходов воды для реальных лет различной водности р. Терисбутак, 1947...2011 гг.

Продолжительность, сутки	Расходы воды по реальным годам различной водности, м ³ /с			
	2010 г. (25 %)	1990 г.(50 %)	1978 г.(75 %)	1968 г.(95 %)
р. Терисбутак – устье				
0 (Q _{max})	1,78	1,51	2,5	6,3
30	1,06	0,99	0,78	0,5
50	0,85	0,75	0,52	0,25
90	0,7	0,49	0,43	0,25
180	0,48	0,31	0,24	0,21
270	0,36	0,25	0,21	0,17
355	0,22	0,22	0,15	0,14
365 (Q _{min})	0,19	0,18	0,14	0,14
р. Терисбутак – расчетный створ №1				
0 (Q _{max})	0,28	0,23	0,39	0,97
30	0,16	0,15	0,12	0,077
50	0,13	0,12	0,080	0,039
90	0,11	0,076	0,066	0,039
180	0,074	0,048	0,037	0,032
270	0,056	0,039	0,032	0,026
355	0,034	0,034	0,023	0,022
365 (Q _{min})	0,029	0,028	0,022	0,022
р. Казашка – расчетный створ №2				
0 (Q _{max})	0,92	0,78	1,29	3,26
30	0,55	0,51	0,40	0,26
50	0,44	0,39	0,27	0,13
90	0,36	0,25	0,22	0,13
180	0,25	0,16	0,12	0,11
270	0,19	0,13	0,11	0,088
355	0,11	0,11	0,078	0,072
365 (Q _{min})	0,098	0,093	0,072	0,072

Таблица 7

Ординаты средней кривой продолжительности суточных расходов воды (в долях от среднего многолетнего расхода) и коэффициент внутригодовой зарегулированности стока φ (в долях от среднего годового расхода для р. Терисбутак – устье, р. Терисбутак – расчетный створ №1 и р. Казашка – расчетный створ №2 (1947...2011 гг.)

Наибольший	Продолжительность, сутки/доли года					Наименьший	φ
	$\frac{30}{0,08}$	$\frac{90}{0,25}$	$\frac{180}{0,50}$	$\frac{270}{0,75}$	$\frac{355}{0,97}$		
7,41	2,18	1,18	0,74	0,56	0,43	0,39	0,78

В соответствии с полученными данными продолжительность расходов, равных или превышающих средние годовые расходы за многолетний период для р. Терисбутак – устье составляют 128 суток.

Форма кривой продолжительности суточных расходов воды отражает основные черты внутригодового распределения стока реки, в частности степень его естественной зарегулированности.

Обобщенным показателем степени изменчивости стока в течении года является коэффициент естественной зарегулированности стока φ , численно характеризующий долю устойчивого (базисного) стока в годовом его объеме. Графически величина этого коэффициента определяется площадью, ограниченной кривой продолжительности расходов, горизонтальной прямой линией, соответствующей среднему годовому многолетнему расходу и осями координат.

В однородных природно-климатических районах величина φ изменяется главным образом в зависимости от средней высоты речных водосборов. Для рек северного склона Илейского Алатау по данным [7] φ уменьшается от 0,85 при средней высоте водосбора ($H_{\text{ср. водосб.}}$) равной 1000 м БС, до 0,75 при $H_{\text{ср. водосб.}} = 3200$ м БС. При увеличении средней высоты водосбора до 3500...3600 м БС он уменьшается до 0,7. Определенный в данной работе коэффициент зарегулированности для р. Терисбутак – устье составил величину 0,78 (см. табл. 7).

Для получения абсолютных значений средней кривой продолжительности расходов (см. рис. 1) значения в относительных величинах необходимо умножить на средний за многолетний период расход воды.

Выводы. Исследование и расчёт водных ресурсов и внутригодового распределения стока воды р. Терисбутака – одна из главных гидрологических задач, которая была решена при обосновании строительства и эксплуатации водозаборов для горнолыжного курорта Кок-Жайлау. Для получения всесторонней характеристики внутригодового распределения стока расчёты его произведены с использованием нескольких методов, что позволяет сделать выбор оптимального варианта при наличии исходных гидрологических данных различного объёма, в зависимости от поставленной цели и необходимой точности. Выше также приведен краткий анализ методов, показаны их положительные стороны и недостатки. Метод компоновки является наиболее универсальным и надежным методом расчета внутригодового стока, так как, применяя его, можно рассчитать внутригодовое распределение, зная величину среднегодового расхода и его обеспеченность. Метод исключает влияние субъективных факторов реального года. Вместе с тем необходимо знать нюансы колебаний водности и в конкретные годы, в чём поможет метод анализа внутригодового распределения за реальные годы. Анализ результатов свидетельствует о том, что на внутригодовое распределение стока воды рек в рассматриваемом районе, в том числе и р. Терисбутака, оказывают влияние водность года, распределение атмосферных осадков, средняя высота водосбора и ряд других факторов. Сток этой реки за период май – сентябрь для лет разной водности находится в пределах 73,7...76 %, за октябрь – ноябрь 11,3...12,3 %, за декабрь – февраль 12,7...14,0 %. Наименьший сток наблюдается в феврале (см. табл. 4-5). Коэффициент внутригодовой зарегулированности стока φ (в долях от среднего годового расхода) для р. Терисбутака – устье имеет среднюю величину в районе, к которому отнесена эта река, согласно [7]. Результаты и методика проведенных исследований могут быть использованы для гидрологических и водохозяйственных расчётов по другим рекам исследуемого района при дальнейшем освоении горных территорий.

Статистические характеристики стока воды р. Терисбутака, результаты исследований и расчёта внутригодового распределения стока использованы для обоснования строительства и эксплуатации водозаборов в бассейне этой реки при эксплуатации горнолыжного курорта Кок-Жайлау.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.Г. Внутригодовое распределение стока. – Л.: Гидрометеоиздат, 1960. – 328 с.

2. Жандаев М.Ж. Геоморфология Заилийского Алатау и проблемы формирования речных долин. – Алма-Ата: Наука, 1972. – 162 с.
3. Мазур Л.П., Абдрасилов С.А. Анализ и расчет внутригодового распределения стока некоторых горных рек Джунгарского и Заилийского Алатау / Вопросы прикладной физической географии и экологии Казахстана. – Алма-Ата: КазГУ, 1993. – С. 57-73.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Бассейн оз. Балхаш. Основные гидрологические характеристики. Центральный и Южный Казахстан. – Л.: Гидрометеоздат, 1967. – Т.13, Вып. 2. – 472 с.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Бассейн оз. Балхаш. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – Т. 13, Вып. 2. – 643 с.
6. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 1985. – 36 с.
7. СП-33-101-2003. Определение основных расчетных характеристик – М.: Госстрой России, – 2004. – 71 с.
8. Фролова Н.Л., Нестеренко Д.П., Шенберг Н.В. Внутригодовое распределение стока рек России // Вестн. Моск. ун-та. Сер.5. География. – 2010. – №6. – С. 8-16.

Поступила 10.05.2017

Геогр. ғылымд. канд. А.Г. Чигринец

Геогр. ғылымд. канд. Л.П. Мазур

ТЕРІСБҰТАҚ ӨЗЕНІНІҢ СУ РЕСУРСТАРЫ ЖӘНЕ АҒЫНДЫНЫҢ ЖЫЛШІЛІК ТАРАЛУЫ

Түйін сөздер: таулы өзен, су өтімі, су ресурстары, ағынды қамтамасыздығы, гидрологиялық аналогия әдісі, редукция, су жинау алабының орташа биіктігі, ағындының жылшылық таралуы, ағынды гидрографы, ағынды модулі, су режимінің фазалары, жинақтау әдісі

Бұл еңбекте Үлкен Алматы өзені алабында орналасқан (Іле Алатауының солтүстік беткейі) Терісбұтақ таулы өзенінің су ресурстарын және ағындының жылшылық таралуын зерттеу нәтижелері келтірілген. Ағындының жылшылық таралуын есептеу бірнеше әдістерді қолдана отырып жүргізілді, бұл өз кезегінде бастапқы көлемі әр түрлі гидрологиялық мәліметтер болған жағдайда ең тиімді нұсқасын таңдауға мүмкіндік береді. Терісбұтақ өзені ағындысының статистикалық сипаттамалары осы алапта Көк-Жайлау тау шаңғы демалыс орнын ұйымдастыруға

қажетті құрылыс жобалары мен су жіберу имараттарын пайдалануға негіз ретінде қолданылды.

Chigrinets A.G., Mazur L.P.

WATER RESOURCES AND INTRA-ANNUAL DISTRIBUTION OF TERISBUTAK RIVER WATER RUNOFF

Keywords: mountain river, duty of water, water resources, runoff probability, method of hydrologic analogue, reduction, average altitude of water shade, intra-annual runoff distribution, runoff hydrograph, runoff module, composition method

There have been given the results of studies of water resources and the intra-annual distribution of the runoff of Terisbutak mountain river, located in the basin of Ulken Almaty river (the northern slope of the Ileisky Alatau). Calculations of the intra-annual runoff distribution are accomplished with the use of several methods, which makes it possible to choose the most optimal variant taking into account the initial hydrological data of different capacity. Statistical characteristics of Terisbutak river water runoff have been used to justify the construction and operation of water intakes in this basin during the organization of Kok-Zhailau ski resort.

УДК 551.311.21:627.141.2

Доктор геогр. наук

Б.С. Степанов¹

Доктор техн. наук

Р.К. Яфязова

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА СЕЛЕЙ ДОЖДЕВОГО ГЕНЕЗИСА

Ключевые слова: сель, дождь, снеговая линия, температура воздуха, слой осадков, прогноз, метод

В статье приведен краткий ретроспективный анализ исследований, выполненных с целью увеличения качества краткосрочного прогноза селей дождевого генезиса. Приведенные данные свидетельствуют о том, что существенный прогресс в прогнозировании селей может быть достигнут лишь при увеличении оправдываемости прогноза интенсивности и продолжительности жидких осадков, учете положения сезонной снеговой линии, сокращения времени предупрежденности о селевой опасности.

Систематические исследования в рамках решения проблемы прогноза селей на северном склоне Иле Алатау (Заилийский Алатау) начались в 50-е годы прошлого столетия и продолжаются в настоящее время. Выявлению гидрометеорологических факторов, обуславливающих возможность формирования катастрофических селей, посвящены работы С.П. Кавецкого и В.Р. Гулиной, И.П. Смирнова, И.О. Раушенбаха, М.П. Рыбкиной, Р.С. Голубова и В.Р. Рындиной, Т.А. Есеркеповой, И.П. Фадеевой, Ю.Б. Виноградова, А.П. Горбунова, Т.Л. Киренской и Н.А. Данилиной, В.А. Керемкулова, П.А. Плеханова, Ю.В. Хоменюка, Г.А. Токмагамбетова, А.Б. Максимова, Н.В. Попова, В.А. Голубовича, В.П. Мочалова, Е.А. Таланова, Б.С. Степанова, Т.С. Степановой, Р.К. Яфязовой, А.Х. Хайдарова и др.

В 1960 г. было издано Пособие по прогнозированию селеопасности [3], в основу которого был положен прогноз сильных осадков. Прогнозировались два вида селеопасности: прогнозирование собственно селеопасности и прогноз селя по времени добегания.

При прогнозировании селей дождевого генезиса учитывались:

- результаты стандартного синоптического прогноза осадков;

¹ Казгидромет, г. Алматы, Казахстан

- суждения о характере дождя в интересующем районе на основании результатов анализа уже начавшегося ливня в смежных районах и возможного изменения хода дождя по пути движения воздушных масс;
- данные температурного радиозондирования атмосферы.

Это позволяло предсказывать как сам случай выпадения ливней, так и приближенную оценку их величин с заблаговременностью около 10 ч (метод Р.С. Голубова). Данные о температуре и влажности воздуха позволяли судить о предельном количестве и интенсивности осадков. Положение снеговой линии использовалось для определения зоны возможного выпадения максимума дождя и т.д. Селеопасность в конкретном бассейне на каждый день устанавливалась на основании перечисленных выше признаков, с учетом высотной отметки максимума предшествовавшего за несколько дней сильного дождя, а также инфильтрационных характеристик водосборов.

На основании результатов анализа, имевшихся в то время данных, было установлено, что для условий р. Киши Алматы селеопасными могут быть дожди слоем более 40 мм, выпадающие в зоне 2500...3000 м [3].

При прогнозе селей по времени добегания Пособием по прогнозированию селеопасности [3] рекомендовалось использовать формулу

$$T = \frac{S}{V}, \quad (1)$$

где T – время добегания, с; S – длина русла реки, м; V – средняя скорость водного потока, м/с.

Скорость водного потока рекомендовалось определять по формуле Шези, коэффициент C – по формуле Маннинга. За критическое значение скорости водного потока принималось значение, приводившее к массовому переносу наносов.

Поскольку в основе прогноза селей был прогноз сильных осадков, а прогноз количества и интенсивности осадков на северном склоне Иле Алатау к моменту внедрения «Пособия» в практику Казгидромета не обладал достаточной оправдываемостью, он не нашел применения.

Несовершенство синоптических прогнозов интенсивности и продолжительности осадков для прогноза селей послужило основанием для проведения исследований возможностей радиолокационного обнаружения и прослеживания ливневых осадков на северном склоне Иле Алатау, осуществлявшихся в КазНИГМИ в период 1965...1968 гг. [5]. Проведению этих работ способствовало то обстоятельство, что в упомянутый период времени на территории бассейна р. Киши Алматы на площади 130 км² бы-

ло установлено около 80 плювиографов, использовавшихся при экспериментальном изучении элементов водного баланса горных водосборов [6]. Практически для каждого случая дождя удавалось собирать данные с 50...60 плювиографов, т.е. один плювиограф приходился на 2...2,5 км². Одновременно изучались процессы облакообразования, перемещения ливневых очагов над горами, зонального распределения ливней, дрейфа облаков, измерялись высота нулевой изотермы и ее положение при выпадении осадков, анализировались спектры размеров капель дождей (для изучения радиолокационного альбеда дождя) и т.д.

К началу проведения работ было известно, что на равнине радиолокационный метод измерения интенсивности и количества осадков на больших площадях сравним по точности с сетевым приборным методом. Однако на равнине луч радиолокатора устанавливается горизонтально или почти горизонтально, благодаря чему осадки измеряются в приземном слое и связь между отраженным сигналом и интенсивностью осадков получается надежной. Спецификой радиолокационных наблюдений в горной местности является установка радиолокационного луча под углом с целью избежать отражений от горных склонов, вершин и т.д., являющихся помехами. Это приводит к тому, что в большинстве случаев встреча луча с объемом отражения происходит не в столбе осадков, а в массе облака, дающего осадки, порой выше нулевой изотермы, где фазовое состояние частиц, их размеры и концентрация иные.

Анализ результатов измерений осуществлялся на участках площадью 4 км², в пределах которых рельеф, экспозиция и растительность были относительно однородными. Одновременно с радиолокационными наблюдениями изучался спектр капель, что позволяло вводить численную коррекцию на высоту луча. Слой осадков за весь дождь для участка определялся по формуле

$$H = \sum I_i T_i, \quad (2)$$

где H – слой осадков, мм; I_i – интенсивность осадков, мм/мин; T_i – промежуток времени данной интенсивности, мин.

Экспериментальные наблюдения осуществлялись преимущественно при выпадении ливневых осадков. Для приведения данных, полученных с помощью локатора, к данным, полученным с помощью плювиографов, определялся коэффициент согласования, вычислявшийся как частное от деления данных по плювиографу к данным радиолокационных наблюдений. Оказалось, что значения коэффициента согласования для каждого участка даже по сумме осадков за все дожди, наблюденные за 1967 г.,

варьируют в пределах от 1,38 до 10,11. Различного рода осреднения, в том числе по высотным зонам: низкогорная, среднегорная и высокогорная уменьшают вариацию в пределах зон.

Оценивая среднее отклонение и среднюю относительную погрешность измерения для трех случаев дождей:

- мелкокапельный обложной дождь, охвативший весь бассейн;
- ливневой дождь со слабой грозой в дневное время;
- ливень с сильной грозой и шквалом в дневное время,

А.Ф. Литовченко [6] приходит к выводу, что относительная погрешность сравнима с измеряемой величиной и «... на существующем уровне исследований для отдельных дождей методом радиолокации в горных условиях можно оценить лишь порядок сумм осадков». Это совершенно недостаточно для надежного прогнозирования селей. Однако при осреднении по зонам или бассейну за весь сезон метод дает погрешность, близкую к 10 %, что приемлемо, по мнению автора обсуждаемой работы, для оценки сезонной водности горных рек, запасов воды для увлажнения бассейна и т.д. Работы по использованию метеорологических радиолокаторов для прогнозирования селей в Иле Алатау в дальнейшем не проводились.

В работе Б.А. Будагова и С.Г. Сафаровой [2] приведены сведения об использовании метеорологического радиолокатора МРЛ-5 с применением современного программно-технического комплекса [1] для оценки селевой опасности на южном склоне Большого Кавказа. В данном регионе картина распределения выпадающих осадков, снятых с помощью автоматизированных МРЛ, позволяет в любой точке пространства оценить характеристики выпадающих осадков. Это, по мнению авторов [2], позволяет по радиолокационной картине фактического распределения осадков по бассейну, с учетом особенностей местной циркуляции, прогнозировать селевые потоки с заблаговременностью 2...5 ч (с учетом времени формирования и добегания селя до конкретного пункта прогноза). К сожалению, информация о месте расположения МРЛ и данные о рельефе местности в описываемом регионе отсутствуют, что не позволяет оценить степень прогресса использования МРЛ в горной местности для прогноза селей за последние десятилетия.

Существенным шагом в развитии методологии прогнозирования селей дождевого генезиса явились результаты исследований, выполненных в КазНИГМИ под руководством Т.Л. Киренской в 90-е годы 20 столетия. При разработке метода прогноза использовались результаты полевых исследований геологических и морфометрических характеристик селевых очагов, дан-

ные статистического анализа параметров распределения слоя и продолжительности суточных сумм жидких осадков, изучения процессов взаимодействия сосредоточенных водных потоков с рыхлообломочными породами, приводящих к образованию грязекаменных потоков и т.д.

В качестве критериев формирования селей дождевого генезиса на северном склоне Иле Алатау были предложены:

- суточная сумма осадков на М Мынжылки более 40 мм;
- сумма осадков по метеостанциям и гидропостам Мынжылки, Ворота Туйыксу, Верхний Горельник, Усть-Горельник и г. Алматы более 300 мм;
- температура воздуха в предшествующие осадкам сутки не менее 5 °С;
- сумма температур за 5 суток – 35 °С, а за 10 суток – 50 °С;
- высота нулевой изотермы более 4500 м [4].

По данным автора обсуждаемого прогноза, при выполнении трех критериев: слой осадков на М Мынжылки более 40 мм, высота нулевой изотермы более 4500 м и сумма осадков по метеостанциям и гидропостам Мынжылки, Ворота Туйыксу, Верхний Горельник, Усть-Горельник, г. Алматы более 300 мм за сутки, за 40 летний период наблюдений, могли быть составлены два прогноза прохождения селей, один из которых оправдался. Для прогноза селевых потоков предполагалось использовать метод прогноза осадков Г.К. Ветлицкой. К сожалению, последний не содержал необходимой информации о продолжительности осадков, вследствие чего прогноз селей не нашел широкого применения.

Идентичные метеорологические характеристики были использованы исследователями МГУ при разработке прогноза дождевых селей для северного склона Главного Кавказского хребта [8]. Было установлено, что образование селей и масштабы селепроявлений зависят от сочетания шести факторов, управляющих процессом, при значениях метеорологических параметров, равных или превышающих критические величины. Упомянутые параметры включали в себя: суточное количество осадков, температуру воздуха в день с осадками, максимальную интенсивность ливня, сумму положительных температур воздуха от даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С, сумму осадков за тот же период времени, сумму суточных температур воздуха за шесть дней до схода селя. Критическое значение осадков – 20 мм, температура воздуха в день с осадками равна 9 °С.

В ходе проведения испытаний, с учетом проблем, связанных с получением прогнозных данных об интенсивности ливней, была принята следующая формула для краткосрочного прогноза селей:

$$F_6 = 8 \cdot 10^{-4} xt + 10^{-2} \sum t_6, \quad (3)$$

где F_6 – характеристика состояния равновесия рыхлообломочного материала на поверхности склона (при $F_6 > 1$ происходит нарастающий процесс схода селя, для селеопасной ситуации $F_6 > 0,3$); $8 \cdot 10^{-4} xt$ – отражает совокупное краткосрочное воздействие температуры воздуха и осадков на потенциально подготовленный к подвижкам рыхлообломочный материал; x – осадки; t – температура воздуха в день с осадками; t_6 – сумма среднесуточных температур воздуха за 6 суток до схода селя.

Оправдываемость прогноза, по данным ее авторов, за период с 1984 по 1995 гг. составила 78 %. Из 18 случаев превышения количественной величины функции F_6 критического значения ($F_6 = 1$), в 14 случаях наблюдался сход селя.

В период 1991...1995 гг. в КазНИИМОСК (в прошлом КазНИГМИ) проводились НИР в рамках выполнения темы 1.6.1 «Разработать методы мониторинга и прогноза селей для бассейнов рек центральной части Заилийского Алатау». Предполагалось, что прогноз селеопасности будет составляться по результатам прогноза селей в контрольных объектах Иле Алатау. В высокогорной зоне в качестве контрольных объектов были выбраны рывтина №18 (бассейн р. Киши Алматы) и врез №50 (бассейн р. Улкен Алматы). Контрольными объектами в низкогорной зоне служили два очага рассредоточенного селеобразования в бассейнах рек Аксай и Талгар. Итогом работы стали 81 таблица, в которых подекадно (с мая по август включительно) приведены вероятностные характеристики селевых потоков в контрольных очагах в зависимости от прогностического количества осадков за 12 ч по различным метеостанциям. Прогностические осадки заданы с точностью до 1 мм в интервале от 0 до 50 мм. Вероятность селеобразования приведена с точностью до двух значащих цифр, максимальный расход селя 25 % обеспеченности – до трех значащих цифр, объем селя 25 % обеспеченности – до четырех значащих цифр, плотность селя – до четырех значащих цифр. Вероятностный характер прогностическим характеристикам селей придает лишь вероятностная форма задания характеристик осадков в зоне селеформирования. Вероятностные характеристики перехвата осадков, состояния и увлажнения стокообразующих поверхностей, наличия в очагах селеформирования рыхлообломочных пород и т.д. не нашли отражения при расчетах. Отсутствие упомянутых выше и других характеристик факторов, определяющих, наряду с осад-

ками, характеристики селей, объясняется, прежде всего, отсутствием достоверных методик их определения, а также оценки влияния этих факторов на вероятностные характеристики селей. В такой ситуации при расчете вероятностных характеристик селей принято указывать, что вероятность характеристик селей априори принимается равной вероятности характеристик дождей и паводков, вызывающих селевые явления [7]. Это важное для практического использования методики прогноза указание в отчете отсутствует. В отчете по теме 1.6.1 «Разработать методы мониторинга и прогноза селей для бассейнов рек центральной части Заилийского Алатау» не приведена и авторская оценка оправдываемости прогноза по рытвине №18 и врезу №50.

Проверка достоверности прогноза селей по обсуждаемому методу на примере рытвины №18, по данным выпадения осадков на М Мынжылки, показала, что за период 1965...2006 гг. должно было образоваться 18 селей, селеформирование произошло лишь два раза. Из сказанного можно сделать вывод – достоверность прогноза пренебрежимо мала.

Причиной низкой оправдываемости обсуждаемого прогноза селей является необоснованный перенос данных о повторяемости и характеристиках селей среднегорья, формирующихся в очагах рассредоточенного селеобразования, на сели высокогорья, зарождающиеся в очагах сосредоточенного селеобразования.

В 2000 г. в КазНИИМОСК завершились исследования по НИР «Разработать метод прогноза катастрофических селей дождевого генезиса на северном склоне Заилийского Алатау». Целью исследований являлось увеличение достоверности прогноза селевых явлений на основе выявления природных механизмов формирования селей в высокогорной зоне при выпадении осадков, характеристики которых превышают критические значения. В результате исследований, выполненных в КазНИИМОСК в конце прошлого века, было установлено, что наиболее распространенным механизмом зарождения селей в стартовых зонах, расположенных на крутых склонах высокогорной зоны, является сдвиг водонасыщенных рыхлообломочных пород, накапливающихся в межселевые периоды в склоновых ложбинах, так называемых рытвинах [9]. Причиной зарождения селей является обводнение рыхлообломочных пород, залегающих на уклонах более 25° при движении воды в подземных каналах стока в напорном режиме. Установлено также, что сели в описываемом регионе реализуются при выпадении жидких осадков слоем более 40 мм за сутки при влагозапасах в почвогрунтах, превышающих 450 мм в слое 150 см (вычисляются по методике А.Ф. Литовченко).

Исходными данными для прогноза селевой опасности являются:

- высота снеговой линии,
- данные об осадках за предшествующие 60 суток по М Усть-Горельник для среднегорной зоны,
- данные об осадках за предшествующие 60 суток по М Мынжылки для высокогорной зоны,
- тип атмосферной циркуляции,
- прогностическое значение осадков для высот 2000 и 3000 м,
- средняя температура воздуха за предшествующие сутки по М Мынжылки и М Усть-Горельник.

Отсутствие прогноза слоя и продолжительности осадков, а также их фазового состояния не позволили в полной мере оценить возможности рассматриваемого метода прогноза в процессе его использования в практике Казгидромета.

К краткосрочным гидрометеорологическим прогнозам относятся прогнозы с заблаговременностью 12...72 ч. Однако эти прогнозы корректируются. Таким образом, краткосрочный прогноз может превращаться в сверхкраткосрочный. Основной задачей краткосрочного и сверхкраткосрочного прогнозов является предупреждение гибели людей. Это достигается тем, что заблаговременность предупрежденности не должна быть меньше времени добегания селя до объекта поражения. Это требование является основным при разработке систем оповещения о селевой опасности. Высокая эффективность сверхкраткосрочного предупреждения была подтверждена многолетней эксплуатацией в Казгидромете системы Радиооповестителя селей (РОС) на реках северного склона Иле Алатау.

Анализ оправдываемости краткосрочных прогнозов катастрофических селей, составлявшихся отделом гидропрогнозов ГМЦ РГП «Казгидромет» по методу, изложенному в отчете по НИР «Разработать метод прогноза катастрофических селей дождевого генезиса на северном склоне Заилийского Алатау», свидетельствовал о низкой оправдываемости. Причиной низкой оправдываемости явилось использование при прогнозе селей данных, получаемых по результатам синоптического прогнозирования осадков, хотя при разработке метода прогноза селей предполагалось, что прогноз осадков будет осуществляться синоптико-гидродинамическим методом (его разработка к 2001 г. была завершена).

В определенной мере низкая оправдываемость прогнозов селей была обусловлена и тем обстоятельством, что в соответствии с «Наставле-

нием по службе прогнозов погоды» (РГП «Казгидромет», 2005 г.) критериями опасных явлений (ОЯ) и стихийных гидрометеорологических явлений (СГЯ) являются дожди в селеопасных районах слоем 15...29 мм и более 30 мм соответственно. При составлении «Наставления» не учитывалось, что сель – многофакторное явление и критерием селеформирования, в частности, является слой, превышающий 40 мм. Поскольку осадки слоем 15...29 мм принимались за критерий селеопасности, число предупреждений о катастрофических селях намного превышало число реальных селей. Все это и стало причиной низкой оправдываемости селей (представляющих реальную опасность), недоверия потребителей к прогнозу селей.

В связи с этим в период 2008...2010 гг. был разработан сверхкраткосрочный метод прогноза селей дождевого генезиса для бассейнов рек Киши и Улкен Алматы, поскольку сели на этих реках угрожают г. Алматы. Этот метод прогноза впервые был основан не на прогнозе осадков, а данных о фактическом выпадении жидких осадков. Также, при оценке температурного фона выпадающих осадков, впервые используется текущая информация об изменении температуры воздуха, что позволяет более надежно прогнозировать возможность изменения фазового состояния выпадающих осадков и, тем самым, намного сокращать период времени, на который распространяется предупреждение об ОЯ и СГЯ.

Формирование селей дождевого генезиса – многофакторный процесс. Главными факторами селеформирования являются: климатические и сезонные характеристики территории, слой и интенсивность жидких осадков, характеристики стокообразующих поверхностей, геологический и антропогенный факторы.

Важную роль при прогнозе дождевых селей играют данные о положении сезонной снеговой линии. Мнение (отрицательно сказывающееся на оправдываемости прогнозов селевой опасности в Казахстане) о том, что положение снеговой линии «вторично по отношению к температуре воздуха», соответствует действительности только для климатической снеговой линии, определяемой как уровень земной поверхности, выше которого накопление твердых атмосферных осадков преобладает над их таянием и испарением.

В Северном Тянь-Шане на склонах, обращенных к северу и северо-западу, положение сезонной снеговой линии (определяемая как уровень земной поверхности выше которого в настоящий момент сохранился снежный покров) может быть существенно ниже нулевой изотермы. Сезонная снеговая линия может определяться как таянием снега, накопивше-

гося в холодные периоды смежных лет, так и выпадение твердых осадков в летний период времени. Так, на северном склоне Иле Алатау (бассейн р. Киши Алматы) в первой декаде июня 2016 г. сезонная снеговая линия располагалась на высоте 3100 м (высота климатической снеговой линии близка к 3900 м), на метеорологической площадке Института географии (высота 3400 м) высота снега превышала 2 м, а на леднике Туйыксу – 3 м, и это при погоде, когда уровень нулевой изотермы был близок к 5000 м. Представляется очевидным, что положение сезонной снеговой линии – важный фактор формирования селей дождевого генезиса. Низкое положение снежного покрова приводит не только к росту отрицательного температурного скачка, увеличивающего вероятность выпадения осадков в твердой фазе (град, снежная крупа, снег), но и перехвату жидких осадков снежной массой.

Анализ интенсивности и слоя жидких осадков, приводящих к формированию селей на северном склоне Иле Алатау, показал, что в качестве оптимального значения выпавшего слоя осадков, после которого целесообразен прогноз селевой опасности (ОЯ или СГЯ), является 40 мм. Выбор этого значения обусловлен тем, что в реальных условиях сель образуется при выпадении дождя слоем, близким к 60 мм. Подобные осадки в обсуждаемом районе в селеопасный период времени выпадают 1 раз в 2...3 года. В таких условиях время предупрежденности о селевой опасности в среднем складывается из времени выпадения осадков, при котором слой выпавших осадков увеличится с 40 мм до 60 мм, и времени добегания селя от места зарождения до объектов поражения. Это в несколько раз превышает время добегания селя и, при использовании современных технических средств оповещения о селевой опасности, обеспечивает безопасность населения. Замена 40 мм значения слоя осадков на 30 мм, увеличила бы предупрежденность на первые десятки процентов, однако оправдываемость прогноза селей уменьшилась в несколько раз из-за нелинейности кривой обеспеченности осадков.

Увеличению эффективности сверхкраткосрочного прогноза селей должен способствовать и его алгоритм, в соответствии с которым органы ЧС и МВД (за три часа до начала выпадения прогнозируемых осадков) информируются о вероятности выпадения селеформирующих осадков, а в последующие времена – начале выпадения осадков, выпадении 40 мм слоя жидких осадков в зоне зарождения селей, выпадении осадков слоем 50 мм, 60 мм и т.д. При 100 % предупрежденности о селевой опасности, в усло-

виях современного климата, «перестраховочный» прогноз селя будет в среднем иметь место один раз в 2 года, т.е. в несколько раз реже, чем это имеет место в прогнозах, выпускаемых в настоящее время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абшаев М.Т. Автоматизированная система обработки радиолокационной информации для активного воздействия на градовые процессы // Труды ЦКБ ГМП. – 1996. – №4. – С. 80-90.
2. Будагов Б.А., Сафаров С.Г. Селевые явления на южном склоне Большого Кавказа и гидрометеорологические факторы их формирования // Известия РАН. Серия географическая. – М.: Наука, 2008. – №2. – С. 116-121.
3. Кавецкий С.П., Гулина В.Р. Пособие по прогнозированию селеопасности. – Алма-Ата, 1960. – 59 с.
4. Киренская Т.Л. О прогнозировании ливневых селей в Заилийском Алатау // Селевые потоки. – М.: Гидрометеиздат, 1985. – №9. – С. 77-84.
5. Коротаяев Г.А. Опыт измерения осадков в горах радиолокационным методом // Труды КазНИГМИ. – 1969. – Вып. 37. Исследования облаков и осадков в Казахстане. – С. 62-77.
6. Литовченко А.Ф. Экспериментальное изучение элементов водного баланса горных водосборов. – Киев: Вища школа, 1986. – 187 с.
7. РД 11-814-84. Рекомендации по проектированию противоселевых защитных сооружений. – М.: Гидропроект, 1985. – 110 с.
8. Сейнова И.Б., Золотарев Е.А. Ледники и сели Приэльбрусья. (Эволюция оледенения и селевой активности). – М.: Научный мир, 2001. – 204 с.
9. Степанов Б.С., Хайдаров А.Х., Яфязова Р.К. Механизмы, приводящие к формированию селей дождевого генезиса в высокогорной зоне Заилийского Алатау // Гидрометеорология и экология. – 2001. – №1-2. – С. 74-81.

Поступила 12.06.2017

Геогр. ғылымд. докторы Б.С. Степанов
Техн. ғылымд. докторы Р.К. Яфязова

ЖАЙ-КҮЙІ, ПРОБЛЕМАЛАРЫ ҚЫСҚА МЕРЗІМДІ БОЛЖАУ СЕЛ ДОЖДЕВОГО ГЕНЕЗИСІ

Түйін сөздер: сел, жанбыр, қар сызығы ауаның температурасы, қабаты жауын-шашын, болжам әдісі

Мақалада келтірілген қысқаша ретроспективті талдау зерттеулер орындалған сапасын арттыру мақсатында қысқа мерзімді болжау сел дождевого генезисі. Келтірілген деректер көрсеткендей,

елеулі прогресс болжау сел қол жеткізу мүмкін ғана ұлғайған кезде өзін-өзі ақтауын болжау қарқындылығы мен ұзақтығы, сұйық жауын-шашын, есепке алу ережелері маусымдық қар сызығының уақытын қысқарту, предупреденности туралы сел қаупі.

Stepanov B.S., Yafyazova R.K.

STATE OF PROBLEM OF THE SHORT-TERM FORECAST FOR RAINFALL-INDUCED DEBRIS FLOWS

Keywords: debris flow, rainfall, snow line, air temperature, precipitation, forecast, method

The paper presents a brief retrospective analysis of the investigations carried out for increasing the quality of the short-term forecast for rainfall-induced debris flows. The data presented in the paper indicate that substantial progress in forecasting debris flows can be achieved only with an increase in the accuracy of forecast of intensity and duration of liquid precipitation, taking into account the location of the seasonal snow line, shortening of the warning time for debris-flow hazard.

УДК 556.11:639.3

О.А. Шарипова¹**СОВРЕМЕННЫЙ ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ОЗЕРНЫХ СИСТЕМ НИЖНЕЙ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ИЛИ**

Ключевые слова: дельтовые озера, гидрохимический режим, органическое вещество, биогенные элементы, минерализация

В статье представлены результаты исследований гидрохимического режима озер нижней дельты р. Или. Анализ межгодовой динамики химических параметров воды мониторинговых озер Ийр-Майтанской и Наурызбайской систем показал снижение содержания органического вещества. Вода озер Ийр-Майтанской системы отличается постоянством ионно-солевого состава. Для Наурызбайской системы характерны значительные колебания минерализации воды в зависимости от уровня водности р. Или.

Введение. Дельта р. Или – богатейший природный комплекс с большим разнообразием пустынной флоры и фауны. На территории современной дельты р. Или расположено большое количество озер и разливов, имеющие определенную ценность для рыбного хозяйства. При благоприятных гидрологических условиях они обводняются и представляют собой удобные места для нереста и нагула рыб.

Для сохранения биоразнообразия и поддержания устойчивого развития уникального природного объекта, правительство Республики Казахстан планирует значительно повысить природоохранный статус данной территории, создав на базе трех заказников (Прибалхашского, Каройского и Куканского) единый национальный парк. Документы для внесения дельты р. Иле и южной части оз. Балхаш были подготовлены правительством Казахстана в рамках проекта Всемирного фонда дикой природы (WWF) и официально представлены в секретариат Рамсарской конвенции.

Дельта р. Или – динамичная и неустойчивая система, водоемы значительно отличаются гидролого-гидрохимическим режимом. В связи с этим особую актуальность приобретает изучение гидрохимических параметров отдельных водоемов при определенных изменениях абиотических и биотических факторов.

¹ Балхашский филиал ТОО КазНИИ рыбного хозяйства, Казахстан

Материал и методика исследований. Дельта р. Или образуется разделением основного русла на три водотока: собственно Или, Топар и Жидели-Ийрская система протоков. Общая площадь современной дельты р. Или достигает 8,30 тыс. км², из которых свыше 3,0 тыс. км² являются деятельной поверхностью, занятой водой, болотами и другими гидрографическими объектами (рис. 1).



Рис. 1. Дельта реки Или.

Гидрохимическая характеристика водоемов нижней дельты р. Или представлена на основании комплексных исследований, выполненных в период 2012...2015 гг. на озерах Ийр-Майтанской, Наурызбайской, Семизкульской, Мынкарманской, Изенды-Акдалинской, Акозекской и Бесашской системах. В сравнительном анализе использовались фондовые материалы КазНИИ рыбного хозяйства.

Гидрохимические исследования проводились согласно методическим руководствам О.А. Алекина, А.Д. Семенова [1, 5]. Калий и натрий определялись методом фотометрии пламени на ПФМ [2]. Соответствие результатов анализов рыбохозяйственным ПДК проводилось по общепринятому «Обобщенному перечню ПДК» [4].

Результаты и их обсуждение. Данные по качественному составу воды исследуемых водоемов представлены в таблице.

Ийр-Майтанская и Наурызбайская озерные системы являются мониторинговыми, гидрохимические исследования проводятся ежегодно на протяжении многих лет.

Многолетние данные исследований свидетельствуют, что проточные водоемы Ийр-Майтанской системы имеют аналогичный качественный состав воды, незначительно отличающийся от источника питания. Водоемы неглубокие (1,0...2,6 м), хорошо прогреваемые. Прозрачность воды, в связи с большей проточностью данных озер, невысокая – 35...50 см.

Таблица
Гидрохимические показатели воды озер нижней дельты р. Или

Водоем	рН	Растворенные газы, мг/дм ³		Биогенные элементы, мг/дм ³				Органическое вещество, мг/дм ³	Минерализация, мг/дм ³
		CO ₂	O ₂	NH ₄	NO ₂	NO ₃	P		
<i>Ийр-Майтанская система озер</i>									
Бабушиное	8,10	8,6	7,9	0,07	0,006	1,80	0,012	1,7	447
Шубаркунан	8,02	22,7	7,4	0,04	0,008	2,00	0,002	3,2	458
Когалы	7,51	10,7	6,8	0,11	0,006	0,38	0,003	2,4	487
<i>Наурызбайская система озер</i>									
Синее	8,10	11,0	7,0	0,18	0,008	0,21	0,003	6,4	665
Белое	8,40	не обн.	7,7	0,18	0,008	0,24	0,003	10,5	1183
<i>Семизкульская система озер</i>									
Акколь	8,00	12,1	5,6	0,05	0,003	0,41	0,004	7,7	1025
Квадратное	8,00	11,7	6,6	0,02	0,002	4,44	0,004	6,4	987
Крайнее	8,21	10,6	7,3	0,04	0,002	0,31	0,004	7,0	1039
Гусинное	8,21	7,9	9,3	0,05	0,003	0,43	0,003	6,6	1076
Ушколь	7,97	15,0	6,4	0,04	0,003	0,20	0,003	6,2	1055
<i>Мынкарманская система озер</i>									
Шакпак	7,97	7,2	8,3	0,07	0,010	1,22	0,002	6,1	496
<i>Изенды-Акдалинская система озер</i>									
Богатое	8,21	не обн.	7,8	0,31	0,005	0,16	0,003	10,4	2097
Самсоновка	8,21	не обн.	7,2	0,36	0,004	0,12	0,003	12,5	2129
<i>Акозекская система</i>									
Озеро № 1	8,40	не обн.	7,5	0,25	0,020	0,16	0,003	5,0	423
Озеро № 2	8,21	не обн.	8,4	0,20	0,029	0,15	0,004	3,3	371
<i>Бесагайская система озер</i>									
Озеро № 1	7,65	13,9	8,0	0,06	0,002	0,46	0,003	4,0	436
Озеро № 2	7,65	19,2	5,8	0,09	0,002	0,25	0,003	3,0	433

Озера Наурызбайской системы являются более глубоководными (2,0...3,4 м), с высокой прозрачностью воды практически до дна.

Реакция водной среды меняется, в зависимости от интенсивности процессов фотосинтеза, от нейтральной до слабощелочной.

Газовый режим исследуемых водоемов удовлетворительный. Дioxid углерода в воде присутствует повсеместно (исключение оз. Белое) в количествах 10,7...22,7 мг/дм³, не превышающих рыбохозяйственные ПДК (44 мг/дм³). Количество растворенного кислорода оптимальное для жизнедеятельности гидробионтов.

Межгодовые и сезонные колебания концентраций биогенных элементов имеют сложный характер и зависят от антропогенных и природных факторов. Следует отметить, что в последние годы содержание биогенов не превышает допустимые уровни. Максимальный разброс предельных значений характерен для нитратов – 0,10...2,22 мг/дм³. Распределение остальных элементов по акватории озер относительно равномерное.

В многолетнем аспекте, независимо от водности, содержание органического вещества в озерах Ийр-Майтанской системы невысокое и мало динамичное (рис. 2). Максимальные значения перманганатной окисляемости (5,3...8,1 мгО/дм³) отмечались в 2012...2013 гг.

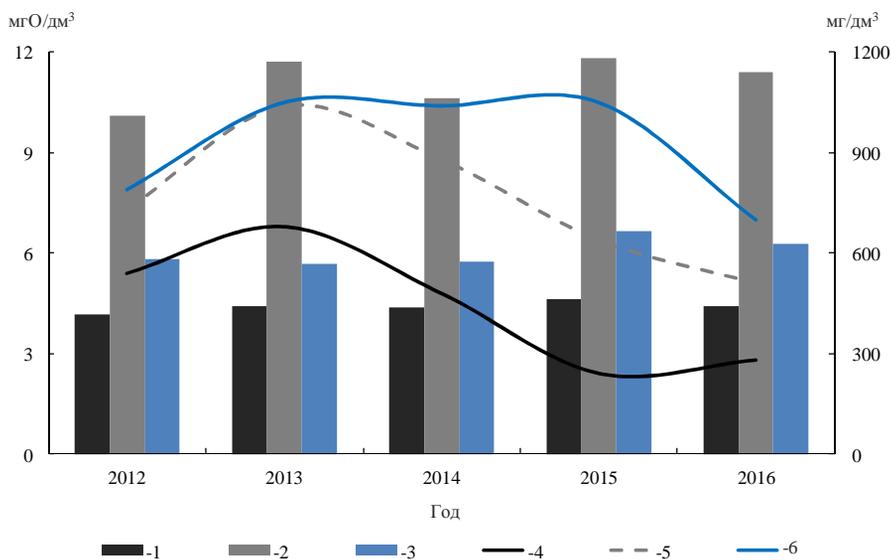


Рис. 2. Межгодовая динамика содержания органического вещества и минерализации воды в озерах Ийр-Майтанской и Наурызбайской систем. 1 – минерализация озера Ийр-Майтанской системы; 2 – минерализация оз. Синего; 3 – минерализация оз. Белого; 4 – органическое вещество Ийр-Майтанской системы; 5 – органическое вещество оз. Синего; 6 – органическое вещество оз. Белого.

Содержание органического вещества в водах Наурызбайской системы характеризуется высокой вариабельностью и по средним значениям

перманганатной окисляемости в 1,5...2,0 раза выше аналогичных показателей озера Ийр-Майтанской системы.

В течение пяти рассматриваемых лет величина перманганатной окисляемости в оз. Синем колебалась в интервале 5,1...10,4 мгО/дм³, в оз. Белом – 8,2...12,3 мгО/дм³. Максимальное количество органики наблюдалось в оз. Синем в 2013 г., в оз. Белом – в 2013...2015 гг.

По техническим свойствам вода озера Ийр-Майтанской системы и оз. Синего характеризуется как умеренно жесткая, с суммарным содержанием кальция и магния 3,8...4,8 мг-экв/дм³. Вода оз. Белого относится к категории жесткая, общая жесткость составляет 7,7...8,5 мг-экв/дм³.

Исследуемые водоемы Ийр-Майтанской системы, с минерализацией 418...680 мг/дм³, относятся к пресным. Вода оз. Белого солоноватая, с минерализацией 1009...1183 мг/дм³. С ростом минерализации происходят изменения в ионно-солевом составе: увеличение количества хлоридов, сульфатов, натрия на фоне снижения гидрокарбонатов и кальция. В результате, вода из гидрокарбонатно-кальциевой (озера Ийр-Майтанской системы) переходит в гидрокарбонатно-сульфатно-натриевую в оз. Синем и в сульфатно-хлоридно-натриевую в оз. Белом.

В межгодовом аспекте вода озера Ийр-Майтанской системы отличается постоянством ионно-солевого состава, диапазон колебаний минерализации незначителен.

Результаты пятилетних исследований показали, что разница между минимальными и максимальными значениями минерализации в оз. Синем не превышает 12 %. Для оз. Белого характерны более значительные колебания солености – до 20 %.

В последнее десятилетие, в результате высокого уровня водности р. Или, в нижней дельте создались благоприятные гидрологические условия для озера Наурызбайской системы. Следует отметить, что гидрохимические показатели озера в период маловодных лет значительно отличаются от аналогичных характеристик многоводного периода [3]. Анализ многолетнего материала свидетельствует, что оз. Синее в средние по водности и многоводные годы относится к пресным водоемам с минерализацией 570...800 мг/дм³. В маловодный период (например, 1989...1997 гг.) минерализация повышается в 1,6...1,9 раза – оз. Синее переходит в разряд солоноватых. Соленость воды оз. Белого может достигать 4580 мг/дм³. Размах колебаний между максимальными и минимальными показателями минерализации в маловодный и многоводный периоды составляет порядка 3570 мг/дм³.

Озера остальных исследуемых систем мелководные, с глубиной от 1,0 до 2,6 м, хорошо прогреваемые. Наибольшие глубины 3,0...3,1 м характерны для оз. Шакпак Мынкарманской системы и отдельных водоемов Акозекской системы.

Прозрачность водоемов высокая, определяется практически до дна. Исключение составляет оз. Шакпак, прозрачность воды невысокая и составляет 17...26 % от глубины. Реакция водной среды в озерах Бесагашской системы ближе к нейтральной, с водородным показателем 7,60...7,65. В остальных водоемах реакция среды слабощелочная, значения рН составляют 7,97...8,40.

Газовый режим водоемов оптимальный. Диоксид углерода обнаружен в Семизкульской, Мынкарманской и Бесагашской озерных системах в количествах 7,2...19,2 мг/дм³, не превышающих рыбохозяйственную ПДК. Минимальные концентрации растворенного в воде кислорода 5,2...5,8 мгО₂/дм³ наблюдаются в отдельных водоемах Семизкульской и Бесагашской систем. Озеро Акколь по насыщению воды кислородом (37,4...64,2 %) можно отнести к заморным, так как в летний период, при интенсивном развитии процессов фотосинтеза, будет наблюдаться резкий перепад в содержании кислорода в дневные и ночные часы. Заморным явлениям способствуют донные отложения с большим количеством растительных остатков и наличием сероводорода.

Количество биогенных элементов не лимитирует развитие водной флоры и не превышает допустимые уровни для рыбохозяйственных водоемов. Максимальные концентрации нитратов характерны для озер Квадратное (Семизкульская система) и Шакпак (Мынкарманская система). Повышенные концентрации солевого аммония 0,31...0,36 мг/дм³ зафиксированы в водной среде Изенды-Акдалинской системы, нитритов 0,020...0,029 мг/дм³ – в водоемах Акозекской системы. Распределение остальных элементов по акватории озер относительно равномерное.

Количество органического вещества в воде характеризуется высокой вариабельностью. Доминируют по органическому загрязнению водоемы Изенды-Акдалинской системы, с величиной перманганатной окисляемости 10,4...12,5 мгО/дм³.

По техническим свойствам вода озер меняется от умеренно жесткой до очень жесткой. Самая жесткая вода в озерах Изенды-Акдалинской системы, суммарное содержание магния и кальция составляет 11,5...12,0 мг-экв/дм³. Вода озер Семизкульской системы с общей жестко-

стью 7,60...8,52 мг-экв/дм³ относится к категории жесткая. В остальных исследуемых системах вода умеренно жесткая, с суммарным содержанием кальция и магния 3,80...5,42 мг-экв/дм³.

Минерализация воды в озерах Богатое и Самсоновка Изенды-Акдалинской системы представлена максимальными значениями среди исследуемых озерных систем – 2097...2129 мг/дм³ (рис. 3). Водоемы остальных систем, с минерализацией воды в пределах 1000 мг/дм³ и ниже, относятся к пресным.

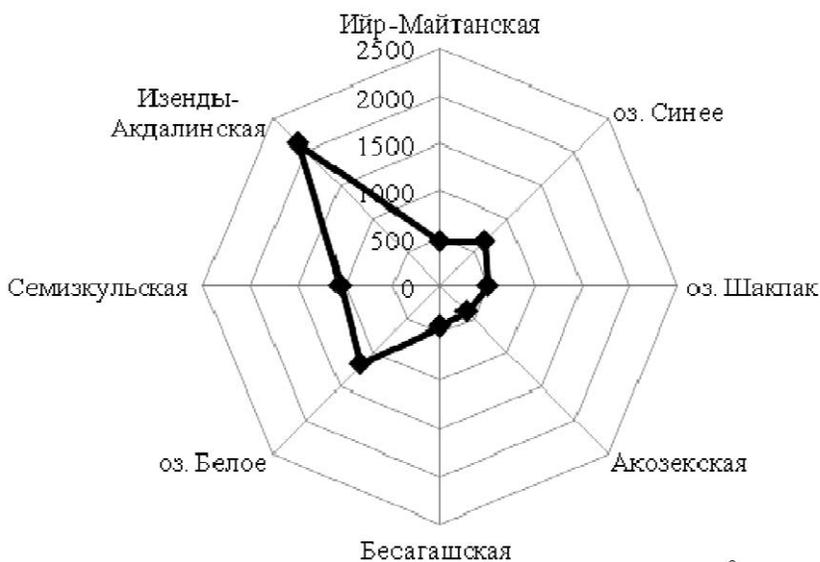


Рис. 3. Минерализация воды дельтовых озер, мг/дм³.

Выводы:

1. При современных гидрологических условиях, в связи с подъемом уровня воды, гидрохимический режим исследуемых водоемов является благоприятным для функционирования гидробионтов. Однако отдельные озера Семизкульской и Бесагашской систем, мелководные, с высокой степенью зарастаемости, с пониженным содержанием растворенного кислорода и сероводородными илами, являются замороопасными.

2. Результаты исследований мониторинговых озер Ийр-Майтанской и Наурызбайской систем показали тенденцию снижения количества органического вещества, что способствует уменьшению процессов эвтрофирования.

3. В многолетней динамике ионно-солевой состав и минерализация озер Ийр-Майтанской системы относительно стабильны. Гидрохимический состав воды Наурызбайской озерной системы существенно отличается в

многоводные и маловодные годы. При малой обводненности минерализация воды в оз. Синее повышается в 1,6...1,9 раза, в оз. Белое – 4,5 раза.

4. Необходимо проведение мониторинга экологического состояния дельтовых озер с целью принятия своевременных мер, обеспечивающих сохранение биоразнообразия и рациональное использование природных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алёкин О.А. Методы исследования органических свойств и химического состава воды / Жизнь пресных вод СССР. – М.: АН СССР, 1959. – Т. 4. – С. 213-298.
2. ГОСТ 26449.1-85. Установки дистилляционные опреснительные стационарные. Методы химического анализа соленых вод. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – С. 86-89.
3. Лопарева Т.Я., Шаухарбаева Д.С. Гидрохимические параметры и токсикологическое загрязнение водной среды озер нижней дельты реки Или / Экология и гидрофауна водоемов трансграничных бассейнов Казахстана. – Алматы: 2008. – С. 196-207.
4. Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов – М.: 1990. – 46 с.
5. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А.Д. Семенова. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 542 с.

Поступила 12.05.2017

О.А. Шарипова

ІЛЕ АТЫРАУЫНЫҢ ТӨМЕНГІ ЖАҒЫНДАҒЫ КӨЛДЕРДІҢ ҚАЗІРГІ ГИДРОХИМИЯЛЫҚ РЕЖИМІ

Түйін сөздер: атыраулық көлдер, гидрохимиялық режимі, органикалық заттар, коректік заттар, минералдануы

Мақалада Іле атырауының төменгі жағындағы көлдердің гидрохимиялық режимін зерттеу нәтижелері көрсетілген. Иір-Майтан және Наурызбай жүйелеріне жататын мониторинг бақылаудағы көлдерде жыларалық химиялық параметрлерді салыстыру оларда органикалық заттардың азайғанын байқатты. Иір-Майтан көлдері ион-тұз құрамының тұрақтылығымен ереншеленеді. Ал Наурызбай көлдерінде тұздылық Іледегі су мәлішеріне байланысты әжептәуір өзгеріп тұрады.

Sharipova O.A.

**MODERN HYDROCHEMICAL REGIME OF LAKE SYSTEMS OF THE
LOWER DELTA OF THE ILE RIVER**

Keywords: delta lakes, hydrochemical regime, organic matter, biogenic elements, mineralization

The article presents the results of studies of the hydrochemical regime of the lakes of the lower delta of the river Ile. An analysis of the inter-annual dynamics of the chemical parameters of the water of the monitoring lakes of the Iyr-Maytan and Nauryzbai systems showed a decrease in the content of organic matter. The water of the lakes of the Iyr-Mitansky system is distinguished by the constancy of the ion-salt composition. The Nauryzbai system is characterized by considerable fluctuations in the mineralization of water, depending on the water level of the river Ile.

УДК 631.45; 67

Канд. биолог. наук Т.К. Томина¹

ЗАСОЛЕННОСТЬ, ХИМИЗМ И ТРАНСФОРМАЦИЯ СОСТАВА ПОЧВ И РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ГРУНТОВ НА НЕФТЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Ключевые слова: засоление, химизм засоления, катионно-анионный состав, рекультивированный участок, почвенный разрез, нефтехимическое загрязнение

Засоленность почв и нефтезагрязненных грунтов бывших нефтяных амбаров в пострекультивационный период колеблется от средней степени до очень сильной. Преобладающим типом химизма засоления является сульфатно-хлоридный, магниево-кальциево-натриевый, реже хлоридный, натриевый. Выявлена трансформация химического состава грунтов на рекультивированных участках в процессе их восстановления в исходные почвы в аридных условиях при воздействии на них новых приемов.

В связи с ростом антропогенных нагрузок, деградация почв является одной из самых актуальных проблем нашего времени, требующих незамедлительного вмешательства. Под технологической деградацией понимается ухудшение свойств почв, их физического состояния и агрономических характеристик, которое происходит в результате эксплуатационных нагрузок при всех видах землепользования.

Засоление выделено как один из существенных типов деградации почв. Засоление широко распространено в аридных областях (пустыни, степи), а также по берегам морей и внутриконтинентальных соленых озер (Баскунчак, Чаны и др.). Около 25 % почв земного шара в той или иной степени засолены. Засоление почв приводит к физической деградации земель и дальнейшему выводу их из сельскохозяйственного использования. Засоление почв — повышение (свыше 0,25 %) содержания в почве легкорастворимых солей, обусловленное или засоленностью почвообразующих пород, или чаще неправильным орошением, привносом солей грунтовыми и поверхностными водами [1]. Засоление почвы – процессы, при которых

¹ КазНИИ почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова, г. Алматы, Казахстан

происходит повышение концентрации солей в почве (в основном вследствие испарения минерализованных грунтовых вод) [1].

В нефтедобывающих районах сброс в почвы техногенных (ТГ) потоков сопровождается изменением состава почвенных растворов. *Техногенное засоление* почв на нефтяных месторождениях явление довольно частое, оно вызвано изливающимися на поверхность техногенными потоками, отличающимися высокой минерализацией вод с преобладанием в солевом комплексе хлорида натрия. Для нефтезагрязненных почв характерны признаки вторичного засоления почв, связанного с нефтезагрязнением, вызванного большим количеством хлоридов натрия в нефтяной эмульсии. При этом степень засоления меняется от слабой до очень сильной, вплоть до образования ТГ солончаков. Так, на месторождениях Жанаталап и С. Балгимбаев авторами установлена трансформация луговых приморских почв в техногенно солончаковые почвы, солончаки и солонцы [2].

В результате аварийных разливов нефти в районе нефтедобывающих скважин (возраст разливов 5...20 лет) наблюдалось сильнейшее засоление почв по хлоридному типу с формированием солончаков. Загрязнение нефтепродуктами в таком случае затрагивает весь почвенный профиль. Оно обуславливает резкое изменение свойств почв и вызывает обеднение или перерождение растительного покрова. В первую очередь, это касается солонцеватых почв, где резко возросло сульфатно-хлоридное засоление в верхнем слое (до 1,5 м) с 3 до 8 %. На сильно нарушенных участках обнажается карбонатно-иллювиальный горизонт, образуются такыровидные и такырные поверхности, усиливаются процессы засоления.

Нефтезагрязнение сопровождается усилением восстановительных процессов, вызываемых увеличением количества органических веществ в условиях повышенного увлажнения и ухудшающейся аэрации. Контрастность солевых нагрузок на почвы даже на очень близких расстояниях велика. Характер засоления почв определяется по преобладающим анионам. По составу солей различаются типы засоления: хлоридное, хлоридно-сульфатное, карбонатно-хлоридное, хлоридное алюмо-железистое и др. Возможно появление модификаций почв, не имеющих аналогов в естественных природных условиях – битуминозных солончаков, битуминозных солончаковатых и засоленных разностей почв.

Техногенное засоление резко меняет различные характеристики почв. Почвенные коллоиды, насыщенные натрием, подвергаются пептизации, почвенные агрегаты распадаются, и физические свойства почвы ме-

няются. Наиболее очевидны изменения плотности, агрегатного и механического состава почв. Не менее существенны и трансформации органической составляющей почв. Прежде всего, это выражается в перераспределении исходных запасов почвенного органического углерода по генетическим горизонтам из-за усиления протечности гумуса при образовании гуматов и фульватов натрия.

Природное засоление на территории месторождения Кара-Арна проявляется преимущественно на солончаках соровых, формирующихся в условиях повышенного гидроморфизма.

Основным массовым методом изучения засоленных почв является водная вытяжка, которая дает представление о суммарном запасе водорастворимых солей в твердой фазе почвы и в почвенном растворе. Степень засоления почвы устанавливается на основе данных химического анализа водной вытяжки по сумме легкорастворимых солей, содержанию и составу ионов, определяющих тип засоления.

В процессе исследований прослеживалось воздействие разработанных и испытанных новых приемов рекультивации нефтезагрязненных почв в аридных условиях цеолитно-микробиологическим методом. Он оказывает влияние на скорость разложения нефти в грунтах, на количество и состав легкорастворимых солей, очищенных этим методом участков.

В статье проанализирована степень засоленности, химизм солевого состава грунтов ранее рекультивированных участков, рассмотрена трансформация катионно-анионного состава в 2016 году.

Как показали исследования, грунт разреза 1 (Р-1) имеет значительное засоление как в верхних: от 1,853 до 2,795, так и в более глубоких горизонтах: до 3,264 % мг-экв. Рассмотрение химизма солевого состава грунта Р-1 на рекультивированном участке 2013 г. показал, что преобладает сульфатно-хлоридный, кальциево-магниевый-натриевый и магниевый-кальциево-натриевый типы химизма засоления. Максимальное содержание хлор-иона доходит до 83,21 % мг-экв. Максимальное содержание катионов натрия в верхней засоленной корочке и нижнем горизонте доходит до 62,95 % мг-экв. Щелочноземельных катионов гораздо меньше: катионов Ca^{+2} до 33,14, а катионов Mg^{+2} до 23,15 % мг-экв. Содержание сульфат-ионов достигает 17,91 % мг-экв. (рис. 1). Гипотетически во всем почвенном профиле Р-1 преобладают соли: CaSO_4 , CaCl_2 , MgSO_4 , MgCl_2 , Na_2SO_4 , NaCl .

Визуально белесый, из-за выпота солей техногрунт Р-4 имеет на поверхности вспученную, средне засоленную (1,853 % мг-экв) корочку,

глубже грунт засолен уже в большей степени (3,264 % мг-экв). Засоление с поверхности проявляется в наличии белесого налета солей, а также образовании солевой корки по краям на поверхности воды, застоявшейся в понижении рельефа рядом с Р-4. По составу преобладает хлоридный (гл. 30...50 см), магниево-натриевый, и сульфатно-хлоридный, кальциево-магниевый-натриевый (гл. 0...30 см) тип химизма засоления. Максимальное содержание хлор-иона доходит до 92,59 % мг-экв. Содержание катионов натрия доходит до 79,12 % мг-экв. Соответственно гипотетически преобладают соли: CaCl_2 , MgCl_2 , NaCl . Данные химического состава техногрунта Р-1 и Р-4 на участке рекультивации 2013 г. показали, что благодаря примененной технологии реабилитации солончака все-таки происходит рассоление техногрунта: в профиле двух этих разрезов происходит замещение преобладающих хлор-иона и катиона натрия на сульфат-ион и катионы кальция и магния. Грунт на участке, рекультивированном в 2013 г., характеризуется как средне-, сильно и очень сильно засоленный.

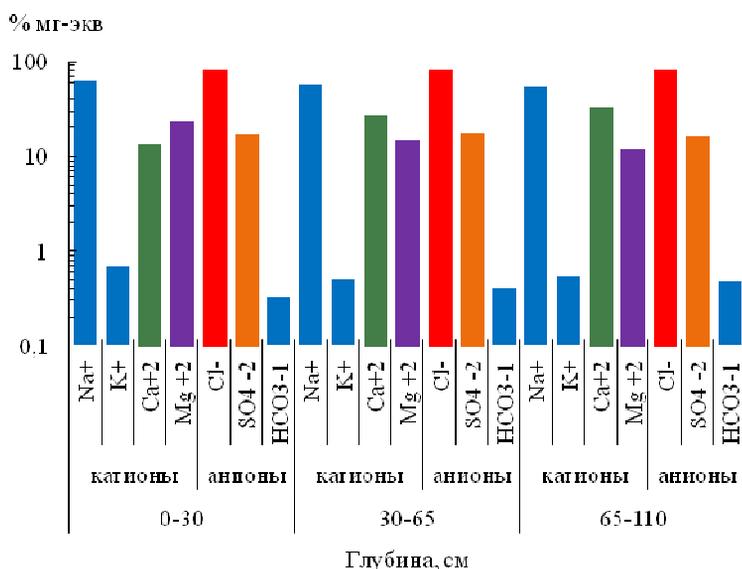


Рис. 1. Солевой состав грунта Р-1 на участке, рекультивированном в 2013 г.

Степень засоления грунта на Р-2 и Р-3, заложенных на участке рекультивации 2012 г. высокая (до 4,67 % мг-экв), и классифицируется как очень сильно засоленная. Химизм засоления почвенных профилей этих двух разрезов в основном сульфатно-хлоридный, реже хлоридный по анионам и магниевый-кальциево-натриевый или кальциево-магниевый-натриевый по катионам. Гипотетически преобладающие соли: CaCl_2 , MgCl_2 , NaCl , MgSO_4 , CaSO_4 , Na_2SO_4 .

Концентрация хлор-ионов в грунте разрезов 2 и 3 очень высокая: до 95,19 % мг-экв., при максимальной концентрации сульфат-ионов – 20,11 % мг-экв. Концентрация катионов натрия в грунте доходит до 71, 86; кальция – до 20,77; магния – до 17,29 % мг-экв, (рис. 2).

Результаты химических анализов показали, что степень засоления техногрунта разрезов № 5 и 6 на участке рекультивации 2014 года очень высокая, особенно в верхнем горизонте (4,01...5,35 %) и квалифицируется в основном как очень сильно засоленная (3.285...4,373 %) в более глубоких слоях. Преобладает сульфатно-хлоридный, кальциево-магниевонатриевый тип химизма засоления. При этом гипотетически преобладающими солями будут: CaSO_4 , CaCl_2 , MgSO_4 ; MgCl_2 , Na_2SO_4 , NaCl . Встречаются в профиле также очень сильно засоленные горизонты с хлоридным, натриевым типом засоления, где преобладающей солью является NaCl . Грунт данного участка очень сильно засолен: в анионном составе грунта разрезов № 5 и 6 очень значительна доля аниона хлора – от 81 до 99,025 % мг-экв, самое высокое. Доля катиона натрия здесь поменьше: в среднем 70...72 % мг-экв., но при этом выше доля магния (до 30,64 % мг-экв) (рис. 3).

Засоленность грунта разреза №12, заложенного на участке, рекультивированном в 2011 г. достаточно высокая – до 3,005 %, на поверхности почвы и по всему профилю присутствуют блестки солей. Преобладающим типом химизма засоления грунта является сульфатно-хлоридный, магниевokalциево-натриевый, соответствующей формуле (1):

$$3,005 \frac{\text{Cl}_{92,1}^-}{\text{Mg}_{13,87}^{+2} \text{Na}_{78,11}^{+1}}. \quad (1)$$

Гипотетически в профиле преобладают соли: MgSO_4 ; MgCl_2 , CaSO_4 , CaCl_2 , Na_2SO_4 , NaCl .

На участке, рекультивированном в 2011 г., уровень засоления грунта остался достаточно высоким по всему профилю. Хотя в катионном составе доля натрия варьирует от 54,3 до 78,11, доля щелочноземельных элементов повысилась до 30,08 % мг-экв. В анионном составе преобладает хлор – максимально в слое 30...60 см – 92,1 % мг-экв (рис. 4). В других горизонтах доля хлора в анионном составе меньше, отмечена тенденция: уменьшение доли анионов хлора с увеличением доли сульфат-ионов до 25,72 % мг-экв. Это говорит о том, что идут процессы трансформации солевого состава грунта, о чем свидетельствует увеличение долей щелочноземельных элементов в катионном составе и сульфат-ионов в анионном.

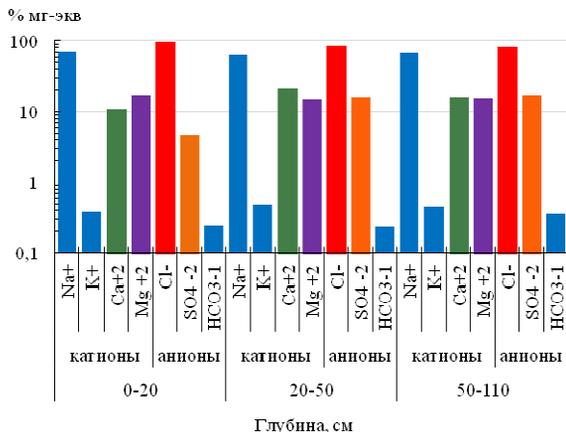


Рис. 2. Солевой состав техногрунта P-2, рекультивация 2012 г.

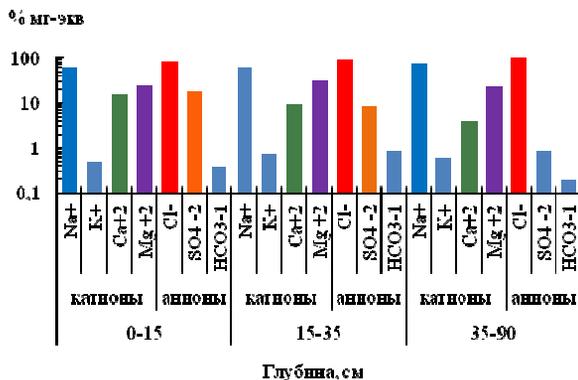


Рис. 3. Солевой состав техногрунта разреза № 5, рекультивация в 2014 г.

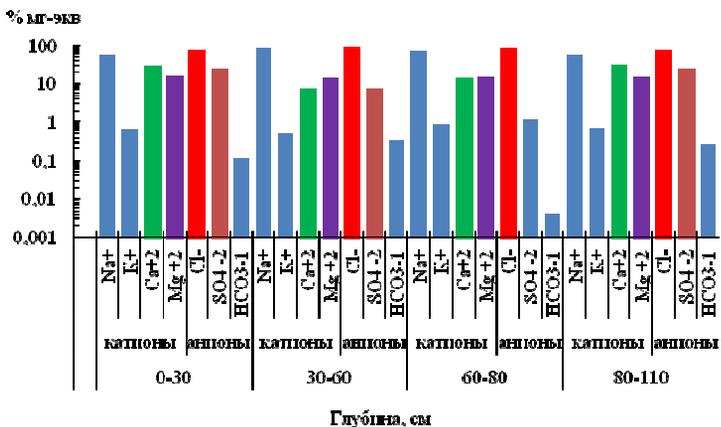


Рис. 4. Солевой состав грунта разреза № 12 на участке, рекультивированном в 2011 г.

Далее рассмотрим степень засоленности, химизм и его

трансформацию на примере почвенных разрезов №7/1, №8 и №14, заложенных на подверженной долговременному воздействию нефтяного загрязнения более старой восточной части месторождения. Нефтяная скважина № 143 вблизи разреза №7/1 длительно эксплуатируется и на данной территории, и вблизи имеются как разливы нефти, так и скопления в виде гряд старых битумных кор. Но сам разрез заложен на небольшом участке зональной бурой солончаковой почвы под вегетативными бугорками с солянковой растительностью. Степень засоления профиля почвы высокая, увеличивающаяся с глубиной от 1,7 до 5,134 % мг-экв в нижнем горизонте (рис. 5). В верхней части профиля химизм засоления сульфатно-хлоридный, магниевый-кальциевый-натриевый с гипотетически преобладающими солями: $MgSO_4$; $MgCl_2$, $CaSO_4$, $CaCl_2$, Na_2SO_4 , $NaCl$. Доля катионов натрия и анионов хлора в составе солей здесь составляет: Na^{+1} – от 52,22 до 76,47 % мг-экв. Доля аниона хлора: от 60,64 до 78,62 % мг-экв. Но при этом достаточно высоко содержание катионов кальция (34,45 % мг-экв) и сульфат анионов (38,02 % мг-экв).

Во второй части почвенного профиля химизм засоления сульфатно-хлоридный, магниевый-натриевый с гипотетически преобладающими солями: $MgSO_4$; $MgCl_2$; Na_2SO_4 , $NaCl$. Содержание анионов хлора в нижнем горизонте увеличилось до 87,69 % мг-экв. Но при этом доля катионов Ca^{+2} , а также Mg^{+2} и анионов SO_4^{-2} снизилась. Это объясняет увеличение степени засоления почвы в нижнем горизонте до максимума.

Степень засоления зональной бурой солончаковой почвы разреза №8, заложенного в восточном старом крыле месторождения, рядом с нефтяной скважиной-качалкой № 1 в зоне долговременного воздействия загрязнения соответствует средней степени засоления: от 1,392 до 1,982 % мг-экв с поверхности (рис. 6). Засоление варьирует по профилю; от сульфатно-хлоридного, магниевый-кальциевый-натриевого в верхнем горизонте до хлоридно-сульфатного, натриево-магниевый-кальциевый в следующем горизонте. Здесь также прослеживается тенденция: при увеличении содержания катионов натрия и анионов хлора, снижается доля других катионов и анионов. На поверхности бурой солончаковой почвы разреза №14, заложенного в восточном крыле месторождения, вспученная корочка с налетом солей. Именно в этом горизонте анализы выявили самое большое засоление профиля в верхнем 20 см слое – 4,261 % мг-экв. Повышено содержание солей в слое 40...90 см – 3,26 % мг-экв (рис. 7). Химизм солевого состава бурой солончаковой почвы разреза №14 на глубине

90...120 см – сульфатно-хлоридный, магниевый-кальциевый-натриевый и соответствует формуле (2):

$$1,201 \frac{SO_{430,48}^{-2} Cl_{69,16}^{-}}{Mg_{27,64}^{+2} Ca_{32,48}^{+2} Na_{39,39}^{+1}} \quad (2)$$

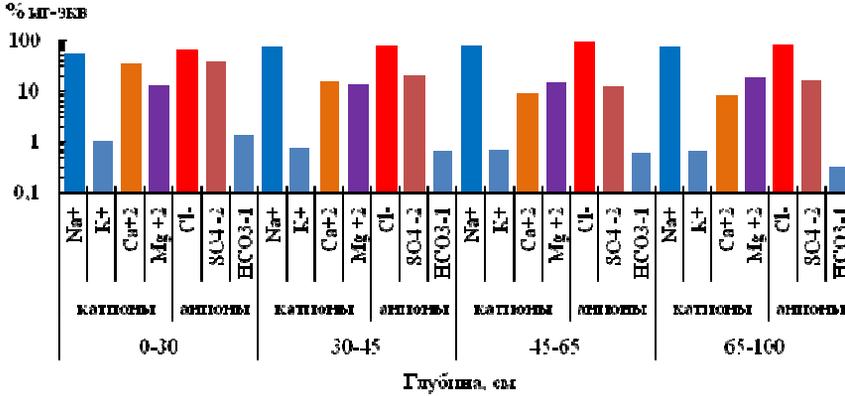


Рис. 5. Солевой состав грунта разреза №7/1 в восточном крыле месторождения.

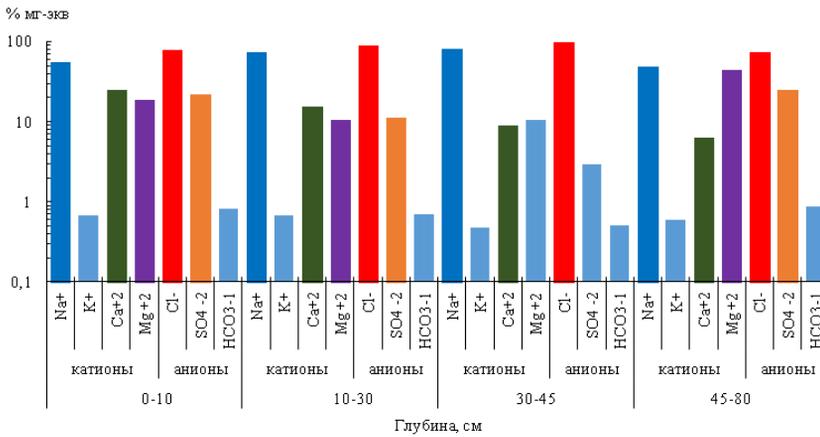


Рис. 6. Солевой состав бурой солончаковатой почвы разреза №8, восточное крыло.

Гипотетически преобладающие соли в данном горизонте: $MgSO_4$, $MgCl_2$, $CaSO_4$, $CaCl_2$, Na_2SO_4 , $NaCl$. Характерной особенностью данного типа засоления является высокое содержание солей (катионов натрия от 66,6 до 74,05 % мг-экв, а также высокий процент содержания анионов хлора от 69,16 до 85,155 % мг-экв) в средней части почвенного профиля. Содержание других ионов - катионов щелочноземельных элементов Ca^{+2} и Mg^{+2} здесь значительно меньше.

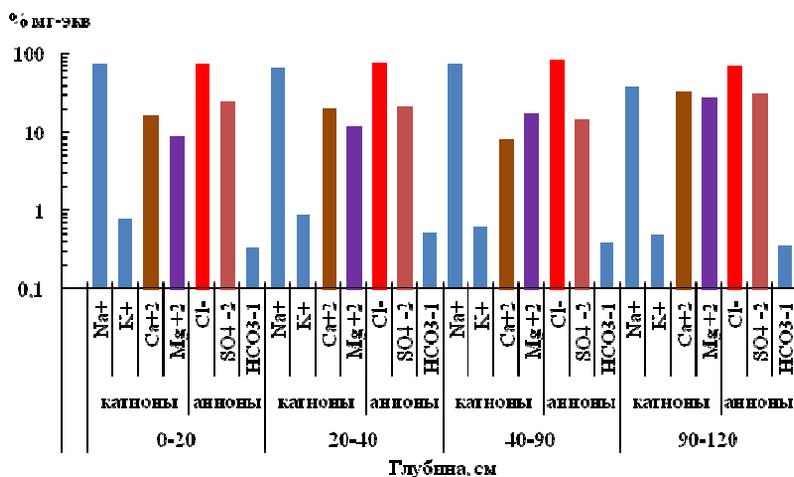


Рис. 7. Солевой состав бурой солончаковатой почвы разреза №14, восточное крыло месторождения.

Для сравнения с уже рекультивированными участками во время проведения полевых экспедиционных исследований 2016 г. были заложены три почвенных разреза (№ 9, 10, 11) на замазученных, не рекультивированных грунтах. Это дало возможность сравнить засоленность грунта рекультивированных участков с замазученными, но не очищенными, не подвергшимися рекультивации. На рис. 8 показан химизм их засоления. Степень засоления грунта разреза №9 очень высокая по профилю (от 2,962 до 5,856 % мг-экв) и самая высокая с поверхности солончака – 6,98 % мг-экв.

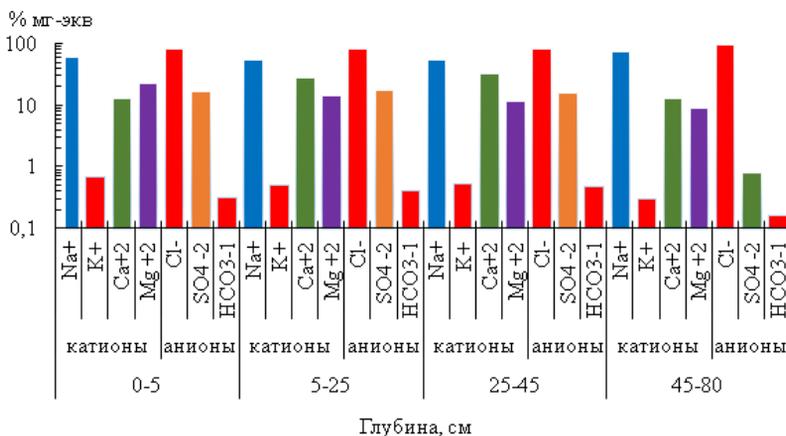


Рис. 8. Солевой состав замазученного грунта разреза №9, солончака сорового, северное крыло.

Химизм засоления солончака сорового разреза №9: хлоридный, кальциево-натриевый с поверхности (горизонт 0...5 см) и на глубине про-

филя 45...80 см. В катионном составе преобладает доля натрия – 62,95...77,51 % мг-экв, в анионном составе преобладает анион хлора – до 82,49...98,96 % мг-экв. Гипотетически преобладают соли: CaCl_2 , NaCl . В средней части профиля доля катионов натрия меньше, но больший процент щелочноземельных катионов: Ca^{+2} – до 33,14 и Mg^{+2} – до 14,73 % мг-экв. В анионном составе с уменьшением доли хлора, увеличивается доля анионов SO_4^{-2} до 17,91 % мг-экв, рис. 8. Химизм засоления средней части профиля сульфатно-хлоридный, магниевно-натриевый с гипотетически преобладающими солями: MgSO_4 ; MgCl_2 , Na_2SO_4 , NaCl .

Степень засоления профиля разреза №10, заложенного на замазученном соровом солончаке очень высокая: от 3,0987 до 4,67 % по всей глубине. Химизм засоления почвенных горизонтов сульфатно-хлоридный по анионам и, либо натриевый, либо кальциевно-натриевый по катионам. Формула (3) химизма засоления горизонта 5...15 см:

$$4,67 \frac{\text{SO}_{423,26}^{-2} \text{Cl}_{76,49}^{-}}{\text{Ca}_{14,47}^{+2} \text{Na}_{78,22}^{+1}}. \quad (3)$$

Гипотетически преобладающие соли: CaSO_4 , CaCl_2 , Na_2SO_4 , NaCl . Доли катионов натрия (до 81,36) и хлора (до 83,08) в профиле почвы велики. В небольшом количестве, но присутствуют и другие катионы Ca^{+2} до 14,47 и Mg^{+2} до 13,44 % мг-экв (рис. 9). В составе анионов значительная доля анионов SO_4^{-2} – до 31,62 % мг-экв.

Засоленность верхних горизонтов профиля солончака сорового разреза №11 высокая (1,35...1,51 % мг-экв), но самая высокая степень засоления во второй части профиля – до 5,95 % мг-экв. Здесь выявлено высокое содержание катионов натрия – до 86,35 и самые высокие значения анионов хлора – 98,98...99,09 % мг-экв (рис. 10). Химизм засоления среднего горизонта 25...45 см хлоридный, натриевый, соответствует формуле:

$\text{Na}_{86,35}^{+1} \text{Cl}_{98,98}^{-}$, где гипотетически преобладает соль: NaCl . Химизм засоления более глубокого горизонта 45...90 см сульфатно-хлоридный, кальциевно-магниевно-натриевый, где гипотетически преобладают соли: CaSO_4 , CaCl_2 , MgSO_4 ; MgCl_2 , Na_2SO_4 , NaCl .

Далее рассмотрим химизм засоления зональной бурой солончакватой почвы разреза №13 (рис. 11). Зональная бурая солончакватая почва целинного разреза №13, заложенного за пределами санитарно-защитной зоны (СЗЗ) месторождения Кара-Арна имеет слабую и среднюю степень засоления почвенного профиля. Преобладающим типом химизма засоления

ее является сульфатно-хлоридный, магниево-кальциево-натриевый с гипотетически преобладающими солями: $MgSO_4$; $MgCl_2$, $CaSO_4$, $CaCl_2$, Na_2SO_4 , $NaCl$. Химизм ее засоления соответствует химической формуле (4):

$$2,485 \frac{SO_{433,46}^{-2} Cl_{65,77}^{-}}{Mg_{12,3}^{+2} Ca_{23,58}^{+2} Na_{63,61}^{+1}} \quad (4)$$

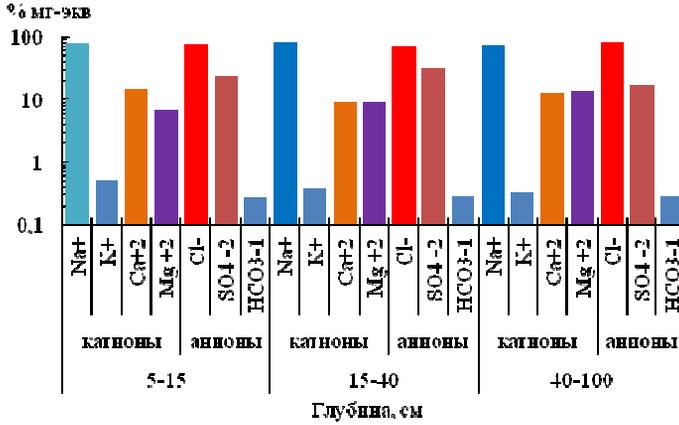


Рис. 9. Солевой состав солончака сорового разреза №10.

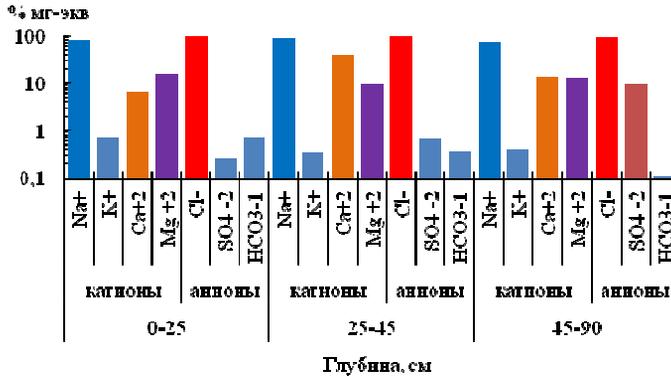


Рис. 10. Солевой состав замазученного грунта разреза №11, солончак соровый.

В верхней части почвенного профиля выявлены самые высокие концентрации катионов натрия (до 80,82 % мг-экв) и анионов хлора (до 98,83 % мг-экв) при минимальном содержании ионов Ca^{+2} ; Mg^{+2} ; SO_4^{-2} . Вглубь профиля наоборот: концентрация катионов Na^{+1} и анионов Cl^{-} уменьшается, а других ионов повышается.

Таким образом, результаты исследований выявили:

- Зональная бурая солончаковатая почва целинного разреза, заложенного за санитарно-защитной зоной месторождения, засолена в слабой

и средней степени. Преобладающим типом химизма засоления ее является сульфатно-хлоридный, магниевое-кальциевое-натриевый.

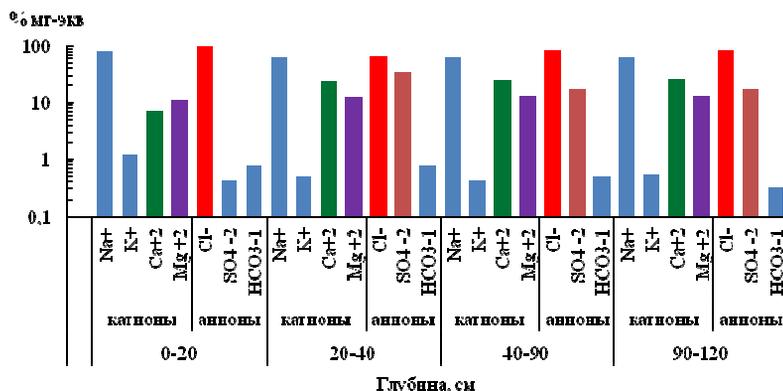


Рис. 11. Солевой состав зональной бурой солончаковатой почвы целинного разреза №13 за пределами СЗЗ месторождения.

- Засоленность грунта участка, рекультивированного в 2011 г. достаточно высока – до 3,005 %, на поверхности почвы, блестящие соли по всему профилю. Химизм засоления грунта сульфатно-хлоридный, магниевое-кальциевое-натриевый.

- Грунт участка рекультивации 2012 г. очень сильно засолен – до 4,67 %. Химизм засоления в основном сульфатно-хлоридный, реже хлоридный по анионам и магниевое-кальциевое-натриевый или кальциевое-магниевое-натриевый по катионам.

- Грунт участка, рекультивированного в 2013 г. средне-, сильно и очень сильно засолен вглубь профиля.

- Очень сильно засолен (4,01...5,35 %) грунт участка рекультивации 2014 г. По составу сульфатно-хлоридный, кальциевое-магниевое-натриевый тип химизма засоления.

- Исследованиями выявлено, что разработанные и применённые для очистки грунтов бывших амбаров приемы рекультивации нефтезагрязненных почв цеолитно-микробиологическим методом оказали воздействие на скорость разложения нефти, на количество и состав легкорастворимых солей.

- Замазученные, не очищенные грунты разрезов №9, №10, №11 имеют очень высокую степень засоления профиля (Р-9: от 2,962 до 5,856 % мг-экв) и самое высокое на поверхности солончака – 6,98 % мг-экв.

- Высокая степень засоления профиля бурой солончаковатой почвы разреза №7/1: увеличивающаяся с глубиной от 1,7 до 5,134 % мг-экв в

нижнем горизонте. В верхней части профиля химизм засоления сульфатно-хлоридный, магниевое-кальциевое-натриевый.

- Самое большое засоление профиля бурой солончаковой почвы разреза №14, заложенного в восточном крыле месторождения, в зоне долговременного воздействия нефтезагрязнения в верхнем 0...20 см слое: 4,261 % мг-экв. Повышено также содержание солей в слое 40...90 см профиля – 3,26 % мг-экв. Химизм на глубине профиля 90...120 см сульфатно-хлоридный, магниевое-кальциевое-натриевый.

Выводы:

1. Степень засоления почв и рекультивированных грунтов на территории месторождения колеблется от средней до очень сильной. Преобладающим типом химизма засоления является сульфатно-хлоридный, магниевое-кальциевое-натриевый, реже хлоридный, натриевый.

2. В катионном составе значительно преобладает натрий, в анионном – хлор.

3. Химизм засоления грунта на участке, рекультивированном в 2011 г. показал, что происходит трансформация его солевого состава, приводящая к увеличению доли щелочноземельных элементов в катионном составе и сульфат-ионов в анионном.

4. Примененные приемы рекультивации нефтезагрязненных почв цеолитно-микробиологическим методом повлияли как на скорость разложения нефти в грунтах, так и на количество и состав легкорастворимых солей в грунтах очищенных участков.

5. Применение технологии реабилитации нефтезагрязненных солончаков бывших амбаров привело к частичному рассолению профиля техногрунта и трансформации солевого состава засоления. В грунтах разрезов №1 и №4 на рекультивированном в 2013 г. участке произошло замещение преобладающих хлор-ионов и катионов натрия на сульфат-ион и катионы кальция и магния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гарин В.М., Кленова И.А., Колесников В.И. Экология для технических вузов. – Ростов наДону: Феникс, 2001. – 384 с.
2. Чукпарова А.У., Кулжанова К.А., Саулебекова А.К. Экологическое состояние нефтезагрязненных почв месторождений Атырауской области [Электрон. ресурс]. – 2007. – URL: http://conf.msu.ru/archive/Lomonosov_2007/15/chukparova.doc.pdf (дата обращения 10.08.2016).

Поступила 17.04.2017

МҰНАЙ КЕН ОРЫНДАРЫНЫҢ РЕКУЛЬТИВАЦИЯЛАНҒАН ГРУНТТАР МЕН ТОПЫРАҚТАРЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫНЫҢ ӨЗГЕРУІ МЕН ТҰЗДАНУ ХИМИЗМІ

Түйін сөздер: тұздану, тұздану химизмі, катионно-анионды құрам, рекультивацияланған телім, топырақ кескіні, мұнайлық химиялық ластану

Мұнаймен ластанған грунттар мен бұрынғы мұнай қоймаларының мұнаймен ластанған грунттары мен топырақтарының тұздануы рекультивациядан кейінгі кезеңде орташадан өте күшті дәреже аралығында ауытқиды. Тұздану химизмінде сульфатты-хлоридті, магнийлі-кальцийлі-натрийлі, сирек хлоридті, натрийлі типі басым.

Tomina T.K.

THE CHEMISTRY OF SALINIZATION AND TRANSFORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF SOILS AND RECLAIMED SOILS IN THE OIL FIELD

Keywords: salinity, the chemistry of salinization, cation-anionic composition, re-cultivated land, soil cut, petrochemical pollution

Salinity of soils and contaminated soils the former oil pits in postresuscitatorial period ranges from medium degree to very strong. The predominant type of the chemism of salinity is sulphate-chloride, magnesium-calcium-sodium, and less chloride, sodium. The revealed transformation of the chemical composition of soils on reclaimed sites under the influence of new techniques of remediation in the process of recovery in the initial soil in arid conditions.

УДК 631.45; 631. 67

Канд. биол. наук С.Н. Досбергенов¹

ЗАЩИЩЕННОСТЬ ГРУНТОВЫХ ВОД ТЕРРИТОРИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАРА-АРНА И ВОСТОЧНАЯ КОКАРНА ПРИ НЕФТЕХИМИЧЕСКОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ

Ключевые слова: механический состав, емкость поглощения, коэффициент фильтрации

Защищенность грунтовых вод от нефтехимического загрязнения зависит от поглотительной способности почвогрунтов, от литологии и фильтрационных свойств отложений, а так же от условий нахождения загрязняющих веществ на поверхности земли, характера проникновения в грунтовые воды, химического состава, миграционной способности и характера взаимодействия с породами и грунтовыми водами. Большая часть рассматриваемой территории месторождений отнесена к незащищенной и слабозащищенной от загрязнения с поверхности. Зона аэрации сложена толщиной песков, супесей, суглинков и глинистых песков. В связи с близким расположением уровня грунтовых вод к поверхности земли (до 1 м) можно с уверенностью считать, что защищенность грунтовых вод от нефтехимического загрязнения наименьшая.

Почвенный покров территории нефтепромыслов (бурая солончаковая с навеечным песчаным наносом, приморская лугово-болотная солончаковая, приморская примитивная солончаковая почва, приморские солончаки), находящийся под интенсивным техногенным давлением, отличается высокой степенью разрушения морфологического профиля, нефтехимическим загрязнением и засолением сточными промышленными водами. На месторождениях обнаружено засоление и загрязнение почв, замазученность территории нефтепродуктами в районе расположения действующих нефтяных скважин, битумные коры в местах старых разливов нефти, в амбарах для сливных промышленных вод с нефтью и химическими реагентами. Почвенный покров загрязнен, распылен, местами полностью уничтожен.

¹ КазНИИ почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова, г. Алматы, Казахстан

Загрязнение почвы нефтью и нефтепродуктами приводит к значительным физико-химическим изменениям, выражающимся в изменении микроэлементного состава почвы, ее водно-воздушного и окислительно-восстановительного режимов [3, 6]. Избыток органических углеводородо-содержащих веществ, поступивших с нефтью и нефтепродуктами в почву, нарушает нормальное соотношение углерода и азота, а также приводит к дефициту кислорода, азота и фосфора.

Трансформация токсичных ингредиентов, их миграция в другие природные среды являются наиболее опасными для жизнедеятельности человека. Нефть и нефтепродукты попадая в почву, необратимо изменяют ее физические, химические и микробиологические свойства, а иногда и существенно перестраивают весь почвенный профиль.

Геохимические сопряжения природных сред грунтов, почв, воды, воздуха, биоты в сочетании с высоким уровнем ПДК ингредиентов, постоянной запыленностью, отсутствием высокопродуктивного растительного покрова формируют крайне неблагоприятные природно-экологические условия не только для жизни людей, но и для биоценозов в целом. Особенно это касается новокаспийской полосы суши, где расположены объекты исследования, включающие нефтяные месторождения Кара-Арна и Восточная Кокарна. Прилежащие к морскому побережью территории названных месторождений в значительной мере преобразованы, опустынены и загрязнены нефтепродуктами и химическими соединениями. На территории Мангистауской и Атырауской областей так же имеются земляные амбары, в которых хранится нефть [5]. Общая площадь замазученных земель в этих областях составляет 735 га.

Однако, в целом регион (исключая территорию промыслов) по данным исследования Чигаркина А.В., соответствует удовлетворительному уровню экологической дестабилизации, в которую вкраплены очаги местного, более высокого или очень высокого уровня экологической дестабилизации почв.

В связи с неуклонным ростом объемов добычи углеводородного сырья, увеличиваются выбросы вредных веществ в атмосферу, растет загрязнение почв, морских, поверхностных и подземных вод. Поэтому первостепенной необходимостью является проведение систематических наблюдений за состоянием природной среды эксплуатируемых месторождений, изучение тенденций, прогноз и принятие профилактических мер для уменьшения загрязнения.

На примере почвенного покрова месторождений Кара-Арна и Восточная Кокарна рассматриваются защищенности почв и грунтовых вод от нефтехимического загрязнения. Месторождение Кара-Арна расположено в южной части Эмбинского нефтеносного района и вступило в промышленную разработку в 1974 г. Месторождение Восточная Кокарна расположено в юго-восточной части Прикаспийской впадины в Южно-Эмбинской нефтеносной области. Поисково-разведочное бурение площади начато в 1976 г.

В геологическом строении месторождения участвуют палеозойские, мезозойское и кайнозойские осадочные отложения. Отличительной особенностью гидрогеологических условий рассматриваемого района является его многоярусность и выдержанность водоносных горизонтов и комплексов по простиранию, наличие сложной солянокупольной тектоники, преобладание в разрезе глинистых и мергелистых слабопроницаемых пород, наличие штоков каменной соли, сравнительно близко подходящих к древней поверхности. Водоносные горизонты и комплексы приурочены преимущественно к песчаным отложениям от пермских до четвертичных включительно. Водовмещающими породами являются мелкозернистые, реже среднезернистые, глинистые пески и суглинки с прослойками песка. Подстилающим водоупором для них служат плотные глины. Мощность горизонта колеблется в пределах 1,0...3,5 м редко достигая 4,5 м. Глубина залегания уровня 0,5...4,5 м. Коэффициент фильтрации изменяется в пределах 0,12...4,03 м/сут.

Почвенный покров прикаспийской низменности формировался на засоленных слоистых озерно-аллювиальных и эоловых отложениях. Формирование и развитие почвенного покрова на исследуемой территории находится в тесной взаимосвязи с колебаниями уровня Каспийского моря. Большая часть территории освободилась из-под воды, начиная с 1830 г. Поэтому все почвы территории месторождений Кара-Арна и Восточная Кокарна молодые, находятся на начальном этапе своего развития. Наиболее молодые почвы новокаспийской морской равнины – луговые приморские и солончаки приморские. По мере понижения уровня грунтовых вод они сменяются зональными автоморфными почвами (бурыми). Большие площади на территории обследования занимают соры. Все почвы отличаются малой гумусностью, небольшой мощностью гумусового горизонта, низким содержанием элементов питания, малой емкостью поглощения. Для них характерна высокая карбонатность и засоленность профиля. Количество водорастворимых солей в профиле увеличивается по мере приближения к Каспийскому морю.

Источниками засоления почв служат засоленная почвообразующая порода, соли минерализованных грунтовых вод, соли воздушных потоков с акватории моря (импульверизация) [7].

В 2012...2013 годы проведены полевые почвенные исследования на территории двух месторождений Кара-Арна и Восточная Кокарна по изучению защищенности почв и грунтовых вод от нефтехимического загрязнения. Основными источниками загрязнения служили сырая нефть, промышленные и минерализованные грунтовые воды.

В процессе исследований применялся сравнительно-экологический метод, использован морфологический и профильный методы.

Почвенные разрезы были изучены и описаны по морфологическим характеристикам, разделены на генетические горизонты. Пробы почв отбирались буром Качинского из генетических горизонтов. Существуют различные методы гранулометрического анализа рыхлых отложений и почв. Поскольку в состав почв могут входить и крупные и мелкие частицы, способы их разделения также несколько различны.

Гранулометрический и микро-агрегатный состав почвы определялись по Качинскому, структурно-агрегатный состав почвы – по Саввинову в модификации Ревута, плотность твердой фазы почвы – пикнометрически [2]. Поглощенный кальций и магний трилометрическим методом; поглощенный натрий и калий на пламенном фотометре [1].

Результаты и их обсуждение. Под защищенностью водоносного горизонта от загрязнения понимается его перекрытость отложениями, препятствующими проникновению загрязняющих веществ с поверхности земли или вышележащего водоносного горизонта.

Защищенность грунтовых вод зависит от многих факторов, которые можно разбить на две группы: природные и техногенные. К основным природным факторам относятся: глубина до уровня грунтовых вод, наличие в разрезе и мощность слабопроницаемых пород, литология и сорбционные свойства пород, соотношение уровней исследуемого и вышележащего водоносных горизонтов. К техногенным факторам, следует отнести условия нахождения загрязняющих веществ на поверхности земли и, соответственно, характер их проникновения в подземные воды, химический состав загрязняющих веществ и, как следствие, их миграционная способность, сорбируемость, химическая стойкость, время распада, характер взаимодействия с породами и подземными водами.

Основным фактором естественной защищенности является их перекрытость слабопроницаемыми отложениями с коэффициентом фильтрации менее 0,1 м/сутки. Оценка защищенности производится по сумме баллов, которая определяется по совокупности показателей характеризующих условия защищенности:

- глубина залегания уровня грунтовых вод (мощность зоны аэрации);
- суммарная мощность слабопроницаемых отложений в разрезе зоны аэрации;
- литология и фильтрационные свойства слабопроницаемых отложений.

По литологии и фильтрационным свойствам слабопроницаемые отложения разделяются на 3 группы:

- супеси, легкие суглинки ($K_{\phi} = 0,1 \dots 0,01$ м/сут);
- суглинки, песчаные глины ($K_{\phi} = 0,01 \dots 0,001$ м/сут);
- тяжелые суглинки, глины ($K_{\phi} < 0,001$ м/сут).

В общем случае защищенность грунтовых вод оценивается на основе четырех показателей: глубины залегания грунтовых вод или мощности зоны аэрации, строения и литологического состава слагающих пород этой зоны, мощности и распространенности слабопроницаемых отложений над грунтовыми водами и фильтрационных свойств пород над уровнем грунтовых вод.

При предварительных оценках категорий защищенности пользуются параметром мощности зоны аэрации и расчетами глубин и скоростей инфильтрации загрязненных вод, а также поглотительной способностью почвогрунтов. Поглотительная способность почв, т.е. свойства почв сорбировать и задерживать те или иные вещества, в том числе органические и минеральные нефтепродукты, приходящие в соприкосновение с твердой фазой почв, оценена через величину емкости поглощения почв, выраженной в мг-экв на 100 г сухого вещества. Емкость обмена почв зависит от их механического состава, в частности от содержания в почве илистой фракции и гумуса, обладающих обменной способностью, от минералогического состава илистой фракции и от pH раствора. Наиболее низкую емкость поглощения имеют песчаные почвы, развитые на песках – 1,10 мг-экв на 100 г сухого вещества. Высокой емкостью поглощения характеризуются черноземы сформированные на лёссах, у которых емкость обмена поглощения в верхних горизонтах их профиля достигает 60...90 мг-экв на 100 г почвы.

Гедройц К.К. выделил ряд видов поглотительной способности почв: физическую, физико-химическую, химическую и биологическую.

Механическая поглотительная способность обусловлена наличием в почве сложной системы пор, капилляров и ходов корней, при помощи которых задерживаются различные частицы, находящиеся в воде, фильтрующейся через почву. Механическая поглотительная способность зависит от гранулометрического и агрегатного состава почвы, а также от плотности сложения. Плотные глинистые почвы практически полностью задерживают взмученные тонкодисперсные частицы. В легких по гранулометрическому составу и рыхлых почвах с крупными агрегатами низкая механическая поглотительная способность.

Под физической поглотительной способностью понимают способность почвы изменять (увеличивать или уменьшать) концентрацию молекул различных веществ у поверхности соприкосновения тонкодисперсных частиц с почвенным раствором. В процессе сорбционной емкости почв сорбируются тяжелые металлы (ТМ). Суть химической поглотительной способности заключается в образовании труднорастворимых соединений при взаимодействии отдельных компонентов почвы с образованием новой твердой фазы. К химическому поглощению относится и комплексообразовательная сорбция. Хемосорбция играет большую роль во взаимодействии гумусовых веществ с глинистыми минералами и в образовании сорбционного глиногумусового комплекса. В результате хемосорбции в почвах накапливаются гипс, карбонаты и другие соединения. Количественно поглотительную способность почвы характеризуют следующие показатели.

Сорбционная емкость почвы – максимальное количество вещества, которое может быть сорбировано почвой. Как сорбент почва полужункциональна, поэтому ее сорбционная емкость по отношению к различным веществам неодинакова. Например, Zn^{2+} может поглощаться обменным и необменным путем, а также за счет комплексообразовательной и осадочной сорбции, Na^+ – преимущественно обменно, K^+ – по обменному и необменному типу. В связи с этим сорбционная емкость поглощения различных веществ одной и той же почвой существенно варьирует.

Другая составная часть поглощающего комплекса – это поглощенные коллоидами, способные к обменным реакциям катионы или анионы. Количество поглощенных катионов изменяется в зависимости от общего содержания коллоидов, соотношения между органическими, минеральными коллоидами и от реакции среды.

Можно привести следующие величины емкости обмена глинистых минералов (мг-экв на 100 г) (табл. 1).

Таблица 1

Величина емкости обмена глинистых минералов

Минерал	Емкость, мг-экв на 100 г почвы
Каолинит	3...15
Галлуазит $2\text{H}_2\text{O}$	5...10
Галлуазит $4\text{H}_2\text{O}$	40...50
Сепиолит-паллыгорскит	20...30
Хлорит	10...40
Монтмориллонит	10...40
Вермикулит	80...150
Цеолиты	100...150
Гумус в целом	100...300

Органические коллоиды обладают значительно большей поглотительной способностью, чем минеральные. Так, чистый коллоид гуминовой кислоты может поглотить 350...450 мг-экв, а фульвокислоты – 600...700 мг-экв оснований на 100 г почвы. По данным К.К. Гедройца, в черноземе, содержащем 10 % гумуса, около 50 % емкости обмена обусловлено органической частью.

Таким образом, в глинистых почвах, богатых органическими коллоидами, емкость поглощения достигает 60...65 мг-экв на 100 г, в большинстве почв она составляет 15...35 мг-экв, а в песчаных, бедных коллоидами почвах не превышают 2,3 мг-экв на 100 г почвы.

Прочность связи поглощенных ионов с коллоидными частицами поглощающего комплекса, зависит от зарядности катиона, его атомной массы, степени гидратации иона, а также от свойств самого коллоида. Так, в коллоидных частицах, сохранивших кристаллическое строение (как, например, в вермикулите и монтмориллоните), поглощенные катионы входят в межплоскостные расстояния кристаллической решетки и вытесняются оттуда с трудом.

Поглотительная способность играет важную роль в процессах профильной дифференциации разнообразных органических и неорганических веществ. Неоднородность сорбционных процессов по отношению к различным веществам отражается на скорости передвижения их по почвенному профилю. В результате механической поглотительной способно-

сти задерживается взвешенные тонкодисперсные частицы. С сорбционными процессами связано формирование состава обменных катионов, оказывающих огромное влияние на состояние почвенных коллоидов и соответственно на физические и физико-механические свойства почвы.

Поглотительная способность почв имеет существенное значение в экологическом состоянии почвенно-грунтовых вод.

На основании анализа вышеперечисленных факторов производится бальная оценка территории месторождений по степени защищенности грунтовых вод от загрязнения по В.М. Гольдбергу [4].

Она выражается в следующем виде:

1 категория (5 баллов) – незащищенные (зона аэрации сложена песками, легкими супесями, трещиноватым мелом, коэффициент фильтрации $> 0,1$ м/сут);

2 категория (6...10 баллов) – слабо защищенные (зона аэрации сложена, глинистыми песками, супесями, легкими суглинками, трещиноватым мелом песчаником и мергелем, коэффициент фильтрации $0,1...0,01$ м/сут);

3 категория (11...15 баллов) – защищенные (зона аэрации сложена тяжелыми супесями и суглинками, с прослоями песчанистых глин, мела и мергеля, коэффициент фильтрации $0,01...0,001$ м/сут);

4 категория (более 16 баллов) – надежно защищенные (зона аэрации сложена тяжелыми суглинками, глинами, мергелями, коэффициент фильтрации $< 0,001$ м/сут).

На основе результатов анализа получили таблицы 2, 3.

Таблица 2

Характеристика почв месторождений Кара-Арна и Восточная Кокарна по водопроницаемости и емкости поглощения

Разрез	Тип почв	Преобладающий механический состав и коэффициент фильтрации	Емкость поглощения, мг-экв/100 г почвы
<i>Месторождение Кара-Арна</i>			
Р-6	Бурая пустынная солончак-овая почва с навейным песчаным наносом	Средний суглинок, $K_{\phi} - 0,001$ м/сут	34,00
Р-7	Бурая пустынная солончак-овая почва с навейным песчаным наносом	Легкий суглинок, $K_{\phi} - 0,1...0,01$ м/сут	17,32

Разрез	Тип почв	Преобладающий механический состав и коэффициент фильтрации	Емкость поглощения, мг-экв/100 г почвы
P-8	Солончак приморский	Средний суглинок, $K_{\phi} - 0,001$ м/сут	27,05
P-9	Бурая пустынная солончаковая почва с навейным песчаным наносом	Супесчаный, $K_{\phi} - 0,1$ м/сут	15,48
P-10	Бурая пустынная солончаковая почва с навейным песчаным наносом	Средний суглинок, $K_{\phi} - 0,001$ м/сут	26,04
P-11	Бурая пустынная солончаковая почва с навейным песчаным наносом	Супесчаный, $K_{\phi} - 0,1$ м/сут	17,05
P-12	Бурая пустынная солончаковая почва с навейным песчаным наносом	Супесчаный, $K_{\phi} - 0,1$ м/сут	15,05
P-13	Бурая пустынная солончаковая почва с навейным песчаным наносом	Супесчаный, $K_{\phi} - 0,1$ м/сут	17,93
P-14	Бурая пустынная зональная почва (целина)	Тяжелый суглинок, $K_{\phi} - < 0,001$ м/сут	36,00
<i>Месторождение Восточная Кокарна</i>			
P-15	Приморская примитивная солончаковая почва	Легкий суглинок, $K_{\phi} - 0,1...0,01$ м/сут	22,50
P-16	Приморская примитивная солончаковая почва	Связанный песок, $K_{\phi} - > 0,1$ м/сут	7,75
P-17	Приморская примитивная солончаковая почва	Средний суглинок, $K_{\phi} - 0,01...0,001$ м/сут	29,96
P-18	Приморская примитивная солончаковая почва	Средний суглинок, $K_{\phi} - 0,01...0,001$ м/сут	29,55
P-19	Приморская примитивная солончаковая почва	Легкий суглинок, $K_{\phi} - 0,1...0,01$ м/сут	23,92

Баллы слагаются из литологии и мощности зоны аэрации, а также от их поглотительной способности и природы загрязнителей (табл. 3)

1. К надежно защищенным водоносным горизонтам 4 категории относится тяжелосуглинистая бурая пустынная зональная почва (P-14) с коэффициентом фильтрации $K_{\phi} - < 0,001$ м/сут и емкостью поглощения

36,00 мг-экв/100 г почвы, в связи с нарушением почвенного профиля. Почвы территории месторождений техногенно сильно нарушены.

2. К защищенным водоносным горизонтам 3 категории относятся среднесуглинистая бурая солончаковая почва с навейным песчаным наносом (Р-6) с коэффициентом фильтрации $K_{\phi} - 0,01 \dots 0,001$ м/сут и емкостью поглощения 34,00 мг/экв/100 г почвы; среднесуглинистый солончак приморский (Р-8) с коэффициентом фильтрации $K_{\phi} - 0,01 \dots 0,001$ м/сут и емкостью поглощения 27,05 мг-экв/100 г почвы; среднесуглинистая бурая пустынная солончаковая почва с навейным песчаным наносом (Р-10) с коэффициентом фильтрации $K_{\phi} - 0,01 \dots 0,001$ м/сут и емкостью поглощения 26,04 мг-экв/100 г почвы; среднесуглинистые приморские примитивные солончаковые почвы (Р-17, Р-18) с коэффициентом фильтрации $K_{\phi} - 0,001$ м/сут и емкостью поглощения 29,55 и 29,96 мг-экв/100 г почвы соответственно.

Таблица 3

Группировка по категориям защищенности грунтовых вод в зависимости от водопроницаемости литологии и емкости поглощения

Разрез	Тип почв	Литология, коэффициент фильтрации	Емкость поглощения, мг-экв/100 г почвы	Категория защищенности
Р-14	Бурая пустынная зональная почва (целина)	Тяжелый суглинок, $K_{\phi} - < 0,001$ м/сут	36,00	4 категория – надежно защищенная
Р-8, Р-10, Р-17, Р-18	Бурая пустынная солончаковая почва с навейным песчаным наносом и приморская примитивная солончаковая почва	Средний суглинок, $K_{\phi} - 0,01 \dots 0,001$ м/сут	от 26,04 до 34,00	3 категория – защищенная

Разрез	Тип почв	Литология, коэффициент фильтрации	Емкость поглощения, мг- экв/100 г почвы	Категория защищенности
Р-7, Р-15, Р-19	Бурая пустынная солончаковая почва с навейным песчаным наносом и приморская примитивная почва	Легкий суглинок, $K_{\phi} - 0,1 \dots 0,01$ м/сут	от 17,32 до 23,92	2 категория – слабо защищенная
Р-9, Р-11, Р-12, Р-13, Р-16	Бурая пустынная солончаковая почва с навейным наносом, приморская примитивная солончаковая почва	Супесчаная, $K_{\phi} - 0,1$ м/сут Связанный песок, $K_{\phi} - < 0,1$ м/сут	от 7,75 до 17,93	1 категория – незащищенная

3. К слабо защищенным водоносным горизонтам 2 категории относятся легкосуглинистая бурая пустынная солончаковая почва с навейным песчаным наносом (Р-7) с коэффициентом фильтрации $K_{\phi} - 0,1 \dots 0,01$ м/сут и емкостью поглощения 17,32 мг-экв/100 г почвы, а также легкосуглинистые приморские примитивные солончаковые почвы (Р-15, Р-19) с коэффициентом фильтрации $K_{\phi} - 0,1 \dots 0,01$ м/сут и емкостью поглощения 22,50 и 23,92 мг-экв/100 г почвы соответственно.

4. К незащищенным водоносным горизонтам 1-категории относятся бурые пустынные солончаковые почвы с навейными песчаными наносами (Р-9, Р-11, Р-12, Р-13) с коэффициентами фильтрации $K_{\phi} - > 0,1$ м/сут и ёмкостями поглощения 15,48; 17,05; 15,05; 17,93 мг-экв/100 г почвы соответственно, а также песчаная приморская примитивная солончаковая почва (Р-16) с коэффициентом фильтрации $K_{\phi} - > 0,1$ м/сут и емкостью поглощения 7,75 мг-экв/100 г почвы.

В связи с неглубоким залеганием уровня грунтовых вод, а также физико-химическими свойствами почв территории месторождений, грунтовые воды, подлежащие к этой территории более склонны к нефтехимическому загрязнению. Это подтверждается исследованиями [8]. Содержание нефте-

продуктов в грунтовой воде на территории месторождения Кара-Арна колеблется от 1,05 до 27,00 мг/дм³, что превышает уровень ПДК в 21...540 раз.

В грунтовых водах территории месторождения Восточная Кокарна содержание нефтепродуктов колеблется от 1,05 до 2,45 мг/дм³, что превышает уровень ПДК в 21...49 раз.

В заключении отметим, что большая часть рассматриваемой территории отнесена к незащищенной и слабо защищенной от загрязнения с поверхности (1, 2 категория). Зона аэрации сложена толщей песков, супесей, суглинков, глинистых песков. Глубина залегания уровня грунтовых вод изменяется от 0,8 до 1,6 м. Интенсивное проведение работ, связанных с разведкой и добычей углеводородов на промыслах вызывает загрязнение грунтов зоны аэрации.

Наиболее высокой защищенностью (4 категория) обладают воды более глубоких водоносных горизонтов, где зона аэрации сложена суглинками, супесями и глинами мощностью 1...100 м.

Однако развитие солянокупольной и разрывной тектоники ослабляет защищенность грунтовых вод, что приводит к проникновению загрязняющих веществ в глубокие водоносные горизонты, и смешиванию высокоминерализованных вод с грунтовыми водами более низкой минерализации.

Подземные воды находятся в непрерывном движении. Их скорость движения зависит от водопроницаемости горных пород и уклона уровня. Скорость движения воды в песчаных породах изменяется от 0,5 до 0,8 м/сут. Для приближенной оценки горизонтального распространения загрязненных потоков грунтовых вод можно использовать соотношение:

$$R = T \cdot V ,$$

где R – расстояние проходимое потоком за время распада загрязняющего вещества, м; T – время распада загрязняющего вещества, год (для нефти – несколько лет); V – скорость перемещения фронта загрязнения в естественном потоке грунтовых вод.

Для распространенных в регионе категорий грунтов эту величину можно принять равной в среднем 30...50 м/год.

Принимая $T = 5$ годам и $V = 40$ м/год, получим, что на расстоянии до 200 м от места разлива нефти возможно загрязнение грунтовых вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: МГУ, 1972. – 491с.

2. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. – М.: «Высшая школа», 1973. – С. 218-236.
3. Глазовская М.А., Пиковский Ю.Н. Скорость самоочищения почв от нефти в различных природных зонах // Природа. – 1980. – №5. – С. 118-119.
4. Гольдберг В.М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 262 с.
5. Куанов М.С. Влияние Тенгизского нефтегазового комплекса на окружающую среду в связи с задачами охраны природы: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Алматы, 1999. – 18 с.
6. Мукатанов А.Х., Ривкин П.Р. Влияние нефти на свойства почвы // Нефтяное хозяйство. – 1980. – №4. – С. 53-54.
7. Фаизов К.Ш., Раимжанова М.К., Алибеков Ж.С. Экология Мангышлак-Прикаспийского нефтегазового региона. – Алматы: – 2003. – 237 с.
8. Saparov A.S., Dosbergenov S.N. Petrochemical pollution of ground water and water in the surge in deposit Karaarna in Caspian Region // International Congress on «Green Infrastructure and Sustainable Societies // Cities» (GreInSus 2014. 08-10 May 2014. Ege University Izmir-Turkey. 36 p.

Поступила 22.02.2017

Биол. ғылымд. канд. С.Н. Досбергенов

ҚАРААРНА ЖӘНЕ ШЫҒЫС КӨКАРНА МҰНАЙ КЕН ОРЫНДАРЫНЫҢ АУМАҒЫНДАҒЫ ГРУНТ СУЛАРЫНЫҢ МҰНАЙХИМИЯЛЫҚ ЛАСТАНУДАН САҚТАЛУЫ

Түйін сөздер: жер асты суларының қорғанысы, механикалық құрамы, сіңіру сиымдылығы, фильтрация коэффициенті

Грунт суларының мұнайхимиялық ластанудан сақталуы топырақтың сіңіру қабілетіне, оның литологиясы мен су өткізу қасиетіне, сонымен қатар топырақ бетіндегі ластаушы заттардың құрамы мен түріне, олардың миграциялық қабілетіне және топырақ түзуші жыныстармен қарым қатынасына байланысты. Зерттеліп отырған мұнай кен орындарының аумақтарындағы грунт сулары ластаушы заттардан қорғалмаған және нашар қорғалған болып келеді. Аэрация зонасы құмнан, құмдақ пен саздақтан және сазбалшықты құмдардан құралған. Грунт сулары деңгейінің топырақ бетіне 1 метрге дейін жақын орналасуы оның мұнайхимиялық ластанудан сақтану қабілетін төмендетеді.

Dosbergenov S.N.

**GROUNDWATER PROTECTION KARAARNA TERRITORY OF
DEPOSITS AND EAST IN KOKARNA OF PETROCHEMICAL
CONTAMINATION**

Keywords: groundwater protection, texture, absorption capacity, filter coefficients

Protection of groundwater from petrochemical contamination depend on the absorption capacity of soil, lithology and filtration properties of the sediments, as well as on the condition of finding pollutants on the surface, and the penetration of the nature of the ground water, chemical composition, migration ability and character interaction with rocks and groundwater. Most of the deposits of the territory assigned to the area unprotected and poorly protected from contamination from the surface. aeration zone is composed of a layer of sand, sandy loam, clay loam and sand. Due to the close proximity of the groundwater level to the surface of the earth up to 1 m can safely assume that the protection of groundwater pollution from the petrochemical least.

УДК 551.58: 631.551.4

Доктор техн. наук

Ж.С. Мустафаев¹

Доктор техн. наук

А.Т. Козыкеева¹

Н.А. Турсынбаев²

ОЦЕНКА БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ВОДОСБОРА БАСЕЙНА ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ ТАЛАС ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ОБУСТРОЙСТВЕ

Ключевые слова: оценка, климат, потенциал, водосбор, река, шкала, индекс, зона, увлажнение, продуктивность, ландшафт, экология, ус-луга, мелиорация, природа

На основе информационно-аналитических материалов «Каз-гидромета», «Кыргызгидромета», Министерства сельского хозяй-ства Республики Казахстан и Кыргызской Республики и методоло-гического подхода определены естественный и потенциальный био-климатический потенциал трансграничной реки Талас. Материалы дали возможность научно обосновать уровни мелиоративных услуг для повышения климатического индекса биологической продуктив-ности ландшафтов (B_k) при комплексном обустройстве их при-родных систем. Исследования могут быть использованы как разум-ные, равноправные и справедливые при распределении водных ресур-сов региона в соответствии с программой «Повестка дня на 21 век», принятой в рамках ООН в Рио-де-Жанейро в 1992 году.

Актуальность. В связи с угрозой «водного кризиса» в последние годы в мире уделяется повышенное внимание сохранению количества и качества водных ресурсов, внедрению методов рационального их исполь-зования и охраны. Начиная с первой конференции ООН по Природным ресурсам, которая проходила на озере Сассеке в 1949 году, затем – в Мар-дель-Палата в 1977 году, в Дублине, Рио-де-Жанейро и Хельсинке в 1992 году и в Гааге в 2000 году, вода всегда являлась объектом широкого круга обсуждения. В принятом в Рио-де-Жанейро документе «Повестка дня на 21 век» зафиксировано, что «укрепление водными ресурсами осу-ществляется таким образом, чтобы потребности нынешнего поколения

¹ КазНАУ, г. Алматы, Казахстан;

² Таразский ГУ им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

удовлетворились без ущерба, для возможностей будущего поколения удовлетворить свои собственные потребности». В Хельсинских правилах пользования водами международных рек, записано, что «каждое государство бассейна имеет право в пределах своей территории на разумное, равноправное и справедливое участие в полезном использовании воды международного водосборного бассейна» [1].

При этом в «Повестке дня на 21 век» отмечено, что количественное обоснование экологических услуг в речных бассейнах в системе природопользования является одним из интегральных критериев, обеспечивающих рациональное и эффективное использование природно-ресурсных потенциалов трансграничных рек на межгосударственном уровне. Поэтому, оценка биоклиматического потенциала водосбора бассейна трансграничных элементов, характеризующих их «природный капитал» является одним из важных интегральных показателей при оценке уровня экологических услуг в системе природопользования [2].

Цель исследования – на основе оценки биоклиматического потенциала природной системы водосбора трансграничной реки Талас обосновать уровень природных экологических услуг, т.е. услуг мелиорации сельскохозяйственных земель для рационального и эффективного использования их природно-ресурсного потенциала и выявления их региональных различий.

Материалы и методика исследования. Для оценки биоклиматического потенциала природной системы водосбора трансграничной реки Талас использованы многолетние информационно-аналитические материалы «Казгидромета» и «Кыргызгидромета». Кроме того, использовали материалы статистической отчетности об урожайности сельскохозяйственных культур по административным районам областей Республики Казахстан и Кыргызской Республики.

Учитывая многоаспектность проблемы, для исследований принята вся совокупность существующих в природопользовании методологических подходов, т.е. приоритетными выбраны геосистемный и катенарный подходы. При схематизации природных условий бассейна р. Талас принято, что каждый ландшафтный район представлен набором катен из характерных фаций с разным высотным взаиморасположением, определяемым глубиной расчленения рельефа (табл. 1).

В качестве потенциально важных предикторов, в базу данных ввели и анализировали следующие природно-климатические показатели:

сумму биологически активных температур ($\sum t, ^\circ\text{C}$), сумму осадков ($O_c, \text{мм}$), испаряемость ($E_0, \text{мм}$), фотосинтетически активную радиацию ($R, \text{кДж/см}^2$), сумму средних суточных значений дефицита влажности воздуха ($\sum d, \text{мб}$), среднегодовую температуру воздуха ($T, ^\circ\text{C}$) [3].

Таблица 1

Геоморфологическая схема катены бассейна реки Талас

Физико-географическое районирование		Административное деление	
природная зона	зона увлаженности	республика, область	район
<i>Элювиальная катена</i>			
Горная степь	умеренно-засушливая и влажная горная	Кыргызия, Таласская	Таласский
<i>Трансэлювиальная катена</i>			
Предгорная степь	засушливая горная	Кыргызия, Таласская	Карабууринский
			Бакайатинский
			Бакайатинский
<i>Супераквальная катэна</i>			
Предгорная полупустыня	сухая предгорная	Казахстан, Жамбылская	Жамбылский
			Байзакский
<i>Аквальная катэна</i>			
Пустыня южная	очень сухая	Казахстан, Жамбылская	Сарысуский
			Таласский

Результаты исследования. Определены средние многолетние природно-энергетические ресурсы природной системы водосборов бассейна р. Талас (табл. 2).

Таблица 2

Природно-энергетические ресурсы природной системы водосборов бассейна реки Талас

Метеостанция	Абсолютная высота местности (H), м	Природно-энергетические показатели					
		$T, ^\circ\text{C}$	$\sum t, ^\circ\text{C}$	$R, \text{кДж/см}^2$	$\sum d, \text{мб}$	$E_0, \text{мм}$	$O_c, \text{мм}$
<i>Горный класс ландшафтов (элювиальная фация)</i>							
Акташ	2000	4,6	2500	156,3	1680	880	469
<i>Предгорный подкласс ландшафтов (трансэлювиальная фация)</i>							
Талас	1200	7,6	2775	164,2	1860	960	327

Метеостанция	Абсолютная высота местности (H), м	Природно-энергетические показатели					
		T, °C	$\sum t$, °C	R, кДж/см ²	$\sum d$, мм	E ₀ , мм	O _c , мм
Предгорный равнинный подкласс ландшафтов (супераквальная фация)							
Тараз	642	9,0	3400	170,9	1860	1020	287
Равнинный класс ландшафтов (аквальная фация)							
Биликкол	366	9,1	3727	181,7	2161	1190	314
Байкадам	336	9,8	3700	180,8	2560	1110	155
Камкалыкол	317	9,7	3670	186,5	3477	1147	185

Как видно из данных табл. 2, $\sum t$, °C и R, кДж/см² с горного класса ландшафтов (элювиальная фация) в равнинный класс ландшафтов (аквальная фация) повышается, а атмосферные осадки, характеризующие влагообеспеченность, уменьшаются в соответствии с географической зональностью.

Для климатической оценки тепло- и влагообеспеченности водосборов бассейна р. Талас можно использовать следующие показатели, характеризующиеся степенью обеспеченности ресурсами природной среды: коэффициент увлажнения ($K_y = O_c / E_0$), биоклиматическая продуктивность ($БКП = K_y (\sum t / 1000)$), гидротермический коэффициент ($ГТК = 10 \cdot O_c / \sum t$), индекс засушливости ($\bar{R} = R / LO_c$, где L – удельная теплота парообразования, принятая постоянной и равная 2,5 кДж/см²) и показатель увлажнения ($M_d = O_c / \sum d$) [3].

На основе интегральных критериев, характеризующих тепло- и влагообеспеченность ландшафтов природных систем определен климатический потенциал водосбора бассейна р. Талас (табл. 3).

Влияние на биологическую продуктивность ландшафтов тепла и влаги выражается относительными величинами биоклиматического потенциала природной системы, т.е. через климатический индекс биологической продуктивности ландшафтов Д.И. Шашко [6]:

$$B_k = K_{p(ky)} \left(100 \cdot \frac{\sum t > 10^\circ C}{\sum t > 10^\circ C_0} \right),$$

где B_k – климатический индекс биологической продуктивности;
 $\sum t > 10^\circ\text{C}$ – сумма средних суточных температур воздуха выше $+10^\circ\text{C}$,
отражающая поступление солнечной энергии и теплообеспеченность ландшафтов;
 $\sum t > 10^\circ\text{C}_0$ – сумма средних суточных температур воздуха выше $+10^\circ\text{C}$,
в начальной зоне формирования стока речных бассейнов, равная 1000°C ;
 $K_{p(\text{кy})}$ – коэффициент роста по годовому показателю атмосферного увлажнения,
представляющий собой отношение продуктивности при данных условиях
влагообеспеченности к максимальной продуктивности в условиях оптимальной
влагообеспеченности и определяется по формуле [6]:

$$K_{p(\text{кy})} = 1,15 \cdot \lg(20 \cdot Md) - 0,21 + 0,63 \cdot Md - Md^2.$$

Таблица 3

Климатический потенциал природной системы водосбора бассейна р. Талас

Метеостанция	Абсолютная высота местности (H), м	Показатели климатического потенциала				
		K_y	ГТК	БКП	\bar{R}	M_d
Горный класс ландшафтов (элювиальная фация)						
Акташ	2000	0,53	1,62	1,54	1,31	0,28
Предгорный подкласс ландшафтов (трансэлювиальная фация)						
Талас	1200	0,30	0,68	2,20	2,00	0,18
Предгорный равнинный подкласс ландшафтов (супераквальная фация)						
Тараз	642	0,20	0,59	0,68	2,38	0,15
Равнинный класс ландшафтов (аквальная фация)						
Биликкол	366	0,26	0,84	0,96	2,31	0,14
Байкадам	336	0,11	0,32	0,41	4,66	0,12
Камкалыкол	317	0,09	0,37	1,17	4,03	0,10

На основе связи с продуктивностью растений, а также с географической зональностью водосборов речных бассейнов для средней оценки биологической продуктивности ландшафтов определен климатический индекс биологической продуктивности земли по Д.И. Шашко (табл. 4).

Анализ результатов расчета биоклиматического потенциала и климатического индекса биологической продуктивности свидетельствует (табл. 4), что почвенно-климатические условия водосбора бассейна р. Талас изменяется в зависимости от типа ландшафтов или фаций.

Как видно из данных табл. 4, коэффициент роста по годовому показателю атмосферного увлажнения ($K_{p(к\у)}$) уменьшается от горного (элювиальная фация) до равнинного класса ландшафтов (аквальная фация) в бассейне р. Талас и следовательно климатический индекс биологической продуктивности (B_k) тоже снижается в три раза, т.е. от 187,5 до 69,7 в баллах.

Таблица 4

Биоклиматический потенциал (BKP) и климатический индекс биологической продуктивности (B_k) по геоморфологической схематизации водосборов бассейна р. Талас

Метеостанция	Абсолютная высота местности (H), м	Показатели биоклиматического потенциала			
		M_d	$K_{p(к\у)}$	$\frac{\sum t > 10^\circ C}{\sum t > 10^\circ C_0}$	B_k
Горный класс ландшафтов (элювиальная фация)					
Акташ	2000	0,28	0,75	2,500	187,5
Предгорный подкласс ландшафтов (трансэлювиальная фация)					
Талас	1200	0,18	0,51	2,775	141,5
Предгорный равнинный подкласс ландшафтов (супераквальная фация)					
Тараз	642	0,15	0,41	3,400	139,4
Равнинный класс ландшафтов (аквальная фация)					
Биликкол	366	0,14	0,40	3,727	149,1
Байкадам	336	0,12	0,29	3,700	107,3
Камкалыкол	317	0,10	0,19	3,670	69,7

Следует отметить, что по шкале климатической продуктивности Д.И. Шашко [6] в бассейне р. Талас, только горный класс ландшафтов (элювиальная фация) относится к зоне повышенной продуктивности ($B_k = 150-200$), а предгорный подкласс ландшафтов (трансэлювиальная фация) и предгорный равнинный подкласс ландшафтов (супераквальная фация) – зона средней продуктивности ($B_k = 115-150$) и равнинный класс ландшафтов (аквальная фация) – зоны низкой продуктивности ($B_k = 55-85$).

Для оценки окупаемости одного балла климатического индекса биологической продуктивностью (B_k) использованы средние многолетние урожайности сельскохозяйственных культур на административной территории водосбора бассейна трансграничной р. Талас (табл. 5) [3, 4, 5].

Таблица 5

Средние многолетние урожайности сельскохозяйственных культур на геоморфологической территории водосбора бассейна трансграничной р. Талас

Культура	Геоморфологическая схематизация ландшафтов или фация			
	элювиальная	транс-элювиальная	супераквальная	аквальная
Озимая пшеница	21,1	24,5	25,3	15,2
Ячмень	16,4	17,7	16,0	13,3
Зернобобовые	-	17,1	18,0	13,3
Овес	-	17,1	12,2	10,5
Просо	21,4	-	24,5	18,6
Гречиха	-	-	1,7	1,3
Кукуруза	50,6	63,4	53,8	46,1
Сахарная свекла	-	225,0	210,0	192,0
Подсолнечник	-	-	14,4	10,3
Картофель	141,3	173,0	185,0	170,0
Овощи	117,4	192,4	185,0	175,0

Как видно, из данных табл. 5 урожайность сельскохозяйственных культур низкая при сравнение трансэлювиальной и супераквальной фаций с элювиальной и аквальной фациями, что связано с уровнем теплообеспеченности природных систем.

На основании соотношения показателей урожайности и климатического индекса биологической продуктивности определили окупаемость одного балла (табл. 6), которая позволяет оценить эффективность использования почвенно-климатического потенциала при производстве сельскохозяйственной продукции.

Наибольшая окупаемость почвенно-климатического ресурса бассейна Таласа отмечена в трансэлювиальных фациях на территории Кыргызской Республики и супераквальных фациях на территории Республики Казахстан, практически по всем возделываемым культурам, наименьшая – в элювиальных и аквальных фациях. При этом следует отметить, что элювиальная и трансэлювиальная фации, характеризующиеся лучшими параметрами биоклиматического потенциала, уступают по окупаемости балла климатического индекса биологической продуктивностью в супераквальных и аквальных фациях. В этой связи необходимо скорректировать и усилить антропогенный ресурс, придать большую наукоемкость агротехнологиям в супераквальных и аквальных фациях водосбора бассейна р. Талас.

Таблица 6

Окупаемость одного балла климатического индекса биологической продуктивности (B_k), ц

Культура	Геоморфологическая схематизация ландшафтов			
	элювиальная	транс-элювиальная	супераквальная	аквальная
Озимая пшеница	0,112	0,173	0,181	0,140
Ячмень	0,087	0,125	0,115	0,122
Зернобобовые	-	0,125	0,129	0,122
Овес	-	0,125	0,088	0,097
Просо	0,114	-	0,176	0,171
Гречиха	-	-	0,012	0,012
Кукуруза	0,270	0,448	0,386	0,365
Сахарная свекла	-	1,590	1,506	1,768
Подсолнечник	-	-	0,103	0,094
Картофель	0,754	1,223	1,219	1,564
Овощи	0,526	1,360	1,255	1,510

Когда количественное значение показателя увлажнения будет в пределах $M_d = 0,50 - 0,60$, величина коэффициента роста $K_{p(кy)} = 1,0$ (рис.) [6].

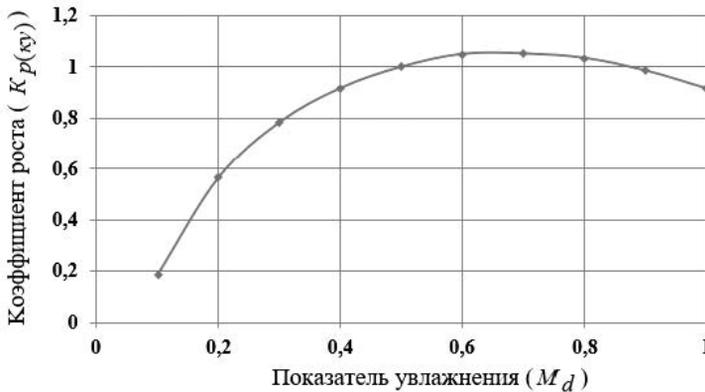


Рис. Зависимость коэффициента роста ($K_{p(кy)}$) от показателя увлажнения (M_d).

Биоклиматический потенциал, выраженный в баллах, является интегральным показателем и служит для оценки агроклиматической значимости климата. Приблизительно отображает биологическую продуктивность зональных типов почв, так как урожайность зависит от плодородия почвы и характеризует благоприятность климата [6], что дает возможность определить потенциальное значение климатического индекса биологической продуктивности ландшафтов речных бассейнов при $K_{p(кy)} = 1,0$:

$$B_{кп} = \left(100 \cdot \frac{\sum t > 10^{\circ}C}{\sum t > 10^{\circ}C_0} \right).$$

При этом, разница потенциального значения климатического индекса биологической продуктивности ландшафтов ($B_{кп}$) и естественного значения климатического индекса биологической продуктивности ландшафтов ($B_{к}$) дает предельный возможный рост климатической продуктивности природной системы речных бассейнов за счет оказания антропогенных услуг, которые определяются по следующему выражению: $\Delta B_{к} = B_{кп} - B_{к}$ (табл. 7).

Таблица 7

Потенциальная возможность повышения климатического индекса биологической продуктивности ландшафтов ($\Delta B_{кп}$) бассейна р. Талас за счет антропогенной экологической услуги

Метеостанция	Абсолютная высота местности (H), м	Показатели биоклиматического потенциала		
		$B_{кп}$	$B_{к}$	$\Delta B_{к}$
Горный класс ландшафтов (элювиальная фация)				
Акташ	2000	250,0	187,5	62,5
Предгорный подкласс ландшафтов (трансэлювиальная фация)				
Талас	1200	277,5	141,5	136,0
Предгорный равнинный подкласс ландшафтов (супераквальная фация)				
Тараз	642	340,0	139,4	200,6
Равнинный класс ландшафтов (аквальная фация)				
Биликкол	366	372,7	149,1	223,6
Байкадам	336	370,0	107,3	262,7
Камкалыкол	317	367,0	69,7	297,3

Как видно из данных табл. 7, потенциальная возможность повышения климатического индекса биологической продуктивности ландшафтов бассейна Таласа за счет использования антропогенной экологической услуги достаточно высокая, особенно в предгорном равнинном подклассе ландшафтов (супераквальная фация) ($\Delta B_{к} = 200,6$) и равнинном классе ландшафтов (аквальная фация) ($\Delta B_{к} = 2223,6 - 297,3$). При этом, следует отметить, что естественный климатический индекс формируется за счет теплообеспеченности, которая относится к не управляемой и не регулируемой части природных ресурсов, где биологические сообщества приспособляются, т.е. за счет природных экологических услуг. Следова-

тельно, тормозящим фактором является естественная влагообеспеченность, которая требует для её повышения антропогенной экологической услуги, т.е. услуги мелиорации ландшафтов. Для определения уровня эколого-мелиоративных услуг можно использовать интегральный показатель затраты воды одного балла климатического индекса биологической продуктивностью (B_k):

$$\Delta e_{\text{он}} = O_c / B_k; \quad \Delta E_{\text{он}} = \Delta e_{\text{он}} \cdot \Delta B_k,$$

где $\Delta e_{\text{он}}$ – затраты воды одного балла климатического индекса биологической продуктивности (B_k); $\Delta E_{\text{он}}$ – предельно-допустимые или экологические водопотребности для повышения климатического индекса биологической продуктивности ландшафтов (B_k) за счет использования эколого-мелиоративных услуг при антропогенной деятельности, мм.

На основе предложенного методологического подхода определены предельно-допустимые или экологические водопотребности, за счет использования эколого-мелиоративных услуг в условиях антропогенной деятельности в пределах геоморфологической фации водосбора бассейна Таласа (табл. 8).

Таблица 8

Экологические водопотребности для повышения климатического индекса биологической продуктивности ландшафтов с использованием услуг мелиорации сельскохозяйственных земель

Метеостанция	Абсолютная высота местности (H), м	Показатели биоклиматического потенциала				
		O_c , мм	B_k , балл	$\Delta e_{\text{он}}$, мм/балл	ΔB_k	$\Delta E_{\text{он}}$
Горный класс ландшафтов (элювиальная фация)						
Акташ	2000	469	187,5	2,50	62,5	156,3
Предгорный подкласс ландшафтов (трансэлювиальная фация)						
Талас	1200	327	141,5	2,31	136,0	314,2
Предгорный равнинный подкласс ландшафтов (супераквальная фация)						
Тараз	642	287	139,4	2,06	200,6	413,2
Равнинный класс ландшафтов (аквальная фация)						
Биликкол	366	314	149,1	2,10	223,6	469,6
Байкадам	336	155	107,3	1,44	262,7	378,3
Камкалыкол	317	185	69,7	2,55	297,3	758,1

Как видно из данных табл. 8 экологические водопотребности повышаются от горного класса ландшафтов (элювиальная фация) ($\Delta E_{\text{он}} = 156,3$ мм) в сторону равнинного класса ландшафтов (аквальная

фация) ($\Delta E_{\text{он}} = 758,1 \text{ мм}$) повышается в пять раз, что следует учитывать, во-первых, при разумном, равноправном и справедливом распределении водных ресурсов трансграничной реки Талас между государствами, т.е. Кыргызской Республикой и Республикой Казахстан, во-вторых, рациональное и эффективное использование ландшафтных систем водосборных территорий высокопродуктивных агроландшафтов, в-третьих, экспорт экологических услуг, т.е. услуги природных водных ресурсов для повышения продуктивности агроландшафтов, в-четвертых, при комплексном обустройстве водосбора речных бассейнов.

Следовательно, повышение «естественного природного капитала» (*ЕПК*) до «потенциального природного капитала» (*ППК*), т.е. $\Delta \text{ППК} = \text{ППК} - \text{ЕПК}$ может быть осуществлено за счет экологических услуг водных ресурсов речных бассейнов, которые относятся к регулируемому и управляемому фактору, а свето- и теплообеспеченности не регулируются и не управляются, к этим факторам человечество адаптируется или приспосабливается. Поэтому для перераспределения экологических услуг водных ресурсов водосбора речных бассейнов требуется методологическое обоснование интегральных критериев, позволяющих разумно, равноправно и справедливо использовать «естественный природный капитал» (*ЕПК*). Для разработки интегральных критериев, позволяющих сбалансировано перераспределять экологические услуги, можно использовать отношение естественного климатического индекса биологической продуктивности отдельных ландшафтных классов или катен (фаций) ($B_{\text{кфи}}$) к среднему климатическому индексу биологической продуктивности всех ландшафтных классов или катен (фаций) $B_{\text{кфи}}^{\text{cp}}$, т.е.

$$K_{\text{оки}} = 1 - (B_{\text{кфи}} / B_{\text{кфи}}^{\text{cp}}) \text{ и } \sum_{i=1}^n K_{\text{оки}} = 0 \rightarrow \text{const}.$$

При этом объем водных ресурсов (W_i) для оказания экологических услуг с целью повышения «естественного природного капитала» (*ЕПК*) до «потенциального природного капитала» (*ППК*) с позиции биологической продуктивности растительного и почвенного покровов отдельных ландшафтных классов или фаций водосборов речных бассейнов определяется по формуле:

$$W_{\text{оки}} = K_{\text{оки}} \cdot (W_{\text{ои}} - \Delta W_{\text{сэи}}),$$

где W_{oi} – объем располагаемых водных ресурсов речных бассейнов, км³;
 $W_{эи}$ – объем гарантированных санитарно-экологических водных ресурсов речных бассейнов, обеспечивающих экологическую устойчивость природной системы в низовьях.

Обсуждение и выводы. На основе климатического индекса продуктивности ландшафтов Д.И. Шашко [6] определены естественные и потенциальные биоклиматические потенциалы геоморфологических фаций водосбора бассейна трансграничной р. Талас с использованием природной и антропогенной услуг. Они дали возможность научно обосновать уровень экологических услуг водных ресурсов водосбора речных бассейнов для повышения климатического индекса биологической продуктивности ландшафтов (B_k) при комплексном обустройстве их природных систем и разумное, равноправное и справедливое распределение водных ресурсов в регионе в соответствии с программой «Повестка дня на 21 век», принятой в рамках ООН в Рио-де Жанейро в 1992 году.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ибатуллин С.Р., Мустафаев Ж.С., Койбагарова К.Б. Сбалансированное использование водных ресурсов трансграничных рек. – Тараз: 2005. – 111 с.
2. Мустафаев К.Ж., Маймеков З.К. Экологические услуги в речных бассейнах. – Тараз: 2015. – 146 с.
3. Сельское хозяйство Жамбылской области в годы независимости (Справочник). – Тараз: «Сенім», 2016 – 424 с.
4. Сельское хозяйство Кыргызской Республики. – Бишкек: 2016. – 89 с.
5. Сельское, лесное и рыбное хозяйство Казахстана (Статистический сборник). – Астана: 2009. – 232 с.
6. Шашко Д.И. Учитывать биоклиматический потенциал // Земледелие. – 1985. – №4. – С. 19-26.

Поступила 3.04.2017

Техн. ғылымд. докторы
Техн. ғылымд. докторы

Ж.С. Мұстафаев
Ә.Т. Қозыкеева
Н.А. Турсынбаев

**ШЕКАРАЛАС ТАЛАС ӨЗЕНІНІҢ СУЖИНАУ АЛАБЫН КЕШЕНДІ
ҮЙЛЕСТІРУ КЕЗІНДЕГІ БИОКЛИМАТТЫҚ ӘЛЕУЕТТІГІН
БАҒАЛАУ**

Түйін сөздер: бағалау, климат, әлеуеттігі, сужинау, өзен, белгі, белдеу, аймақ, ылғалдану, өнімділік, ландшафт, экология, қызмет, мелиорация, табиғат

«Казгидромет» және «Қырғызгидромет» мекемелерінің, Қазақстан Республикасының және Қырғыз Республикасының ауылшаруашылығы саласының ақпараттық-талдау мәліметтерінің және Д.И. Шашконың ландшафттар өнімділігінің климаттық белгісі арқылы бағалау әдістемесінің жүргісі негізінде шекаралас Талас өзенінің сужинау алабын геоморфологиялық фациялық деңгейде ландшафттардың табиғи және әлеуеттік биоклиматтық өнімділігін анықтаудың нәтижесі бойынша, оның табиғи жүйесін кешенді үйлестіру арқылы ландшафттардың биологиялық өнімділігінің климаттық белгісін жоғарлатуға арналған мелиоративтік қызметтің деңгейі ғылыми тұрғыда негізделген, ал оны БҰҰ 1992 жылғы Рио-де Жанейро қаласында қабылдаған «21 ғасырдың күнделікті мәселесі» бағдарламасына сай аймақтағы су қорларын ақылмен, әділетті және теңгермелік жағдайда бөлуге пайдалануға болады.

Mustafayev ZH.S., Kozykееva A.T., Tursynbayev N.F.

EVALUATION OF THE BIOCLIMATIC POTENTIAL OF WATER CONSERVATION OF THE BASIS OF THE TRANSBOUNDARY RIVER TALAS WITH THE INTEGRATED DEVICE

Keywords: assessment, climate, potential, catchment, river, scale, index, zone, humidification, productivity, landscape, ecology, service, reclamation, nature

Based on the information and analytical materials of Kazhydromet, Kyrgyzhydromet, the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan and the Kyrgyz Republic and the methodological approach, the natural and potential bioclimatic potential of the transboundary Talas River has been determined. The materials made it possible to scientifically prove the levels of meliorative services for increasing the climatic index of the biological productivity of landscapes with the complex arrangement of their natural systems. Studies can be used as reasonable, equitable and fair in the distribution of water resources in the region in accordance with the Agenda 21 Agenda, adopted at the UN in Rio de Janeiro in 1992.

УДК 910.3: 332.3 (502.3)

Канд. с.-х. наук

Т.К. Салихов¹Т.С. Салихова¹

**РЕКОМЕНДУЕМАЯ КАТЕГОРИЯ ПРОЕКТИРУЕМОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО РЕЗЕРВАТА
«БОКЕЙОРДА»: ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ГРАНИЦЫ, РЕЖИМЫ
ОХРАНЫ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО
ФУНКЦИОНАЛЬНОМУ ЗОНИРОВАНИЮ ТЕРРИТОРИИ**

Ключевые слова: землепользователи, зона заповедного режима, буферная зона, государственный природный резерват, комплексный государственный природный заказник

В результате исследований на территории проектируемого государственного природного резервата «Бокейорда» Западно-Казахстанской области был изучен состав землепользователей, определены границы резервата, где на основе экосистемного анализа и ГИС-технологий составлена карта землепользователей и карта предлагаемых границ резервата. Даны рекомендации по категориям охраны резервата, направленные на восстановление и сохранение места обитания редких и эндемичных видов биоразнообразия всего региона.

Мировая наука с тревогой оценивает возможные последствия для нашей планеты, те глубокие изменения природной среды, которые вызваны индустриальной и земледельческой деятельностью человека. На сегодняшний день сохранение биологического разнообразия является одной из главных проблем человечества. Именно биота наиболее уязвима к стрессовым факторам и в особенности, антропогенным. Вот почему мировое сообщество встревожено последствиями научно-технического прогресса, оказывающего зачастую разрушающее воздействие на условия существования человека, на биоту, являющуюся источником пищи, кислорода, чистого воздуха, сырьевых ресурсов, основным регулятором стабильности биосферы.

Естественные степные пространства в Казахстане составляют свыше 120 млн. га. Они являются местами распространения уникального растительного мира степей, глобально исчезающих видов степной фауны.

¹ Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

Степные экосистемы Казахстана являются площадкой для 2000 видов флоры, включая приблизительно 30 эндемических видов, уникальных флористических составов. В степях Казахстана также водятся глобально исчезающие виды степной фауны, в том числе 9 из 24 видов исчезающих млекопитающих, обитающих в стране. Степи являются наименее защищенным типом экосистем в Казахстане, и крайне недостаточно представлены в системе особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

В настоящее время в Западно-Казахстанской области действуют три государственных природных заказника республиканского значения и 7 ООПТ областного значения, их суммарная площадь составляет 188,7 тыс. га или 1 % от площади области [6]. Вместе с тем, в области отсутствуют ООПТ со строгим режимом охраны и со статусом юридического лица. Работа по созданию государственного природного резервата «Бокейорда» выполняется в рамках проекта Правительства Республики Казахстан и Глобального экологического фонда Программой развития Организации Объединенных Наций «Сохранение и устойчивое управление степными экосистемами», направленного на увеличение степных ландшафтов в системе особо охраняемых природных территорий Казахстана.

Цель исследования: изучение рекомендуемых категорий проектируемого государственного природного резервата «Бокейорда», выявление состава землепользователей, предлагаемых границ резервата, режимов охраны, использования и предложения по функциональному зонированию территории для сохранения места обитания редких и эндемичных видов биоразнообразия всего региона.

Теоретико-методическую основу исследования составляют общенаучные методы: описательный, сравнительный, статистический, системного анализа, картографический. Методология исследования базируется на системе общих принципов и общенаучных подходов: комплексного, интегрального, системного, экологического, географического [1-5, 8-10].

Организация резервата в местах обитания уральской популяции сайгаков особенно актуально после случая массовой гибели от пастереллеза 12 тыс. особей в мае 2010 г. и более 400 особей в мае 2011 г. в результате численность популяции сократилась с 39 до 27 тыс. особей [7].

Проектируемая территория расположена на западе Западно-Казахстанской области в пределах территории Жанибекского, Бокейординского, Казталовского районов. Общая площадь исследованного региона составляет 690,929 тыс. га или около 4,5 % территории области (рис. 1).

На территории природного резервата гидрографическая сеть развита весьма слабо. На востоке проектируемой территории протекает река Ащыюзек с несколькими притоками, среди которых наиболее крупные – правобережные притоки Шерембетсай, Таткенсай, Жамансай, балка Астаусалган, река Бершарал; левобережные притоки – Колдыбайсай, Терексай, вливающиеся в крупное озеро Аралсор. В связи с частым чередованием условий почвообразования, почвы территории отличаются большой пестротой и мозаичностью, а также комплексностью. Однако в пределах отдельно взятых частей отмечается выраженное преобладание зональных типов почв – обыкновенных каштановых, светло-каштановых и бурых [2].

Исследуемая территория имеет сложный состав землепользователей, в рамках проекта был проведен анализ расположения землепользования на проектируемой территории. По предварительным данным РГП «НПЦЗем» на проектируемой территории расположено 74 землепользователя, общей площадью 78 796,2 га (рис. 1), из них:

- по Жанибекскому району – 46 землепользователей, общей площадью 63972,2 га;

- по Казталовскому району – 11 землепользователей, общей площадью 2687 га;

- по Бокейординскому району 17 землепользователей, общей площадью 12137 га.

Исходя из необходимости сохранения уникальных природных комплексов, учитывая интересы местного населения и перспективы развития сельского хозяйства в данном регионе, рекомендуется рассмотреть два варианта создания особо охраняемой природной территории на проектируемой территории.

Вариант первый – Государственный природный резерват. Первый вариант предусматривает создание на проектируемой территории *государственного природного резервата «Бокейорда»*. Данный вариант спроектирован на основе анализа расположения землепользователей и интегральной карты природоохранной значимости экосистем. Рекомендуемая площадь составляет 380 839 га (рис. 2).

Государственный природный резерват – особо охраняемая природная территория со статусом природоохранного и научного учреждения, включающая наземные и водные экологические системы, предназначенная для охраны, защиты, восстановления и поддержания биологического раз-

нообразия природных комплексов и связанных с ними природных и историко-культурных объектов.

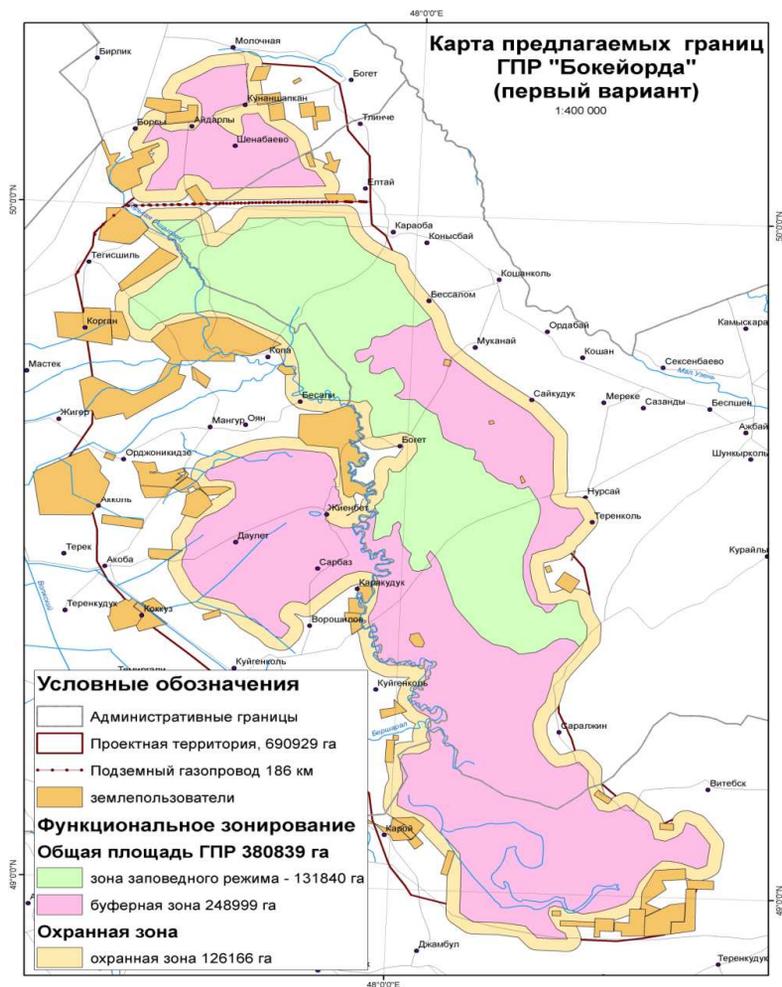


Рис. 2. Первый вариант проектируемой территории государственного природного резервата «Бокейорда».

К основной деятельности государственных природных резерватов относятся:

- 1) сохранение и восстановление биологического и ландшафтного разнообразия, природных экологических систем;
- 2) обеспечение режима охраны государственного природного резервата;
- 3) поддержка устойчивого социально-экономического развития территории на основе эколого-экономического принципа использования природных ресурсов;

4) проведение исследований и мониторинга в целях охраны и устойчивого развития территории, а также экологического просвещения и воспитания;

5) регулирование использования территории государственного природного резервата и его охранной зоны в эколого-просветительных, научных, рекреационных, туристских и ограниченных хозяйственных целях.

В соответствии с Законом Республики Казахстан «Об особо охраняемых природных территориях» на территории государственного природного резервата проводится зонирование территории.

Функциональное зонирование является основой планировочной организации территории проектируемого государственного природного резервата и рассматривается как форма целевой организации территории, отражающей пространственную дифференциацию природоохранных режимов и организуемую в связи с этим службу управления и охраны. Территориальное разграничение разно-функциональных участков резервата обеспечивает выполнение всего комплекса задач государственного природного резервата, совмещающего интересы охраны и восстановления природных комплексов, экологического просвещения и экологического туризма. Функциональное зонирование определяется путем изучения экологических, эколого-просветительских, рекреационных и других особенностей территории. Конкретизация режима для той или иной зоны/подзоны обеспечивает оптимальный уровень антропогенно-рекреационной нагрузки и создает условия для сохранения ландшафтов и объектов природно-заповедного фонда.

В соответствии с Законом Республики Казахстан «Об особо охраняемых природных территориях» в государственных природных резерватах выделяются следующие зоны:

- 1) Зона заповедного режима;
- 2) Буферная зона (табл.).

Таблица

Функциональное зонирование Государственного природного резервата «Бокейорда» Западно-Казахстанской области (первый вариант)

Функциональная зона	Площадь, га	% от общей площади	Режим охраны
Зона заповедного режима	131 840	35 %	заповедный режим
Буферная зона	248 999	65 %	заказной и регулируемый режим хозяйственной деятельности
Итого:	380 839	100 %	

Функциональная зона	Площадь, га	% от общей площади	Режим охраны
Охранная зона	126166		регулируемый режим хозяйственной деятельности

В заповедной зоне устанавливается заповедный режим охраны, соответствующий режиму природного резервата (статья 51, пункт 1 статьи 40 Закона об ООПТ), исключающий любую хозяйственную деятельность и рекреационное использование территории.

В зоне заповедного режима *запрещается*:

- действия, изменяющие гидрологический режим территории;
- строительство зданий (строений и сооружений), дорог, трубопроводов, линий электропередач и других коммуникаций и объектов, не связанных с функционированием государственного природного резервата;
- геологоразведочные работы и добыча полезных ископаемых;
- нарушение почвенного покрова, разрушение выходов минералов и обнажений горных пород;
- все виды лесопользования, включая санитарные рубки и рубки ухода за лесом, заготовка пищевых, лекарственных и технических растений, цветов, семян, сенокошение, пастьба скота и другие виды пользования растительным миром, приводящие к нарушению растительного покрова;
- охота и рыболовство, за исключением любительского рыболовства, разрешаемого для нужд местного населения, проживающего в охранной зоне природного резервата, на специально выделенных участках в порядке, установленном уполномоченным органом;
- отлов и уничтожение животных, нарушение среды и условий их обитания;
- интродукция новых видов животных и растений, проведение мероприятий по увеличению численности отдельных видов животных выше допустимой естественной емкости угодий;
- сбор коллекционных материалов, за исключением формирования коллекций резервата;
- применение химических и биологических методов борьбы с вредителями, болезнями растений и животных, а также для регулирования численности животных;
- прогон домашних животных;
- шумовые и иные акустические воздействия искусственного происхождения, превышающие нормы, установленные уполномоченным ор-

ганом по согласованию с уполномоченным органом в области охраны окружающей среды;

- деятельность, если она может повлечь изменения естественного облика охраняемых ландшафтов, нарушение устойчивости экологических систем, либо угрожает сохранению и воспроизводству особо ценных природных ресурсов.

В заповедной зоне резервата *разрешается*:

- проведение научных исследований и мониторинга состояния природной среды, включая ведение Летописи природы;

- проведение мероприятий в эколого-просветительных целях.

Буферная зона включает устойчивые или слабонарушенные хозяйственной деятельностью экосистемы и природные объекты, в том числе места обитания редких и эндемичных видов флоры и фауны, участки, имеющие важное значение для сохранения в естественном состоянии природных экосистем и восстановления биологического и ландшафтного разнообразия, природных экосистем; места размещения кордонов и др.

Буферная зона создается вокруг заповедного ядра, имеет заказной режим охраны и предназначена для снижения воздействия хозяйственной и рекреационной деятельности в зоне ядра.

В буферной зоне природного резервата могут осуществляться различные формы ограниченной, регулируемой и не оказывающей негативного воздействия на состояние экологических систем зоны ядра деятельности.

В буферной зоне *разрешаются*:

- научные исследования и организация центров обучения и подготовки специалистов;

- мониторинг окружающей среды и контроль за изменениями экологических систем;

- лесохозяйственная деятельность, противопожарные мероприятия и защита лесных массивов;

- традиционное землепользование в рамках обеспечения долговременной сохранности и неуязвимости биологического разнообразия зоны ядра и в целом устойчивости экологических систем природного резервата;

- расширенное проведение мероприятий по восстановлению биологического и ландшафтного разнообразия, природных экологических систем;

- туризм, рекреационное пользование, контролируемые и регулируемые в соответствии с рекреационной нагрузкой, установленной правилами посещения ООПТ физическими лицами;

- использование минеральных вод и лечебных ресурсов;
- экологическое просвещение, проведение обучающих программ, организация демонстрационных участков и менеджмента экологически щадящего природопользования.

В буферной зоне *запрещается* деятельность, способная оказать негативное влияние на состояние экологической системы зоны заповедного ядра:

- создание новых населенных пунктов;
- размещение и эксплуатация промышленных объектов;
- строительство и эксплуатация производственных объектов;
- проведение геологоразведочных работ и разработка полезных ископаемых;
- рубки главного пользования;
- интродукция новых видов растений и животных;
- действия, изменяющие гидрологический режим территории зоны ядра и буферной зоны;
- иная деятельность, способная оказать воздействие на экологическую систему зоны заповедного ядра.

Вокруг территории резервата в соответствии с природоохранным законодательством устанавливается охранный зона государственного природного резервата. Площадь проектируемой охранной зоны составляет 126 166 га.

Согласно Закона РК «Об особо охраняемой природной территории» в охранной зоне государственного природного резервата запрещается:

- 1) создание новых и расширение существующих населенных пунктов;
- 2) размещение, проектирование, строительство и эксплуатация объектов, внедрение новых технологий, оказывающих вредное воздействие на экологические системы государственного природного резервата;
- 3) ведение интенсивных форм сельского и лесного хозяйства с применением токсичных для животного и растительного мира ядохимикатов, удобрений и гербицидов;
- 4) выброс в атмосферу и сброс в открытые водные источники и на рельеф загрязняющих веществ и сточных вод, размещение отходов;
- 5) добыча полезных ископаемых;
- 6) любительская (спортивная) и промысловая охота;
- 7) захоронение радиоактивных материалов и промышленных отходов;

- 8) деятельность, способная изменить гидрологический режим экологических систем государственного природного резервата (строительство плотин, дамб, гидротехнических сооружений и других объектов, приводящих к прекращению или снижению естественного стока вод);
- 9) интродукция чужеродных видов диких животных и дикорастущих растений;
- 10) другая деятельность, способная оказать вредное воздействие на экологические системы государственного природного резервата.

На территории охранных зон государственных природных резерватов могут осуществляться различные формы хозяйственной деятельности, не оказывающие негативного воздействия на состояние экологических систем резервата:

- 1) лесохозяйственная деятельность;
- 2) традиционное землепользование, включая пастьбу скота и сенокосение, а также иная деятельность в рамках обеспечения долговременной сохранности и неуязвимости биологического разнообразия;
- 3) туристская и рекреационная деятельность;
- 4) использование минеральных вод, бальнеологических и климатических ресурсов;
- 5) промысловое и любительское (спортивное) рыболовство;
- 6) проведение наземных и авиационных работ по тушению лесных и степных пожаров;
- 7) рекультивация нарушенных земель;
- 8) восстановление лесных и иных растительных сообществ;
- 9) восстановление среды обитания и численности диких животных;
- 10) использование земельных участков для обустройства мест пребывания туристов, устройства питомников для искусственного размножения, выращивания, разведения эндемичных, редких и исчезающих видов растений и животных, а также для строительства служебных зданий (кордонов) для проживания работников резервата, предоставления им служебных земельных наделов.

Вариант второй – Государственный природный резерват и государственный природный заказник (комплексный). Данный вариант возник при согласовании предварительных границ резервата с акиматом Западно-Казахстанской области, которым было предложено включить в резерват только южную часть проектируемой территории, включающую озеро Аралсор и прилегающую территорию. Это связано с тем, что северная и

северо-восточная часть проектируемой территории в границах Борсинского и Жаксыбайского сельских округов Жанибекского района и Кошанкольского и Карабинского сельских округов Казталовского района рассматриваются местной властью как перспективный район для развития мясного животноводства. Акиматами указанных районов планируется предоставить крупным сельхозформированиям большие площади земельных участков для ведения пастбищного животноводства (рис. 3).

Учитывая это обстоятельство, рекомендуется к рассмотрению второй вариант, предусматривающий создание на проектируемой территории двух видов ООПТ – государственного природного резервата и государственного природного заказника (комплексного), рекомендуемые границы данных ООПТ показаны на карте предлагаемых границ ГПР «Бокейорда», второй вариант. В этом варианте площадь резервата составляет 239 242 га, а его охранная зона 81 513 га,

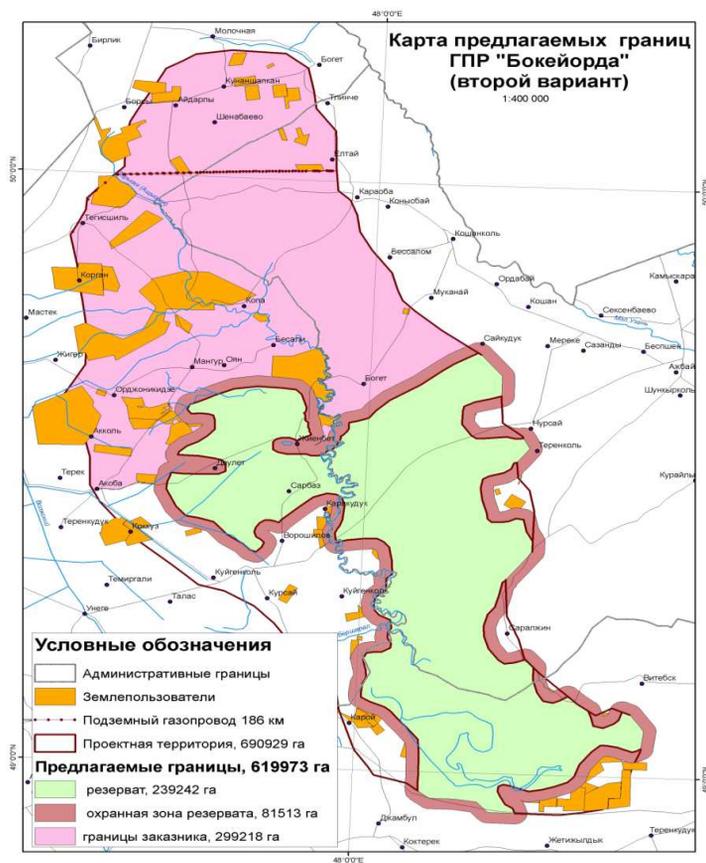


Рис. 3. Второй вариант проектируемой территории государственного природного резервата «Бокейорда».

В связи с тем, что северная часть проектируемой территории имеет сложный состав землепользования, рекомендуется к организации государственного природного заказника (комплексный) республиканского значения на бессрочной основе. Рекомендуемая площадь государственного комплексного природного заказника составит 299 218 га.

Создание заказника не потребует изъятие земель, так они создаются на участках земель всех категорий без изъятия их у собственников земельных участков и землепользователей. Собственник земельного участка или землепользователь обязан обеспечивать право ограниченного целевого использования земельного участка, на котором находится заказник.

Так как, изъятие земельных участков у землепользователей не будет, этот вариант создания ООПТ позволяет получить поддержку у местных властей и населения.

Согласно Закона РК «Об особо охраняемых природных территориях» охрана и управление государственных природных заказников закрепляется за природоохранными учреждениями. В этом варианте охрана и управление комплексного заказника будет осуществляться силами специальной службы охраны государственным природным резерватом «Бокейорда».

В государственных природных заказниках запрещается любая деятельность, если она угрожает сохранению объектов государственного природно-заповедного фонда или ухудшает их воспроизводство.

В рекомендуемом комплексном заказнике должна запрещаться хозяйственная деятельность, создающая угрозу сохранению природных комплексов, интродукция чужеродных видов растений и животных. Кроме того, должна запрещаться охота, рыболовство, добыча любыми способами и средствами диких животных, интродукция чужеродных видов растений и животных, разрушение гнезд, нор, логовищ и других местообитаний, сбор яиц, равно как и другие действия, могущие повлиять на гибель диких животных.

Особенности режима государственных природных заказников определяются паспортом. Государственные природные заказники могут использоваться в научных, эколого-просветительных, туристских, рекреационных и ограниченных хозяйственных целях. Собственники земельных участков и землепользователи вправе осуществлять хозяйственную деятельность в государственных природных заказниках с соблюдением установленных ограничений.

После завершения работ по подготовке естественно-научного обоснования в адрес Комитета лесного и охотничьего хозяйства МСХ РК

поступило предложение депутатов районного маслихата Жангалинского района Западно-Казахстанской области о включении дополнительных участков на территории Жангалинского района в состав проектируемого резервата «Бокейорда», общей площадью 480,0 тыс. гектаров.

Для изучения этого предложения потребуется проведение дополнительных научных исследований предлагаемых участков в Жангалинском районе с целью определения их ценности и уникальности. Учитывая, что средства, предусмотренные в бюджете проекта Правительства РК/ГЭФ/ПРООН/ «Сохранение и устойчивое управление степными экосистемами» на дополнительное исследование не предусмотрены, Комитетом лесного и охотничьего хозяйства МСХ РК предложено решить вопрос финансирования из местного бюджета. В случае положительных результатов исследований предлагаемые территории будут включены в площадь проектируемого резервата в процессе разработки технико-экономического обоснования.

В целом, ландшафтное и биологическое разнообразие проектируемой территории представляет большой интерес для развития познавательного и научного туризма. Особенно в сочетании с разнообразными археологическими и историческими объектами, памятниками культуры образуют значительный потенциал для развития индустрии отдыха.

Учитывая, что в Западно-Казахстанской области в настоящее время отсутствуют особо охраняемые природные территории со строгим режимом охраны, организация нового природоохранного учреждения позволит в полной мере не только обеспечить сохранение и восстановление степного биоразнообразия региона, но и улучшить социально-экономические условия, и будет способствовать развитию экологического туризма. В значительной степени это будет связано с созданием крупного государственного природного резервата «Бокейорда» и комплексного государственного природного заказника на западе Западно-Казахстанской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алехин В.В. Методика полевого изучения растительности и флоры. – М.: Наркомпрос, 1938. – 203 с.
2. Андрущенко О.Н. Естественно-исторические районы Прикаспийской низменности (Междуречье Волга – Урал) //Тр. геогр. фак. Белорус. унта. – 1958. – С. 137-219.
3. Дарбаева Т.Е. Конспект флоры меловых возвышенностей Северо-Западного Казахстана. – Уральск: 2002. – 131 с.

негізінде жер пайдаланушылар картасы мен резервтің ұсынылған шекаралары жөніде картасы жасалынды. Зерттелетін аймақтағы сирек және эндемикалық түрлердің биоалуандары мен олардың мекендейтін жерлерін қалпына келтіру және сақтауға бағытталған резерват санаттарын қорғау үшін ұсыныстар берілді.

Salikhov T.K., Salikhova T.S.

RECOMMENDED CATEGORY OF THE PROJECTED STATE NATURE RESERVE «BOKEIORD»: SUGGESTED BORDERS, REGIMES OF PROTECTION AND USE, PROPOSALS FOR FUNCTIONAL ZONING OF THE TERRITORY

Key words: land users, conservation zone, buffer zone, state natural reserve, complex state nature reserve

As a result of research on the territory of the projected state nature reserve «Bokeyorda» in the West Kazakhstan region, the composition of land users was studied, the boundaries of the reserve were determined, where on the basis of ecosystem analysis and GIS technology a map of land users and a map of the proposed boundaries of the reserve were drawn up. Recommendations are given on the conservation category of the reserve aimed at restoring and preserving the habitat of rare and endemic species of biodiversity throughout the region.

УДК 556.048

PhD К.Т. Нарбаева¹**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЧНОГО СТОКА В
КАЗАХСТАНСКОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА РЕКИ ИЛЕ**

Ключевые слова: годовой сток, метод момента, метод наибольшего правдоподобия, графоаналитический метод

Эффективное использование Капшагайского водохранилища требует осуществления водохозяйственных мероприятий в широких масштабах. Одним из основных водохозяйственных мероприятий, является расчет и определение статистических параметров стока рек, который поступает в водохранилище. В данной статье предлагается оптимальный метод для определения гидрологических характеристик стока р. Иле.

Озера Балкаш (Балхаш), один из крупных внутриматериковых водоемов мира, обязано своим существованием рекам, стекающим со склонов Илийского (Заилийского) и Жонгарского (Джунгарского) Алатау. Самой крупной является р. Иле (Или), на долю которой приходится почти 80 % притока в Балкаш, в том числе некоторое количество в Капшагайское водохранилище [3].

Сейчас происходит деградация дельты р. Иле. Площадь дельты сократилась более чем в три раза. Из 16 дельтовых озер остались только 5. Значительно сократились площади сенокосных угодий, тугайных лесов и как следствие сократилось биологическое разнообразие. Более чем в три раза сократилось поголовье овец и коз, а потребление мяса на душу населения упало с 77 до 45 кг/год [1]. Животноводство превращается в убыточную отрасль.

Большой ущерб нанесен рыбному хозяйству. Снизились плодородие пойменных почв и урожайность сельскохозяйственных культур, сокращено производство овощей и фруктов, гибнут тугайные леса. Из-за вырубки лесов и пожаров горные участки сильно оголены, что приводит к снижению и перераспределению поверхностного стока. Сокращение стока может произойти в результате стаивания ледников, вызванного их загрязнением и потеплением климата, что также будет способствовать усилению засушливости и даль-

¹ КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

нейшему опустыниванию территорий. По экспертным оценкам процессы опустынивания уже охватили около 1/3 площади бассейна.

Поэтому для эффективного использования Капчагайского водохранилища требуется осуществление в широких масштабах водохозяйственных мероприятий. Одним из основных водохозяйственных мероприятий является расчет и определение статистических параметров стока рек, которые поступают в водохранилище.

Для определения статистических характеристик годового стока используются такие методы, как метод моментов, графоаналитический метод, метод наибольшего правдоподобия. Для полного анализа и возможности дать точное определение необходимо выполнить расчет внутригодового распределения методом компоновки.

Исследуемой рекой является Иле. Для более точного определения взят пост, который имеет наиболее длительный период наблюдения (около 100 лет) – р. Иле – 164 км выше Капчагайской ГЭС, площадь водосбора 111000 км². Все расчеты были выполнены в соответствии с методическим пособием [2].

Метод момента. Определяется среднеголетняя величина стока реки:

$$Q_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Q_i}{n},$$

где Q_i – среднегодовой расход реки за i -ый год, n – общее число лет наблюдения.

Средняя квадратическая ошибка нормы годового стока вычислялась согласно рекомендациям СНиП 2.01.14-83 [4]:

$$\varepsilon_{Q_0} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1+r}{1-r}} \cdot 100\%,$$

где ε_{Q_0} – относительная средняя квадратическая ошибка средней многолетней величины ряда;

$$\varepsilon_{C_v} = \frac{1}{n+4C_v^2} \cdot \sqrt{\frac{n(1+C_v^2)}{2}} \cdot \left(1 + \frac{3C_v \cdot r^2}{1+r}\right) \cdot 100\%.$$

Если $\varepsilon_{C_v} \leq 10...15\%$, то считается, что ряд достаточный для подсчета C_v .

Если $\varepsilon_{C_v} \geq 10...15\%$, то считается ряд недостаточным для вычисления C_v . В данном случае ε_{C_v} квадратическая ошибка не превышает 10%, в этом случае ряд наблюдений достаточен для вычисления C_v .

Коэффициент вариации годовых расходов может быть установлен:

$$C_v = \left(a_1 + \frac{1}{a_2 n} \right) + \left(a_3 + \frac{1}{a_4 n} \right) \cdot \bar{C}_v + \left(a_5 + \frac{1}{a_6 n} \right) \cdot \bar{C}_v^2,$$

где $a_1, a_2, a_3 \dots a_6$ – эмпирические параметры, устанавливаемые из СНиП 2.01.14.83, \bar{C}_v – смещенный коэффициент изменчивости годового стока, определяемый:

$$\bar{C}_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n-1}}, \text{ где } k_i = \frac{Q_i}{Q_0} \text{ – модульный коэффициент.}$$

Средняя квадратическая ошибка изменчивости годового стока устанавливается по формуле, полученной из расчетов, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика годового стока и расчет статистических параметров р. Иле – 164 км выше Капчагайской ГЭС методом момента

Период наблюдения	n	F , км ²	Q_0 , м ³ /с	M_0 , дм ³ (с·км ²)	r	C_v	ε_{Q_0} , %	ε_{C_v} , %
1910...2006	96	111000	448,145	4,0	0,3	0,24	2,7	7,4

Для сопоставления данных расчета методом момента необходимо, выполнить другой расчет методом наибольшего правдоподобия, и графоаналитическим методом.

Метод наибольшего правдоподобия.

$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \lg k_i}{n-1} = \frac{-0,643}{95} = -0,006.$$

$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \cdot \lg k_i}{n-1} = \frac{0,847}{95} = 0,008.$$

Графоаналитический расчет. С кривой обеспеченности годовых величин стока р. Иле снимаем значения расходов воды различных обеспеченностей: Q_5, Q_{50}, Q_{95} , соответствующих $P = 5\%, P = 50\%, P = 95\%$.

$$S = \frac{Q_5 + Q_{95} - 2Q_{50}}{Q_5 - Q_{95}},$$

где S – коэффициент скошенности.

$$\sigma_Q = \frac{Q_5 - Q_{95}}{\Phi_5 - \Phi_{95}}, \text{ где } \sigma_Q \text{ – ошибка нормы стока.}$$

$$Q_0 = Q_{5\%} - \Phi_{50\%} \sigma_Q,$$

где число Фостера (Φ) при $P = 50\%$ определяется с помощью таблицы заимствованной из [3]

$$C_v = \frac{\sigma_Q}{Q_0}.$$

Таблица 2

Статистические параметры, полученные графоаналитическим методом

Период наблюдений	$Q_0, \text{ м}^3/\text{с}$	C_v	C_s	S	$\sigma_Q, \text{ м}^3/\text{с}$
1910...2006	448,145	0,13	1,0	0,29	93,75

Выводы:

1. Рассчитаны статистические характеристики годового стока р. Иле – 164 км выше Капчагайской ГЭС, тремя методами: момента, наибольшего правдоподобия и графоаналитическим.
2. Автор предлагает рассчитывать годовой стока р. Иле по методу момента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Достай Ж.Д. Управление гидроэкосистемой бассейна озера Балхаш. – Алматы: 2009. – 236 с.
2. Зәуірбек Ә.К., Нарбаев Т.И., Калыбекова Е.М. Методическое пособие по определению расчетных гидрологических характеристик – Алматы: КазНА, 2010. – 121 с.
3. Проблемы гидроэкологической устойчивости в бассейне озера Балхаш / Под ред. А.Б. Самаковой. – Алматы: Каганат, 2003. – 584 с.
4. СНиП 2.01.14-83 Определение расчетных гидрологических характеристик – М.: Стройздат, 1985. – 36 с.

Поступила 3.04.2017

PhD докторы К.Т. Нарбаева

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ІЛЕ ӨЗЕНІ БАССЕЙІНІНІҢ ӨЗЕН АҒЫНДЫСЫНЫҢ АНЫҚТАУ ӘДІСІ

Түйін сөздер: жылдық ағын, сәттердің әдісі, ең ықтималдығы әдісі, графикалық-аналитикалық әдіс

Сондықтан, Капчагай су қоймасын тиімді пайдалану үшін, су шаруашылық шараларды пайдалануды талап етеді. Осы

шаралардың бірі, су қоймасына әкеп құятын өзен ағындысының гидрологиялық сипаттамаларын дұрыс анықтау болып табылады. Мақалада, Іле өзенінің гидрологиялық сипаттамаларын анықтаудың тиімді әдісі ұсынылады.

Narbayeva K.T.

METHOD OF DEFINITION THE RIVER FLOW IN THE ILE RIVER BASIN OF KAZAKHSTAN

Keywords: annual flow, moment method, method of the greatest credibility, graphic-analytical method

Therefore, the efficient use of Kapshagai reservoir requires the implementation of large scale water management activities. One of the main water management activities, which inflow to reservoir is the calculation and determination of statistical parameters of runoff. In this paper we propose the optimal method to determine the hydrological characteristics of a river's flow silt.

ПАМЯТИ МЕТЕОРОЛОГОВ КАЗАХСТАНА, УЧАСТНИКОВ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

В настоящее время обеспечение метеорологической информацией и прогнозами погоды является важной составляющей всей нашей жизни. А во время Великой Отечественной Войны (ВОВ) перед метеорологами стояли важные задачи по обеспечению боевых операций вооруженных сил, и в первую очередь авиации, всеми видами метеорологической информации и прогнозами погоды. Все ученые-метеорологи и инженеры работали для обеспечения фронта и своим упорным трудом внесли вклад в дело разгрома фашистской Германии. На территориях, занятых противником, и в ряде прифронтовых районов отсутствовали данные о погоде, что создавало больше трудности при анализе атмосферных процессов и разработке прогнозов. Тем не менее, синоптические карты составлялись, разрабатывались метеопрогнозы по результатам воздушной разведки погоды, которая получила широкое развитие во время войны. Кроме того, во всех воздушных армиях комплектовались самолеты и авиа звенья, которые по заданию метеобюро, вылетая в нужном направлении, сообщали по радио наблюдаемую погоду и тем самым помогали при составлении метеорологических прогнозов.



С целью разведки погоды за все годы войны было сделано 2738 вылетов, часто с участием метеорологов.

Наши коллеги представители старшего поколения ученых и преподавателей Казахского национального университета им. аль-Фараби кафедры «Метеорологии и гидрологии» так же внесли большой вклад в Победу советского народа в Великой Отечественной Войне.

Одним из таких специалистов-метеорологов была Татьяна Агеевна Есеркепова (1919...2015 гг.) кандидат географических наук, доцент. Юной девушкой, добровольно, она пошла за-

щищать Родину. Техник-лейтенант Таня Демидина (Есеркепова) служила в 5-й гвардейской бомбардировочной авиадивизии метеорологом, обеспечивала прогнозами все боевые вылеты. Она награждена медалями за оборону Сталинграда и Ленинграда.

После окончания войны, Татьяна Агеевна продолжила свою трудовую и научную деятельность инженером синоптиком. Она работала на АМСГ Бурундай, АМСГ Алма-Ата, затем в Казахском научно-исследовательском гидрометеорологическом институте. В 1965 г. она перешла на работу в Казахский Национальный университет им. аль-Фараби (в то время им. С. Кирова). Кроме преподавательской деятельности, она всегда очень любила исследовать что-то новое. В 1968 г. Т.А. Есеркепова защитила кандидатскую диссертацию на тему «Сильные и ураганные ветры в Джунгарских воротах». Методика прогнозирования, предложенная в этой диссертации, до сих пор помогает синоптикам РГП «Казгидромет» в оперативной практике.

Кроме того, что Татьяна Агеевна прекрасный специалист и надежный человек, она еще состоялась и как прекрасная жена и мама. Со своим мужем Байтурсуном они познакомились на войне в 1942-м году, под Сталинградом, где служили в одной авиадивизии. Они вместе прошли всю войну и вырастили троих прекрасных детей: сына и двух дочерей. Одна из дочерей пошла по стопам Татьяны Агеевны и полюбила метеорологию, так же сильно, как ее любила мама.

До конца своих дней Татьяна Агеевна Есеркепова была предана своему делу. Ею подготовлено большое количество специалистов метеорологов, которые работают в разных регионах Казахстана, России и за рубежом. Все ее выпускники, коллеги и родные всегда с теплотой вспоминают о ней.

Говоря о метеорологах-ветеранах ВОВ, нельзя не вспомнить о Лутфулине Илье Зайнуловиче (1920...1995 гг.). В 1944 г. после окончания Высшего военного гидрометеорологического института он был направлен на фронт начальником метеостанции авиационных полков, дислоцировавшихся в Витебской области. Принимал участие в освобождении Белорус-



сии, Литвы, Латвии, Восточной Пруссии. Все боевые задания выполнял с большим усердием, понимая, что от точности данных им прогнозов, зависит не только успешность выполнения военных операций, но и жизнь летчиков. Часто вылетал на разведку погоды в районе линии фронта и в тыл врага. А по прилету в штаб Илья Зайнулович незамедлительно докладывал о результатах разведки погоды и излагал рекомендации по эффективному использованию сложившихся метеоусловий для выполнения боевых задач. Нагрузка и ответственность были настолько высоки, что нередко на сон оставалось не более двух-трех часов. В августе 1944 г., после успешного выполнения боевой операции, благодаря тому, что Илья Зайнулович четко рассчитал время прохождения границы облачной зоны через район цели бомбардировки, он был награжден медалью «За боевые заслуги». Кроме своей основной работы, в периоды затишья между боями, успел написать статью «Опыт метеорологического обеспечения боевых действий авиационных полков в условиях отсутствия информации с территории противника».

После войны служил в штабе 1-ой воздушной армии Противовоздушной обороны (ПВО) в Москве, а затем – в Главном метеорологическом центре ВВС. В 1951 г. Илья Зайнулович защитил диссертацию и стал кандидатом физико-математических наук. С этого момента началась новая полоса в научной жизни Латфулина И.З. – он получил назначение работать в группе академика И.В. Курчатова, где решал многие метеорологические задачи, связанные с испытаниями ядерного оружия. В 1965 г. Илья Зайнулович защитил докторскую диссертацию и стал доктором технических наук. В этот период им разработан ряд новых методов прогноза опасных явлений погоды, высоты тропопаузы, температуры воздуха на тропосферных и стратосферных авиамаршрутах. С 1967 по 1970 гг. он возглавлял лабораторию разработки системы метеообеспечения сухопутных войск. Кроме того, он занимался научными исследованиями в области моделирования атмосферных процессов. С 1976 г. Илья Зайнулович переезжает в город Алма-Ата, где до 1981 г. возглавлял Казахский научно-исследовательский гидрометеорологический институт, а также, по совместительству читал лекции в Казахском Государственном университете (КазГУ). Преподавательская деятельность настолько понравилась ему, что в 1981 г. он перешел на постоянную работу в КазГУ профессором кафедры метеорологии, а с 1982 по 1987 гг. заведовал этой кафедрой. Илья Зайнулович опубликовал свыше 100 научных, учебно-методических работ.

Лутфулин Илья Зайнулович награжден 17 правительственными наградами, в том числе орденами Отечественной войны I степени, Красной Звезды и медалями. Илья Зайнулович был волевым, целеустремленным человеком, который всю свою жизнь не устал открывать, познавать, исследовать, узнавать что-то новое и своими знаниями он активно делился со всеми учениками.



Выпускники Казанского университета, Томского университета и Казахского государственного университета, которым посчастливилось слушать ее лекции, и преподаватели кафедр, всегда с восторгом вспоминают Коженкову Зою Петровну (1918...1994 гг.). Она была одним из самых любимых преподавателей.

Зоя Петровна Коженкова родилась в 1918 году в Татарской АССР в селе Комаровка. После окончания средней школы поступила на физико-математический факультет Казанского государственного университета им. Ульянова-Ленина. В 1941 году она с отличием оканчивает этот университет по специальности «геофизика», где в дальнейшем преподает, и занимается научной деятельностью.

В годы войны Зоя Петровна работала в Казанском аэропорту инженером-синоптиком. И пусть она трудилась не на передовой, но обеспечивая прогнозами погоды, вылеты военных самолетов, внесла свою лепту в приближение дня победы. За свою блестящую работу она была награждена медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне».

В 1948 году Зоя Петровна защитила диссертацию на тему «Методы приближенного решения уравнения Фурье в приложении к метеорологии» и стала кандидатом физико-математических наук.

В 1950 г. Коженкова З.П., накопившая богатый опыт оперативной прогностической и педагогической работы, приезжает в Томский университет. В очерках истории метеорологии Томского университета, ее вспоминают как принципиальную, энергичную, боевую и жизнерадостную женщину, которая активно вошла в производственную и общественную

жизнь кафедры и факультета. Была доцентом, затем заведующей кафедрой климатологии. Также Зоя Петровна вошла в историю факультета, как единственная женщина-декан. В 1954 году постановлением Совета Министров СССР Томскому университету было поручено организовать подготовку инженеров-метеорологов, обладающими глубокими физико-математическими знаниями. Энергичная Зоя Петровна взялась за решение этой задачи. Она перестроила учебный процесс, создала спецкурсы, новый учебный план, и в 1960 году состоялся первый выпуск томских инженеров-метеорологов. «З.П. Коженкова – блестящий лектор. Она успела не только прочесть все основные курсы, но и показать другим преподавателям, как их надо вести. Студенты поражались ее умению читать лекции безо всяких конспектов», – именно так вспоминают Зою Петровну в очерке об истории метеорологии Томского университета.

В 1960 г. по семейным обстоятельствам Зоя Петровна переезжает в город Алма-Ата и начинает свою трудовую деятельность в Казахском Государственном университете. Благодаря ее активности, опыту и большой трудоспособности, 1 сентября 1962 года была открыта кафедра метеорологии, которую и возглавила Зоя Петровна. Она заведовала этой кафедрой вплоть до 1975 года.

Из воспоминаний выпускницы КазГУ и ученицы Зои Петровны, Климовой Елены Михайловны, которая в настоящее время работает в Гидрометцентре России (г. Москва) – «Моим самым любимым предметом была динамическая метеорология. Мне очень нравилось! Этот предмет преподавала Зоя Петровна Коженкова. Преподавала она замечательно! У нас нельзя было учиться от сессии до сессии, учились каждый день. Лекция начиналась, она вызывала кого-нибудь к доске. Один начинает вывод уравнения, другой подхватывает, затем третий. Как только доходим до того места, на котором остановились – дальше продолжает Зоя Петровна. И так каждая лекция. Вот так – динамическая метеорология – любимый предмет! Может, еще потому, что преподаватель любимый! Когда Зое Петровне задавали вопрос: «Зачем нам динамическая метеорология?», она отвечала: «Для развития ума!»». Для студентов З.П. Коженкова написала «Курс лекций по синоптическим методам прогнозов погоды», «Курс лекций по синоптической метеорологии». Эти пособия стали настольными книгами для многих поколений студентов. Зоя Петровна проработала в КазГУ до 1990 г., выпустила более 50-ти научных трудов, занималась ис-

следованиями синоптических условий опасных явлений погоды на юго-востоке Западной Сибири и в разных регионах Казахстана.

Где бы ни трудилась Зоя Петровна, она всегда оставляла яркий след в сердцах студентов, коллег и друзей!

Еще один яркий человек, профессионал своего дела, участник Великой Отечественной Войны о котором хочется вспомнить – это Беляков Гайн Петрович (1922...2015 гг.), бывший заведующий учебно-метеорологическим Центром КазНУ им. аль-Фараби.

Гайн Петрович родился в г. Вичуга Ивановской области в семье простых рабочих. После окончания школы работал слесарем счетоводом на фабрике. Когда в 1941 г. на страну обрушилось страшное горе, и началась война, он пошел учиться в Московскую Краснознаменную военную авиашколу связи, на факультет метеорологии. И уже в конце 1941 г. попал служить ме-



теорологом в один из авиационных полков под Вязьмой. Чего только не испытал Гайн Петрович за время службы: это и бессонные ночи, и выпуск срочных метеопрогнозов в условиях ограниченной информации, и опасные вылеты метеорологической разведки в стан врага, и гибель боевых товарищей. Шесть раз он попадал под обстрел немецких самолетов при разведке погоды в районе линии фронта. В эти моменты было уже не до облаков, он бросал карту и брался за турель пулемета, чтобы отразить атаку. За свой неоценимый труд, за мужество, проявленное на войне, за свой героизм Гайн Петрович был награжден 11 медалями и орденами, среди них и орден Красной звезды, и орден Отечественной войны 1 степени и другие. За всю войну прошел путь от младшего метеоролога батальона до начальника метеослужбы полка и начальника метеослужбы авиадивизии.

После окончания войны он продолжил службу в Военно-воздушных силах. После демобилизации работал в метеослужбе Казахстана начальником экспедиции, начальником бюро поверки гидрометеорологических приборов.

Последние 20 лет Г.П. Беляков работал при кафедре метеорологии КазНУ им. аль-Фараби, сначала старшим инженером, начальником учебной метеостанции, а в течение последних 10 лет заведующим Учебно-лабораторного метеорологического центра. Он внес большой вклад в создание учебной базы кафедры метеорологии, принимал активное участие в организации приема оперативной метеорологической информации и регулярной выдаче учебных прогнозов погоды. Коллеги отзывались о нем, как о человеке с золотыми руками, он мог починить и восстановить все! Его называли «незаменимым»! Благодаря его усилиям, вся аппаратура вузовской метеостанции и бюро погоды, которая уже давно считалась негодной, была отреставрирована и приведена в надлежащий вид. Гайн Петрович очень любил свою работу, все делал с душой и самым лучшим образом, за все, что ни брался – доводил до конца!

Наши герои были просто люди, со своей судьбой, своими слабыми и сильными сторонами, но каждый из них трудился не покладая рук в тяжелые годы Великой Отечественной Войны, тем самым приближая радостный День Победы! Они завоевали Победу, завоевали ее для нас, для молодого поколения, оставив свой след в истории и в душах людей, знавших их и работавших с ними рука об руку.

Редакция журнала,
сотрудники КазГУ им. аль-
Фараби Л.М. Шушарина,
Г.Т. Мусралинова