

Жайық-Каспий су шаруашылығы алабының өзен ағынды ресурстарының аумақтық таралу заңдылықтары

Альфия Загидуллина¹, Айгерим Достоева¹, Ақгүлім Сайлаубек^{1*}, Ойрат Альжанов¹

¹География және су қауіпсіздігі институты АҚ, Алматы, Қазақстан;
zagidullina_a_88@mail.ru, aigerim.dostaeva@gmail.com,
gulima97life@gmail.com, oiratmuratovich@gmail.com

*Корреспонденция: gulima97life@gmail.com

Аңдатпа. Гидрологиялық тұрғыдан қарағанда, Жайық-Каспий су шаруашылығы алабы аз зерттелген аудандар қатарына жатады. Зерттеу ауданы гидрологиялық бекеттердегі бақылаулардың қысқа мерзімділігі мен олардың аумақ бойынша біркелкі орналаспауымен сипатталады. Гидробекеттердің жартысында бақылау деректері 10 жылға дейін құраса, үштен бір бөлігінде 5 жылдан аспайды. Сонымен қатар, алапта зерттелмеген шағын өзендер мен зерттелген өзендердің салалары болып табылмайтын сайлар көптеп кездеседі. Бұл жағдайда, өзендер режимі туралы ақпарат тек екі-үш жылдық бақылаулар арқылы берілген немесе мүлдем болмағандықтан, аз зерттелген және зерттелмеген өзендердің ағынды нормасын есептеу - гидрологиялық есептеулер тәжірибесіндегі ең күрделі жұмыстардың бірі болып табылады. Жайық-Каспий алабының аз зерттелген және мүлдем зерттелмеген өзендерінің ағынды нормасын анықтау үшін мақалада ағынды модулінің су жинау ауданына байланысты аймақтық тәуелділігі $M_0=f(F)$ пайдаланылды. Нәтижесінде, су шаруашылығы алабының гидрологиялық біртекті аудандарын сипаттайтын сегіз аймақтық қисықтары тұрғызылды. Өзен ағынды ресурстарының аумақтық таралу заңдылықтарын зерттеу нәтижелері алаптың ағынды модулі картасын құрастыруға мүмкіндік берді. Ағынды картасының изосызықтары 0,1-3,0 л/с×км² аралығында жүргізілді. Жалпы, ағынды модулінің таралуы климаттық сипаттамалардың солтүстіктен оңтүстікке қарай аймақтық өзгеруіне сәйкес келеді, сонымен қатар жергілікті жер бедерінің ерекшеліктерін ескереді. Алынған нәтижелер бақылаулармен қамтылмаған өзендер үшін ағынды нормасын есептеуге, суды пайдалануды жоспарлауға, экологиялық стандарттарды әзірлеуге және өзгермелі климат жағдайында су шаруашылығы іс-шараларын жүргізуге негіз болады. Зерттеу нәтижелері жоғары практикалық маңыздылыққа ие және гидрологиялық есептеулерде, су объектілерін жобалауда және аймақтық су саясатын қалыптастыруда қолдануға ұсынылуы мүмкін.

Дәйексөз: Загидуллина, А., Достоева, А., Сайлаубек, А., Альжанов, О. (2025). Жайық-Каспий су шаруашылығы алабының өзен ағынды ресурстарының аумақтық таралу заңдылықтары. Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ-нің хабаршысы. Химия. География. Экология сериясы, 151(2), 183-196.
<https://doi.org/10.32523/2616-6771-2025-151-2-183-196>

Академиялық редактор:
Н.Е. Рамазанова

Редакцияға түсті: 20.12.2024
Түзетілді: 20.05.2025
Қабылданды: 02.06.2025
Басылымға шықты: 30.06.2025



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

Түйін сөздер: Жайық-Каспий су шаруашылығы алабы, зерттелмеген өзендер, гидрологиялық біртекті аудан, аймақтық тәуелділіктер, ағынды модулінің картасы, изосызықтар.

1. Кіріспе

Қазақстанның аумақ бойынша өзен ағынды ресурстарының біркелкі таралмауы – климаттың өзгеруі мен антропогендік әсердің ұлғаюы жағдайында, сондай-ақ көптеген су шаруашылық алаптарының трансшекаралық сипатымен бірге су ресурстары тапшылығын арттырып, еліміздің тұрақты дамуына елеулі кедергілер туғызады. Мемлекет басшысы Қ.К. Тоқаевтың 02.09.2022 жылғы Қазақстан халқына жолдауында «2. Нақты секторды дамыту» бағыты бойынша, су ресурстарының тапшылығы елдің тұрақты экономикалық өсуіне айтарлықтай қауіп төндіретінін және ұлттық қауіпсіздік мәселесі мәртебесіне ие екендігін атап көрсетті.

Жайық-Каспий су шаруашылығы алабы (США) - Қазақстан Республикасының әлеуметтік-экономикалық дамуы мен экологиялық тұрақтылығында шешуші рөл атқарады (Tursunova және т.б., 2022). Алаптың едәуір бөлігі ылғал жеткіліксіз және ылғал тапшы аудандар қатарына кіреді, бұл жағдай аумақтағы тұрғындар мен су пайдаланушылар үшін тұщы су мен таза судың жетіспеушілігін тудырды. Қазіргі заманғы климаттың жылынуы аумақтағы су тапшылығы мәселесін одан әрі күшейтуде. (Ежегодный бюллетень, 2023) зерттеу нәтижелері бойынша, 1976-2023 жылдар кезеңінде еліміздегі орташа жылдық температураның өсуі $0,36^{\circ}\text{C}/10$ жыл құраса, Батыс Қазақстан аумағында $0,56^{\circ}\text{C}/10$ жылға дейін қарқынды түрде жоғарылауы байқалды. Бұл өзгерістер өз кезегінде алап аумағына тән қуаңшылық пен су тасқындарының пайда болу жиілігі мен ұзақтығының артуына ықпал етті (Wang және т.б., 2025; Birimbayeva және т.б., 2024; Waqas және т.б., 2024). Сонымен қатар, антропогендік факторлар аумақтағы климаттық өзгерістер әсерін жеделдетіп, оның жағымсыз салдарын арттыруда (Алимкулов және т.б., 2024; Махмудова және т.б., 2024). Жалпы, XX ғасырдың соңында жүргізілген су шаруашылық іс-шаралар кешені (су қоймаларының салынуы) Жайық-Каспий алабының сумен қамтамасыз ету мәселесін толықтай шеше алмай, нәтижесінде бірқатар жағымсыз экологиялық зардаптарға және өзендердің табиғи гидрологиялық режимінің бұзылуына алып келді (Магрицкий және т.б., 2017; Smagulov және т.б., 2024).

Гидрологиялық тұрғыдан қарағанда, Жайық-Каспий США аз зерттелген аудандар қатарына жатады. «Қазгидромет» РМК деректері бойынша, 2021 жылы алапта 53 гидрологиялық бекет жұмыс істеді, бұл көрсеткіш әртүрлі уақытта жұмыс істеген бекеттердің жалпы санының 30% аспайды (барлығы 182 гидробекет). Қарастырылып отырған алаптағы өзендер ағындысының гидрологиялық зерттелуінің сипатты ерекшелігі – көптеген бекеттерде бақылау қатарының қысқа болуы және олардың аумақ бойынша біркелкі орналаспауы. Аумақтағы гидрологиялық бекеттердің жартысында бақылау деректері 10 жылға дейін құраса, үштен бір бөлігінде 5 жылдан аспайды. Сонымен қатар, алапта зерттелмеген шағын өзендер мен зерттелген өзендердің салалары болып табылмайтын сайлар көптеп кездеседі. Бұл жағдайда, өзендер режимі туралы ақпарат тек екі-үш жылдық бақылаулар арқылы берілген немесе мүлдем болмаған жағдайда, аз зерттелген және зерттелмеген өзендердің ағынды нормасын есептеу - *зерттеу жұмысының негізгі мақсаты* болып табылады.

Бақылау деректері жоқ немесе жеткіліксіз болған кездегі ағынды нормасын анықтау гидрологиялық есептеулер тәжірибесіндегі ең күрделі жұмыстардың бірі. Мұндай жағдайларда гидрометеорологиялық бақылау деректерін жалпылау нәтижелеріне негізделген гидрологиялық сипаттамаларды есептеудің аймақтық әдістері қолданылады. Үлестіру параметрлері мен есептік мәндер келесі негізгі әдістерді қолдана отырып анықталады: су теңдестігі, гидрологиялық аналогия, біртекті ауданда орташалау, су жинау алабының негізгі физикалық-географиялық факторларына байланысты ағынды сипаттамаларының аймақтық тәуелділігін құру, изосызықтар картасын салу (Методические рекомендации, 2009).

Алғашқы ағынды карталары АҚШ аумағы үшін, Ньюелл жұмыстарында 1892-1893 жылдары жарияланды (Львович, 1974). Бұрынғы Кеңес үкіметі аумағында ағынды карталарын құрастыру кеңінен таралды. 1927 жылы «КСРО Еуропалық бөлігі» бойынша небәрі 30

гидрологиялық бақылау бекеттерінің деректерін қолдана отырып, Д.И. Кочерин ағынды изосызықтарын картаға түсірді (Кочерин, 1927). 1937 жылы КСРО барлық аудандарын қамтитын 1280 өлшеу бекеттерінің деректері негізінде Б. Д. Зайков пен С. Ю. Белинков ағынды картасын жасады (Зайков және т.б., 1937). Аталмыш картада Азия аумағы сызбалық түрде және биік таулы аймақтарсыз көрсетілген. 1946 жылы ағынды картасы 2360 гидробекеттердің деректерімен толықтырылса, 1961 жылы К. П. Воскресенский ағынды картасын 5690 бақылау деректерімен нақтылады (Соколовский, 1968; Воскресенский, 1962).

2. Материалдар мен әдістер

Қолданыстағы аз зерттелген және мүлдем зерттелмеген өзендердің ағынды нормасын есептеу әдістері арасынан су жинау алабының негізгі физикалық-географиялық факторларына байланысты ағынды сипаттамаларының аймақтық тәуелділігін құру және ағынды модулін картаға түсіру әдістері таңдалып алынды.

Бұл әдістердің артықшылығы – зерттелген өзендердің ағынды жөніндегі гидрологиялық бақылау деректері мен су жинау алабының морфометриялық деректерін пайдалану мүмкіндігі болып табылады, ал су теңдестігі әдісі өз кезегінде көп есептік кіріс мәліметтерін (өзен ағындысы, жауын-шашын, су бетінен булану, транспирация, инфильтрация) қажет етуімен қатар кейбір сипаттамаларына мүлдем бақылау жүргізілмегендіктен қолдану біршама қиындық туғызады. Сондай-ақ, соңғы уақытта гидрологиялық үлгілеу, нейрондық желілер, спутниктік талдау әдістері танымалдылыққа ие бола бастады, алайда бұл әдістер үлкен көлемді метеорологиялық және гидрологиялық кіріс деректерін және ашық қолжетімді жоғары сапалы жер бедерінің сандық үлгілерін талап етеді. Сол себепті, аймақтық тәуелділіктерді құрастыру және картаға түсіру әдістері әзірге қолжетімді және мемлекеттік гидрологиялық институт (МГИ) (Методические рекомендации, 2009) ұсынған, СП 33-101-2003 (Свод правил, 2004) көрсетілген ғылыми негізделген әдістер болып табылады.

Ағынды сипаттамаларының аймақтық тәуелділіктерін құру – су жинау алабының физикалық-географиялық факторлары негізінде жүзеге асырылады. Негізгі гидрографиялық және физикалық-географиялық факторларға: су жинау ауданы, су арнасының орташа өлшенген еңісі, өзеннің гидрографиялық ұзындығы, су жинау алабының орташа биіктігі жатады. Таулы аймақтарда, жоғарыда атап өтілген факторлардың белдемділігі бұзылған жағдайда, өзен сулылығы су арнасының орташа өлшенген еңісіне $M_0=f(H_{cp})$ тәуелділігі негізінде ағындыны есептеу әдісі кең тараған. Ал, жазық Қазақстан жағдайында өзен сулылығының су жинау ауданына $M_0=f(F)$ тәуелділігі кеңінен қолданылады (Гальперин, 2012; Ресурсы, 1970).

Өзен ағынды сипаттамаларын картаға түсіру әдісі – климаттық және өзге де физикалық-географиялық факторлардың таралуына сәйкес олардың аумақ бойынша бірқалыпты өзгеруін болжауға негізделген. Әдетте, маусымдық және жылдық ағынды қабаты, ағынды модулі, ағынды коэффициенті, су тасқыны қабатының өзгергіштігі мен жылдық ағындыны картаға түсіреді.

Ғылыми зерттеуде бастапқы деректер ретінде Жайық-Каспий США өзендерінің заманауи сулылық фазасын және өңірдегі климаттың тұрақсыздығын ескеретін 1974-2021 жж. кезеңдегі ағындыны бақылаудың көпжылдық қатары, яғни орташа жылдық су өтімдерінің мәндері пайдаланылды. Сонымен қатар, гидрологиялық бекеттердің орналасуы (координаталары) мен су жинау алабының ауданы жөніндегі деректер қолданылды. Материалдар «Қазгидромет» РМК желісінің мұрағаттық және деректер қоры көздерінен алынды (Гидрологический ежегодник, 1948-1982; Государственный водный кадастр, 1981-2014; Государственный водный кадастр, 2000-2016; Базы данных, Ежегодный бюллетень, 2021). Ағынды картасының бастапқы кіріс дерегі ретінде жер бедерінің сандық үлгісі www.srtm.csi.cgiar.org (Цифровая база данных) сайтынан алынды.

Аймақтық тәуелділіктерді анықтау үшін (Загидуллина және т.б., 2024) жұмысында көрсетілген гидрологиялық біртекті аудандар негізіндегі жылдық ағындының мәндері мен

зерттелген өзендердің су жинау ауданы пайдаланылды. Талдау жұмысы барысында, кейбір гидробекеттер су жиналатын аумақтың орографиялық және климаттық ерекшеліктеріне, орналасу ауданына және ағынды суларының қалыптасу жағдайларына қарай бөлінді және шағын аудандарға біріктірілді. Ағынды модулінің $M_0=f(F)$ су жинау ауданына байланысты тәуелділігі анықталды, әдетте бұл тәуелділік жазық және құрғақ аумақты өзендердің сипатына тән (Гальперин, 2012).

Әдістеменің сапасы мен қолданылу критерийі ретінде S/σ қатынасы алынды: тексеру болжамдарының орташа квадраттық қателігінің болжамды шамасының орташа мәнінен стандартты ауытқуы немесе оның алдын-ала жасалған кезеңдегі өзгеруіне қатынасы алынады. Тексеру болжамдарының рұқсат етілген қателігінің ықтималдылығы болжанатын шаманың орташа мәнінен ықтимал ауытқуының қамтамасыз етілуінен кемінде 10 % артық болса, болжау әдістемесін тәжірибиеде пайдалануға болады деп қарастырады (Гайдукова және т.б., 2021; Воскресенский, 1962).

Ағынды картасын құрастыру мақсатында ағынды қалыптасатын аумақта орналасқан 103 гидрологиялық бекет бойынша ағынды модулінің деректері (M , л/с×км²) қолданылды. III, VI және VII гидрологиялық аудандар деректері ағындының төменгі таралу аймағында орналасуына байланысты зерттеуде пайдаланылмады.

Картаны құрастыру ArcGIS бағдарламасында, ArcToolbox пакетінің қолжетімді құралдарын қолдану арқылы жүзеге асырылды. Бастапқыда әрбір гидробекет үшін сандық рельеф үлгісіне негізделген су жинау ауданы бөлініп алынды (рельефтің топографиялық картасын пайдалануға болады). Содан кейін «Feature to Point» құралының көмегімен ағынды модуліне байланыстырылған су жинау ауданының ауырлық центрі (су жинау ауданының геометриялық центрі) анықталды. Әрі қарай, ағынды модулінің бірдей мәндері изосызықтармен қосылды. Деректер қоры жеткіліксіз және қамтылмаған жекелеген аудандарда ағынды изосызықтары олардың жалпы бағытын ескере отырып, шамамен сызылды.

3. Нәтижелер

Анықталған аймақтық тәуелділік қисықтары $M_0=f(F)$ 1-суретте көрсетілген. Толыққанды талдау барысында алынған гидрологиялық біртекті аудандардың карта-сызбасы 2-суретте көрсетілген.

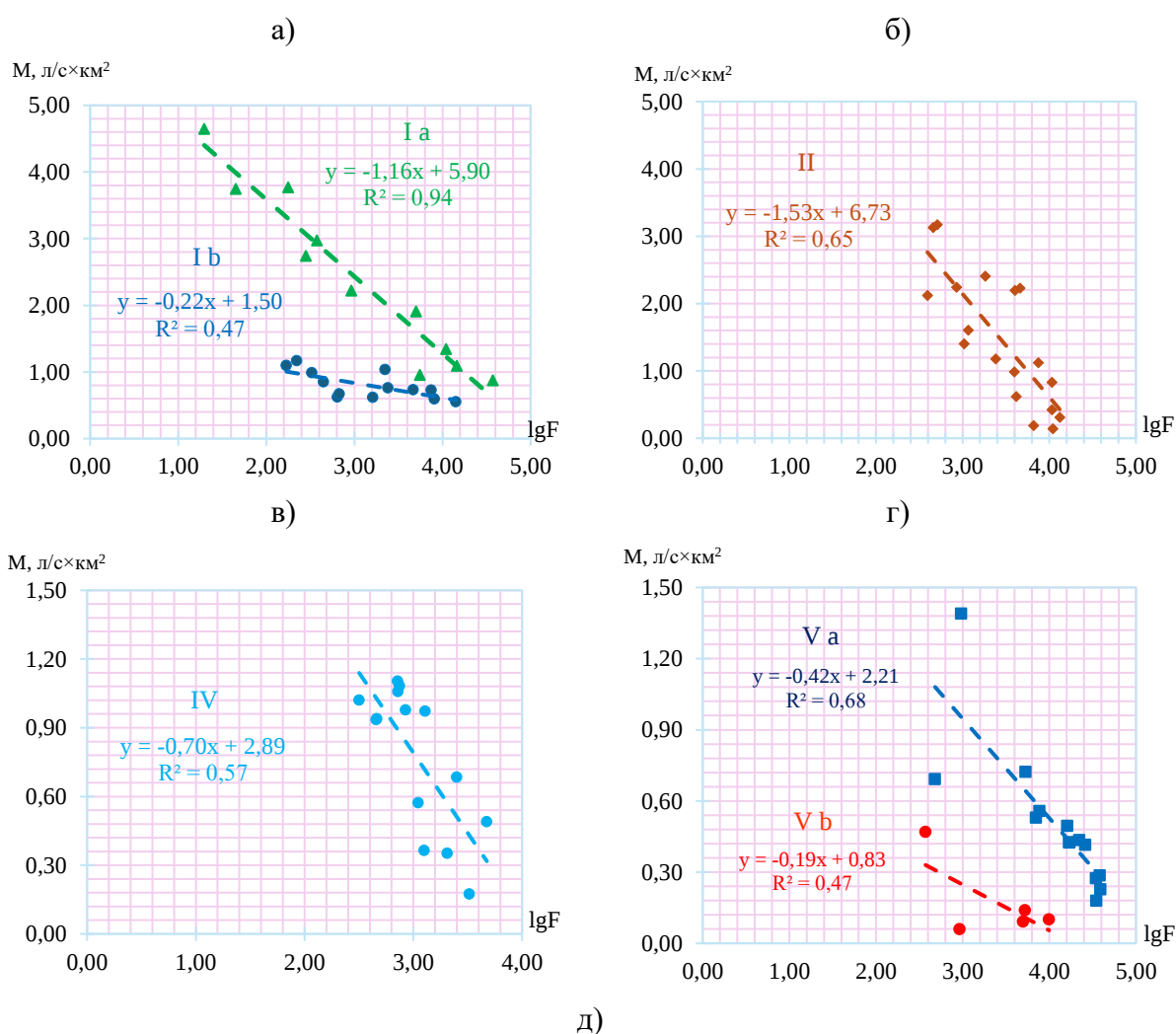
I аудан (Жайық өзенінің сол жағалау салалары) екі кіші ауданға бөлінген: I a – Елек өзенінің алабы (05.01.07.05 су шаруашылық учаскесі (СШУ)), I b – Шыңғырлау (05.01.07.01 СШУ), Қобда (05.01.07.04 СШУ), Ор (05.01.07.06 СШУ) өзендерінің алаптары, сондай-ақ Тамды және Қарағанды өзендері Елек өзенінің алабына жатады (05.01.07.05 СШУ). I a шағын ауданы - Елек өзені алабында алынған тәуелділіктің корреляция коэффициенті $R=0,97$ мәнімен сипатталады, байланыс сапасы $S/\sigma=0,24$, есептеудің салыстырмалы орташа қателігі 15,1 % құрады. I b шағын ауданы – Шыңғырлау, Қобда, Ор өзендері алабында тәуелділіктің корреляция коэффициенті $R=0,69$ шамасымен сипатталады, байланыс сапасы $S/\sigma=0,70$, салыстырмалы орташа қателік 13,9 % тең.

II ауданға Жалпы Сырт қыратының батыс бөлігінің өзендері: Ембулатовка, Шаған, Деркөл, Шыжын 1, Шыжын 2, Қараөзен, Сарыөзен, Ащыөзек жатқызылды (яғни, бұрын анықталған II және VII аудандар біріктірілді). Берілген тәуелділіктің корреляция коэффициенті $R=0,81$ шамасымен сипатталады, байланыс сапасы $s/\sigma=0,58$, есептеудің салыстырмалы орташа қателігі 35,8 % құрады.

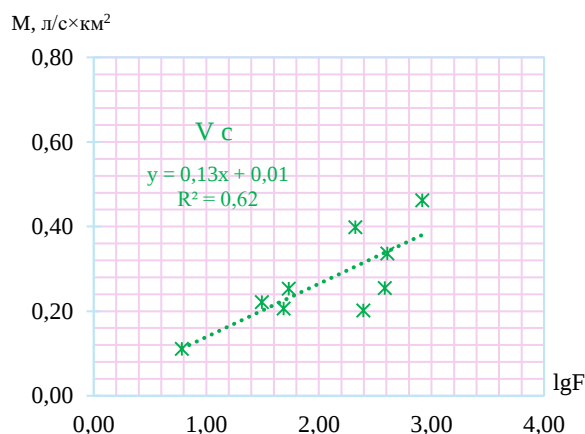
IV ауданға Орал алды үстіртінің оңтүстік бөлігінен ағатын өзендер: Барбастау, Шолақанқаты, Көперанқаты (05.01.07.01 СШУ), Өленті, Шідерті, Бұлдырты, Қалдығайты, Шилі, Жақсыбай (05.01.07.03 СШУ), Бабатай, Қиыл, Шығырлыққұмды (05.05.00.01 СШУ) өзендері жатады, корреляция коэффициенті $R=0,75$, байланыс сапасы $S/\sigma=0,63$, орташа салыстырмалы қателік 29,1 % құрады.

V аудан (оңтүстік өзендер) үш кіші аудандарға бөлінеді: *V a* – Ойыл және Жем өзендері алабы (су жинау алабы 1000 км² аспайтын шағын өзендерден басқа), мұнда $M_0=f(F)$ тәуелділігі $R=0,82$ корреляция коэффициентінің шамасымен сипатталады, байланыс сапасы $S/\sigma=0,43$, орташа салыстырмалы қателік 14,4%; *Vb* – Сағыз өзені алабы, $M_0=f(F)$ тәуелділігінің корреляция коэффициенті $R=0,69$, байланыс сапасы $S/\sigma=0,66$, есептеудің орташа квадраттық қателігі 40,0%; *Vc* – Ойыл өзені алабының кіші өзендері (су жинау алабы 1000 км² жуық) Шилі, Шығырлы, Шилісай, Лимансай, Қияқсай, Теректісай, Құрдақты, $M_0=f(F)$ тәуелділігінің корреляция коэффициенті $R=0,79$, байланыс сапасы $S/\sigma=0,62$, орташа квадраттық қателігі 18,3% құрады.

Аймақтық тәуелділіктердің сипаттамалары 1-кестеде көрсетілген. Гидрологиялық есептеулер нәтижесінде алынған деректер жарамды болып табылады, себебі тәуелділіктердің корреляция коэффициенттерінің шамасы 0,60-0,70 жоғары мәнге ие. Аймақтық тәуелділік нәтижелері жылдық ағынды нормасын бағалауда және зерттелмеген өзендердің ағынды карталарын құрастыруда қолданылуы мүмкін.



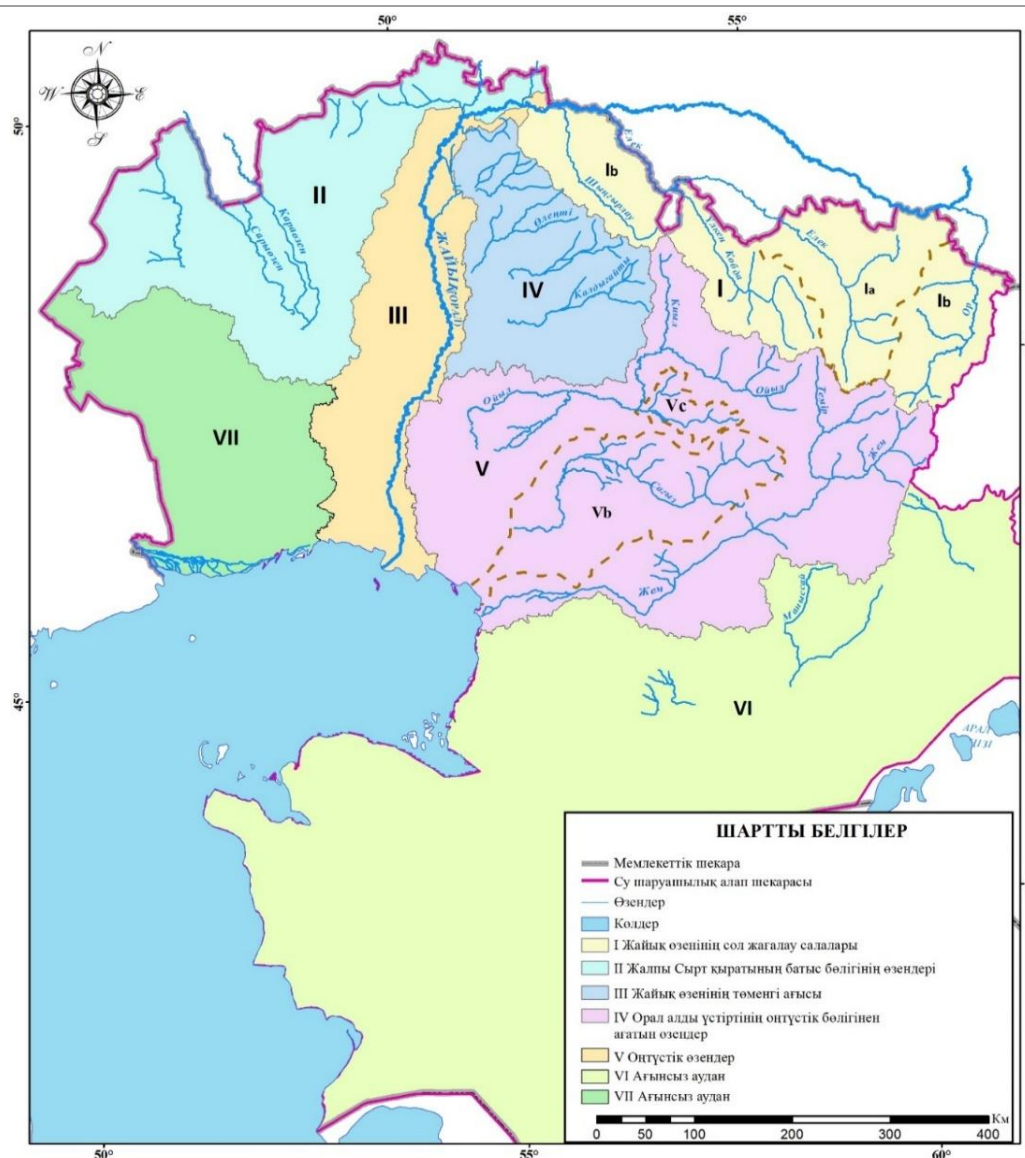
д)



Сурет 1. $M_0=f(F)$ аймақтық тәуелділіктері: а) I a – Елек өзені алабы, I b - Ор, Қобда, Шыңғырлау өзендері алабы; б) II - Жалпы Сырт қыратының батыс бөлігінің өзендері; в) IV - Орал алды үстіртінің оңтүстік бөлігінен ағатын өзендер; г) V a – Жем, Ойыл өзендері алабы; V b – Сағыз өзені алабы; д) V c – Ойыл өзені алабының кіші өзендері

Кесте 1. $M_0=f(F)$ алынған тәуелділіктердің сипаттамалары

Гидрологиялық аудан	Өзендер	Су шаруашылық учаске	R, корреляция коэффициенті
I a	Елек өзені алабы	05.01.07.05	0,97
I b	Ор, Қобда, Шыңғырлау өзендері алабы	05.01.07.01, 05.01.07.04, 05.01.07.06	0,69
II	Жалпы Сырт қыратының батыс бөлігінің өзендері	05.01.07.01, 05.04.00.01, 05.04.00.02, 05.04.00.03	0,81
IV	Орал алды үстіртінің оңтүстік бөлігінен ағатын өзендер	05.01.07.03, 05.01.07.01, 05.05.00.01	0,75
V a	Жем және Ойыл өзендері алабы	05.05.00.01, 05.02.08.01, 05.02.08.02	0,82
V b	Сағыз өзені алабы	05.05.00.02	0,69
V c	Ойыл өзені алабының кіші өзендері	05.05.00.01	0,79



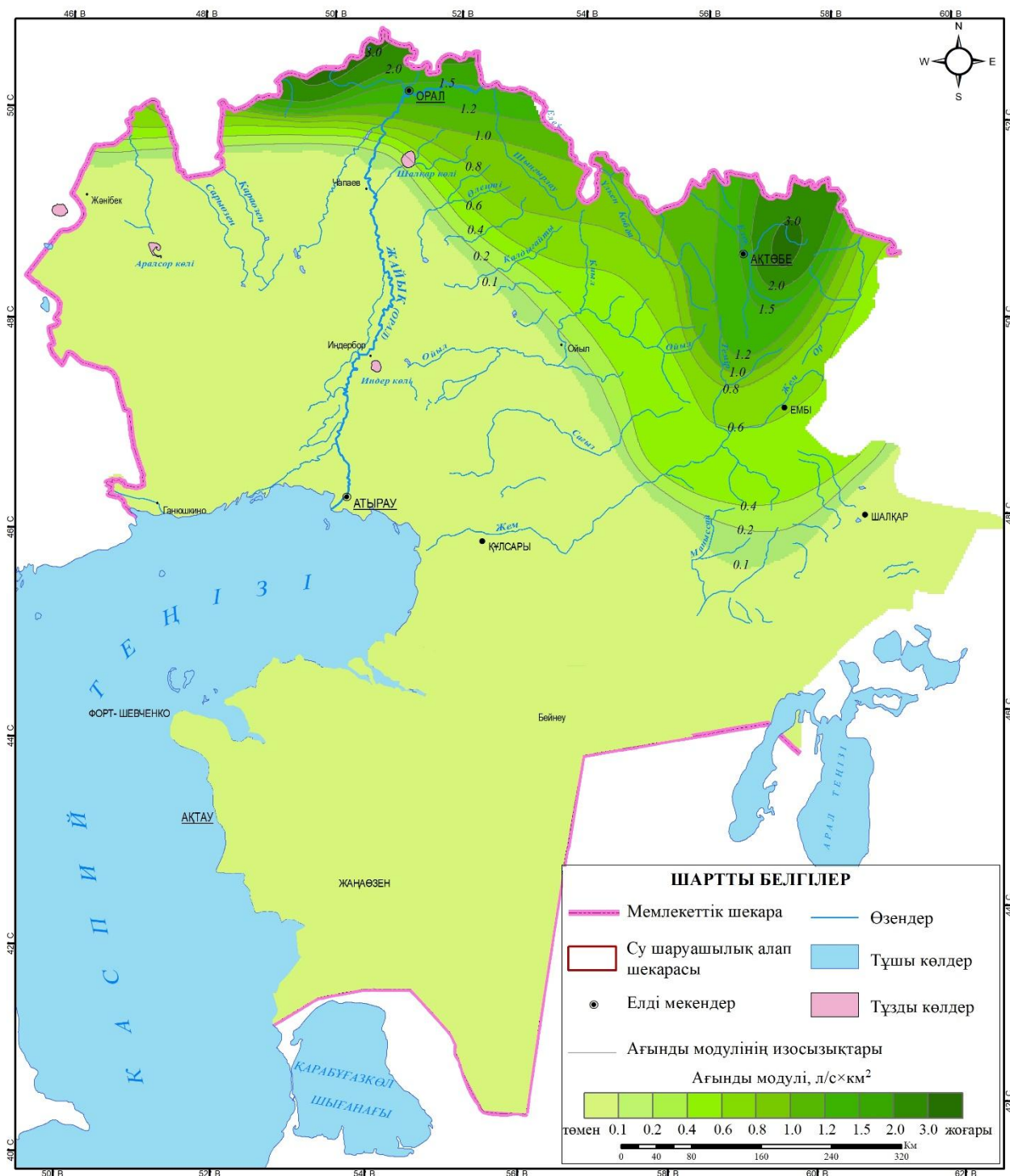
Сурет 2. Гидрологиялық біртекті аудандардың карта-сызбасы

$M_0=f(F)$ аймақтық тәуелділіктерін қолдана отырып, ағынды модулінің картасы құрастырылды (3-сурет). Құрастырылған ағынды картасы Жайық-Каспий су шаруашылық алабы бойынша орташа жылдық ағындының өзгеруінің жалпы заңдылықтарын көрсетеді.

Ағынды модулінің изосызықтары келесі мәндер бойынша жүргізілді: 0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,0, 1,2, 1,5, 2,0, 3,0 л/с×км². Аумақтың сулылығы ең төменгі бөлігінде изосызық шамасы 0,1 л/с×км² жүргізілді және нүктелі сызық түрінде көрсетілді.

Орташа көпжылдық ағынды модулінің таралуы жалпы климаттық факторлардың аумақтық өзгеруіне сәйкес келеді және алаптағы жауын-шашынның азаюы мен булану шамасының ұлғаюына байланысты солтүстіктен оңтүстікке қарай ағындының төмендеуімен сипатталады. Жергілікті жер бедері ағындысының таралуына аймақтық деңгейде әсер етеді. Ағындының негізгі қалыптасу аймағы (Елек, Ор, Үлкен Қобда, Шыңғырлау, Шаған, Деркөл, Шыжын өзендері алаптары) шартты түрде «таулы аудандарда», жер бедерінің биік нүктелерінде (Мұғалжар сілемдері, Жалпы Сырт қыраты) орналасқан. Сонымен қатар, жоғарыда аталған аудандарда ағындының ең жоғары мәндері белгіленген: Терісбұтақ өзені - 4,65 л/с×км², Шыжын 1 өзені - 3,13 л/с×км². Ағынды модулінің ең төменгі мәндері оңтүстік өзендер аумағында: Сағыз өзені Сағыз тұстамасы (0,1 л/с×км²), Жем өзені Ақмешіт ауылы (0,27 л/с×км²), Ойыл өзені Талтоғай ауылы (0,42 л/с×км²) көрініс береді. Бұл аудандарда

жауын-шашынның төмен мөлшері және буланудың қарқынды түрде жүруі өзен ағындысының біршама азаюына, тіпті жазғы маусымда толықтай жоғалуына жағдай жасайды.



Сурет 3. Жайық-Каспий алабы өзендерінің орташа жылдық ағынды модулінің картасы

4. Талдау

Жұмыс барысында қол жеткізген ағындының су жинау ауданына байланысты аймақтық тәуелділіктері $M_0=f(F)$ гидрологиялық тұрғыдан әлсіз зерттелген Жайық-Каспий су шаруашылығы алабындағы өзен ағынды ресурстарының қалыптасу заңдылықтарын түсінуге мүмкіндік береді. Аймақтық тәуелділіктердің ($M_0=f(F)$) жоғары корреляция коэффициенттері

(0,69–0,97) зерттелмеген өзендердің ағынды нормасын бағалауда олардың сенімділігі мен қолданбалы маңыздылығын айқындайды.

Қазақстан аумағында Жайық-Каспий су шаруашылығы алабы бойынша қазіргі заманғы ағынды карталары ҚР Ұлттық Атласында (Национальный атлас, 2010), «Қазақстанның су ресурстары: бағалау, болжау, басқару» атты 30 томдық монографиясында (Гальперин, 2012), сондай-ақ (Давлетғалиев, 2009; Давлетғалиев, 2016; Алимқұлов және т.б., 2020) жұмыстарында жарық көрген. Қолданыстағы орташа көпжылдық ағынды карталары оның кеңістіктік сипаттамаларын өте жақсы көрсетеді. Алайда, заманауи климаттық өзгерістер жағдайында жекелеген аумақтардың ағынды нормалары өзгеріске ұшырады. Сол себептен зерттеу ауданының климаттық факторлары қайта қаралып, нақтыланған ағынды модулінің картасы тұрғызылды.

Жаңартылған деректер негізінде құрастырылған ағынды модулінің картасы алаптың жалпы сулылығының көрінісі мен өзен ағынды ресурстарының кеңістіктік таралуын визуалдауға мүмкіндік береді. Зерттеу жұмысының нәтижелері бойынша, ағынды қалыптасатын негізгі учаскелер алаптың солтүстік-шығыс және орталық бөліктері (Мұғалжар жотасы мен Жалпы Сырт қыратының жоғарғы биік бөліктері) болып табылады, солтүстіктен оңтүстікке қарай ағынды модулінің азаюы климаттық факторлардың – жауын-шашын мөлшері мен булану қарқындылығының өзгеруімен, сондай-ақ биіктік белдеулермен тікелей байланысты.

Зерттеу нәтижесінде алынған материалдар, суды ұтымды пайдалануды жоспарлау, климаттық өзгерістерге бейімделу шараларын әзірлеу, сондай-ақ аумақты сумен қамтамасыз ету сценарийлерін үлгілеу кезінде маңыздылыққа ие.

5. Қорытынды

Жүргізілген зерттеу жұмысы Жайық-Каспий су шаруашылығы алабы аумағында өзен ағынды ресурстарының таралуының кеңістіктік заңдылықтарын анықтауға мүмкіндік берді. Әрбір гидрологиялық біртекті аудан үшін ағынды модулінің су жинау ауданына $M_0=f(F)$ аймақтық тәуелділігі орнатылды. Алынған тәуелділіктер 0,69-0,97 аралығындағы жоғары корреляция дәрежесін көрсетті, бұл өз кезегінде зерттелмеген өзендердің жылдық ағынды нормасын бағалауға мүмкіндік береді.

Ағынды модулінің картада таралуы негізінен солтүстіктен оңтүстікке қарай климаттық сипаттамалардың аймақтық өзгерісіне сәйкес келеді, сонымен қатар жер бедерінің ерекшеліктерін ескереді. Мұғалжар тауларының сілемдері орналасқан солтүстік-шығыс аумақтағы өзендер суының максималды мәндерінен (3 л/с×км² астам) алаптың оңтүстік-батыс және оңтүстік бөліктеріндегі жартылай шөлді және шөлді аудандардағы ағындының азаюымен, жоғалуына дейін байқалады.

Ағынды модулінің картасы негізінде Жайық-Каспий алабының аз зерттелген және зерттелмеген өзендерінің ағынды нормасын анықтауға болады, әсіресе бақылау деректерімен қамтылмаған алаптың оңтүстік бөліктері үшін өте маңызды болып табылады: Жем, Ойыл, Сағыз өзендері алабы, Жалпы Сырттың оңтүстік сілемдерінен ағатын кіші өзендер, атап айтқанда Ащыөзек өзені, Арал өңірінің солтүстік бөлігіне жататын Мұғалжар тауының оңтүстік жоталарынан ағатын уақытша су ағындары (05.02.08.03 СШУ) және Шығыс Каспий аумағының уақытша су ағындары (05.06.00.00 СШУ).

Су ресурстарын неғұрлым сенімді бағалау және тиімді басқару үшін өзен ағындарында бақылау бекеттерінің санын арттыру қажет, оның ішінде: шағын өзендер бойынша (көктемгі су тасқыны кезінде болатын ағындыны бағалау үшін), ағынды қалыптасатын аумақтағы өзендерде (ағынды қалыптасу аумағының ресурстарын бағалау үшін) және ағындының төменгі таралу аумағында (судың жоғалуы мен ағындының өзгеруін бағалау үшін).

Зерттеу нәтижелерін су ресурстарының тапшылығы жағдайында суды пайдалануды жоспарлау кезінде гидрологиялық және су шаруашылығы есептеулері үшін, сондай-ақ су саласында қызмет атқаратын РМК «Қазгидромет», «Қазгипроводхоз институты» ЖШС,

бассейндік инспекциялар, ғылыми-зерттеу мекемелері мен жоғары оқу орындарында, су саласында стратегиялық шешімдер қабылдайтын басқармалық және жобалау мекемелерінде пайдалануға болады.

6. Қосымша материалдар: қосымша материалдар жоқ.

7. Авторлық үлестер

Концептуализация – А.Р.; әдістеме – А.Р., А.Ж.; бағдарламалық қамтамасыз ету – А.М.; формальды талдау – А.Р.; ресурстар – О.М.; визуализациялау – О.М.; жазу – түпнұсқа жоба – А.Р., А.Ж., А.М.; жазу – рецензиялау және редакциялау – А.М., А.З., А.Ж.; қадағалау – А.М.; басқару – А.Ж.

8. Автор туралы ақпарат

Загидуллина Альфия Радифовна – су ресурстары зертханасының ғылыми қызметкері, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Сейфуллин даңғылы, 458/1, Алматы, Қазақстан, 050000; email: zagidullina_a_88@e-mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8649-1757>

Достаева Айгерим Жакыпбаевна – су ресурстары зертханасының ғылыми қызметкері, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Сейфуллин даңғылы 458/1, Алматы, Қазақстан, 050000; email: aigerim.dostaeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3307-1564>

Сайлаубек Ақгүлім Мұхтарбекқызы – су ресурстары зертханасының кіші ғылыми қызметкері, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Сейфуллин даңғылы 458/1, Алматы, Қазақстан, метеорология және гидрология кафедрасының PhD студенті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Әл-Фараби даңғылы 71, Алматы, Қазақстан, 050040; email: gulima97life@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6767-6860>

Альжанов Ойрат Муратович – су ресурстары зертханасының жетекші инженері, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Сейфуллин даңғылы 458/1, Алматы, Қазақстан, 050000; email: oiratmuratovich@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-1878-3421>

9. Қаржыландыру: жоқ.

10. Алғыстар: жоқ.

11. Мүдделер қақтығысы: Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

12. Әдебиеттер тізімі

1. Alimkulov, S.K., Mahmudova, L.K., Tursunova, A.A., Talipova, E.K., Birimbaeva, L.K. (2024). Köpzhyllyk gidrometeorologiyalyq mälimetteri negizinde Zhayiq-Kaspiy susharuashylyq alabyndagy gidrologiyalyq qyrghaqshylyqty bagalau [Assessment of hydrological droughts based on the results of long-term hydrometeorological data of the Zhayik-Caspian water basin]. *Gidrometeorologiya zhäne ekologiya [Hydrometeorology and Ecology]* 1, 26-38. <https://journal.kazhydromet.kz/index.php/kazgidro/article/download/2062/2558/9955>
2. Alimkulov, S.K., Saparova, A.A., Moldahanova, N.E., Baspakova, G.R. (2020). Zakonomernosti raspredeleniya resursov rechnogo stoka v Kazakhstane [Regularities of river flow resources distribution in Kazakhstan]. *Voprosy geografii i geoekologii [Issues of Geography and Geoecology]*, 4, 9-16. <https://cyberleninka.ru/article/n/zakonomernosti-raspredeleniya-resursov-rechnogo-stoka-v-kazahstane/viewer>
3. Birimbayeva, L., Makhmudova, L., Alimkulov, S., Tursunova, A., Mussina, A., Tigkas, D., Beksultanova, Zh., Rodrigo, M.C., Rodrigo, J.I. (2024). Analysis of the spatiotemporal variability of hydrological drought regimes in the lowland rivers of Kazakhstan. *Water* 16(16), 2316. <https://doi.org/10.3390/w16162316>

4. Cifrovaya baza dannyykh vysot SRTM 90m DEM [Digital elevation database SRTM 90m DEM in Russian]. <http://www.cgiar-csi.org/2010/03/108/uot;http://srtm.csi.cgiar.org/>
5. Davletgaliev, S.K. (2009). Otsenka normy godovogo stoka rek Zhaiyk-Zhemskogo rayona pri otsutstvii dannyykh nablyudeniy [Estimation of annual runoff norm of rivers of Zhaiyk-Zhem district in the absence of observation data]. *Gidrometeorologiya i ekologiya [Hydrometeorology and Ecology]* 4, 7-17. <https://journal.kazhydromet.kz/index.php/kazgidro/article/view/147>
6. Davletgaliev, S.K. (2016). Otsenka kharakteristik godovogo stoka neizuchennykh rek Zhaiyk-Kaspiyskogo vodokhozyaystvennogo basseyna [Estimation of annual runoff characteristics of unstudied rivers of the Zhaiyk-Caspian water basin]. *Gidrometeorologiya i ekologiya [Hydrometeorology and Ecology]* 1, 60-66. <https://journal.kazhydromet.kz/index.php/kazgidro/article/view/147>
7. Ezhegodnyy byulleten' monitoringa sostoyaniya i izmeneniya klimata Kazakhstana: 2021 [Annual bulletin of monitoring of the state and climate change of Kazakhstan: 2021]. (2022). Astana, Kazakhstan: National Hydrometeorological Service “Kazhydromet”. <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/ezhegodnyy-byulletenmonitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana>
8. Ezhegodnyy byulleten' monitoringa sostoyaniya i izmeneniya klimata Kazakhstana: 2023 [Annual bulletin of monitoring of the state and climate change of Kazakhstan: 2023]. (2024). Astana, Kazakhstan: National Hydrometeorological Service “Kazhydromet”. <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/ezhegodnyy-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana>
9. Gajdukova, E.V., Viktorova, N.V. (2021). *Gidrologicheskie prognozy [Hydrological forecasts]*. RGGMU, Sankt-Peterburg. https://mgmtmo.ru/edumat/hydrology/Gaidukova_Hydro_forecasts_Lecture_2021.pdf
10. *Gidrologicheskiy ezhegodnik [Hydrological Yearbook]*. (1948-1982). Gidrometeoizdat, Leningrad [Hydrometeoizdat, Leningrad]. <https://www.kazhydromet.kz/ru/gidrologiya/basseyny-rek-ural-srednee-i-nizhnee-techenie-i-emba-1936-2022>
11. Gosudarstvennyy vodnyy kadastr [State water cadastre]. (1981-2014). Resursy poverhnostnykh i podzemnykh vod, ikh ispol'zovanie i kachestvo: Ezhegodnoe izdanie [Surface and groundwater resources, utilisation and quality: Annual publication]. Leningrad; St. Petersburg; Moscow, Russia. <https://kazhydromet.kz/uploads/files/473/file/63083e86b5b9abasseyn-rek-ural-srednee-i-nizhnee-techenie-i-emba-vypusk-2-1996-god.pdf>
12. Gosudarstvennyy vodnyy kadastr [State water cadaster]. (2000-2016). Ezhegodnye dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi [Annual data on terrestrial surface water regime and resources]. Almaty, Kazakhstan. <https://kazhydromet.kz/uploads/files/473/file/63083e86b5b9abasseyn-rek-ural-srednee-i-nizhnee-techenie-i-emba-vypusk-2-1996-god.pdf>
13. Kocherin, D.I. (1927). Sredniy mnogoletniy godovoy i mesyachnyy stok v Evropeyskoy chasti Soyuza [Average long-term annual and monthly runoff in the European part of the Union]. *Trudy MIITA [The works of MIIT]* 6, 55-94.
14. L'vovich, M.I. (1974). Global water resources and their future [Mirovye vodnye resursy i ikh budushchee in Russian]. Mysl', Moskva.
15. Magritskiy, D.V., Kenzhebaeva, A.Zh. (2017). Zakonomernosti, harakteristiki i prichiny izmenchivosti godovogo i sezonnogo stoka vody rek v basseyne r. Ural [Regularities, characteristics and causes of variability of annual and seasonal river runoff in the Ural River basin]. *Nauka. Tekhnika. Tekhnologiya (Politekhnikeskiiy vestnik) [Science. Technic. Technology (Polytechnic Bulletin)]* 3, 39-61. <https://istina.msu.ru/publications/article/83877617/>

16. Mahmudova, L.K., Talipova, E.K., Myrzahmetov, A.B., Birimbaeva, L.M., Tursynbay, A.A., Älipbek, Ä.Sh. (2024). Zhaiyk-Kaspıı su sharuashylygy alabynyn aumagyndagy zhylymyqtyn klimattyq sipattamalary [Climatic characteristics of thaws in the territory of the Zhaiyk-Caspian water basin]. *Habarshy. Geografiya seriyasy [KazNU Bulletin. Geographical series]* 4, 80-90. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v75.i4.7>
17. Metodicheskie rekomendatsii po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik pri otsutstvii dannyykh gidrometricheskikh nablyudeniy [Methodological Recommendations for Determining Estimated Hydrological Characteristics in the Absence of Hydrometric Observation Data]. (2009). Nestor-Istoriya, Sankt-Peterburg.
18. Meteorologicheskaya i gidrologicheskaya bazy dannyykh [Meteorological and hydrological databases]. https://www.kazhydromet.kz/meteo_db
19. Nacional'nyy atlas Respubliki Kazakhstan. T.1: Prirodnye usloviya i resursy. [National Atlas of the Republic of Kazakhstan. Vol. 1: Natural conditions and resources]. (2010). Pod redaktsiyey d.g.n. prof. A.R. Medeu [Edited by A.R. Medeu]. Almaty.
20. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Nizhnee Povolzh'e i Zapadnyy Kazakhstan. Uralo-Embinskiy rayon [Surface water resources of the USSR. Lower Volga region and Western Kazakhstan]. (1970). Gidrometeoizdat, Leningrad 12(2), 511.
21. Smagulov, Zh.Zh., Snow, D., Arystambekova, D.D., Sailaubek, A.M., Tairov, A.Z. (2024). Study of water regime of Zhaiyk transboundary river in the context of anthropogenic and climatic changes. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences* 3(465), 164-178. <https://doi.org/10.32014/2024.2518-170X.417>
22. Sokolovskiy, D.L. (1968). Rechnoy stok (Osnovy teorii i metodiki raschetov) [River flow (Fundamentals of theory and calculation methods)]. Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo, Leningrad [Hydrometeorological Publishing House, Leningrad:].
23. Svod pravil SP 33-101-2003. Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik [Code of Regulations SP 33-101-2003. Determination of basic design hydrological characteristics]. (2004). <http://www.cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/sp-33-101-2003.pdf>
24. Tursunova, A., Medeu, A., Alimkulov, S., Saparova, A., Baspakova, G. (2022). Water resources of Kazakhstan in conditions of uncertainty. *Journal of Water and Land Development* 54(VII-IX), 138-149. <http://dx.doi.org/10.24425/jwld.2022.141565>
25. Vodnye resursy Kazakhstana: ochenka, prognoz, upravlenie. Resursy rechnogo stoka Kazakhstana. Vozobnovlyayemye resursy poverkhnostnykh vod Zapadnogo, Severnogo, Central'nogo i Vostochnogo Kazakhstana [Water resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management. River flow resources of Kazakhstan. Renewable surface water resources of Western, Northern, Central and Eastern Kazakhstan]. (2012). pod nauch. red. R.I. Gal'perina [Edited by R.I. Galperin]. Almaty, 7(1), 684.
26. Voskresenskiy, K.P. (1962). Norma i izmenchivost' godovogo stoka rek Sovetskogo Soyuza [Norm and variability of annual runoff of the rivers of the Soviet Union]. Gidrometeoizdat, Leningrad [Hydrometeoizdat, Leningrad]. <http://www.cawater-info.net/library/rus/hist/voskresenskiy.pdf>
27. Wang, L., Li, Y., Biswas, A., Zhao, Y., Niu, B., Siddique, K.H.M. (2025). Assessing climate change and human impacts on runoff and hydrological droughts in the Yellow River Basin using a machine learning-enhanced hydrological modeling approach. *Journal of Environmental Management* 380, 125091. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125091>
28. Waqas, M., Naseem, A., Humphries, U.W., Hlaing, P.T., Shoaib, M., Hashim, S. (2025). A comprehensive review of the impacts of climate change on agriculture in Thailand. *Farming System* 3(1), 100114. <https://doi.org/10.1016/j.farsys.2024.100114>

29. Zagidullina, A.R., Smagulov, Zh.Zh., Birimbaeva, L.M., Sajlaubek, A.M. (2024). Tendentsii mnogoletnikh izmeneniy stoka osnovnykh rek, formiruyushchikhsya v Zhaiyk-Kaspiyskom vodokhozyaystvennom basseyne [Trends of multi-year changes in runoff of main rivers forming in the Zhaiyk-Caspian water basin]. *Geografiya i vodnye resursy [Geography and Water Resources]* 2, 15-26. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-2-15-26.9>
30. Zaykov, B.D., Belinkov, S.Yu. (1937). Sredniy mnogoletniy stok rek SSSR [Average long-term flow of rivers of the USSR]. *Trudy Gosudarstvennogo Gidrologicheskogo instituta [Proceedings of the State Hydrological Institute]* 2, 78.

Regularities of the territorial distribution of river runoff in the Zhaiyk-Caspian water basin

Alfiya Zagidullina, Aigerim Dostaeva, Akgulim Sailaubek, Oirat Alzhanov

Abstract: In hydrological terms, the Zhaiyk-Caspian water basin is considered to be one of the least studied regions. It is characterized by the short duration of observations at most hydrological stations and their uneven spatial distribution. Half of the hydrological stations in the basin have observation records of no more than ten years, and one-third have no more than five years. Additionally, the basin contains a significant number of unstudied small rivers and ravines that are not tributaries of the monitored rivers. Under these conditions, estimating the runoff norm for poorly studied and unstudied rivers becomes one of the most challenging tasks in hydrology. To determine the runoff norm of poorly studied and unstudied rivers in the Zhayik-Caspian basin, the article employed a regional dependence of the runoff modulus on catchment area: $M_0 = f(F)$. Eight regional curves were developed, characterizing hydrologically homogeneous areas of the basin. Analyzing spatial patterns in river runoff distribution enabled the construction of a runoff modulus map. Runoff modulus isolines were drawn within a range of 0.1 to 3.0 l/s/km². The distribution of the runoff modulus generally reflects the zonal variation in climatic conditions from north to south and also accounts for the relief and characteristics of the underlying surface. These results allow us to make it possible to calculate runoff norms for rivers not covered by observations and serve as a basis for water use planning, development of environmental standards, and water management measures under changing climate conditions. The study's results are of high practical significance and can be recommended for application in hydrological calculations, design of water bodies, and formation of regional water policy.

Keywords: Zhaiyk-Caspian basin, unstudied rivers, hydrologically homogeneous area, regional dependencies, flow modulus map, isolines.

Закономерности территориального распределения речного стока Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна

Альфия Загидуллина, Айгерим Достоева, Акгулим Сайлаубек, Ойрат Альжанов

Аннотация: В гидрологическом отношении Жайык-Каспийский водохозяйственный бассейн (ВХБ) относится к слабоизученным. Он характеризуется кратковременностью наблюдений на большинстве гидрологических постов и их неравномерным размещением по территории. Половина постов имеет период наблюдений не более десяти лет, треть - не более пяти лет. Кроме того, в бассейне имеется значительное количество неизученных малых рек и логов, которые не являются притоками рек, охваченных наблюдениями. В таких условиях особую

актуальность приобретает задача расчета нормы стока слабоизученных и неизученных водотоков - одна из самых сложных в гидрологии. Для определения нормы стока таких рек в Жайык-Каспийском бассейне в статье использованы региональные зависимости модуля стока от площади водосбора: $M_0 = f(F)$. Всего построено восемь региональных кривых, отражающих гидрологически однородные районы бассейна. Результаты исследования пространственных закономерностей распределения речного стока позволили построить карту модуля стока. Изолинии модуля стока проведены в диапазоне от 0,1 до 3,0 л/с×км². Распределение модуля стока в целом соответствует зональному изменению климатических условий с севера на юг, а также учитывает рельеф и особенности подстилающей поверхности. Полученные результаты позволяют производить расчёт нормы стока для рек, не охваченных наблюдениями, и служат основой для планирования водопользования, разработки экологических нормативов и проведения водохозяйственных мероприятий в условиях изменяющегося климата. Исследование обладает высокой практической значимостью и может быть рекомендовано для применения в гидрологических расчётах, проектировании водных объектов и формировании региональной водной политики.

Ключевые слова: Жайык-Каспийский бассейн, неизученные реки, гидрологически однородный район, региональные зависимости, карта модуля стока, изолинии.