

ISSN (печать) 2079-6161  
ISSN (онлайн) 2789-6323



# ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

Ежеквартальный  
научно-технический журнал

2

2022

АЛМАТЫ

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

*Министерство экологии,  
геологии и природных ресурсов  
Республики Казахстан  
Республиканское государственное  
предприятие «Казгидромет»*

*Ministry of ecology,  
geology and natural resources  
Republic of Kazakhstan  
Republican State  
Enterprise « Kazhydromet»*

# ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

Ежеквартальный  
научно-технический журнал

# ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯ

әр тоқсанда шығарылатын  
ғылыми-техникалық журнал

# HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY

Quarterly  
scientific and technical journal

## № 2

АЛМАТЫ, 2022  
ALMATY, 2022

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

## **ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ** **№2 (105)**

© Журнал издается с 1995 года.  
Регистрационное свидетельство  
№ 1538 от 14 марта 1995 г.  
Адрес редакции: 050022, Алматы,  
пр. Абая, д. 32, к. 305, 307  
Телефон: (7272) 67-64-91; 55-84-06;  
E-mail: hydromet.journal@gmail.com  
<https://http://journal.kazhydromet.kz/>  
<http://www.kazhydromet.kz>

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

**HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY**  
**№2 (105)**

© The magazine has been published since 1995.

Registration certificate

№ 1538 from 14 March 1995

Editorial office address: 050022, Almaty,  
Abay Ave., app. 32, room. 305, 307

Tel: (7272) 67-64-91; 55-84-06;

E-mail: [hydromet.journal@gmail.com](mailto:hydromet.journal@gmail.com)

<https://http://journal.kazhydromet.kz/>

<http://www.kazhydromet.kz>

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

<b>А.А. Волчек, С.И. Парфомук, Н.Н. Шешко, Н.Н. Шпендик, С.В. Сидак</b> ОЦЕНКА ДОПУСТИМОЙ ДОБЫЧИ НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ РУСЛА НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ПРИПЯТЬ.....	6
<b>С.Б. Калабаев</b> МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЗЕР ЮЖНОГО ПРИАРАЛЬЯ (НА ПРИМЕРЕ ШЕГЕКУЛЬ) .....	25
<b>Ж.С. Мустафаев, А.Т. Козыкеева, С.Д. Даулетбай</b> ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ ВОДОСБОРА БАСЕЙНА ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ ШУ.....	32
<b>Ү.Ү. Beldeubayev, D.K. Kissebayev</b> FEATURES OF SPRING ICE PHENOMENA ON BALKASH LAKE IN EXTREMELY WARM MONTHS.....	47
<b>Б.С. Степанов, Р.К. Яфязова</b> ЯВЛЕНИЕ СКАЧКООБРАЗНОГО УВЕЛИЧЕНИЯ ПЛОТНОСТИ СЕЛЕВОЙ МАССЫ – СЛЕДСТВИЕ НЕОДНОЗНАЧНОЙ ЕЕ ЗАВИСИМОСТИ ОТ УКЛОНА ПУТИ ДВИЖЕНИЯ СЕЛЯ.....	59
<b>ХРОНИКА</b>	
<b>ДУСКАЕВ К.К. (К 65-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ).....</b>	78
<b>ГЛАВНАЯ ЦЕННОСТЬ СЛУЖБЫ - ЭТО ЛЮДИ .....</b>	80
<b>БЫТЬ СЧАСТЛИВЫМ – ЭТО ТРУД!.....</b>	82
<b>БУДЕМ РАБОТАТЬ!.....</b>	85
<b>ЭТО НАШ ШАРАПОВ.....</b>	91

## CONTENT

### SCIENTIFIC ARTICLES

<b>A.A. Volchek, S.I. Parfomuk, N.N. Sheshko, N.N. Shpendik, S.V. Sidak</b> ASSESSMENT OF THE PERMISSIBLE EXTRACTION OF NON-METALLIC BUILDING MATERIALS FROM THE RIVER BED ON THE EXAMPLE OF THE PRIPYAT RIVER.....	6
<b>S.B. Kalabayev</b> MORPHOMETRIC PARAMETERS OF LAKES IN AREA OF THE SOUTHERN ARAL (FOR EXAMPLE SHEGEKUL LAKE).....	25
<b>Zh.S. Mustafayev, A.T. Kozykeyeva, S.D. Dauletbay</b> HYDROLOGICAL PROFILE OF THE DRAINAGE COLLECTION OF THE TRANS- BOUNDARY SHU RIVER BASIN.....	32
<b>Е.Е. Белдеубаев, Д.К. Кисебаев</b> ОСОБЕННОСТИ ВЕСЕННИХ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ОЗ. БАЛКАШ В ЭКСТРЕМАЛЬНО ТЕПЛЫЕ МЕСЯЦЫ .....	47
<b>B.S. Stepanov, R.K. Yafyazova</b> THE PHENOMENON OF AN E POSITIVE INCREASE IN THE DENSITY OF THE MURDER MASS – THE CONSEQUENCE OF ITS AMBIGUOUS DEPENDENCE ON THE SLOPE WAYS OF MOVEMENT.....	59
<b>CHRONICLE</b>	
<b>DUSKAYEV K.K.</b> (ON THE 65TH ANNIVERSARY OF THE BIRTHDAY).....	78
<b>THE MAIN VALUE OF THE SERVICE IS PEOPLE.....</b>	80
<b>TO BE HAPPY IS WORK!.....</b>	82
<b>WILL BE WORKING!.....</b>	85
<b>HE IS OUR SHARPOV.....</b>	91

УДК 556.18

ОЦЕНКА ДОПУСТИМОЙ ДОБЫЧИ НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ РУСЛА НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ПРИПЯТЬ

А.А. Волчек д.г.н., С.И. Парфомук к.т.н., Н.Н. Шешко к.т.н., Н.Н. Шпендик к.г.н.,  
С.В. Сидак

Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь  
E-mail: volchak@tut.by

В статье обоснована возможность проведения работ по добыче нерудных строительных материалов из русла реки Припять на основе сопоставления существующего и определения прогнозируемого экологического стока реки. Проведенное численное моделирование продольного потока показало перераспределение скоростей в пределах прорезей и технологических разрывов, которые формируют участки со скоростью течения менее 0,3 м/с в пределах углубленной части прорези, и повышенные скорости более 0,9 м/с на участках технологических разрывов, что повышает интенсивность отложения наносов. Установлен объем возможного забора материала из реки, который составил 33122,5 м<sup>3</sup>, что соответствует проведению работ не чаще 1 раза в 3 года при обязательной повторной экологической оценке гидравлических и гидрологических процессов. Определены суммарные компенсационные выплаты за вредное воздействие планируемых работ на ихтиофауну реки Припять на территории Пинского района Брестской области.

**Ключевые слова:** нерудные строительные материалы, экологический сток, моделирование, прогноз, Припять

Поступила: 01.08.22

DOI: 10.54668/2789-6323-2022-105-2-6-24

**ВВЕДЕНИЕ**

Добыча в руслах и поймах рек и других водоемах нерудных строительных материалов (НСМ), т.е. песка, гравия, гальки и их смесей, и доставка их потребителям – одна из важнейших составляющих деятельности речных портов, паромств и речного транспорта в целом. Одновременно с речниками добычу НСМ ведут многочисленные строительные организации, располагающие мощными добывающими средствами. Координация природоохранных действий всех добывающих организаций пока еще организована слабо. Добывают НСМ землесосными, многочерпаковыми и одночерпаковыми снарядами и плавучими кранами в больших масштабах. Стремясь снизить расходы на добычу нерудных строительных материалов, места их

добычи стараются размещать вблизи городов, где сосредоточены рабочие ресурсы. Особенно остро проявляются эти отрицательные последствия на реках с малыми расходами воды в межень либо в тех случаях, когда неблагоприятные изменения гидрологического режима под влиянием зарегулирования стока усугубляются последствиями добычи НСМ.

Добыча НСМ из рек может привести к многообразным негативным последствиям, среди которых нарушение структуры речного ложа и его оголение, изменение баланса поступления наносов из верхнего течения и его ската в нижнее, заиление песка и гравия. Извлечение НСМ из русла может привести к подрыву кормовой базы рыб, разрушить нерестилища, икру и молодь рыб, понижает способность реки к самоочищению.

Наиболее опасным является «отложенный» эффект такой

добычи, когда экологические последствия становятся очевидными спустя десятилетия. Кроме того, иногда добыча гравия из русла реки предлагается в целях «восстановления ложа реки». К таким проектам следует относиться с особой осторожностью и, как правило, избегать их реализации. Если власти все же дадут разрешение на такую деятельность, обязательным условием должно быть создание фонда для мониторинга и проведение восстановительных работ при необходимости.

Исследователи отмечают, что добыча песка и гравия в реках является главной причиной их деградации, особенно тогда, когда естественный твердый сток седиментов в реке нарушен гидростроительством. При бесконтрольной добыче НСМ у многих рек может снизиться меандрирование, произойти обвал берегов, нарушиться геометрия русел. Кроме того, такая деятельность обычно вызывает оголение и огрубление дна, разрушение нерестилищ, подмыв гидростроений и разрушение мостов, а также снижение твердого стока в дельту.

Наиболее отрицательными факторами при этом становятся повышение мутности и снижение проницаемости воды для света, доступности пищи и неблагоприятности условий обитания, т.е. забивание взвесью жабр. После проведения работ такими факторами становятся нарушение и разрушение нерестилищ рыб – лимнофилов, ухудшение условий миграции рыб, а также снижение самоочистительной способности реки.

Песок и гравий служат субстратом, на котором живут и размножаются нитрифицирующие бактерии. Поскольку частицы песка и гравия имеют разные размеры, песок находится под гравием и циркуляция воды обеспечивает обмыв всех частиц, играющих роль фильтров. При извлечении гравия и песка со дна там может остаться голая глина, которая в силу очень мелких частиц не обеспечивает циркуляции воды и ее самоочистки. В обычной же ситуации добыча песка и гравия вызывает понижение среднего уровня воды в реке и снижение уровня грунтовых вод. Вероятными морфологически важными последствиями добычи НСМ в руслах рек являются угрозы

вероятности подмыва и эрозии берегов реки выше и ниже по течению из-за замещения добытого материала другим и изменения скорости и направления течения.

Также добыча НСМ в русле реки проводит к нарушению естественной водозащитной зоны реки – подмыву берегов, обрушению в воду деревьев и потере территории, а также к снижению прочности гидросооружений (мостов, плотин и др.), что особенно часто проявляется в экстремальных ситуациях (наводнениях, землетрясениях и др.). Снижение уровня воды в реке также ведет к незалитию традиционных мест нереста фитофильных видов рыб и снижению количества отложенной икры и выклюнувшихся личинок. По этой причине в ряде стран добыча НСМ полностью запрещена.

Таким образом, при проектировании добычи строительных материалов из русловых карьеров крайне необходимо учитывать, что их добыча вносит в гидравлику речного потока и русловые процессы более существенные изменения, чем землечерпательные работы, проводимые для улучшения судоходных условий, когда грунт лишь перемещается в русле реки. Эти изменения выражаются в снижении уровней на участке расположения карьеров и вышележащем участке, в размыве русла в зоне кривой спада и увеличении там скоростей перемещения русловых мезоформ.

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Республиканское унитарное эксплуатационно-строительное предприятие «Днепро-Бугский водный путь» (РУЭСП «Днепробугводпуть») планирует выработку НСМ на участке 6-7 км р. Припять выше г. Пинска (рисунок 1). Река Припять – крупнейший судоходный правый приток Днепра длиной 775 км и площадью водосбора 114,3 тыс. км<sup>2</sup>. В исследуемом створе ширина реки составляет 50...60 м, дно песчаное и песчано-илистое, средний уклон реки 0,08 м/км. Питание смешанное, с преобладанием снегового.



Для водного режима характерно длительное весеннее половодье: с первой декады марта, максимум в середине апреля, спад затягивается на 3...3,5 месяца. Летняя кратковременная межень прерывается дождевыми паводками и

почти ежегодным осенним поднятием уровня воды. На весну приходится 60...65 % годового стока, вода поднимается до 3,5 м, сопровождается обширными разливами. Цвет воды определяется преобладанием в бассейне реки торфяно-болотных почв.



*Рис.1. Месторасположение исследуемого участка*

Определения основных гидрологических характеристик. Согласно ТКП 45-3.04-168-2009, определение расчетных гидрологических характеристик должно основываться на данных гидрометеорологических наблюдений, в том числе регулярных наблюдений последних лет, опубликованных в специальных документах в области гидрологии; дополнительно должны учитываться данные инженерно-гидрометеорологических изысканий (Расчетные гидрологические характеристики, 2009). В связи с тем, что на р. Припять в створе г. Пинск (мост Любанский) в непосредственной близости от места добычи НСМ ведутся регулярные гидрологические наблюдения Республиканским центром по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, то определение расчетных гидрологических характеристик осуществлялось непосредственно по данным гидрологических наблюдений с учетом требований, изложенных в (Волчек А.А., 2021). В настоящей работе использованы

данные гидрометрических наблюдений за период с 1978 по 2018 гг., т.е. 41 год, что достаточно для получения объективных статистических гидрологических характеристик по р. Припять в створе г. Пинск (мост Любанский). Пропущенные данные в рядах наблюдений восстановлены с привлечением данных наблюдений пунктов-аналогов с учетом наличия синхронности в колебаниях речного стока расчетного створа и створов-аналогов с помощью программного комплекса «Гидролог – 2» (Волчек А.А., Парфомук С.И., 2009).

Методика определения экологического стока рек. Разработанная нами методика определения экологического стока рек детально изложена в (Волчек А.А. и др., 2022; Волчек А.А., Шешко Н.Н., 2015). Остановимся вкратце на ее сути. Экологический сток – это то количество воды, которое должно оставаться в реке для обеспечения условий существования гидробионтов с одновременным сохранением ее необходимого качества.

В этом случае сохраняются экосистемы пойм, а река остается элементом ландшафта. Таким образом, экологический сток обеспечивает количественное и качественное состояние водного объекта в самый маловодный период года. Существующие подходы определения экологического стока регламентируют только минимальное значение стока реки. При этом отсутствует определение экологического стока при различных обеспеченностях. Наиболее эффективным способом определения экологического стока с учетом внутригодового распределения является способ повышения обеспеченности, поэтому он использован в данной работе.

**Русловые процессы.** Русловые процессы в реках непрерывны и постоянно изменяются в зависимости от гидрологического режима. Интенсивность, характер и направленность русловых процессов определяются взаимодействием движущейся воды, перемещаемых водой наносов и слагающих ложе потока грунтов. Под влиянием этого взаимодействия возникают различные формы русла, которые влияют на гидравлические параметры потока. Климатические условия и свойства подстилающей поверхности водосбора обуславливают объем и режим стока воды, а также формирование твердого стока. Тем не менее, русловой процесс в основном зависит от одного фактора – гидродинамического действия текучей воды, обладающей механической энергией и способной выполнять работу в виде размыва русла и поймы, переноса и аккумуляции наносов.

Речной поток обладает транспортирующей способностью, т.е. способностью переносить определенное количество наносов данной крупности при соответствующих гидравлических характеристиках потока. Транспортирующая способность

потока обычно выражается через среднюю мутность, отвечающую насыщенности потока наносами, или через максимальный расход взвешенных наносов, при котором процессы размыва и аккумуляции на данном участке реки взаимно уравниваются (динамическое равновесие). Если же фактическое содержание наносов в потоке меньше его транспортирующей способности, то происходит размыв русла, и наоборот, чрезмерное содержание наносов в потоке вызывает их выпадение (аккумуляцию).

Необходимо учитывать, что возникающие деформации русла в свою очередь непосредственно влияют на гидравлические характеристики потока (уклон, скорость) и, следовательно, на его транспортирующую способность. Если на каком-либо участке реки существовал установившийся режим транспорта наносов, то размывы русла вызывают увеличение площади живого сечения потока и, следовательно, при том же расходе воды уменьшение скорости течения, а, в конечном счете, и транспортирующей способности потока. В результате этого процесса должно иметь место или уменьшение или полное прекращение размыва на этом участке.

При отложении наносов происходит уменьшение площади живого сечения потока, и, следовательно, возрастание скорости течения потока и его транспортирующей способности, прекращающей процесс осаждения наносов. В зависимости от распределения скоростей течения на отдельных участках взвешенные наносы могут перейти в донные или, наоборот, донные наносы могут перейти во взвешенное состояние.

Вычисление расходов влекомых наносов равнинных рек с песчаным и песчано-гравелистым дном может применяться формула Шамова (Волчек А.А. и др., 2013):

$$Q_{\text{всл}} = 0,95 \sqrt{d_{\text{сп}}} \left( \frac{v_{\text{сп}}}{v_{\text{отл}}} \right)^3 \cdot (v_{\text{сп}} - v_{\text{отл}}) \cdot \left( \frac{d_{\text{п}}}{H_{\text{сп}}} \right)^{1/4} \cdot B \quad (1)$$

где  $Q_{\text{всл}}$  – расход песчаных наносов, кг/с;  $0,95 \sqrt{d_{\text{сп}}}$  – коэффициент, учитывающий состав донных наносов;  $d_{\text{сп}}$  – средневзвешенный диаметр подвижных

фракций донных наносов в пробе, взятой на данной вертикали, м;  $v_{\text{отл}}$  – средняя скорость, при которой прекращается движение наносов данной крупности, м/с;  $H$  –

глубина на вертикали, м; В – ширина реки, м.

Большая часть твердого стока рек проходит в периоды половодья и паводков. На равнинных реках в периоды половодья наблюдается опережение во времени нарастания расхода наносов по сравнению с расходом воды, причем максимум расхода наносов наступает несколько раньше пика паводка (примерно при расходе, равном  $2/3Q_{\text{макс}}$ ). При вторичной волне половодья или паводках при тех же расходах воды наблюдается меньший расход наносов, чем при основной волне половодья. Мутность поступающей в русло воды тем больше, чем интенсивнее поверхностный сток и чем энергичнее происходит смыв грунта с поверхности водосбора.

Таким образом, деформации русла как бы стремятся создать постоянство расхода наносов по длине потока. Отсюда следует, что нарушение постоянства расхода наносов по длине вызывает на одних участках эрозию, а на других аккумуляцию, что, в конечном счете, должно привести к восстановлению

нарушенного равновесия постоянства расхода наносов по длине потока (Михневич Э.И., 2008; Михневич Э.И., Левкевич В.Е., 2016). Анализ данных исследований рельефа дна. Для исследуемого участка изыскания рельефа дна проводились в 2021 и 2022 годах в периоды весеннего половодья средствами гидроакустического многолучевого эхолота. База данных измерений представляет собой файл со значениями координат в плоской системе и отметок (глубин) дна для отдельных измеренных точек. Обработка данных натурных измерений проводилась по средствам авторских конструктивных инструментов в среде ArcGis с применением ряда аппроксимационных моделей для анализа рельефа. На основе сопоставительного анализа определены наиболее эффективные методы. В частности метод интерполирует гидрологически корректную растровую поверхность по точечным, линейным и полигональным данным. Общая структура модели представлена на рисунке 2.

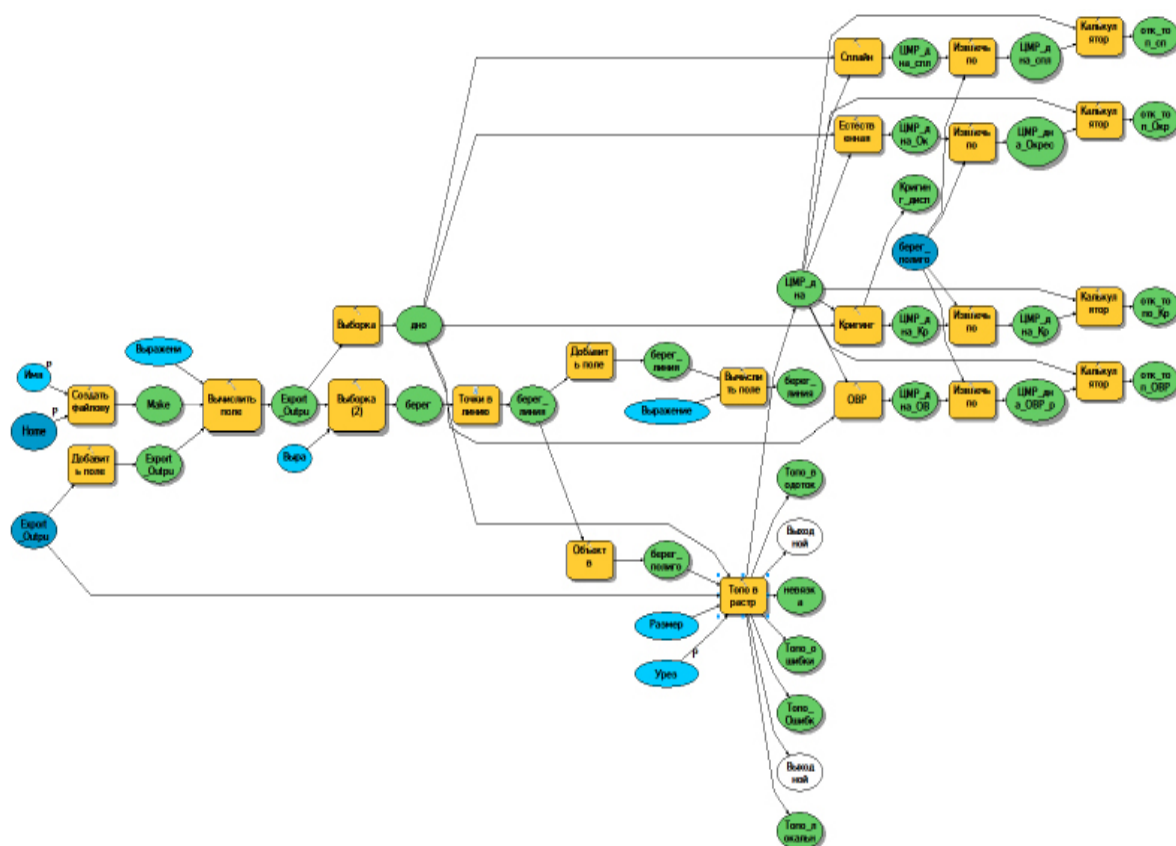


Рис.2. Модель построения цифровой модели рельефа

В результате обработки данных изысканий представленных «Днепробугводпуть» получены цифровые модели рельефа дна участка русла (рисунок 3, рисунок 4). Используя программный комплекс COMSOL Multiphysics, нами смоделирован водный поток в исследуемом русле р. Припять. COMSOL Multiphysics – это универсальная среда для моделирования сложных физических процессов, которая позволяет моделировать практически все физические процессы, которые описываются частными дифференциальными уравнениями. Точные мультифизические модели учитывают широкий диапазон рабочих условий и большой набор физических явлений. Таким образом, моделирование помогает понимать, проектировать и оптимизировать процессы и устрой-

ства с учетом реальных условий их работы. Для проведения численного моделирования нами использовался модуль «Вычислительная гидродинамика», в котором представлен набор RANS-моделей турбулентности (модели, основанные на осредненных по Рейнольдсу уравнениях Навье-Стокса), реализованных в соответствующих гидродинамических интерфейсах. Доступны следующие модели турбулентных стационарных и нестационарных течений: двухпараметрические модели, дополнительные модели на основе уравнений переноса, алгебраические модели турбулентности, модели крупных вихрей (LES), описание пристеночной области (Курушин А.А., 2016; <http://www.comsol.com/>; Ошовский В.В. и др., 2010).

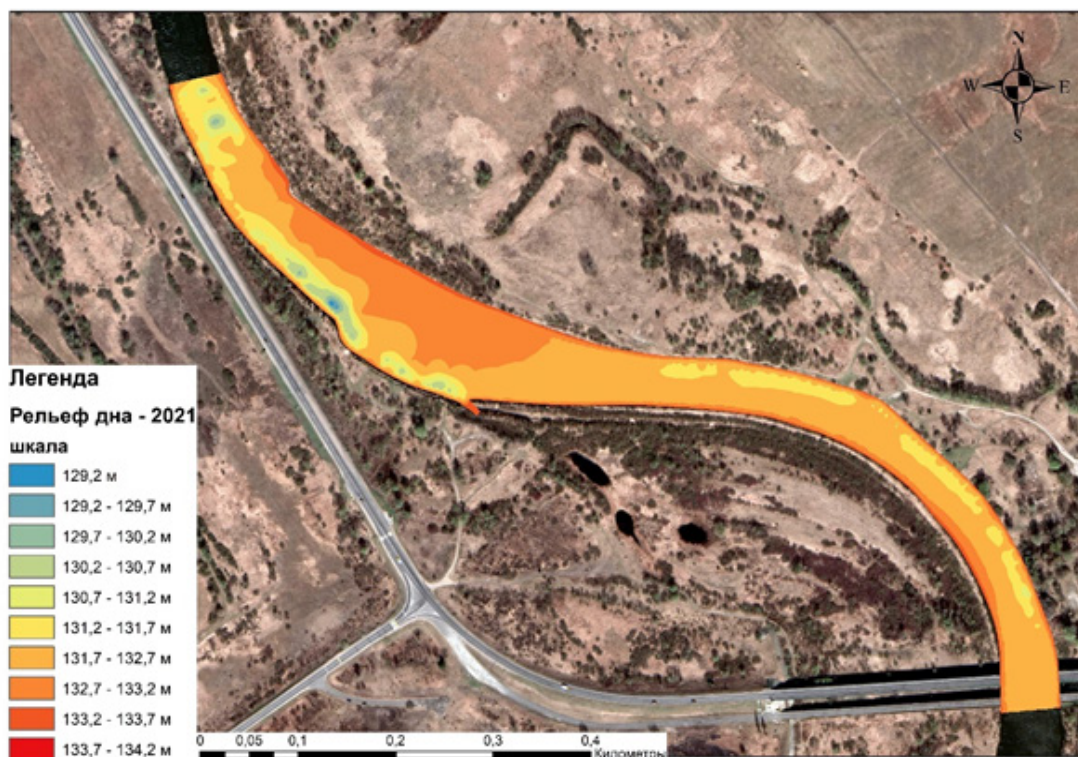


Рис.3. Цифровая модель рельефа (2021 г.)

Видовой состав ихтиофауны и численность рыбы в р. Припять на территории Пинского района и компенсационные выплаты. В соответствии с действующим законодательством по охране рыбных запасов и

мест их обитания в естественных условиях, планируемые работы могут быть согласованы в случае выполнения оценки ущерба, причиненного ими ихтиофауне водотока, и расчета размера компенсационных выплат за

оказанное на нее вредное воздействие (Постановление, 2008). Компенсационные выплаты по конкретному виду объектов животного

мира (в данном случае рыб) рассчитывается отдельно по каждой зоне воздействия с последующим суммированием результатов.

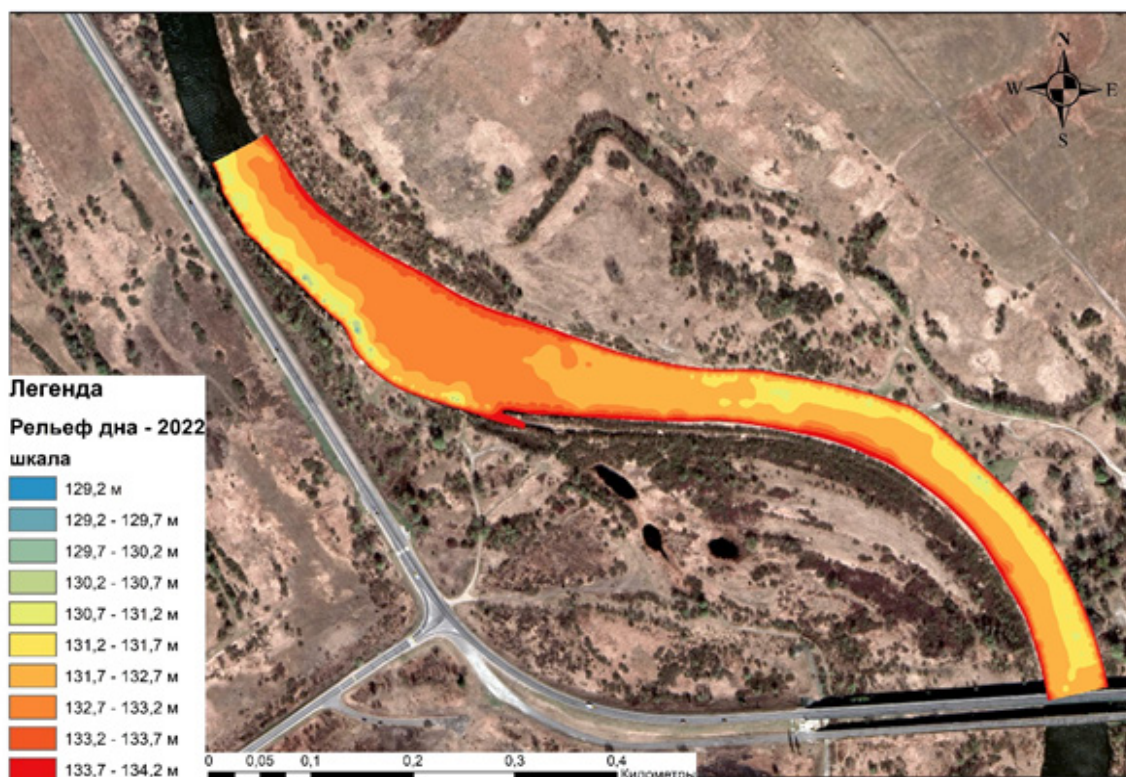


Рис.4. Цифровая модель рельефа (2022 г.)

По данным лаборатории ихтиологии ГНПО «Научно-производственный центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам» структура ихтиофауны р. Припять на территории Пинского района представлена 35 видами рыбы, а по отношению к нерестовому субстрату подразделяются на 8 экологических групп. Все представители ихтиофауны исследуемого района принадлежат к туводным мигрантам, совершающим непродолжительные в течение одного сезона и в границах одного речного бассейна нерестовые, кормовые и зимовальные миграции без выхода в море и обратно.

В реке на исследуемом участке обитают 11 видов рыбы, относящихся к реофи-

лам (живущим только в реках): белоглазка, жерех, подуст, голавль, елец, чехонь, рыбец, голец усатый, ерш-носарь, бычок-песочник и бычок-кругляк. Остальные 24 вида рыбы принадлежат к обще-пресноводной экологической группе – живущим в озерах и реках.

По рыбохозяйственной классификации река относится к водным объектам первой категории, для которых норма допустимого вылова рыбы с одного гектара рыболовных угодий составляет 32,4 кг в год. Общая биомасса рыбы на единицу площади, с учетом коэффициента перерасчета промыслового запаса в общую биомассу равного 1,49, определена по зависимости

$$B = H_{ДВ} \cdot K_{ПЗ} \cdot K_B \quad (2)$$

где В – общая биомасса рыбы на единицу площади, кг/га;  $N_{дв}$  – норматив допустимого вылова рыбы, кг/га;  $K_{пз}$  – коэффициент пересчета норматива допустимого вылова рыбы в промысловый запас рыбы;  $K_б$  – коэффициент пересчета про-

мыслового запаса рыбы в общую биомассу. Базовая плотности особей или численность рыбы по видам на площади реки 1 га до начала проведения работ определена на основе имеющихся исходных данных по зависимости

$$B_{пл} = \frac{B \cdot D \cdot S}{100 \cdot M} \quad (3)$$

где БПЛ – базовая плотность особей на 1 гектар, до начала проведения планируемых работ, шт/га; В – общая биомасса рыбы (независимо от веса и размера), кг/га; D – доля рыбы по видам, в структуре ихтиофауны, %; S – площадь участка реки, га; M – средне штучная масса рыбы по видам, кг.

Проведение работ в русле р. Припять РУЭСР «Днепробугводпуть» планирует земле-сосным снарядом типа «ЗС-28Б».

Площади негативного воздействия планируемой инженерно-хозяйственной деятельности на ихтиофауну р. Припять определены в соответствии с Положением о порядке определения размеров компенсационных выплат и их осуществлении, утвержденным постановлением Совета Министров от 07.02.2008 № 168 по зависимости: зона прямого уничтожения -

$$S_{зпу} = (L_{выр} \cdot B_{выр}) / 10000 \quad (4)$$

где  $S_{зпу}$  – площадь зоны прямого уничтожения, га;  $L_{выр}$  – длина выработки грунта по

реке, м;  $B_{выр}$  – ширина выработки грунта, м; зона сильного вредного воздействия –

$$S_{зсв} = (P_{зпу} \cdot L_{зсв}) / 10000 \quad (5)$$

где  $S_{зсв}$  – площадь зоны сильного вредного воздействия, га;  $P_{зпу}$  – периметр водного зеркала реки зоны пря-

мого уничтожения, м;  $L_{зсв}$  – ширина зоны сильного вредного воздействия, м; зона умеренного вредного воздействия –

$$S_{зув} = (P_{зсв} \cdot L_{зув}) / 10000 \quad (6)$$

где  $S_{зув}$  – площадь зоны умеренного вредного воздействия, га;  $P_{зсв}$  – периметр водного зеркала реки зоны сильного

вредного воздействия, м;  $L_{зув}$  – ширина зоны умеренного вредного воздействия, м; зона слабого вредного воздействия –

$$S_{зслв} = (P_{зув} \cdot L_{зслв}) / 10000 \quad (7)$$

где  $S_{зслв}$  – площадь зоны слабого вредного воздействия, га;  $P_{зув}$  – периметр водного зеркала реки зоны умеренного вредного воздействия, м;  $L_{зслв}$  – ширина зоны слабого вредного воздействия, м.

Численность половозрелых особей-производителей соответствует 70 % от общей биомассы рыбы, 30 % составляют младшие возрастные группы (далее – мо-

лодь). В связи с ухудшением условий среды обитания его часть будет вынуждена покинуть территорию воздействия, а молодь погибнет вследствие большей восприимчивости к дефициту кислорода и засорения жаберного аппарата взвешенными частицами. Поэтому на территории воздействия погибнет до 30 % общей численности всей популяции рыбы, т.е.

$$B_{плл} = 0,30 \cdot B_{пл} \quad (8)$$

где  $B_{\text{плл}}$  – базовая плотность особей погибших во время проведения работ на 1 га, шт./га;  $B_{\text{пл}}$  – базовая плотность особей до начала проведения работ на 1 га, шт./га.

За гибель объектов животного мира, снижение численности и прироста при

утрате или нарушении среды обитания вследствие проведения работ по добыче полезных ископаемых на водных объектах предусмотрены компенсационные выплаты, которые рассчитываются по зависимости

$$K_B = S_{\text{ЗВ}} K_{\text{РГ}} B_{\text{плл}} (1 + K_{\text{ГПР}}) П_{\text{ВЗ}} K_{\text{РС}} K_{\text{СТ}} \quad (9)$$

где  $K_B$  – компенсационные выплаты по конкретному виду (группе видов) объектов жи-вотного мира;  $S_{\text{ЗВ}}$  – площадь зоны вредного воздействия, гектаров;  $K_{\text{РГ}}$  – коэффициент реагирования объектов животного мира на вредное воздействие, где все виды диких животных объединены в условные группы (категории) со сходными систематическими

и экологическими признаками;  $B_{\text{плл}}$  – базовая плотность объектов животного мира, особей на гектар (для беспозвоночных – килограммов на гектар), шт/га;  $K_{\text{ГПР}}$  – коэффициент годового прироста объектов животного мира в пересчете на одну особь;  $П_{\text{ВЗ}}$  – продолжительность вредного воздействия (временный лаг), лет, рассчитываемая по формуле:

$$П_{\text{ВЗ}} = (t_C + t_P) \quad (10)$$

где  $t_C$  – продолжительность проведения строительных работ, лет;  $t_P$  – срок восстановления исходной численности на территориях вредного воздействия – период регенерации;  $K_{\text{РС}}$  – коэффициент, учитывающий ресурсную стоимость объектов животного мира (1 экземпляра) в кратности к базовой величине;  $K_{\text{СТ}}$  – коэффициент статуса территории, где планируется проведение строительных и иных работ.

При расчете размеров компенсационных выплат на территории вредного воздействия следует учитывать потери численности и годовой продуктивности (среднее арифметическое значение) по зонам, в рассматриваемом случае:

- I зона – зона прямого уничтожения, где потери численности и годовой продуктивности составляют от 75 до 100 %;
- II зона – зона сильного вредно-

- го воздействия – от 50 до 74,9 %;
- III зона – зона умеренного вредного воздействия – от 25 до 49,9 %;
- IV зона – зона слабого вредного воздействия – до 24,9 %.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основные гидрологические характеристики. Данные о количественных характеристиках стока р. Припять – г. Пинск (мост Любанский) по месяцам и в годовом разрезе представлены в таблице 1. Внутригодовое распределение стока рек представлено на рисунке 5. По данным таблицы 1 на весенний период приходится 41 % от годового стока, зимний сток составляет 21 % от годового стока, на летне-осенний сезон приходится 38 % от годового стока.

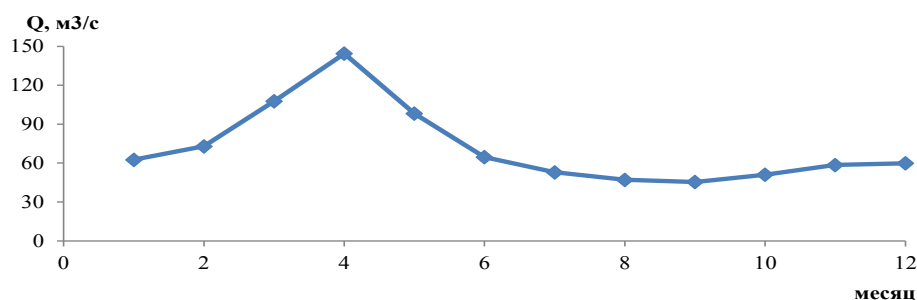


Рис.5. Внутригодовое распределение среднемноголетнего стока р. Припять – г. Пинск (мост Любанский)

Таблица 1

Основные гидрологические характеристики стока р. Припять – г. Пинск (мост)

Параметры	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$Q$	62,6	72,9	108	144	98,2	64,6	52,9	47,1	45,5	51,0	58,5	59,9	71,2
$C_v$	0,44	0,50	0,50	0,44	0,33	0,37	0,45	0,53	0,56	0,51	0,53	0,48	0,27
$C_s$	0,80	0,49	0,65	1,45	0,46	1,00	1,35	1,25	1,43	1,33	1,52	1,54	0,41

Среднее многолетнее значение минимального годового стока воды 95 % вероятности превышения р. Припять в створе г. Пинск (мост Любанский) составляет 46,7 м<sup>3</sup>/с. На рисунке 6 приведены

результаты расчета минимальных средне-месячных расходов воды 95 % вероятности превышения (обеспеченности) с учетом внутригодового распределения стока.

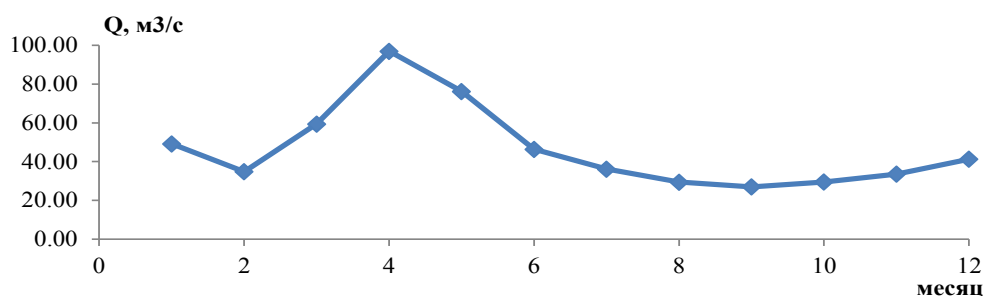


Рис.6. Минимальные среднемесячные расходов воды 95 % обеспеченности с учетом внутригодового распределения стока р. Припять – г. Пинск (мост Любанский)

Таблица 2

Скорости течения воды, соответствующие экологическому стоку 95% вероятности превышения (обеспеченности) с учетом внутригодового распределения, м/с

Прорезь	Экологический сток (75 % от минимального месячного стока 95 % обеспеченности)	Экологический сток (перенос обеспеченностей)
1	0,11	0,42
2	0,09	0,36
3	0,10	0,38
4	0,11	0,42
5	0,08	0,31
6	0,08	0,33
7	0,08	0,31
8	0,08	0,32
9	0,09	0,34
10	0,10	0,38
11	0,09	0,35
12	0,09	0,34
<b>Минимум</b>	<b>0,08</b>	<b>0,31</b>



Размер экологического стока р. Припять в створе г. Пинск (мост Любанский) принят как 75 % от минимального месячного стока 95 % обеспеченности и составляет 9,90 м<sup>3</sup>/с. При использовании метода переноса обеспеченностей экологический сток р. Припять 95 % вероятности превышения согласно проведенным гидрологическим расчетам составляет 39,0 м<sup>3</sup>/с. Полученные результаты легли в основу расчета скорости течения воды, соответствующей эколо-

гическому стоку, с учетом внутригодового распределения стока и существующих до начала запланированных работ в русле р. Припять площадей поперечного сечения в местах планируемых прорезей (таблица 2).

На основании имеющихся данных о речном стоке и с применением математического моделирования определены среднемесячные и среднегодовые значения твердого стока, включающего сток взвешенных и сток влекомых наносов, представленные в таблице 3.

Таблица 3

Твердый сток р. Припять – г. Пинск (мост Любанский) с учетом внутригодового распределения, м<sup>3</sup>/мес(год)

Месяцы												Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<i>Сток взвешенных наносов</i>												
3288	2329	3970	6479	5093	3101	2415	1966	1805	1974	2243	2760	37423
<i>Сток влекомых наносов</i>												
546	490	1449	3165	1915	630	435	215	254	352	321	248	10020
<i>Твердый сток</i>												
3834	2819	5419	9644	7008	3731	2850	2181	2059	2326	2564	3008	47443

С целью анализа русловых процессов на исследуемом участке проведены вычисления изменений отметок дна русла (рисунок 7). Как видно из сравнительной модели основные русловые процессы наблюдаются на участке ниже моста и участке излучины близ левого берега. Таким образом, можно предполагать, что данные участки участвуют в

активных руслообразовательных процессах, поэтому не рационально вовлекать их в любые антропогенные мероприятия. В количественном выражении соотношение объема наносов по состоянию 2021 года и 2022 года имеет положительный баланс, что предположительно связано с увеличением меандр в направлении дороги с улучшенным покрытием.

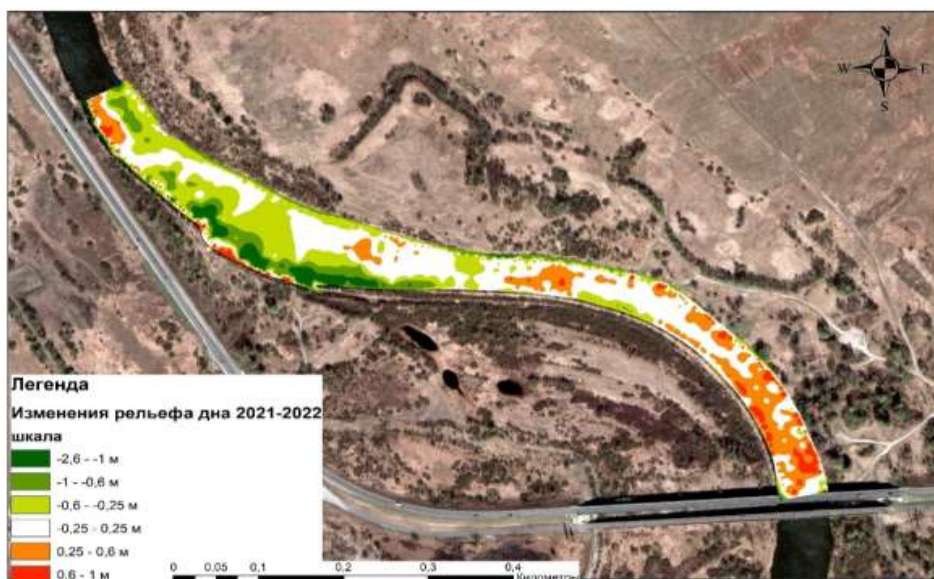


Рис. 7. Изменения рельефа дна за 1 год (с 2021 по 2022 гг.)

Для вычисления скоростей течения воды в поперечном сечении планируемых прорезей построены эпюры распределения скоростей по живому сечению реки для ка-

ждой прорези в существующем состоянии и состоянии трансформированного поперечного сечения в соответствии со схемой расположения расчетных сечений (рисунок 8).

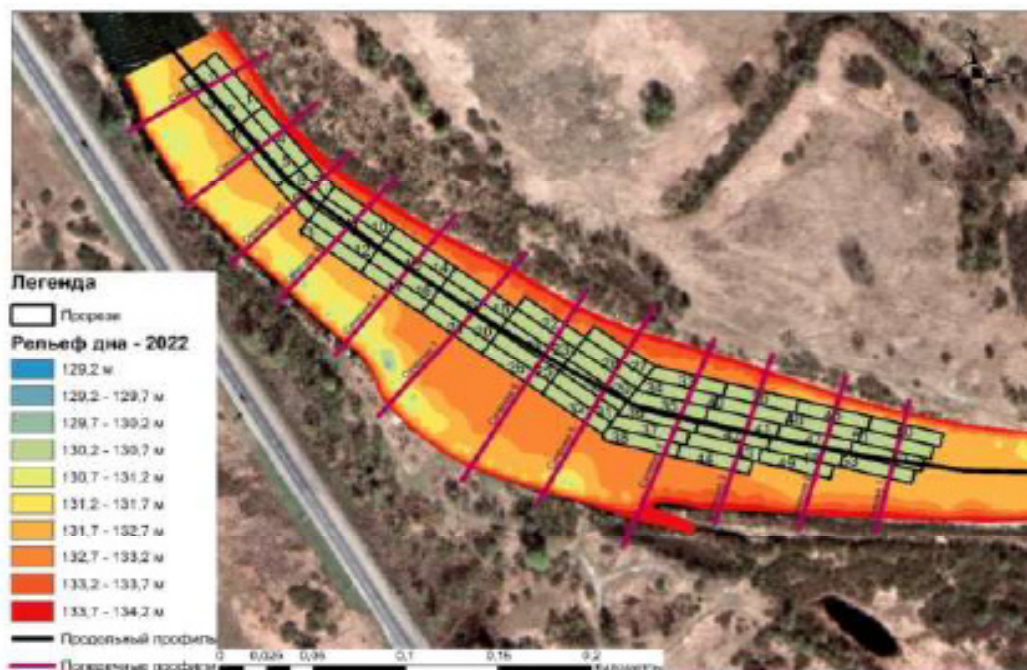


Рис.8. Схема расположения расчетных сечений и номера прорезей

С целью определения геометрических размеров поперечных сечений выполнено преобразование растровых моделей русла в пространственный набор данных в виде векторных точечных файлов. В качестве расчетных заданы поперечные створы и продольный створ. Расположение поперечных створов соотносилось с расположением прорезей, продольный профиль проложен через зону основной массы донных отложений вдоль правого берега (рисунок 9). Общая структура модели включает три граничных условия: входной расход в виде типовой эпюры местных скоростей на расчетной вертикали; выходной створ с нулевым избыточным давлением; граница не проницаемая для жидкости с заданной шероховатостью; открытая граница с избыточным давлением. Гидравлическая модель составлена с учетом турбулентности и внешних сил инерции. Из рисунка 9А видно, что в зоне прорезей скорость составляет менее 0,31 м/с, что значительно повысит интенсивность отложений нерудного материала. На участ-

ках перемычек скорость превышает 0,9 м/с, при этом данная скорость выше гидравлической крупности грунта сложения ложа русла и в будущем приведет к постепенному уположиванию геометрических форм перемычек (технологических разрывов).

На рисунках 10 и 11 представлены поперечные профили участка реки в районе предполагаемой прорези 1 до начала предполагаемых работ и после.

Учитывая среднее многолетнее значение стока в р. Припять в створе г. Пинск (мост Любанский) и площади поперечного сечения в местах планируемых прорезей до и после проведения работ, рассчитаны скорости течения воды по 12 планируемым прорезям (таблица 4).

Сопоставляя данные в таблицах 2 и 4, можно заключить, что скорости течения воды по всем 12 планируемым прорезям после проведения запланированных работ по добычи НСМ будут выше, чем минимальная скорость течения воды, соответствующая экологическому

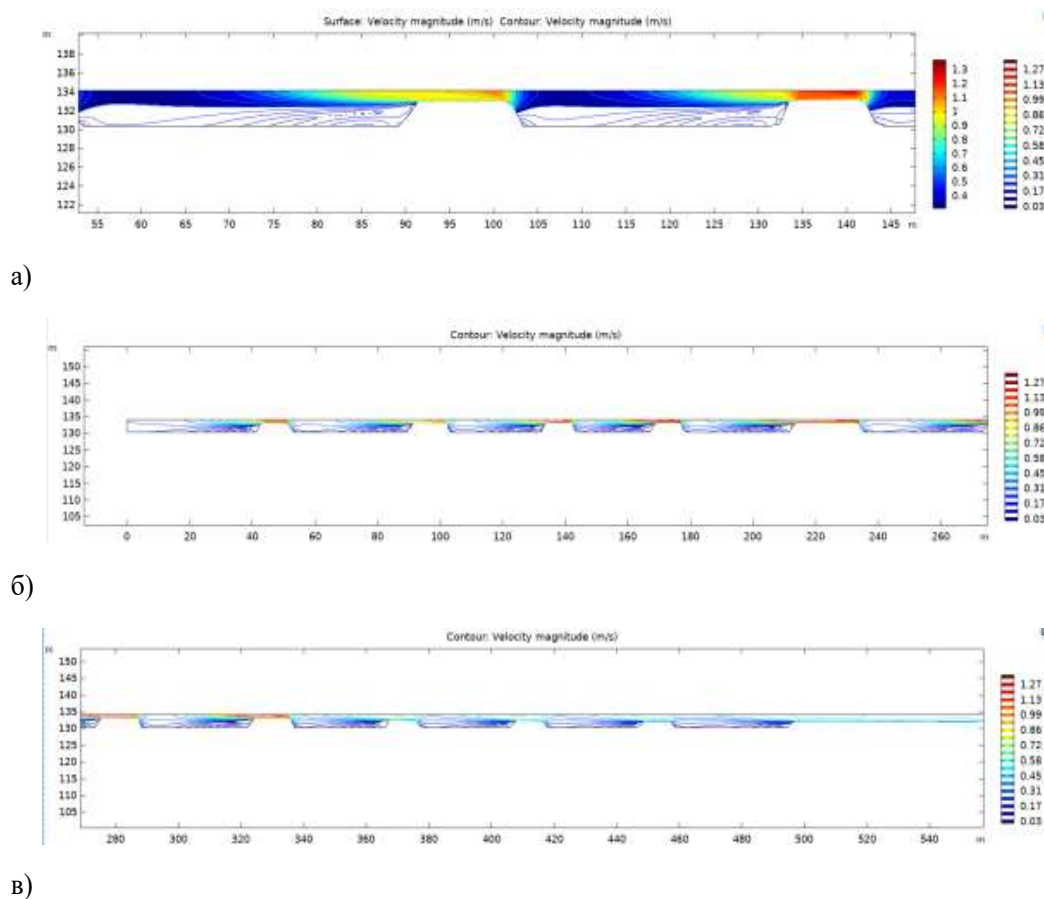


Рис.9. Результат моделирования эиор скоростей вдоль продольного профиля:  
 а) участок ПК0-ПК26; б) участок ПК6-ПК14 в) участок ПК28-ПК50

Таблица 4

Скорости течения воды по 12 планируемым прорезям до и после проведения запланированных работ по добыче НСМ, м/с

Прорезь	До проведения работ по добыче НСМ	После планируемых работ
1	0,76	0,54
2	0,65	0,46
...	...	...
12	0,62	0,47
<b>Минимум</b>	<b>0,56</b>	<b>0,32</b>

стоку 95% обеспеченности, равная 0,31 м<sup>3</sup>/с.

Причем, последнее значение получено по методу переноса обеспеченностей и является в некотором смысле «оценкой сверху» скорости воды экологического стока. Если же рассматривать скорость течения воды, соответствующую экологическому стоку, равному 75 % от минимального месячного стока 95 % обеспеченности, то ми-

нимальная скорость в прорези 5 (0,32 м<sup>3</sup>/с) в 4 раза превосходит наименьшую скорость экологического стока, равную 0,08 м<sup>3</sup>/с. На основе предварительного размещения прорезей в зонах наибольших донных наносов и зон с минимальной интенсивностью русловых процессов вычислен ориентировочной объем возможных заборов НСМ (таблица 5).

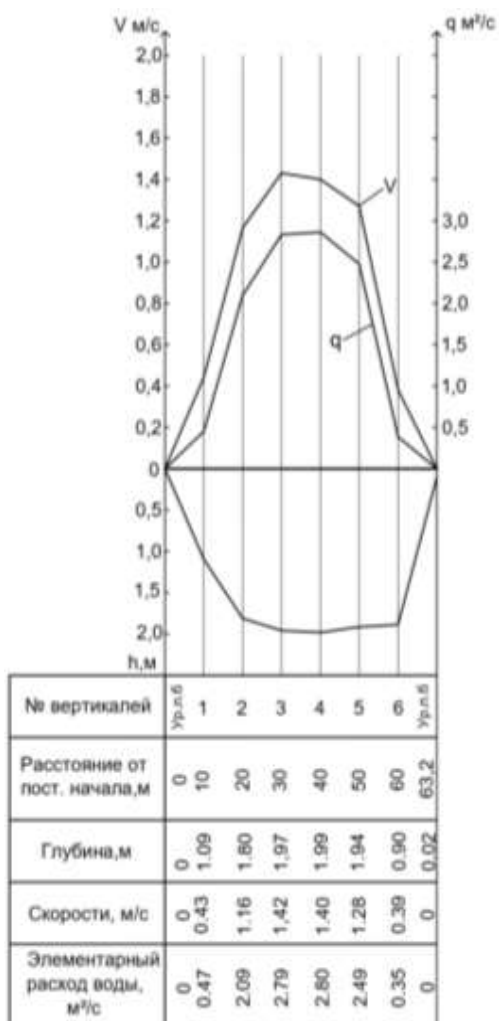


Рис.10. Эпюры распределения средних скоростей по ширине р. Припять до проведения планируемых работ (Прорезь 1)

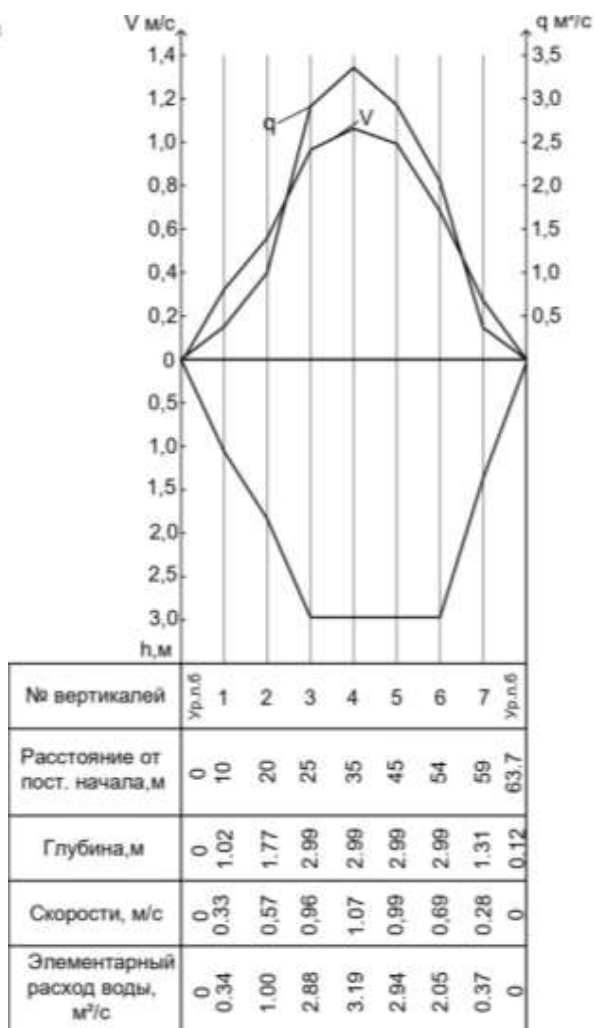


Рис.11. Эпюры распределения средних скоростей по ширине р. Припять после проведения планируемых работ (Прорезь 1)

Таблица 5

Расчетный объем прорезей

Номер прорези	Площадь, м²	Глубина, м			Объем, м³
		минимальная	максимальна	средняя	
1	320	1,83	3,05	2,57	821,22
2	320	2,20	2,82	2,65	847,16
...	...	...	...	...	...
52	320,5	1,78	1,81	1,80	575,54
53	320,5	1,80	1,88	1,82	582,51
<b>Итого</b>					<b>42424,27</b>

Средняя скорость течения воды по всем планируемым прорезям после проведения запланированных работ может уменьшиться с 0,65 до 0,42 м³/с, что приведет к образованию дон-ных отложений объемом

11034 м³/год. Полученные результаты показывают, что планируемые работы не повлекут нарушение экологического состояния р. Припять. При этом в реке будет наблюдаться скорость течения воды выше, чем

это необходимо для экологического стока, и в реке будут обеспечены условия существования гидробионтов с одновременным сохранением необходимого качества воды. При разработке рекомендуется сохранять разрывы (10 м) в разработке для формирования локальных искажений поля скоростей и таким образом мест более интенсивного

отложения взвешенных и влекомых наносов. Кроме того, в соответствии с техническими условиями необходимо предусмотреть перемычку до и после кабеля связи (20 м). С учетом вышеприведенных обстоятельств схема размещения прорезей представлена на рисунке 12. При данном расположении прорезей объем выемки составит 33122,5 м<sup>3</sup>.



Рис.12. Номера и размещение прорезей с учетом технологических разрывов

#### Расчет компенсационных выплат.

Данный вид работ, несомненно, оказывает воздействие на ихтиофауну водотока. Величину наносимого ущерба можно оценить с помощью методики расчета компенсационных выплат. По рыбохозяйственной классификации река относится к водным объектам первой категории, для которых норма допустимого вылова рыбы с одного гектара рыболовных угодий составляет 32,4 кг в год.

Сведения о структуре ихтиофауны, средне-штучной массе и базовой плотности (численности) рыбы по видам на территории исследуемого района приведены в таблице 6.

Средняя эксплуатационная производительность земснаряда типа «ЗС- 28Б» составляет 450 т/час. Для изъятия грунта допустимым количеством потребуется 140 часов непрерывной работы земснаряда, то есть вредное воздействие на ихтиофауну водотока будет осуществляться в течение 5,83 суток.

Ширина зоны сильного вредного воздействия установлена в 1000 м, зоны умеренного вредного воздействия – в 500 м. С учетом планируемой инженерно-хозяйственной деятельности, площади вредного воздействия рассчитаны для 3-х зон. Оценены суммарные площади вредного воздействия: - зона прямого уничтожения – 1,65 га; - зона сильного вредного воздействия – 13,78 га; - зона умеренного вредного воздействия – 6,20 га; - зона слабого вредного воздействия – 6,20 га.

Определенные площади нужно рассматривать как участки, которые не смогут давать рыбопродукцию и потомство от нее, на протяжении всех лет репродукционной способности части популяции.

В р. Припять на территории Пинского района на площади в 1 га в рыбном стаде обитает в среднем 1817 штук рыбы.

Ожидаемый ущерб планируемым в 2022 г. видом инженерно-хозяйственной деятельности на исследуемых участках русла, оценивается в 552 штуки рыбы на 1 га площади водотока. Коэффициент статуса территории на исследуемых участках равен 1 для всех видов рыбы, кроме включенного в «Красную книгу Республики Беларусь» рыба, для которого коэффициент равен 3. Суммарные компенсационные выплаты, за оказанное вредное воздействие на ихтиофауну р. Припять планируемых РУЭСР «Днепробугводпуть» работ по добыче НСМ на территории Пинского района Брестской области, оценены в 341 базовую величину.

**Мероприятия по снижению негативного воздействия.** Для повышения устойчивости русла к прогнозируемым планово-высотным деформациям, непосредственно в процессе разработки прорезей рекомендуется соблюдать следующие условия:

- длина прорезей не может превышать протяженность существующих русловых образований, созданных рекой в многолетнем разрезе и в период навигации 2022 г., поэтому до начала проведения планируемых работ необходимо уточнить размещение и длину мелководных участков русла;
- ширина углубления не должна нарушать устойчивость береговых откосов – на исследуемых участках со свободно меандрирующим типом руслового процесса она не может быть более 0,5 ширины русла по урезу воды межженного расхода 50 % обеспеченности;
- глубина разработки принимается от поверхности дна водотока и является средней толщиной снимаемого слоя грунта;
- выработку грунта следует начинать с нижнего участка разработки и постепенно перемещаться вверх против течения, что позволит взвеси образующейся при проведении работ, осажаться в разрабатываемой прорези;
- при проведении планируемых работ между последовательно расположенными прорезями необходимо оставлять неразработанные донные участки русла длиной около 10 м для местного искусственного базиса эрозии;
- прорези следует разместить на расстоянии не менее 5 м от берега, что позволит

минимизировать резкий обвал разрабатываемых мелководных участков русла и предотвратить обрушение береговых откосов.

В условиях возрастающего антропогенного воздействия на русловой процесс водотока, для уменьшения падения отметок уровня воды и дна русла инженерными способами стабилизации и рекультивации естественного режима р. Припять рекомендуется предусмотреть:

- создание ниже планируемых выработок НСМ искусственных местных базисов эрозии – затопленных шпунтовых стенок, донных порогов;
  - отсыпку на береговых откосах и в русло крупнозернистого материала;
  - создание искусственных зон для обитания ихтиофауны и др.
- Сроки выполнения работ по добыче НСМ должны исключать периоды нерестовых миграций и нереста рыб.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В основу определения естественного гидрологического режима р. Припять положена оценка существующего и прогнозируемого экологического стока, который обеспечивает функционирование водотока как экосистемы. Проведение работ по добыче нерудных строительных материалов вызывает изменения параметра русла, что в свою очередь приводит к изменению гидрологического режима. Так как нормальное функционирование водотока возможно при наличии в нем экологического стока, нами выполнена сравнительная оценка смоделированного экологического стока р. Припять на данном участке. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что планируемые работы по добыче нерудных строительных материалов не повлекут нарушение экологического состояния р. Припять. При этом в реке будет наблюдаться скорость течения воды выше, чем это необходимо для экологического стока, и в реке будут обеспечены условия для существования гидробионтов с одновременным сохранением необходимого качества воды.

Анализ численного моделирования продольного потока показал перераспределение скоростей в пределах прорезей и технологических разрывов. Изменения эпюры скоростей формируют участки со скоростью течения менее 0,3 м/с в пределах углубленной части прорези, и повышенные скорости (более 0,9 м/с) на участках технологических разрывов. Данная структура перераспределения скоростей повышает интенсивность отложений наносов, и при этом снижает скорость трансформации пространственного положения береговой линии русла по отношению антропогенным объектам.

Сопоставление цифровых моделей рельефа дна по состоянию на 2021...2022 годы позволило установить незначительную положительную тенденцию в образовании наносов на исследуемом участке. С учетом текущего рельефа дна и аналитически установленных участков потенциальной добычи нерудных материалов установлен объем возможного забора материала, который составил 33122,5 м<sup>3</sup>. Так как расчетный объем образования наносов в пределах данного участка составляет 11034 м<sup>3</sup>/год, то работы по забору нерудных материалов на данном участке реки возможно проводить не чаще одного раза в три года при обязательной повторной экологической оценке гидравлических и гидрологических процессов.

Суммарные компенсационные выплаты за вредное воздействие на ихтиофауну р. Припять планируемых РУЭСП «Днепробугводпуть» работ по добыче НСМ на территории Пинского района Брестской области, оценены в 10924,47 (десять тысяч девятьсот двадцать четыре) рубля 47 копеек.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волчек А.А. Гидрологические расчеты: учебное пособие. – Москва: КНОРУС, 2021. – 418 с.
2. Волчек А.А., Волчек А.А., Курсаков В.К. Инженерная гидрология и регулирование стока. Гидрологические и водохозяйственные расчеты. Учебное пособие. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2013. – 315 с.

3. Волчек А.А., Парфомук С.И. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока // Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – 2009. – №1. – С. 22-30.
4. Волчек А.А., Парфомук С.И., Шешко Н.Н., Шпендик Н.Н., Дашкевич Д.Н., Сидак С.В., Кухаревич М.Ф. Оценка влияния рыбхоза «Селец» на сток реки Ясельда // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2022. – № 1 (127): Геоэкология. – С. 83-85.
5. Волчек А.А., Шешко Н.Н. Оценка экологического стока реки Ясельда в створе водохранилища «Селец» // Современные проблемы очистки сточных вод и охраны ресурсов поверхностных вод в приграничье: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Брест, 24-25 сентября 2015 года) / гл. ред. Н.В. Михальчук. – Брест: Альтернатива, 2015. – С. 12-22.
6. Курушин А.А. Решение мультифизических СВЧ задач с помощью САПР COMSOL – М.: «One-Book», 2016. – 376 с.
7. Михневич Э.И. Пропускная способность русел регулируемых рек и водоотводящих каналов // Природная среда Полесья: особенности и перспективы развития: сб. науч. тр. Вып. 1: в 2 т. – Т. 2. Водные ресурсы Полесья. – Брест: Альтернатива, 2008. – С. 38-41.
8. Михневич Э.И., Левкевич В.Е. Устойчивость берегов водохранилищ при формировании профиля динамического равновесия в несвязных грунтах // Мелиорация. – 2016. – №4(78) – С. 18-23.
9. Официальный сайт ComsolMultiphysics. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.comsol.com/>, свободный.
10. Ошовский В.В., Охрименко Д.И., Сысоев А.Ю. Использование компьютерных систем конечно-элементного анализа для моделирования гидродинамических процессов // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Хімія і хімічна технологія, 2010. – Вип. 15(163). – С. 163-173.
11. Постановление Совета Министров Республики Беларусь. Об утверждении Положения о порядке определения размера компенсационных выплат и их осуществления: утв. 7 февраля 2008 года, № 168.

12. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения : ТКП 45-3.04-168-2009 (02250). – Мн.: Стройтехнорм, 2010. – 55 с.

## REFERENCES

1. *Volchek A.A.* Gidrologicheskie raschety: uchebnoe posobie. – Moskva: KNORUS, 2021. – 418 p.

2. *Volchek A.A., Volchek An.A., Kursakov V.K.* Inzhenernaya gidrologiya i regulirovanie stoka. Gidrologicheskie i vodokhozyaistvennye raschety. Uchebnoe posobie. – Gorki: Belorusskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya, 2013. – 315 p.

3. *Volchek A.A., Parfomuk S.I.* Paket prikladnykh programm dlya opredeleniya raschetnykh kharakteristik rechnogo stoka // *Vesnik Paleskaga dzhyzharzhaynaga universiteta. Seryya pryrodaznaŭchykh navuk.* – 2009. – №1. – P. 22-30.

4. *Volchek A.A., Parfomuk S.I., Sheshko N.N., Shpendik N.N., Dashkevich D.N., Sidak S.V., Kukharevich M.F.* Otsenka vliyaniya rybkhoza «Selets» na stok reki Yasel'da // *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta.* – 2022. – № 1 (127): *Geoekologiya.* – P. 83-85.

5. *Volchek A.A., Sheshko N.N.* Otsenka ekologicheskogo stoka reki Yasel'da v stvore vodokhranili-shcha «Selets» // *Sovremennye problemy ochistki stochnykh vod i okhrany resursov poverkhnostnykh vod v prigranich'e: materialy mezhdunar. iauch.-prakt. konf. (Brest, 24-25 sentyabrya 2015 goda) / gl. red. N.V. Mikhal'chuk.* – Brest: Al'ternativa, 2015. – P. 12-22.

6. *Kurushin A.A.* Reshenie mul'tifizicheskikh SVCh zadach s pomoshch'yu SAPRCOMSOL–M.: «One-Book», 2016. – 376p.

7. *Mikhnevich E.I.* Propusknaya sposobnost' rusel reguliruemykh rek i vodootvodyashchikh kanalov // *Prirodnaya sreda Poles'ya: osobennosti i perspektivy razvitiya: sb. nauch. tr. Vyp. 1: v 2 t. – T. 2. Vodnye resursy Poles'ya.* – Brest : Al'ternativa, 2008. – P. 38-41.

8. *Mikhnevich E.I., Levkevich V.E.* Ustoichivost' beregov vodokhranilishch

pri formirovani pro-filya dinamicheskogo ravnovesiya v nesvyaznykh gruntakh // *Melioratsiya.* – 2016. – №4(78) – P. 18-23.

9. Ofitsial'nyi sait ComsolMultiphysics. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.comsol.com/>, svobodnyi.

10. *Oshovskii V.V., Okhrimenko D.I., Sysoev A.Yu.* Ispol'zovanie komp'yuternykh sistem ko-nechno-elementnogo analiza dlya modelirovaniya gidrodinamicheskikh protsessov // *Naukovi pratsi DonNTU. Seriya: Khimiya i khimichnatekhnologiya,* 2010. – V. 15(163). – P. 163-173.

11. Postanovlenie Soveta Ministrov Respubliki Belarus'. Ob utverzhdenii Polozheniya o po-ryadke opredeleniya razmera kompensatsionnykh vyplat i ikh osushchestvleniya: utv. 7 fevralya 2008 goda, № 168.

12. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения : ТКП 45-3.04-168-2009 (02250). – Мн.: Stroitekhnorm, 2010. – 55 p.



**ASSESSMENT OF THE PERMISSIBLE EXTRACTION OF NON-METALLIC BUILDING MATERIALS FROM THE RIVERBED ON THE EXAMPLE OF THE PRIPYAT RIVER**

**A.A. Volchek** Doctor of Geographical Sciences, **S.I. Parfomuk** Ph.D, **N.N. Sheshko** Ph.D, **N.N. Shpendik** Ph.D, **S.V. Sidak**

*Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus*  
*E-mail: volchak@tut.by*

The article substantiates the possibility of carrying out work on the extraction of non-metallic building materials from the riverbed of the Pripyat River on the basis of comparing the existing flow and determining the predicted ecological flow of the river. The numerical simulation of the longitudinal flow has showed a redistribution of velocities within the slots and technological breaks, which form sections with a flow velocity of less than 0,3 m/s within the deepened part of the slot, and increased velocities of more than 0,9 m/s in the sections of technological breaks, which increases the intensity of sediment deposition. The volume of possible intake of material from the river amounted to 33122,5 m<sup>3</sup> has been established, which corresponds to carrying out work no more than once every 3 years with mandatory repeated environmental assessment of hydraulic and hydrological processes. The total compensation payments for the harmful effects of the planned works on the ichthyologic fauna of the Pripyat River in the Pinsk district of the Brest region have been determined.

**Key words:** non-metallic building materials, ecological runoff, modelling, forecast, Pripyat

**ПРИПЯТЬ ӨЗЕНІ МЫСАЛЫНДА СОТТАН МЕТАЛЛ ЕМЕС ҚҰРЫЛЫС МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ РҰҚСАТ АЛУЫН БАҒАЛАУ**

**А.А. Волчек** т.ғ.д., **С.И. Парфомук** т.ғ.к., **Н.Н. Шешко** т.ғ.к., **Н.Н. Шпендик** т.ғ.к., **С.В. Сидак**

*Брест мемлекеттік техникалық университеті, Брест қ., Беларусь Республикасы*  
*E-mail: volchak@tut.by*

Мақалада қолданыстағыларды салыстыру және өзеннің болжамды экологиялық ағынын анықтау негізінде Припять өзенінің арнасынан металл емес құрылыс материалдарын алу бойынша жұмыстарды жүргізу мүмкіндігі негізделеді. Бойлық ағынды сандық модельдеу слоттар мен технологиялық үзілістер ішіндегі жылдамдықтардың қайта бөлінуін көрсетті. Олар ойықтың ойық бөлігінің шегінде ағынының жылдамдығы 0,3 м/с төмен және технологиялық үзілістер аймақтарында 0,9 м/с жоғары жылдамдықтары бар учаскелерді құрайды. Бұл тұнбаның тұндыру қарқындылығының артуына әкеледі. Өзеннен мүмкін болатын материалды алу көлемі белгіленді, ол 33122,5 м<sup>3</sup> құрады, бұл гидравликалық және гидрологиялық процестерді міндетті қайталама экологиялық бағалаумен 3 жылда 1 реттен көп емес жүргізілетін жұмыстарға сәйкес келеді. Брест облысының Пинск ауданындағы Припять өзенінің ихтиофаунасына жоспарланған жұмыстардың зиянды әсері үшін жалпы өтемақы төлемдері анықталды.

**Түйін сөздер:** металл емес құрылыс материалдары, қоршаған орта ағыны, модельдеу, болжау, Припять

УДК 556 (574.9)

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЗЕР ЮЖНОГО ПРИАРАЛЬЯ  
(НА ПРИМЕРЕ ШЕГЕКУЛЬ)

С.Б. Калабаев

*Кафедра гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды, гидрометеорологический факультет, НУУз им. Мирзо Улугбека, г.Ташкент, Республика Узбекистан  
Email: salauat.kalabayev@mail.ru*

Статья посвящена изучению морфометрических особенностей озер, расположенных на территории Каракалпакстана. При этом использовалась стандартная платформа Google Earth и программное обеспечение SAS Planet. Выявлены колебания уровней и площадей зеркала озер в зависимости от водности реки Амударьи. На следующем этапе исследования изучался водный баланс озера. Изучение элементов водного баланса озер Южного Приаралья дает возможность определить тенденции к уменьшению или увеличению их объема воды за расчетный интервал времени.

**Ключевые слова:** озера, уровень воды, площадь зеркала озер, длина и изрезанность береговой линии, средняя и максимальная глубина, колебания уровней и площадей

Поступила: 15.08.2022

DOI: 10.54668/2789-6323-2022-105-2-25-31

**ВВЕДЕНИЕ**

До недавнего времени, то есть 40...50 лет тому назад, Южное Приаралье отличалось широким распространением озер различного происхождения. Самые крупные из этих озер до 60-х годов минувшего столетия в основном подпитывались Амударьинской водой. Здесь исключением являются отдельные мелкие озера, расположенные вдоль береговой зоны Аральского моря, так как они питались за счет притока морской воды под влиянием волнения, фильтрации и других факторов (Курбаниязов А.К., 2017; Науменко М.А. и др., 2012).

Наиболее подробное описание гидрологических и морфометрических характеристик озер, рассматриваемого региона, представлены в работах Бондаря В.А. (Бондарь В.А., 1975), Никитина А.М. (Никитин А.М., Бондарь В.А., 1975), Духовного В.А., Паевский В.А. (Паевский В.А. и др., 2009; Науменко

М.А., 2011) и других. Эти исследования минимум 10-20-летней давности.

Последние исследования изучаемого водоема проводятся САВА и НИЦ МКВК. В ноябре 2011 года НИЦ МКВК организовал экспедицию по проекту "САВА". Всего за время экспедиции было изучено 12 водоемов. Нами по материалам экспедиционных исследований было изучено озеро Шегекуль - Междуреченское водохранилище. Площадь открытой водной поверхности озера изменилась от 10306 га до 501 га, а площадь ветландов от 18061 га до 23940 га по данным 2010...2011 гг.

Таким образом, площадь водной поверхности с апреля по сентябрь уменьшилась практически на 9,1 тыс. га, а площадь ветландов за этот же период времени увеличилась на 22,2 тыс. га.

Целью данного исследования является определение основных морфометрических параметров озера Шегекуль при его современном состоянии (рис. 1).



Рис.1. Схема расположения озера Шегекуль или Междуреченского водохранилища

Этот небольшой водоем расположен между речным руслом Акдарьи и высохшим руслом Кипчакдарьи. После перекрытия дамбой русла Акдарьи, увеличилась площадь водного зеркала Шегекуль и образовалось Междуреченское водохранилище.

Междуреченское водохранилище (бывшее оз. Шегекуль) является первым водохранилищем, которое принимает речной сток и перераспределяет его по другим водным объектам. Оно является важным водным объектом низовьев реки Амударьи так как режим остальных водоемов зависит от его водных ресурсов.

Общая площадь озера Шегекуль – Междуреченского водохранилища, по данным космических снимков за 2019 года составляет 25 тысяч га. В состав Междуреченского водохранилища входят следующие водохозяйственные объекты: Северная и Восточная дамбы, Головное сооружение канала Главмясо, Головное сооружение канала Маринкинузак, Боковой водослив и 11 паводковых прорезей. Несмотря на небольшую глубину при максимальном объеме 250 млн м<sup>3</sup>, Междуреченское водохранилище имеет большое значение в управлении и использовании водных ресурсов в дельте реки Амударьи (Курбанов А.Р. и др., 2020; Рогов М.М. и др., 1968).

Как известно, к числу основных морфометрических характеристик озера относятся площадь зеркала озера, длина и изрезанность береговой линии, глубина, объем водной массы и форма озёрной котловины.

Площадь водной поверхности озера ( $F_0$ ) ограничена изобатой «0», которая является береговой линией. Этот показатель можно оценить с островами или исключая их. Длина озера ( $L_0$ ) является одним из ключевых измерений водной поверхности. Ширина озера ( $B_0$ ) определяется различными расчетными способами для сравнения конкретной группы озер. Максимальная ширина и средняя ширина озер отличаются своими числовыми значениями. Объем озера ( $V_0$ ) – это водовместимость его чаши или количество воды в озере. Его значение определяется выражением:

$$V_0 = \frac{\Delta h \cdot \sum_{i=0}^n (f_i + f_{i+1})}{2} + \frac{\Delta h' \cdot f_n}{3}, \quad (1)$$

где  $\Delta h$  – разница изобат;  $\Delta h'$  – разница между максимальной глубиной и отметкой последней изобаты;  $i = 0, 1, \dots, n$  число изобат;  $f_i, f_{i+1}, \dots, f_n$  площади, ограниченные изобатами.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Максимальная глубина озера ( $h_{max}$ ) определяется путем сравнения данных, собранных в результате измерения глубины озера. Средняя глубина озера рассчитывается как отношение объема воды в озере ( $V_o$ ) к площади водной поверхности озера ( $F_o$ ):

$$h_{cp} = \frac{V_o}{F_o} \quad (2)$$

Важно отметить, что почти все эти показатели меняются в зависимости от изменения уровня воды в озере. В настоящее время, в связи с развитием ГИС технологий, составить кадастр озер по морфометрическим параметрам

не составляет особой трудности.

Для осуществления поставленной цели, в работе были использованы платформа Google Earth и программа SAS Planet. Координаты озера установлены с помощью программой SAS Planet (2019).

Длина озера, длина береговой линии, максимальная ширина и площадь зеркала определены платформой Google Earth (2020). По полученным результатам составлен кадастр озера и определены их следующие морфометрические параметры: длина озера, длина береговой линии, максимальная ширина, площадь зеркала (табл.1).

Таблица 1

Морфометрические показатели озера Шегекуль

№	Годы	Длина, км	Длина береговой линии, км	Максимальная ширина, км	Площадь, км <sup>2</sup>	Уровень воды, м
1	2000	6,70	24,0	1,75	9,00	53
2	2005	20,0	94,0	10,0	132	55
3	2010	23,0	85,0	11,0	176	56
4	2015	18,0	100	9,0	87	55
5	2020	17,0	72,0	4,3	70	53

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По состоянию на конец августа 2019 года озеро Шегекуль имеет следующие параметры: площадь водной поверхности 250 км<sup>2</sup>, объем воды 218,0 млн. м<sup>3</sup>, длина 20,9 км и длина береговой линии 104,0 км. Наиболее глубоководная часть водохранилища находится в центральной и северо-западной частях озера. По данным многолетних наблюдений горизонт воды на озере колеблется от 52,20... 57,30 м БС. Максимальная глубина составляет 5,5...6 м, а средняя глубина 0,9...2,1 м. В маловодные 2000...2001 годы озеро практически пустовало и горизонт воды в русловой емкости находился на отметке 54,00 м БС. Морфометрические характеристики озер, существующие за счет речных вод, зависят от величины речного стока проходящего через створ Кызылджар.

На следующем этапе исследования изучался водный баланс озера. Изучение элементов водного баланса озер Южного

Приаралья дает возможность определить тенденции к уменьшению или увеличению объема их водной массы за расчетный интервал времени. Это важно при организации эффективного использования водных ресурсов озер в различных отраслях экономики.

В работе расчет элементов водного баланса озера Шегекуль произведен на основе гидрометеорологических материалов с использованием следующего уравнения:

$$X + Y + Y_{cp} + K = Y_{cm} + Z + Y_{\phi} \pm \Delta W \quad (3)$$

где X – сумма осадков, выпадающих на поверхность озера, Y – приток поверхностных вод, Y<sub>гр</sub> – приток грунтовых вод, K – конденсация водяных паров атмосферы на поверхность озера, Z – испарение с поверхности водоема, Y<sub>ст</sub> – русловой сток, Y<sub>ф</sub> – фильтрация, W – изменение объема воды в озера за расчетный интервал времени.

Расчет объема атмосферных осадков равный:

$$X = F * X_{2018} = 150 * 10^6 \text{ м}^2 * 0,136 \text{ м} = 20,4 * 10^6 \text{ м}^3 \quad (4)$$

где  $F_{\text{оз}}$  – площадь водного зеркала,  $X_{2018}$  – годовая сумма слоя атмосферных осадков.

**Расчет поверхностного притока.** Фактическая подача поверхностных речных вод в расчетном году по данным “БВО Амударья”, в озера Шегекуль составляет 307,61 млн м<sup>3</sup>.

**Расчет подземного притока.** Вопрос о колебании запасов подземных вод, скорости и направлений их движения является довольно сложным и точной количественной оценке не поддается. Подзем-

ный приток по данным “Гидроингео” в озере Шегекуль составляет 0,26 млн м<sup>3</sup>.

Русловой отток из оз. Шегекуль, осуществляемый через каналы и сооружения (Казакдарья, Маринкин-узек, Главмясоузек, Борт водослив У4С-сооружение) по данным Управления дамбовых сооружений Приаралья, составляет 9,65 млн м<sup>3</sup>/год [10].

**Испарение с поверхности водоема.** Испарение с поверхности озера рассчитывалось с использованием формулы Б.Д.Зайкова:

$$Z = 0,15 * n * C * d_{200}^{0,78} * (1 + 0,72 * V_{200}), \text{ мм/месяц} \quad (5)$$

где  $n$  – число дней в месяце,  $d_{200}$  – дефицит влаги на высоте 2 м,  $V_{200}$  – средняя скорость ветра,  $C$  – географический параметр, зависящий от

поверхности воды и температуры воздуха. Для пустынной и полупустынной зоны Средней Азии его значение составляет 1,2 (таблица 2).

Таблица 2

Расчет испарения с поверхности водоема в зависимости от температуры воздуха

Расчетные элементы	Месяцы									
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
$n$	31	30	31	30	31	31	30	31	30	
$0,15 \cdot n \cdot C$	5,6	5,4	5,6	5,4	5,6	5,6	5,4	5,6	5,4	
$d_{200}^{0,78}$	1,58	3,5	5,55	8,0	8,9	8,0	5,2	2,9	1,37	
$1 + 0,72 \cdot V_{200}$	3,5	3,6	3,4	3,2	3,0	3,0	3,0	3	3,0	
$Z, \text{ мм}$	31	68	106	138	149	134	84	49	22	

Из таблицы видно, что годовое количество испарения с поверхности озера составляет 781 мм или  $Z = 117,2$  млн м<sup>3</sup>.

Согласно, В.А.Духовному объем потери стока с площади (заросшие тростником) ветландов составляет 25000 га×12000 м<sup>3</sup>/га –

300,0 млн м<sup>3</sup> (Духовный В.А., 2003).

**Фильтрация.** Отток подземных вод по данным “Гидроингео” составляет 0,26 млн м<sup>3</sup>.

Результаты расчетов по количественной оценке приходной и расходной части водного баланса приведены в таблице 3.

Таблица 3

Количественные значения элементов водого баланса оз. Шегекуль (Междуреченское водохранилище)

Приходная часть			Расходная часть		
	млн м <sup>3</sup>	%		млн м <sup>3</sup>	%
Осадки	20,4	6,2	Испарение	117,2	27,44
Поверхностный приток	307,61	93,7	Поверхностный сток (Русловой сток)	9,65	2,26
Подземный приток	0,26	0,08	Фильтрация	0,26	0,061
			Расход на площади (заросшие тростником) ветландов	300,0	70,24
Всего	328,27	100	Всего	427,11	100
Невязка баланса – 98,84					

Как видно из таблицы 2, результаты оценки водного баланса за 2018 год показали отрицательный баланс – 98,84 млн м<sup>3</sup>. Так как согласно результатам выполненных расчетов, годовой объем приходной части водного баланса составляет 328,27 млн м<sup>3</sup>, а объем расходной части составляет 427,11 млн м<sup>3</sup>.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты расчетов элементов водного баланса оз. Шегекуль показали, что основу его приходной части составляет поверхностный приток и атмосферные осадки. Их относительные значения составляют, соответственно, 93,7% и 6,2%. Основная часть расходов эта испарение водной поверхности и расход воды с площадей заросших тростниками -ветландов соответственно 27,44% и 70,24%. Следует отметить, что количественные значения элементов водного баланса озера Шегекуль меняются в зависимости от притока воды в Приаральский регион по р. Амударье.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бондарь В.А.* Современное состояние устьевой области в дельтовых озерах Амударьи // Труды САРНИГМИ, вып 2(83). - Л.: Гидрометеиздат. 1975. – С. 62-70.
2. *Курбаниязов А.К.* Эволюция ландшафтов обсохшего дна Аральского моря: монография. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2017. – 148 с.
3. *Курбанов А.Р., Ким С.И., Мустафаева З.А., Титова Н.О.* Комплексное изучение современного экологического состояния естественных водоемов Республики Каракалпакстан // Научные труды Дальрыбвтуза № 4 (54) Владивосток. – 2020. – С. 28-42.
4. *Никитин А.М., Бондарь В.А.* О динамике озер дельты р. Амударьи // Труды САРНИГМИ вып. 25 (106), 1975. – С. 86-92.
5. *Науменко М.А.* Анализ морфометрических характеристик подводного рельефа Ладожского озера на основе цифровой модели. // Изв. РАН. Серия геогр. – 2011. – № 5. – С. 85-96.
6. *Науменко М.А., Зелионко А.В., Стрелкалова З.В.* Опыт создания цифровой морфо-

метрической модели малого озера на основе высокоточного эхолотирования. // Ученые записки РГГМУ, 2012. – № 25. – С. 35-40.

7. *Паевский В.А., Виноградова Н.В., Шаповал А.П., Шумаков М.Е., Яблонкевич М.Л.* Материалы по гнездовой орнитофауне низовьев Амударьи и озера Каратерен // Русский орнитологический журнал 2009, Том 18, Экспресс-выпуск 523. Санкт-Петербург. – 2009. – 1920-1928 с.
8. *Рогов М.М., Ходкин С.С., Ревина С.К.* Гидрология устьевой области Амударьи. -М.: Гидрометиздат, 1968. – 149 с.
9. Южное Приаралье – новые перспективы. Под редакцией проф. В.А.Духовного. – Ташкент, 2003. – 154 с.
10. *Хикматов Ф.Х. Калабаев С.Б.* О водном балансе озер южного приаралья (на примере Шегекуль) / Қазақстан тәуелсіздігіне 30 жыл толуынаарналған «Ғылым және білім: ізденіс, міндеттер, болашақ» тақырыбындағы VI республикалық ғылыми-практикалық конференциясының материалдары Тараз, 2021. – С. 27-30

## Отчет

О мониторинге дельты реки Амударьи и осушенного дна Аральского моря по проекту «САВА» – «Динамика изменения поверхностных и подземных вод в дельте Амударьи и на осушенном дне Аральского моря» (за период с июня 2009 по декабрь 2011 гг.).

## REFERENCES

1. *Bondar V.A.* Sovremennoe sostoyanie ustevoy oblasti v deltovykh ozer Amudari // Trudy SARNIGMI, vyp 2(83). - L.: Gidrometeoizdat, 1975. - P. 62-70.
2. *Qurbaniyazov A.K.* Evolyutsiya landshaftov obsoxshogo dna Aralskogo morya: monografiya. – M.: Izdatelskiy dom Akademii Estevoznaniya, 2017. – 148 p.
3. *Kurbanov A.R., Kim S.I., Mustafaeva Z.A., Titova N.O.* Kompleksnoe izuchenie sovremennogo ekologik sostoyaniya esdastvennykh vodoemov Respublikasi Karakalpakstan // Nauchnye trud Dalrybvtuza № 4 (54) Vladivostok, 2020. - P. 28-42.

4. Nikitin A.M., Bondar V.A. O dinamike ozer delty r. Amudari // Trudy SARNIGMI vyp. 25 (106). 1975. – P. 86-92.  
5. Naumenko M.A. Analiz morfometricheskix xarakteristikasi podvodnogo relefa Ladojskogo ozera na osnove tsifrovoy modellari. // Izv. RAN. Seriya geogr., 2011. - № 5. - p. 85–96.  
6. Naumenko M.A., Zelionko A.V., Strekalova Z.V. Opyt sozdaniya tsifrovoy morfometricheskoy modellari kichik ozera na osnove vysokotochno eholotirovaniya. // Uchenye zapiski RGMU, 2012. - № 25. - p. 35–40.  
7. Paevskiy V.A., Vinogradova N.V., Shapoval A.P., Shumakov M.E., Yablonkevich M.L. Materialy po gnezdovoy ornitofaune nizovyev Amudari i ozera Karateren // Russkiy ornitologicheskiy jurnal 2009, Tom 18, Ekspress-vypusk 523. Sankt-Peterburg. 2009. - 1920-1928 p.  
8. Rogov M.M., Xodkin S.S., Revina S.K.

Gidrologiya ustevoy olbasti Amudari. -M.: Gidrometizdat, 1968. - 149 p.  
9. Yujnoe Priarale – novye perspektivy. Pod redaktsiey prof. V.A.Duxovnogo. – Tashkent, 2003. - 154 p.  
10. Xikmatov F.X. Kalabaev S.B. O vodnom balanse ozer yujnogo priaralya (na primere Shegekul) / Qozog’iston mustaqilligiga 30 yil to’lishiga arnalgan «G’lim va bilim: izlanish, vazifalar, kelajak» mavzusidagi VI respublika ilmiy-amaliy konferentsiyasining materiallari Taraz. 2021 yil 12 aprel. 27-30 p.

#### **Otchet**

O monitoringe delty reki Amudari i osushennogo dna Aralskogo morya po proektu «CAWA» – «Dinamik izmeneniya poverxnostnyh va podzemnyh vod v v. delte Amudari i na osushennom dne Aralskogo morya» (za period s iyunya 2009 po dekabr 2011 gg).

### **ОҢТҮСТІК АРАЛ БОЙЫ КӨЛДЕРІНІҢ МОРФОМЕТРИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІ (ШЕГЕКӨЛ МЫСАЛЫНДА)**

**С.Б. Калабаев**

*Гидрометеорология және қоршаған орта мониторингі кафедрасы, Гидрометеорология факультеті, Мирзо Ұлықбек атындағы Ұзбекистан Миллий университети, Ташкент қаласы, Өзбекстан Республикасы*  
Email: salauat.kalabayev@mail.ru

Мақала Қарақалпақстан аумағында орналасқан көлдердің морфометриялық ерекшеліктерін зерттеуге арналған. Бұл стандартты Google Earth платформасын және SAS Planet бағдарламалық жасақтамасын қолданды. Амудария өзенінің сулылығына байланысты көлдер айнасының деңгейлері мен аудандарының ауытқуы анықталды. Зерттеудің келесі кезеңінде көлдің су балансы зерттелді. Оңтүстік Арал бойы көлдерінің су балансы элементтерін зерттеу есептік уақыт аралығында олардың су көлемінің азаю немесе ұлғаю үрдісін анықтауға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** көлдер, су деңгейі, көлдер айнасының ауданы, жағалау сызығының ұзындығы мен кемуі, орташа және максималды тереңдігі, деңгейлер мен алаңдардың ауытқуы.

### **MORPHOMETRIC PARAMETERS OF LAKES IN AREA OF THE SOUTHERN ARAL (FOR EXAMPLE SHEGEKUL LAKE)**

**S.B. Kalabaev**

*Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Hydrometeorology Faculty, Mirzo Ulugbek named NUUz, Tashkent, Republic of Uzbekistan*  
Email: salauat.kalabayev@mail.ru

The article is devoted to the study of morphometric features of lakes located on the territory of Karakalpakstan. At the same time, the standard Google Earth platform and SAS Planet software were used. Fluctuations in the levels and areas of lake mirrors depending on the water content of the Amu Darya River are revealed. At the next stage of the research, the water balance of the lake was studied. The study of the elements of the water balance of the lakes of the Southern Aral Sea region makes it possible to determine trends towards a decrease or increase in their water volume over a calculated time interval.

**Keywords:** lakes, water level, lake mirror areas, length and roughness of the coastline, average and maximum depth, fluctuations in levels and areas.



УДК 630.2; 556.5 (571.51)

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ ВОДОСБОРА БАССЕЙНА  
ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ ШУ

<sup>1</sup>Ж.С.Мустафаев<sup>1</sup> д.т.н., профессор, А.Т.Козыкеева<sup>2</sup> д.т.н., доцент, С.Д.Даулетбай<sup>3</sup>

<sup>1</sup>АО «Институт географии и водной безопасности», г. Алматы, Казахстан

E-mail: ingeo@mail

<sup>2</sup>Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, Казахстан

E-mail: info@kaznau.kz

<sup>3</sup>Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

E-mail: into@tarsu.kz

Анализ изменения гидрологических показателей водосбора бассейна трансграничной реки Шу в пространственно-временном аспекте, на основе информационно-аналитических материалов гидрологических постов Кочкарка, Орто-Токай, Милянфан, Тасотколь, Фурмановский гидроузел и Уланбель за длительный период наблюдений, охватывающих 1931...2020 гг., показывает наличие их постоянных колебаний по годам под влиянием природных и антропогенных факторов. Гидрологический режим водосбора бассейна трансграничной реки Шу в пространственно-временном масштабе с положительным или отрицательным трендами среднегодового расхода воды определяется общим характером природных факторов и меняется в связи с усилением антропогенной деятельности на речные системы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что на горных и предгорных географических зонах влияние природных и антропогенных факторов менее выражено, чем в предгорно-равнинных и пустынных зонах водосбора бассейна трансграничной реки Шу.

**Ключевые слова:** гидрологический режим, природный и антропогенный фактор, изменчивость, среднегодовой расход воды, речной бассейн, линейный тренд.

Поступила: 12.09.2022

DOI: 10.54668/2789-6323-2022-105-2-32-46

## ВВЕДЕНИЕ

В природной системе формирования и функционирования водосборной территории речных бассейнов, выполняющих экологические, экономические и социальные функции, имеют особую ценность и значимость для жизнедеятельности, так как они являются пространственным базисом народонаселения и производственной деятельности человека. При этом для оценки среднесуточного стока с водосбора речных бассейнов, как компонентов природной системы, являющихся прикладной функцией многолетних величин годовых атмосферных

осадков и среднегодовых температур воздуха в пространственно-временном масштабе, характеризующих процессы влаго и теплообмена и подчиняющихся закону сохранения энергии, которое свойственно для конкретной географической зоны, необходимо выявить роль климатических и антропогенных факторов, как функцию отклика средообразующей деятельности речных бассейнов. Цель исследования – оценка изменчивости гидрологического режима бассейна реки Шу в пространственно-временном масштабе для выявления вклада природного и антропогенного факторов в их средообразующей деятельности.

Объект исследования – водосбор бассейна трансграничной реки Шу, формирующийся из ледников Терсей-Алатоо и Кыргызского хребта на территории Кыргызской Республики и зоны маганизирования, где расположены пески Мойынкума Республики Казахстан. Площадь водосборной территории бассейна реки Шу составляет 62500 км<sup>2</sup> и длина 1067 км, которая охватывает горную, предгорную, равнинную и пустынную географические зоны, можно рассматривать как природно-техногенную модель водосбора речного бассейна, для изучения динамики природной и антропогенной деятельности на формирование гидрологического профиля бассейна (Кирейчева Л.В., Козыкеева А.Т., Даулетбай С.Д., 2016; Мустафаев Ж.С., Козы-кеева А.Т., Камалиев А.М., 2019).

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.**

Для выявления особенностей формирования гидрологического режима трансграничной реки Шу в пространственно-временном аспекте, на основе информационно-аналитических материалов «Ресурсы поверхностных вод...» и «Государственный водный кадастр.....» и «Основные гидрологические характеристики...» СССР и «Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши...» Кыргызской Республики и Республики Казахстан, создана база исследования, охватывающая 1931...2020 гг., которая включает ряды наблюдений с различными гидрологическими и климатическими обстановками (Ресурсы поверхностных вод СССР, 1969, 1977, 1979; Государственный водный кадастр, 1987, 1997, 2005, 2015).

Проблемы оценки изменчивости гидрологического режима речных бассейнов в условиях изменчивости климата, под влиянием природных факторов и антропогенной деятельности, требуют необходимости многофакторного аналитического исследования.

Для долгосрочного прогнозирования

воздействия на формирование водных ресурсов с целью обеспечения водной безопасности региона использована методология научного познания и, широко применяемые в научных исследованиях, статистический и системный анализы (Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Камалиев А.М., 2019; Mustafayev Zh.S., Ryskulbekova L.M., 2022).

При оценке изменчивости гидрологического режима бассейна трансграничной реки Шу для восстановления пропусков рядов наблюдений и обработки временных рядов для определения их статистического параметра, построения трендов среднегодового расхода воды и коэффициента линейных трендов использованы электронные таблицы 2000 в программе Microsoft Excel.

Результаты исследования. Для выявления региональных и локальных особенностей гидрологического режима территории водосбора бассейна реки Шу проанализирована в пространственном и временном аспекте динамика стока на шести гидрологических постах на основе геоморфологической схематизации природной системы (Кирейчева Л.В., Козыкеева А.Т., Даулетбай С.Д., 2016):

- с. Кочкорка, расположенного в горном классе ландшафтов (элювиальная фация) – в зоне формирования стока;
- с. Орто-Токой, расположенного в предгорном классе ландшафтов (трансэлювиальная фация) – в зоне трансформации стока;
- с. Милянфан, расположенного в предгорном равнинном классе ландшафтов (трансак-кумулятивная фация) – в зоне ослабления скорости трансформации и появления признаков аккумуляции стока;
- с.Тасотколь и Фурмановский гидроузлы, расположенных в равнинном классе ландшафтов (супераквимальная фация) – в зоне аккумуляции стока.
- с. Уланбель, расположенного равнинном классе ландшафтов (субаквимальная фация) – в зоне аккумуляции стока, примыкающих к водотоку.

При формировании базы данных по гидрологическому режиму водосбора бассейна трансграничной реки Шу для восстановления пропусков наблюдений за среднегодовыми расходами воды, на основе регрессионного метода по данным индикаторов, имеющих естественный режим за весь период наблюдений, то есть

по гидрологическому посту с. Орто-Токой Кыргызской Республики и гидрологическому посту с. Тасотколь Республики Казахстан, получены регрессионные гидрологические модели, характеризующие зависимости среднегодовых расходов между гидрологическими постами (таблица 1).

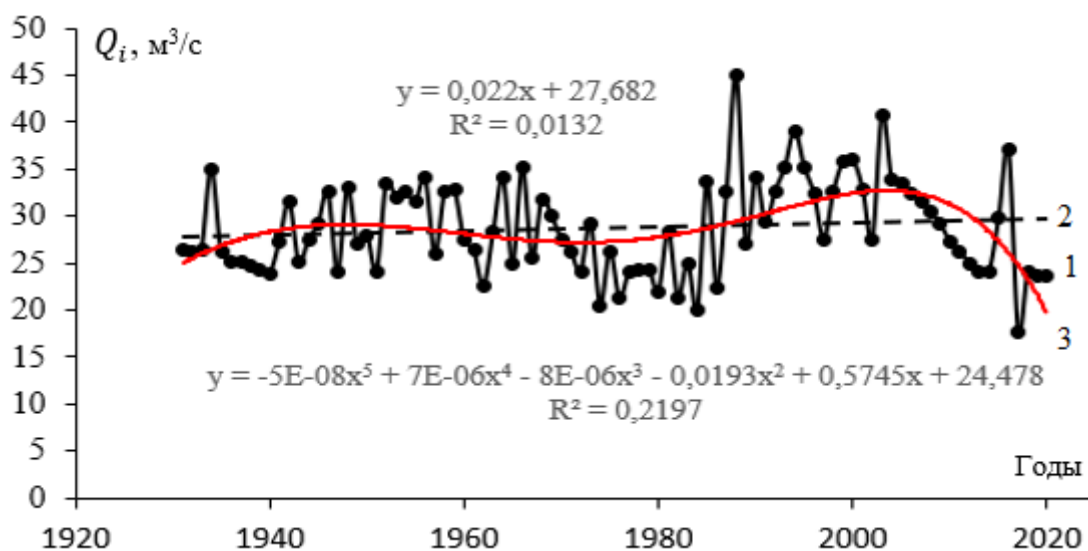
Таблица 1

Регрессионные гидрологические модели, характеризующие зависимости среднегодовых расходов между гидрологическими постами водосбора бассейна трансграничной реки Шу

Исследуемый пункт (река и гидрологический пост)	Характеристика периода	Уравнение регрессии	Годы совместных наблюдений	Коэффициент регрессии
р. Шу – с. Орто-Токой (пункт -аналог)				
Шу - с. Кочкарка	естественный	$Q_i = 0,866 \cdot Q_{ai} + 3,49$	1931...1963	0,87
	технический	$Q_i = 0,778 \cdot Q_{ai} + 6,77$	1995...2020	0,83
Шу - с. Милянфан	естественный	$Q_i = 1,073 \cdot Q_{ai} - 5,39$	1931...1963	0,85
	технический	$Q_i = 0,820 \cdot Q_{ai} - 0,71$	1995...2020	0,98
Шу - с. Тасотколь	естественный	$Q_i = 2,238 \cdot Q_{ai} + 2,31$	1931...1963	0,84
	технический	$Q_i = 2,484 \cdot Q_{ai} - 2,90$	1995...2020	0,75
р. Шу – с. Тасотколь (пункт -аналог)				
Шу - с. Фурмановка	естественный	$Q_i = 1,058 \cdot Q_{ai} - 7,59$	1931...1963	0,93
	технический	$Q_i = 1,196 \cdot Q_{ai} - 22,44$	1995...2020	0,86
Шу – с. Уланбель	естественный	$Q_i = 0,659 \cdot Q_{ai} - 6,26$	1931...1963	0,91
	технический	$Q_i = 1,127 \cdot Q_{ai} - 41,12$	1995...2020	0,85

Оценка тенденции в многолетнем ходе среднегодового расхода воды реки Шу проводилась по всем гидрологическим постам в пространственно-временном масштабе (рисунки 1...6) на основе построения графиков, характеризующих тренды среднегодового расхода рек и коэффициентов линейных трендов, которые осуществлены при обработке временных рядов этих величин в программе Microsoft Excel. Анализ графиков линейных трендов среднегодового расхода воды водосбора

бассейна реки Шу по гидрологическому посту Кочкарка, расположенного в горном классе ландшафтов (элювиальная фация) в зоне формирования стока показывает (рисунок 1), что рост среднегодового расхода воды за исследуемый период (1931...2020 гг.) составляет 2,59 м<sup>3</sup>/с за 80 лет и совпадает с тенденциями годовых атмосферных осадков метеорологической станции Тюя-Ашу (Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Камалиев А.М., 2019).



**Рис.1.** Хронологический график изменения расхода воды в реке Шу в створе с. Кочкарка за пе-риод 1931...2020 гг. Шу-Таласского водохозяйственного бассейна (ордината – средне-годовой расход воды, м³/с; абсцисса - годы) (черная линия -исходный ряд; черная штрихо-вая линия - ли-нейный тренд; красная линия- полиномиальный тренд 5-го порядка).

Таким образом, гидрологический режим водосбора бассейна реки Шу определяется общим характером увлажнения в горном классе ландшафтов (элювиальная фация) в зоне формирования стока, являющийся следствием климатических трендов, который перекрывает влияние всех других факторов. Изменение среднегодового расхода воды водосбора бассейна реки Шу по гидрологическому посту Орто-Токой (рисунок 2), расположенного в предгорном классе ландшафтов (трансэлювиальная фация) в зоне трансформации стока за исследуемый период (1931...2020 гг.) составляет 1,22 м³/с за 90 лет, что объясняется совместным влиянием климатических факторов и антропогенной деятельности, связанной со строительством и эксплуатацией Орто-Токойского водохранилища.

Природные процессы и, в том числе гидрологические, являются многофакторными и многоциклическими, требующими изучения их в пространственно-временном масштабе, характеризующиеся определенными природно-климатическими условиями, выраженными фазой циклических колебаний среднегодового

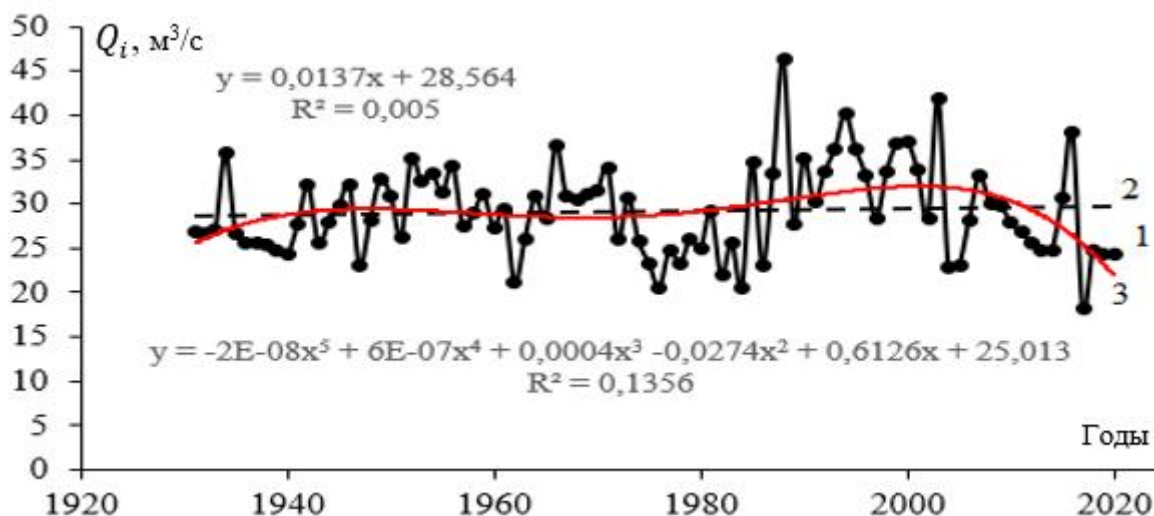
расхода воды водосбора бассейна реки Шу в конкретный отрезок времени.

С математической точки зрения любой временной ряд, то есть многолетний ход изменения среднегодового расхода воды водосбора бассейна реки Шу можно представить в виде циклической составляющей, которая представляет собой волновой колебательный процесс, описываемый синусоидой – строгой математической функцией, в виде полиномиальной функции пятой степени, характеризующей полный цикл колебания стока реки, который состоит из двух маловодных и двух многоводных фаз и составляет 360°.

Фазовые углы колебания среднегодового расхода воды водосбора речных бассейнов от 0° до 90° и от 270° до 360° соответствует подъему водности рек, а фазовые углы от 90° до 270° – ее спаду (рисунки 1 и 2).

При этом следует отметить, что водность в горном классе ландшафтов (элювиальная фация) в зоне формирования стока и в предгорном классе ландшафтов (трансэлювиальная фация)

в зоне трансформации стока водосбора гармоникой, являющейся в основном бассейна реки Шу описывается одной следствием климатических факторов.



**Рис.2.** Хронологический график изменения расхода воды в реке Шу в створе с.Орто-Токой за период 1931...2020 гг. Шу-Таласского водохозяйственного бассейна (ордината – среднегодовой расход воды, м<sup>3</sup>/с; абсцисса - годы) (черная линия -исходный ряд; черная штриховая линия - линейный тренд; красная линия- полиномиальный тренд 5-го порядка).

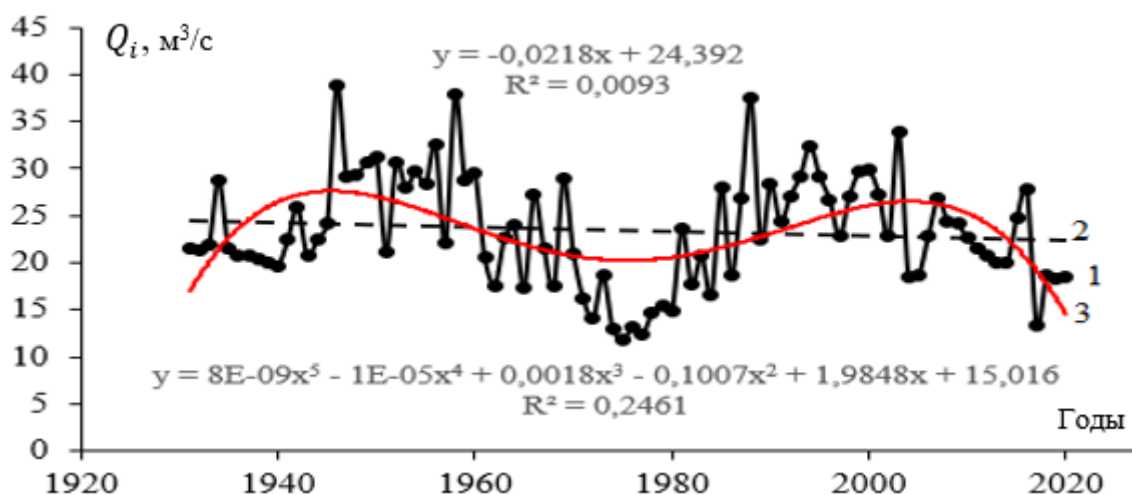
Динамика изменения среднегодового расхода воды водосбора бассейна реки Шу по гидрологическому посту Миляфан, расположенного в предгорном равнинном классе ландшафтов (трансаккумулятивная фация) в зоне ослабления скорости трансформации и появления признаков аккумуляции стока показывает, что за исследуемый период (1931...2020 гг.) составляет 1,95 м<sup>3</sup>/с за 90 лет, что объясняется совместным влиянием природных факторов и антропогенной деятельности, связанной с использованием водных ресурсов для отраслей экономики Кыргызской Республики и Республики Казахстан (рисунок 3).

Ритмические многолетние колебания среднегодового расхода воды в зоне предгорного равнинного класса ландшафтов (трансаккумулятивная фация) водосбора бассейна реки Шу зависят от природных факторов, то есть наличием русловых фильтрационных потерь и антропогенной деятельности человека, которые и определяют особенности формирования речного стока, и характеризуются достаточно высокой амплитудой и равномерной синусоидой колебаний. Период колебания синусоиды равен частному

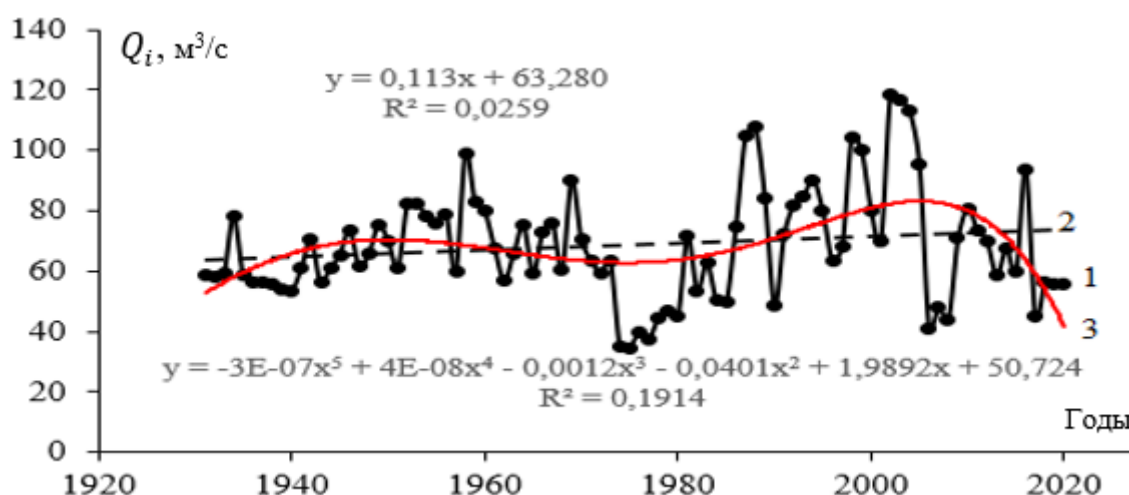
делению длины исходного ряда на ее порядковый номер, то есть в условиях водосбора бассейна реки Шу по гидрологическому посту Миляфан, расположенного в зоне предгорного равнинного класса ландшафтов (трансаккумулятивная фация) длина исходного ряда составляет 90 лет, тогда как функция ведущей гармоники ( $P = 90/3 = 30$  года).

Изменение среднегодового расхода воды водосбора бассейна реки Шу по гидрологическому посту Тасотколь, расположенного в начале равнинного класса ландшафтов (супераккумулятивная фация) в зоне аккумуляции стока за исследуемый период (1931...2020 гг.) составляет 15,39 м<sup>3</sup>/с за 90 лет, что объясняется совместным влиянием природных факторов и антропогенной деятельности, связанной с эксплуатационным режимом работы Тасоткольского водохранилища (рисунок 4).

При этом, следует отметить, что ритмические многолетние колебания среднегодового расхода воды в зоне равнинного класса ландшафтов в конце супераккумулятивной фации и в начале субаккумулятивной фации в зоне аккумуляции стока, водосбора бассейна реки Шу зависит



**Рис.3.** Хронологический график изменения расхода воды в реке Шу в створе с. Милянфан за период 1931...2020 гг. Шу-Таласского водохозяйственного бассейна (ордината – среднегодовой расход воды, м³/с; абсцисса - годы) (черная линия -исходный ряд; черная штриховая линия - линейный тренд; красная линия- полиномиальный тренд 5-го порядка).



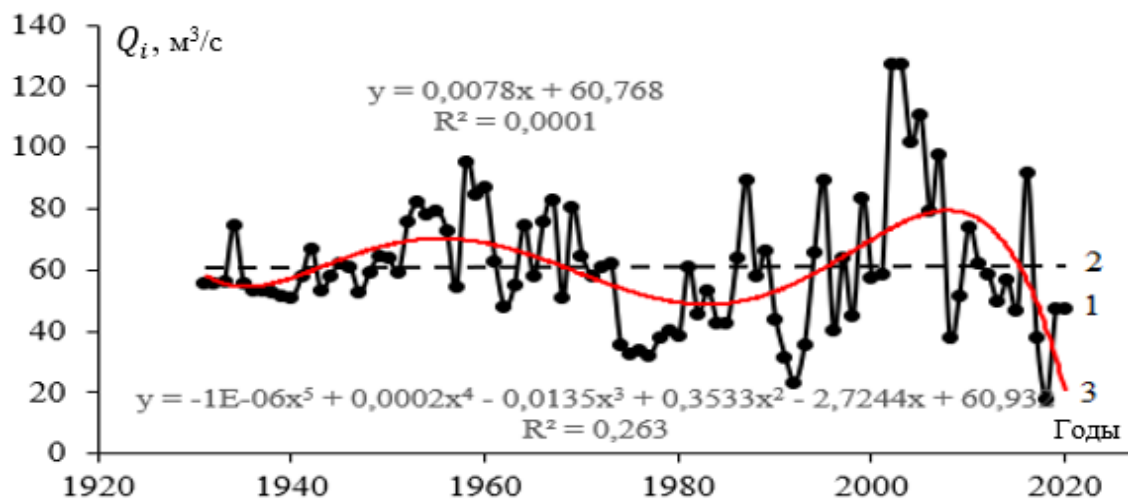
**Рис.4.** Хронологический график изменения расхода воды в реке Шу в створе с. Тасотколь за период 1931..2020 гг. Шу-Таласского водохозяйственного бассейна (ордината – среднегодовой расход воды, м³/с; абсцисса - годы) (черная линия -исходный ряд; черная штриховая линия - линейный тренд; красная линия- полиномиальный тренд 5-го порядка).

от экологических факторов и антропогенной деятельности человека, и характеризуются высокой амплитудой колебаний.

Изменение среднегодового расхода воды водосбора бассейна реки Шу по гидрологическому посту Фурмановский гидроузел, расположенного в начале равнинного класса ландшафтов (супераквильная фация) в зоне аккумуляции стока показывает, что за исследуемый период (1931...2020 гг.) составляет 2,57 м³/с за 90 лет, что объясняется совместным влиянием природных факто-

ров и антропогенной деятельности, связанной с эксплуатационным режимом работы Тасоткольского водохранилища (рисунок 5).

Изменение среднегодового расхода воды водосбора бассейна реки Шу по гидрологическому посту Уланбель, расположенного в равнинном классе ландшафтов (субаквильная фация) в зоне аккумуляции стока, примыкающей к водотоку, показывает, что за исследуемый период (1931...2020 гг.) составляет 7,58 м³/с за 90 лет,



**Рис.5.** Хронологический график изменения расхода воды в реке Шу в створе Фурмановский гидроузел за период 1931...2020 гг. Шу-Таласского водохозяйственного бассейна (ордината – среднегодовой расход воды, м³/с; абсцисса - годы) (черная линия -исходный ряд; черная штриховая линия - линейный тренд; красная линия- полиномиальный тренд 5-го порядка).

что объясняется совместным влиянием природных факторов и антропогенной деятельности, связанной с эксплуатационным режимом работы Тасоткольского водохранилища (рисунок 5).

Изменение среднегодового расхода воды водосбора бассейна реки Шу по гидрологическому посту Уланбель, расположенного в равнинном классе ландшафтов (субаквиальная фация) в зоне аккумуляции стока, примыкающей к водотоку, показывает, что за исследуемый период (1931...2020 гг.) составляет 7,58 м³/с за 90 лет, что объясняется совместным влиянием экологических факторов и антропогенной деятельности, направленной на решение социальных, экологических и экономических проблем в низовьях рек, которые определяют вид ритма колебания стока во временном масштабе (рисунок 6). При этом следует отметить, что некоторое увеличение среднегодового расхода воды по гидрологическому посту Тасотколь, Фурмановский гидроузел и Уланбель связано с эксплуатационным режимом Тасоткольского водохранилища и ГЭС.

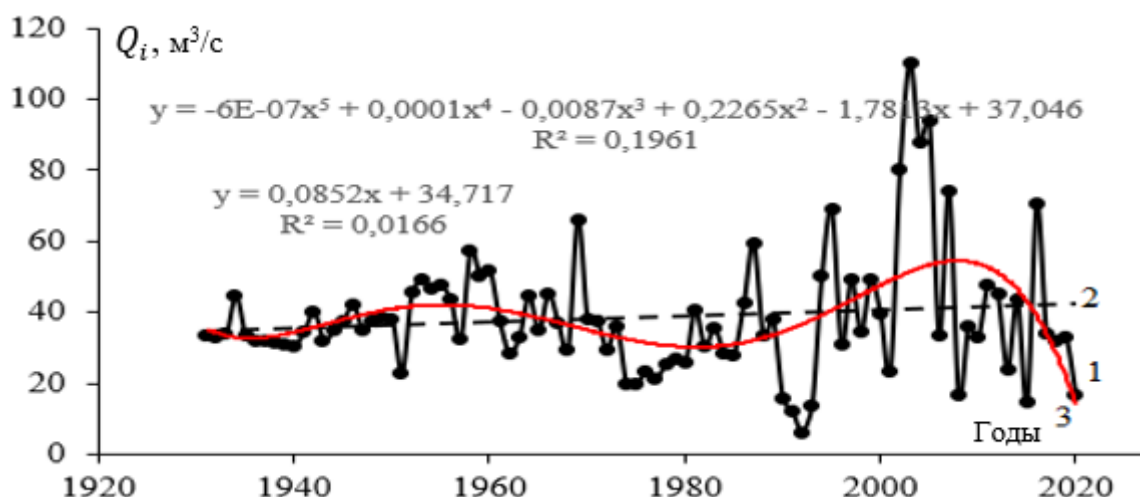
При этом, наиболее характерной чертой многолетнего режима среднегодового расхода воды реки Шу в пространственно-временном масштабе яв-

ляется цикличность.

Величина и знак тренда во многом зависят от продолжительности ряда наблюдений, используемого для анализа, и в большей степени определяется характером фазы водности в конце ряда. В случае завершения ряданоговодной фазой наиболее часто тренд имеет положительный знак, а в случае завершения маловодной фазой - отрицательный.

Оценка показала, что за примерно вековой период в колебаниях среднегодового расхода воды реки Шу выделяется три цикла. Эти циклы относятся к внутривековым и имеют продолжительность от 25 до 30 лет, хотя дата окончания последнего цикла и, соответственно, его продолжительность из-за некоторой неопределенности могут быть впоследствии уточнены.

Линейные тренды в большинстве случаев не являются единственной моделью, которая позволяет аппроксимировать многолетние тенденции изменений среднегодовых расходов воды речных бассейнов. Эти изменения имеют сложный характер, включают, как правило, циклы различной продолжительности. При этом линейный (квазилинейный) тренд можно рассматривать как часть сверх векового цикла.



**Рис.6.** Хронологический график изменения расхода воды в реке Шу в створе с.Уланбель за период 1931...2020 гг. Шу-Таласского водохозяйственного бассейна (ордината – среднегодовой рас-ход воды, м³/с; абсцисса - годы) (черная линия -исходный ряд; черная штриховая линия - линейный тренд; красная линия- полиномиальный тренд 5-го порядка).

С целью оценки вклада в общую дисперсию колебаний среднегодового расхода воды речных бассейнов различных составляющих из их ряда были выделены линейный тренд и ряд максимальных среднегодовых расходов воды реки Шу. Ряд аномалий был получен путем вычисления отклонения годовичных значений исходного ряда от соответствующих этим годам значений линейного тренда, где оценка достоверности и надежности выполнена с помощью коэффициента детерминации  $R^2$ . Доля дисперсии ряда среднегодового расхода воды реки Шу в пространственно-временном масштабе, объясняемая линейным трендом, на порядок больше доли дисперсии, объясняемой полиномиальным трендом 5-го порядка (рисунки 1...6). Это указывает на то,

что вклад долговременных тенденций в наблюдающихся изменениях среднегодового расхода воды реки Шу значительно больше, чем вклад циклических составляющих.

На основе статистического анализа тенденции изменений гидрологического режима основных рек в пространственно-временном масштабе с использованием линейных трендов по программе Microsoft Excel получены системы линейных уравнений для долгосрочного прогнозирования среднегодового расхода воды по водохозяйственным бассейнам Республики Казахстан:

$$Q_i = \alpha \cdot N_i + b, \tag{1}$$

где  $Q_i$  – среднегодовой расход воды, м³/с;  $N_i$  - совместный период наблюдений, лет (таблица 2).

Таблица 2

Регрессионные гидрологические модели изменения среднегодовых расходов воды в пространственно-временном масштабе на водосборных территориях бассейна трансграничной реки Шу

Гидрологический пост (река)	Уравнение линейных трендов	Период наблюдений, годы	Изменение показателей (м³/с)
с. Кочкарка	$Q_i = 0,0022 \cdot N_i + 27,68$	1931...2020	0,20
с. Орто-Токой	$Q_i = 0,0137 \cdot N_i + 28,56$	1931...2020	1,22
с. Милянфан	$Q_i = -0,0219 \cdot N_i + 24,33$	1931...2020	-1,95
с. Тасотколь	$Q_i = 0,1729 \cdot N_i + 61,73$	1931...2020	15,4
с. Фурмановка	$Q_i = 0,0289 \cdot N_i + 60,14$	1931...2020	2,57
с. Уланбель	$Q_i = 0,0852 \cdot N_i + 34,72$	1931...2020	7,58



Результат, проведенного комплексного изучения пространственно-временной изменчивости среднегодовых расходов воды на водосборных территориях бассейна трансграничной реки Шу в условиях глобального изменения климата и антропогенной деятельности показал, что в пределах с. Кочкарка, расположенного в горном классе ландшафтов (элювиальная фация) - в зоне формирования стока и с. Орто-Токой, расположенного в предгорном классе ландшафтов (трансэлювиальная фация) – в зоне трансформации стока наблюдается положительной тренд, у с. Милянфан, расположенного в предгорном равнинном классе ландшафтов (трансаккумулятивная фация) в зоне ослабления скорости трансформации и появления признаков аккумуляции стока – отрицательный тренд. При этом в пределах гидрологических постов Тасотколь и Фурмановский гидроузел, расположенных в равнинном классе ландшафтов (супераккумулятивная фация) в зоне аккумуляции стока и Уланбель, расположенного в равнинном классе ландшафтов (субаккумулятивная фация) в зоне аккумуляции стока, примыкающего к водотоку наблюдается положительный тренд.

Таким образом, практическая значимость изучения пространственно-временной изменчивости среднегодового расхода воды на водосборных территориях бассейна трансграничной реки Шу в условиях антропогенной деятельности заключается в возможности и целесообразности использования полученной закономерности при обосновании водоохранных и водохозяйственных мероприятий, обеспечивающих водную безопасность региона.

Для выявления региональных и локальных особенностей гидрологического режима речных бассейнов в пространственно-временном масштабе разработана методика определения количественного соотношения между природными и антропогенными факторами при их совместном воздействии на водосбор речных бассейнов, включающая авторскую версию гипотезы стационарности рассматриваемого случайного процесса, который колеблется под влиянием природных и антропогенных факторов (Mustafayev Zh.S., Ryskulbekova L.M., 2022):

– отклонения среднегодового значения гидрологических характеристик (среднегодовой расход воды) общих временных рядов ( $\Delta Q_{\text{общ}}$ ):

$$\Delta Q_{\text{общ}} = Q_{\text{общ}}^{\text{max}} - Q_{\text{общ}}^{\text{min}}, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{общ}}^{\text{max}}$  – максимальный среднегодовой расход воды реки по многолетнему ряду;  $Q_{\text{общ}}^{\text{min}}$  – минимальный среднегодовой расход воды реки по многолетнему ряду.

– отклонения среднегодового значения гидрологических характеристик (среднегодовой расход воды) природных временных рядов ( $\Delta Q_{\text{пр}}$ ):

$$\Delta Q_{\text{пр}} = Q_{\text{пр}}^{\text{max}} - Q_{\text{пр}}^{\text{min}}, \quad (3)$$

где  $Q_{\text{пр}}^{\text{max}}$  – максимальный среднегодовой расход воды реки по природному временному ряду;  $Q_{\text{пр}}^{\text{min}}$  – минимальный среднегодовой расход воды реки по природному временному ряду.

– отклонения среднегодового значения гидрологических характеристик (среднегодовой расход воды) антропогенных временных рядов ( $\Delta Q_{\text{антр}}$ ):

$$\Delta Q_{\text{антр}} = Q_{\text{антр}}^{\text{max}} - Q_{\text{антр}}^{\text{min}}, \quad (4)$$

где  $Q_{\text{антр}}^{\text{max}}$  – максимальный среднегодовой расход воды реки по антропогенному временному ряду;  $Q_{\text{антр}}^{\text{min}}$  – минимальный среднегодовой расход воды реки по антропогенному временному ряду. – тенденция изменения гидрологических характеристик под влиянием природных факторов

( $\Delta Q_{\text{пр}}^m$ ):

$$\Delta Q_{\text{пр}}^m = (\Delta Q_{\text{пр}} / \Delta Q_{\text{общ}}) \cdot 100; \quad (5)$$

– тенденция изменения гидрологических характеристик под влиянием антропогенных факторов ( $\Delta Q_{\text{антр}}^m$ ):

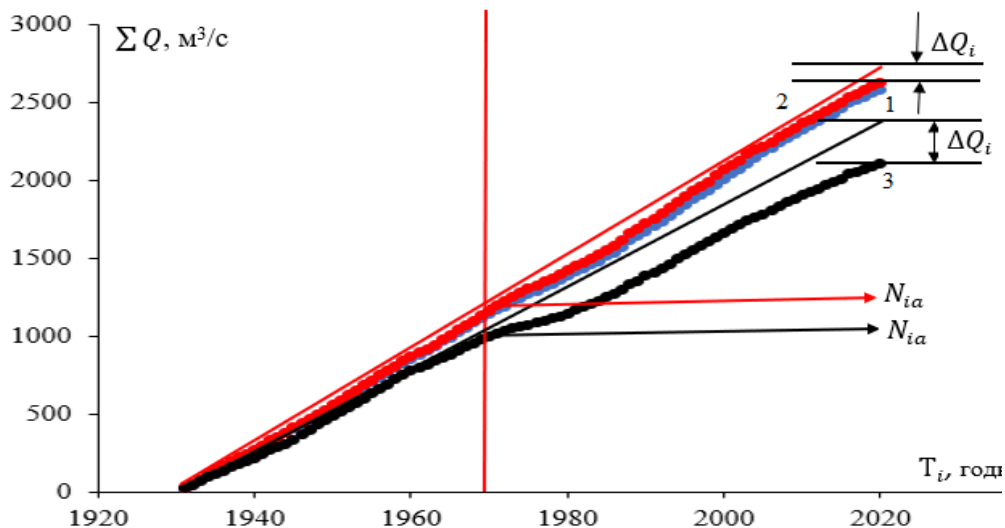
$$\Delta Q_{\text{антр}}^m = (\Delta Q_{\text{антр}} / \Delta Q_{\text{общ}}) \cdot 100 \quad (6)$$

Оценка антропогенного воздействия на формирование гидрологического стока водосбора бассейна реки Шу в пространственно-временном масштабе в начале антропогенных изменений естественного режима стока производилась графическим способом – путем построения интегральной кривой среднегодового расхода воды реки:  $\sum_{Q_i = f(t)}$  (где  $\sum Q_i$  – нарастающая сумма среднегодового расхода воды от начала наблюдений;  $Q_i$  – среднегодовой расход воды реки в период наблюдений), на основе статистической однородности мно-

голетних рядов (Шикломанов И.А., 1976).

На основе многолетних данных по среднегодовому расходу воды на водосборе бассейна реки Шу в пространственно-временном масштабе с использованием программы Microsoft Excel построена интегральная кривая для зоны формирования стока и верховьях по гидрологическим постам Кочкарка, Орто-Токай и Милянфин, расположенных на территории Кыргызской Республики (рисунок 7).

В зоны формирования гидрологического стока по данным гидрологического поста Кочкарка и ниже Орто-Токайского водохранилища в створе гидрологического поста Орто-Токай явного нарушения естественного гидрологического режима не наблюдается, то есть с 1970 по 2000 гг. происходили некоторые изменения, которые в явном виде не характеризуют нарушение естественного режима естественного среднегодового расхода воды. В створе гидрологического поста Милянфин, расположенного ниже водозаборных гидротехнических сооружений с 1970 г. наблюдается нарушение естественного гидрологического режима реки Шу.



**Рис. 7.** График нарастающей интегральной кривой среднегодового расхода воды реки Шу на гидрологических постах Кочкарка (1), Орто-Токай (2) и Милянфин (3) на территории Кыргызской Республики (где  $\sum Q_i$  – нарастающая сумма среднегодового расхода воды от начала наблюдений;  $\Delta Q_i$  – объем суммарного уменьшения в результате антропогенной деятельности;  $N_{ia}$  – число лет с нарушенным режимом;  $T_i$  – продолжительность наблюдений, год).

В целом, нарушение естественного гидрологического режима реки в среднем течении и низовьях Шу в пределах территории Республики Казахстан наблю-

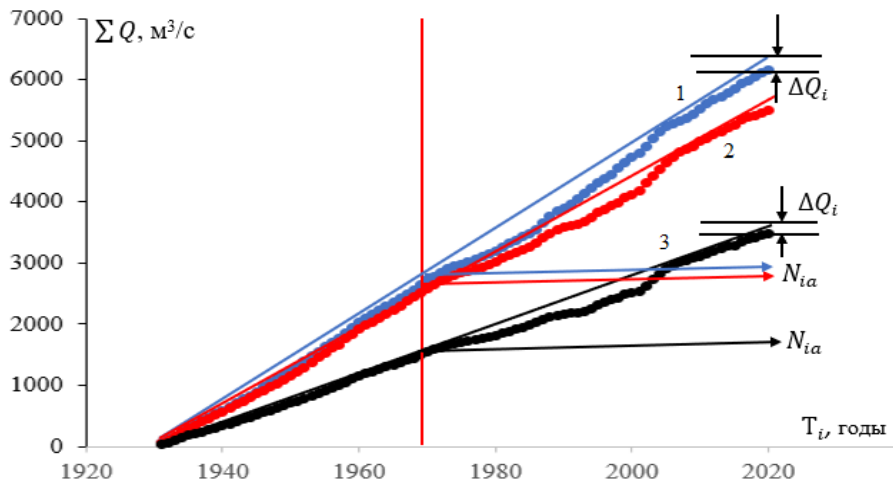
дается с 1970 года после строительства водозаборных гидротехнических сооружений в среднем течении на территории Кыргызской Республики и Тасоткольского

водохранилища на границе между Кыргызской Республики и Республикой Казахстан (рисунок 8).

При этом следует отметить, что период нарушения естественного гидрологического режима реки Шу на гидрологических постах Тасотколь, Фурмановский гидроузел и Уланбель имеет место с 1970 по 2005 гг., в дальнейшем формируется антропогенный гидрологический режим, который зависит от эксплуатационного режима Тасоткольского водохранилища (рисунок 8).

На основе выявленного общего статистического однородного периода, в пределах которого водный режим водосбора бассейна реки Шу является естественным или условно-естественным, и по предложенной мето-

дике и алгоритму определены последствия влияния природных и антропогенных факторов на среднегодовые расходы воды в исследуемых гидрологических створах Кочкарка, Орто-Токай, Милянфин, Тасотколь, Фурмановский гидроузел и Уланбель (таблицы 3 и 4). Как видно из таблиц 3 и 4, формирование гидрологического режима (среднегодового расхода воды) водосбора бассейна реки Шу в створе гидрологического поста Кочкарка в пределах природных временных интервалов, то есть 1931...1970 гг. на 45,7 % зависит от климатических факторов, а в антропогенных временных интервалах, охватывающих 1971...2020 гг. на 100 % зависит от хозяйственной деятельности человека.



**Рис.8.** График нарастающей интегральной кривой среднегодового расхода воды реки Шу на гидрологических постах Тасотколь (1), Фурмановский гидроузел (2) и Уланбель (3) на территории Республики Казахстан (где  $\Sigma Q_i$  – нарастающая сумма среднегодового расхода воды от начала наблюдений;  $\Delta Q_i$  – объем суммарного уменьшения стока в результате антропогенной деятельности;  $N_{ia}$  – число лет с нарушенным режимом;  $T_i$  – продолжительность наблюдений, год).

Таблица 3

Определение максимальных и минимальных значений гидрологических характеристик общих, однородных природных и антропогенных временных интервалов ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) на водосборе бассейна реки Шу

Гидрологический пост	Статистический однородный период гидрологического режима					
	общий (1931...2020 гг)		природный (1931...1970 гг)		антропогенный (1971...2020гг)	
	$Q_{\text{общ}}^{\text{max}}$	$Q_{\text{общ}}^{\text{min}}$	$Q_{\text{пр}}^{\text{max}}$	$Q_{\text{пр}}^{\text{min}}$	$Q_{\text{антр}}^{\text{max}}$	$Q_{\text{антр}}^{\text{min}}$
Кочкарка	45,0	17,7	35,0	22,5	45,0	17,7
Орто-Токай	46,3	18,2	35,7	21,1	46,3	18,2
Милянфин	39,8	11,8	38,9	17,4	37,4	11,8
Тасотколь	118,5	34,6	99,0	53,2	118,5	34,6
Фурмановка	127,1	23,3	95,6	50,7	127,1	23,3
Уланбель	110,3	6,3	57,2	23,1	110,3	6,3

В створе гидрологического поста Орто-Токай формирование гидрологического режима (среднегодового расхода воды) в пределах природных временных интервалах, то есть 1931...1970 годов 52,0 % зависит от климатических факторов, а в антропогенных временных интервалах, охватывающих 1971...2020 годы, 100,0 % зависит от хозяй-

ственной деятельности человека и в створе гидрологического поста Миянфин в 1931...1970 годах 76,8 % зависит от природной деятельности и в период 1971...2020 годов 91,4 % от антропогенной деятельности человека, что связано с увеличением объемов водопотребления в отраслях экономики Чуйской области Кыргызской Республики.

Таблица 4

Оценка влияния природных факторов и антропогенной деятельности гидрологического режима ( $m^3/c$ ) водосбора бассейна реки Шу в пространственно-временном масштабе

Гидрологический пост	Отклонение среднегодового расхода воды ( $\Delta Q_{\text{общ}}$ )	Статистический однородный период гидрологического режима			
		природный (1928...1970 гг)		антропогенный (1971...2017)	
		$\Delta Q_{\text{пр}}, m^3/c$	$\Delta Q_{\text{пр}}^m, \%$	$\Delta Q_{\text{антр}}, m^3/c$	$\Delta Q_{\text{антр}}^m, \%$
Кочкарка	27,3	12,5	45,7	27,3	100
Орто-Токай	28,1	14,6	52,0	28,1	100
Миянфин	28,0	21,5	76,8	25,6	91,4
Тасотколь	83,9	45,8	54,5	83,9	100
Фурмановка	103,8	44,9	43,3	103,8	100
Уланбель	104,0	34,1	32,8	104,0	100

В районе гидрологического поста Тасотколь, который расположен на границе Кыргызской Республики и Республики Казахстан, формирование гидрологического режима (среднегодового расхода воды) водосбора бассейна реки Шу в пределах природных временных интервалах, то есть 1931...1970 гг. на 54,5 % зависит от климатических факторов, а в антропогенных временных интервалах, охватывающих 1971...2020 гг. на 100 % зависит от хозяйственной деятельности человека и обусловлено разнонаправленным воздействием природного и антропогенного факторов.

В створе гидрологического поста Фурмановский гидроузел формирование гидрологического режима (среднегодового расхода воды) водосбора бассейна реки Шу в пределах природных временных интервалах, то есть 1931...1970 гг. на 43,3 % зависит от климатических факторов, а в антропогенных временных интервалах, охватывающих 1971...2020 гг., на 100 % зависит от хозяйственной деятельности человека, и показывает, что в различных физико-географических зонах отличается их количе-

ственное соотношение между последствиями природно-техногенного воздействия, что связано с регулированием и управлением гидрологическим режимом малых рек, формирующих порядка 30 % водных ресурсов на территории Республики Казахстан.

В зоне магазинирования гидрологического стока водосбора бассейна реки Шу в створе гидрологического поста Уланбель формирование (среднегодового расхода воды) в пределах природных временных интервалах, то есть 1931...1970 гг., на 32,8 % зависит от климатических факторов, а в антропогенных временных интервалах, охватывающих 1971...2020 гг., на 100 % зависит от хозяйственной деятельности человека, и показывает, что в антропогенный период величина среднегодового расхода воды полностью зависит от эксплуатационного режима работы Тасоткольского водохранилища.

**Выводы.** По результатам проведенных исследований, направленных для выявления влияния климатических и антропогенных факторов на формирование гидрологического режима (среднегодового расхода воды) водосбора

бассейна реки Шу можно констатировать, что тенденции изменения гидрологического режима исследуемой территории зависят не только от климатических изменений, но и в значительной степени определяются интенсивностью хозяйственной деятельности человека в пространственно-временном масштабе на речных водосборах.

Таким образом, на основе установленной особенности формирования гидрологического режима (среднегодового расхода воды) водосбора бассейна реки Шу в современных меняющихся природно-антропогенных условиях, можно проводить оценку влияния климатических и антропогенных факторов, с целью обеспечения водной безопасности жизнедеятельности человека и сохранения условий функционирования речных экосистем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирейчева Л.В., Козыкеева А.Т., Даулетбай С.Д. Комплексное обустройство реки Шу.– Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2016. – 149 с.
2. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Камалиев А.М. Климатический профиль водосборного бассейна реки Шу // Гидрометеорология и экология. – 2019. – №2. – С. 38-49.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1951-1963 гг). Бассейны озера Иссык-Куль и рек Чу, Талас, Тарим.– Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – Т.14. – Средняя Азия. – Вып. 2. – 80 с.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1963-1970 гг.). Бассейны озера Иссык-Куль и рек Чу, Талас, Тарим. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. –С. 86-91.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1971-1975 гг). Бассейны озера Иссык-Куль и рек Чу, Талас, Тарим. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979.–Т.14–Средняя Азия.–Вып.2.–С.90-93.
6. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши.- Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – Т.V–Казахская ССР. – вып. 3. – С. 72-73.
7. Государственный водный кадастр. Ос-

новные гидрологические характеристики (за 1985-1990 гг. и весь период наблюдений). - Алматы: Казгидромет, 1997. – Т.V – Казахская ССР. – Вып. 3. – С. 73-75.

8. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Бассейны рек Сырдарьи, Шу и Талас. – Алматы: Казгидромет. – Вып. 3. – 2005. – 98 с.
9. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Бассейны рек Шу и Талас. – Алматы: Казгидромет.– Вып. 8. – 2015. – 82 с.
10. *Mustafayev Zh.S., Ryskulbekova L.M.* Spatial-time change in the climatic parameters of the drainage of the river basin Ili //Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2022. – Volume 1. – No 341. – P. 102-109.
11. *Шикломанов И.А.* Влияние хозяйственной деятельности на водные ресурсы и гидрологический режим. – Обнинск, 1976. – 110 с.

## REFERENCES

1. Kirejcheva L.V., Kozykeeva A.T., Dauletbay S.D. Kompleksnoe obustrojstvo reki Shu (Mono-grafija). – Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2016. – 149 p.
2. *Mustafayev Zh.S., Kozykeeva A.T., Kamaliev A.M.* Klimaticheskij profil' vodosbornogo bassejna reki Shu // *Gidrometeorologija i jekologija*, 2019. – №2. – pp. 38-49.
3. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie harakteristiki (za 1951-1963 gg). Bassejny ozera Issyk-Kul' i rek Chu, Talas, Tarim. – L.: *Gidrometeoizdat*, 1969. – T.14 – *Srednjaja Azija*. – v. 2. – 80 p.
4. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie harakteristiki (za 1963-1970 gg). Bassejny ozera Issyk-Kul' i rek Chu, Talas, Tarim. – L.: *Gidrometeoizdat*, 1977. – p. 86-91.
5. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie harakteristiki (za 1971-1975 gg). Bassejny ozera Issyk-Kul' i rek Chu, Talas, Tarim. – L.: *Gidrometeoizdat*, 1979. –T.14 – *Srednjaja Azija*. – v. 2. – p. 90-93.
6. Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Mnogoletnie dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vod sushi. – L.: *Gidrometeoizdat*, 1987. – T.V-Kazahskaja SSR. – v. 3. – p. 72-73.

7. Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Osnovnye gidrologicheskie harakteristiki (za 1985-1990 g i ves' period nabljudenij). – Almaty: Kazgidromet, 1997. – T.V – Kazahskaja SSR. – v. 3. – p. 73-75.
8. Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Mnogoletnie dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vod sushi. Bassejny rek Syrdar'i, Shu i Talas // V. 3. – Almaty, 2005. – 98 p.
9. Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Ezhegodnye dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vod sushi. Bassejny rek Shu i Talas // V. 8. – Almaty, 2015. – 82 p.
10. Mustafayev Zh.S., Ryskulbekova L.M. Spatial-time change in the climatic parameters of the drainage of the river basin Ili // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2022. – V. 1. – No 341. – p. 102-109.
11. Shiklomanov I.A. Vlijanie hozjajstvennoj dejatel'nosti na vodnye resursy i gidrologicheskij rezhim. – Obninsk, 1976. – 110 p.

## ШЕКАРА АРАЛЫҚ ШУ ӨЗЕНІНІҢ СУЖИНАУ АЛАБЫНЫҢ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ПІШІНІ

**Ж.С.Мустафаев<sup>1</sup> т.ғ.д., профессор, Ә.Т Козыкеева<sup>2</sup> т.ғ.д., доцент, С.Д.Даулетбай<sup>3</sup>**

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

<sup>2</sup>*Қазақ Ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан,  
E-mail: info@kaznau.kz*

<sup>3</sup>*М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., Қазақстан,  
E-mail: into@tarsu.k*

Шекара аралық Шу өзенінің сужинау алабының гидрологиялық көрсеткіштерінің кеңістік-уақыт масштабында өзгеруін талдау Кочарка, Орто-Токай, Милянфан, Ташөткел, Фурманов гидроторабының және Ұланбел гидрологиялық бекеттерінің 1931...2020 жылдарды қамтитын ұзақ мерзімдік ақпараттық-талдау мәліметтерінің негізінде жүргізілді және табиғи мен техногендік дәлелдемелердің әсерінен жыл сайын олардың тұрақты түрде ауытқуының байқалатындығын көрсетеді. Шекара аралық Шу өзенінің сужинау алабының гидрологиялық режимінің кеңістік-уақыт масштабында өзгеруі орташа жылдық су ағынының өтімінің оң немес теріс трендті, табиғи дәлелдемелердің жалпы сипатамасыарқылы анықталады және өзен жүйесіндегі техногендік қызметтердің қарқынына байланысты өзгеріп отырады. Алынған нәтижелер көрсеткендей, шекара аралық Шу өзенінің сужинау алабында табиғи және техногендік дәлелдемелердің әсері тау етегіндегі жазықтық аймақтарға қарағанда шөлейтаймақтарда азырақ байқалады.

**Түйінді сөздер:** гидрологиялық режим, табиғи және антропогендік дәлелдер, өзгергіштік, ор-таша жылдық су аағынының өтімі, өзен алабы, сызықтық тренд.

## HYDROLOGICAL PROFILE OF THE DRAINAGE COLLECTION OF THE TRANS- BOUNDARY SHU RIVER BASIN

**Zh.S. Mustafayev<sup>1</sup> doctor of technical sciences, professor, A.T. Kozykeyeva<sup>2</sup> doctor of technical sciences, S.D. Dauletbay<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Geography and water security, Almaty, Kazakhstan, E-mail: ingeo@mail*

<sup>2</sup>*Kazakh National Agrarian research University, Almaty, Kazakhstan,  
E-mail: info@kaznau.kz*

<sup>3</sup>*M.Kh.Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan, E-mail: into@tarsu.kz*

An analysis of changes in the hydrological indicators of the catchment area of the transboundary Shu River basin in the spatio-temporal aspect, based on information and analytical materials from the hydrological posts of Kochkarka, Orto-Tokai, Milyanfan, Tashotkol, the Furmanovs hydroelectric complex and Ulanbel in a long period of observations covering 1931...2020, shows the presence of their constant fluctuations over the years under the influence of natural and anthropogenic factors. The hydrological regime of the catchment area of the transboundary Shu River basin on a spatio-temporal scale with a positive or negative trend in the average annual water discharge is determined by the general nature of natural factors and changes due to increased anthropogenic activity on river systems. The results obtained indicate that the influence of natural and anthropogenic factors are less pronounced in the mountainous and foothill geographic zones than in the foothill-plain and desert zones of the catchment area of the transboundary river Shu.

**Key words:** hydrological regime, natural and anthropogenic factors, variability, average annual water discharge, river basin, linear trend.

UDC 504.455 (556)

FEATURES OF SPRING ICE PHENOMENA ON BALKASH LAKE IN EXTREMELY WARM MONTHS

Y.Y. Beldeubayev, D.K. Kissebayev

*<sup>1</sup>RSE «Kazhydromet», Republic of Kazakhstan, Almaty*

*E-mail: yerke\_beldeubayev@mail.ru*

In this paper we are considering the processes of ice destruction on Balkash Lake during extremely warm months. A significant correlation found between the average monthly air temperature of March and the dates of ice destruction beginning, complete freezing ending and water clear of ice. The Bagrov-Tokarev anomaly criterion for March was calculated and the extreme months were determined. The features of ice destruction during the spring season for the years with extremely warm months were analyzed. The number of days with certain types of ice phenomena are calculated, the various types of ice phenomena were analyzed for extremely warm months. The maps of ice thickness distribution were compiled. The deviation of the dates of ice destruction beginning, complete freezing ending and water clear of ice from the averages dates in extremely warm months was found.

The data source were hydrological guides, monthly average air temperature data, and data reanalysis using the CDS Copernicus climate database of the European Center.

**Keywords:** Extremely warm months, ice destruction beginning, complete freezing ending and water clear of ice, average air temperature, ice thickness.

Поступила: 15.11.2022

DOI: 10.54668/2789-6323-2022-105-2-47-58

## INTRODUCTION

Lake ice is being a part of the cryosphere, is influenced by climate change. It is well known that the cryosphere is a very sensitive component of the climate system. Lake ice cover period is decreasing, there is a general change of ice break-up dates in spring and ice freeze-up dates in fall (IPCC. Climate change 2013). For the period 1846-1995 in the lakes and rivers of the Northern Hemisphere, changes in freeze-up dates averaged 5.8 days per 100 years later, and changes in break-up dates averaged 6.5 days per 100 years earlier (Magnuson et al., 2000). The number of annual open-water days increased by 0.63 days per decade across the Northern Hemisphere from 1931-2005 (Andrew et al., 2021).

The role of lake ice is very important for physical, chemical and biological processes. The presence and absence of lake ice cover

is important for transportation (usage of ice cover as ice roads and seasonal shipping during open-water season) (Bonsal et al., 2006). Understanding of the processes and interactions of lake ice with climate is essential for climate modelling and weather forecasting (Brown et al., 2010; Eerola et al. 2010). Lake ice phenological events as the freeze up and break up dates, ice cover duration has been shown to be good indicators of climate change and its variability (Magnuson et al., 2000; Duguay et al., 2006; Assel et al., 2003; Latifovich et al., 2006).

Lake Balkash is a large regional water body, which has its annual ice period. The lake has its peculiarities, that affect the ice regime. The large latitudinal extent and various hydrometeorological conditions of certain areas, different mineralization of the western and eastern parts of lake determine the complex nature of the processes of ice formation and destruction in the water area.

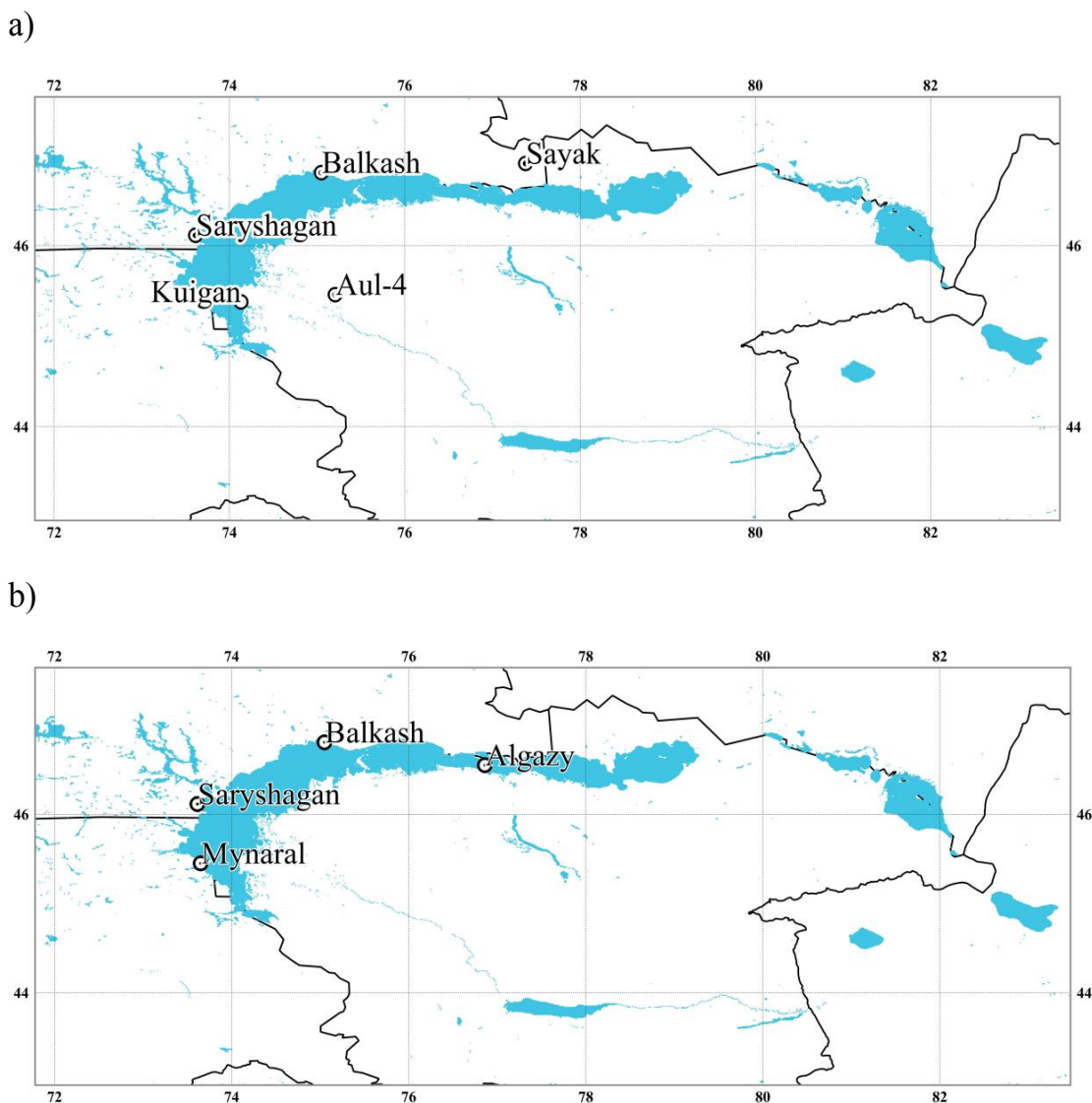


The ice regime in the eastern part is different due to mineralization (Surface water resources of the USSR, 1970). Ice drift, piles of ice, embacles can have destructive effects on the shores, hydraulic constructions and infrastructure (Bogorodsky, 1971). The role of the ice cover is of great importance in the winter regime of the reservoir, since heat exchange between water and air occurs through the layer of ice and snow on it (Odrova, 1979). Lake Balkash is a large water object, to which a huge number of works devoted (Beilinson, 1989; Cherednichenko, Kozhakhmetova, 2009; Shivareva, et.al., 2009; Ivkina, 2015; Vilesov, 2017; Beldeubaev, Dolgikh 2019; Beldeubayev, Salnikov, 2021). It is well known that ice destruction dates observed much earlier than before in recent dates and number

of extreme events became more. It is important to consider lake ice phenomena in spring in order to reveal more detailed information about ice destruction in extreme warm months.

**DATA**

In this work data from meteorological stations for the period 1971...2020 and data from hydrological posts for the period 1972...2020 were used. The location of meteorological stations and hydrological posts are shown on figure1. The data on ice phenomena from hydrological posts, the average monthly air temperature from meteorological stations and data of reanalysis by ice thickness ERA5-Land data (ERA5-Land hourly data from 1950 to present (copernicus.eu)).



*Fig. 1. Location of a) meteorological stations and b) hydrological posts on Balkash Lake.*

Data on ice phenomena include the dates of ice destruction beginning, complete freezing ending and water clear of ice. The date of the ice destruction beginning is assumed as the date of the appearance of border meltwater, water on ice, areas of clean water (polynya) and other phenomena characterizing the change in the state of ice in the presence of complete freezing. The end of the ice formation corresponds to the date preceding the first date of the appearance of ice fields, broken ice, the beginning of

ice drift under the influence of wind or ice drift (in the presence of runoff currents). For the date of clearing from ice, a day was taken from which ice events were no longer observed in this season.

## RESULTS

The cold period on the lake Balkash according to 5 meteorological stations (Aul-4, Balkhash, Kurgan, Sary Shagan, Sayak) lasts from November to March (Fig. 2).

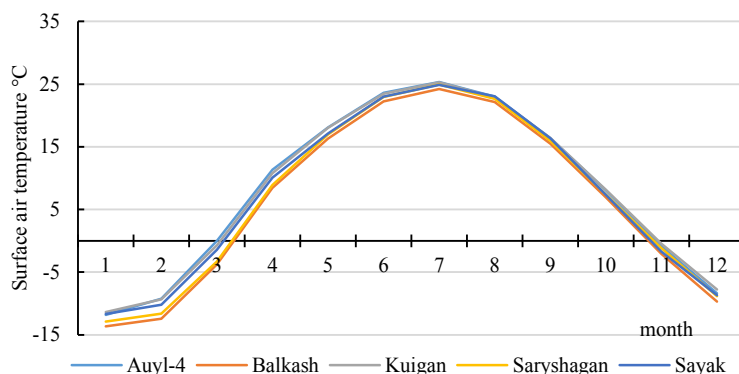


Fig.2. Annual distribution of the average long-term air temperature for 1971-2020.

In accordance with Figure 2, it can be seen that the distribution of the average long-term air temperature at all meteorological stations is similar. Air temperature is one of the main factors of ice formation and destruction.

The dates of the opening and the end of the complete freezing are significantly influenced by the air temperature in March. Figure 3 shows the scattering diagrams between the average monthly air temperature in March

and the dates of ice destruction beginning, complete freezing ending and water clear of ice.

In accordance with Figure 3, the negative correlation between the air temperature in March and the dates of spring ice phenomena is visible. The correlation coefficient (-0,8) is significant. According to the Bagrov-Tokarev anomaly criterion (Bagrov, 1966), extremely months were calculated.

$$K_T = \frac{1}{N+M} \left[ \sum_{n=1}^N \left( \frac{\Delta T_i}{\delta_i} \right)_n^2 - \sum_{m=1}^M \left( \frac{\Delta T_i}{\delta_i} \right)_m^2 \right] \quad (1)$$

$\Delta T_i$  – temperature anomaly at the point  $i$ ;

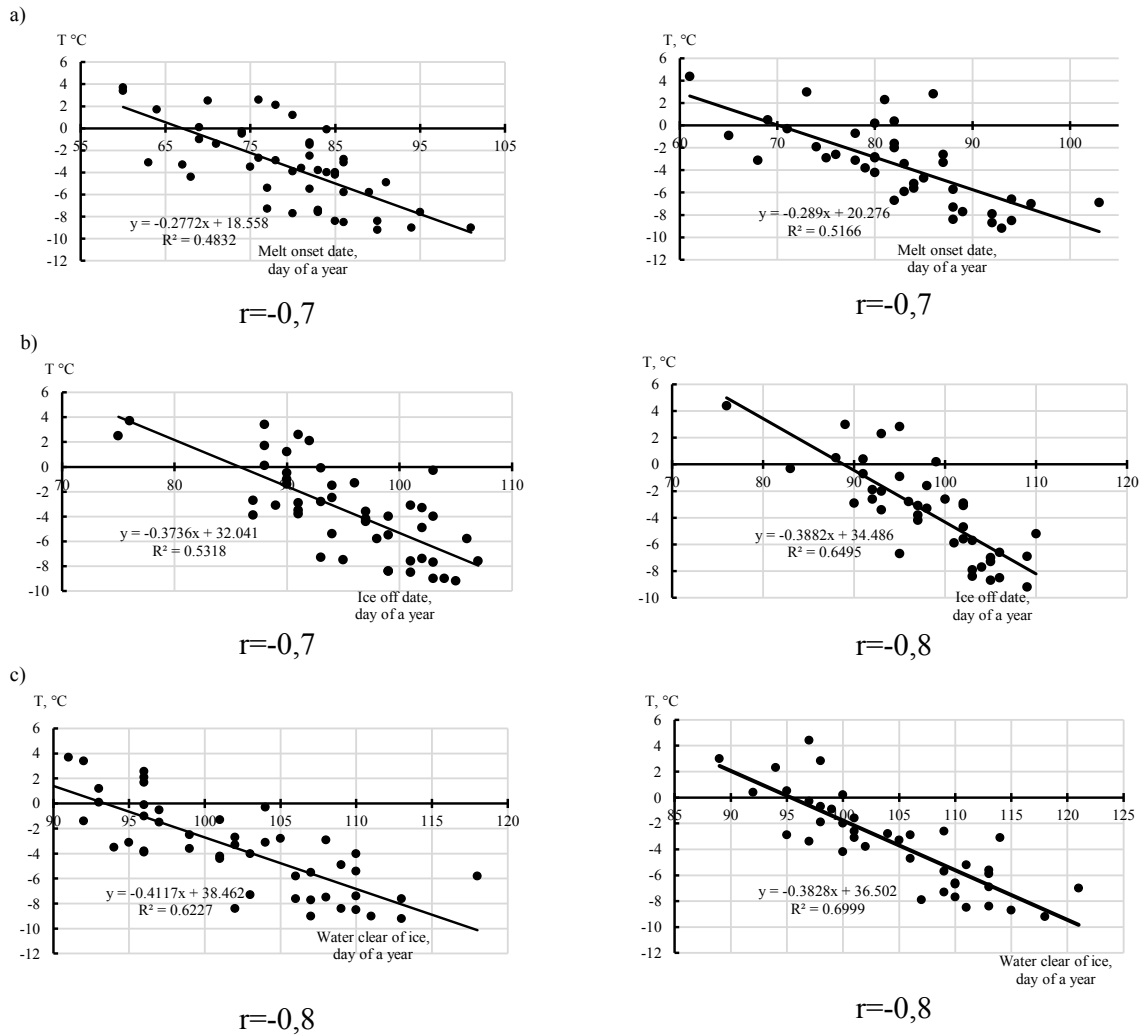
$\delta_i$  – mean square deviation of temperature;

$N$  – the number of points with a positive anomaly;

$M$  – the number of points with a negative anomaly;

Threshold values have been established for the Bagrov-Tokarev anomaly index: at  $K \geq 1.15$ , the field anomaly is large, at  $K \leq 0.75$ , a minor anomaly is noted and at  $0.75 < K < 1.15$ , the anomaly has an average intensity.

The table 1 shows the years where March was extremely cold and extremely warm.



**Fig.3.** Scattering diagrams between the average monthly air temperature in March and the dates of a) ice destruction beginning, b) complete freezing ending, c) water clear of ice at the hydrological posts of Balkash (left) and Saryshagan (right).

Table 1

Extreme cold and extreme warm years for March for period 2000...2020

Extreme cold		Extreme warm	
Year	Index meaning	Year	Index meaning
1976	-2,38	2002	3,59
1979	-2,26	2005	2,27
1982	-1,71	2006	1,78
1985	-2,91	2008	2,97
1991	-1,33	2013	3,95
		2016	2,62
		2018	2,14

March was extremely warm after 2000, and the extremely cold months after 2000 were not observed. The table 2 shows the average values of the dates of ice destruction beginning, the end of complete freezing ending and water clear of ice.

Table 2  
Average dates of ice destruction beginning, complete freezing ending and water clear of ice for the period 1971...2020

Hydrological posts	Dates		
	Ice destruction beginning	Complete freezing ending	Water clear of ice
Balkash	20 March	5 April	12 April
Saryshagan	23 March	8 April	14 April
Mynaral	17 March	31 March	9 April
Algazy	25 March	8 April	17 April

According to Table 2, the average dates of the beginning of ice destruction are in the second half of March. The ice begins to open earlier at the Mynaral post – on March 17, later at the Algazy post – on March 25. The average date of the freezing ending at the Mynaral post is on March 31, and at the other posts – on April 5... 8. Clearing of water from ice begins earlier

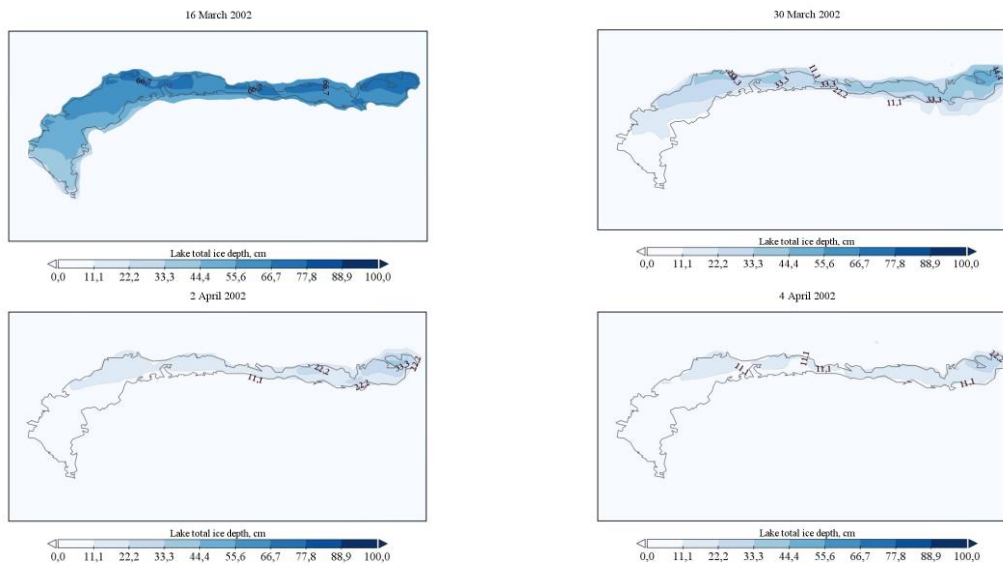
at the Mynaral post – on April 9, later at the Algazy post – on April 17. In the southwestern and western parts of the lake, the ice breaks and ends earlier than in the eastern part of the lake.

The table 3 shows the dates of spring ice phenomena and their deviations from the average dates at the posts of the lake Balkash in the years with extremely warm March.

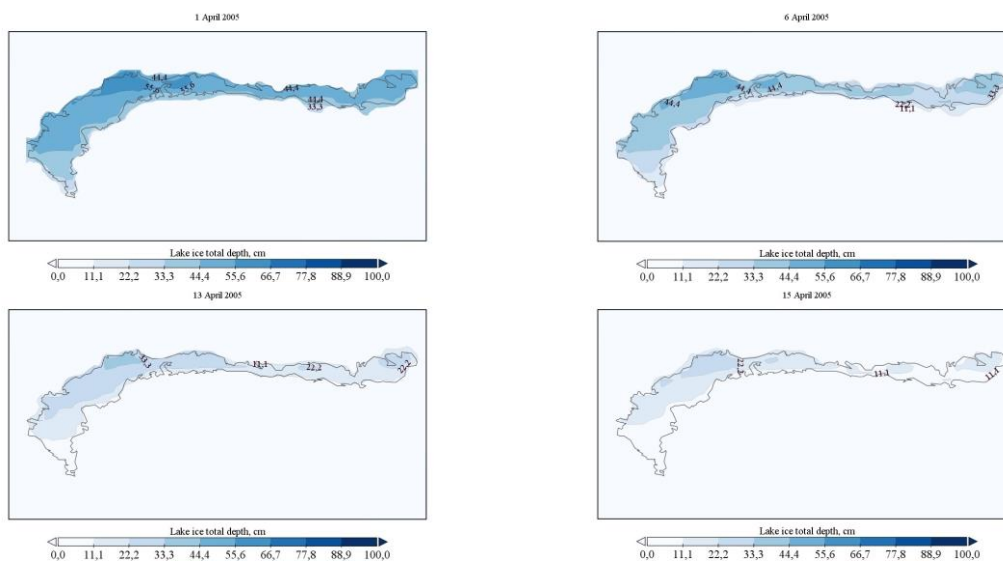
Table 3  
Dates of ice destruction beginning, complete freezing ending and water clear of ice in extreme warm March

Hydrological posts	Years	Dates		
		Ice destruction beginning	Complete freezing ending	Water clear of ice
Balkash	2002	1 March (-19)	29 March (-7)	2 April (-10)
	2005	19 March (-1)	2 April (-3)	6 April (-6)
	2006	5 March (-15)	29 March (-7)	6 April (-6)
	2008	16 March (-4)	31 March (-5)	6 April (-6)
	2013	1 March (-19)	17 March (-19)	1 April (-11)
	2016	10 March (-10)	15 March (-21)	30 March (-13)
	2018	21 March (1)	31 March (-5)	3 April (-9)
Saryshagan	2002	-	-	-
	2005	-	-	-
	2006	-	-	-
	2008	26 March (3)	4 April (-4)	7 April (-7)
	2013	2 March (-21)	17 March (-22)	7 April (-7)
	2016	13 March (-10)	-	29 March (-16)
	2018	22 March (-1)	3 April (-5)	4 April (-10)
Mynaral	2002	24 February (-21)	12 March (-19)	16 March (-24)
	2005	11 March (-6)	25 March (-6)	1 April (-8)
	2006	1 March (-16)	20 March (-11)	24 March (-17)
	2008	8 March (-9)	22 March (-9)	24 March (-16)
	2013	18 March (1)	24 March (-7)	26 March (-15)
	2016	14 March (-3)	24 March (-7)	25 March (-15)
	2018	21 March (4)	26 March (-5)	27 March (-13)
Algazy	2002	4 March (-21)	30 March (-9)	4 April (-13)
	2005	26 March (1)	3 April (-5)	13 April (-4)
	2006	15 March (-10)	2 April (-6)	16 April (-1)
	2008	23 March (-2)	5 April (-3)	10 April (-7)
	2013	28 March (3)	27 March (-12)	9 April (-8)
	2016	-	-	-
	2018	-	-	-

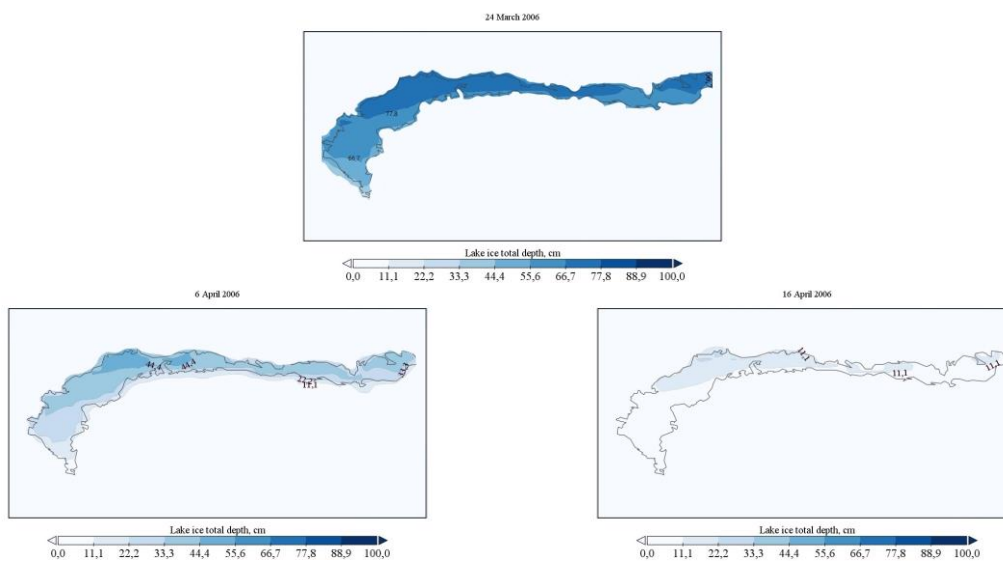
a)



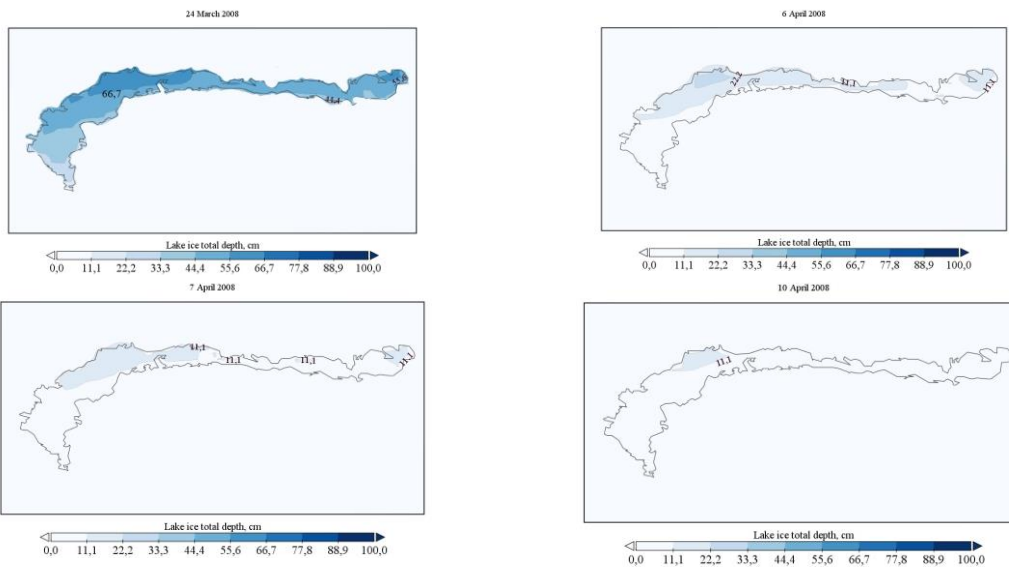
b)



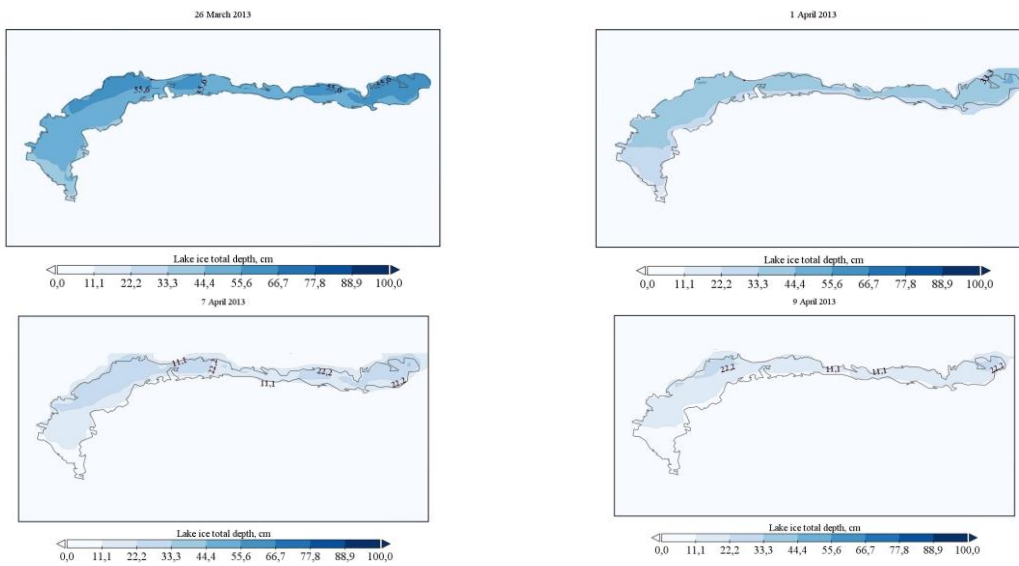
c)



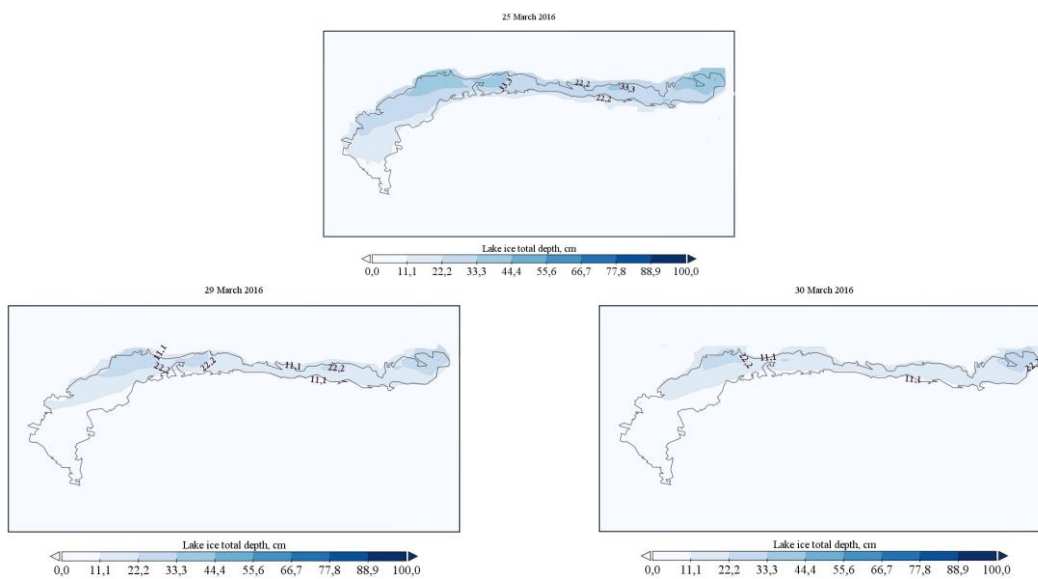
d)



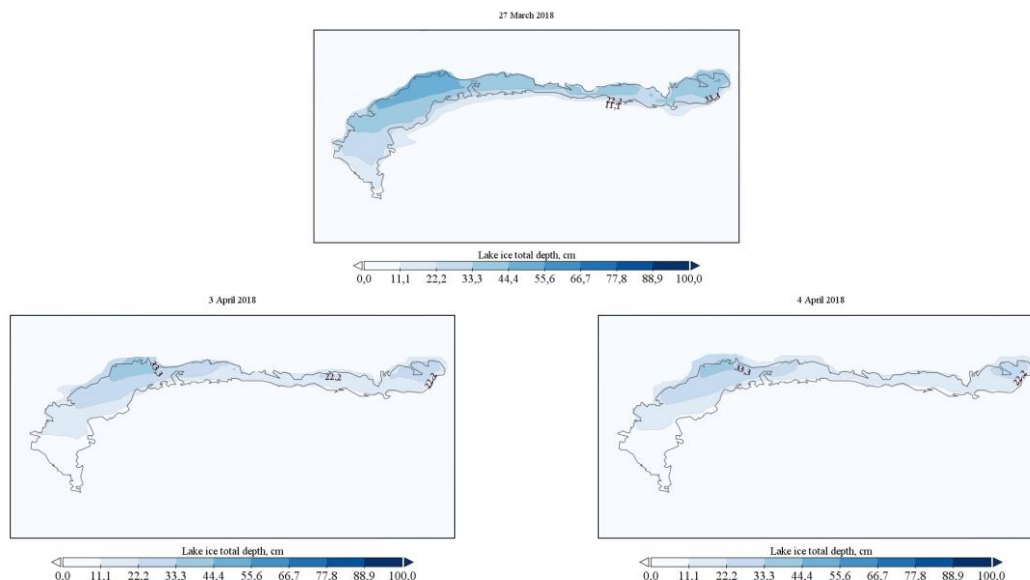
e)



f)



g)



*Fig. 4. Lake ice total depth on Balkash Lake in years with extremely warm months.*

Table 3 shows that in the years with extremely warm March, most dates of spring ice phenomena were earlier than average dates. However, in the dates of the ice destruction beginning destruction there are dates with a later date, despite the fact that March during these years was extremely warm. This indicates that the thermal factor is not the only one that affects the destruction of the ice cover.

Instrumental observation data are conducted at a single point and may not be representative of the entire lake (IPCC. Climate change 2007). Therefore, it becomes necessary to use data from other sources.

Figure 4 shows the ice thickness maps of the Lake Balkash water area according to the reanalysis data from the cds climate data store website.

In 2002, according to three posts, the ice began to break on February 24...March 4. The first ice destruction dates were 19...21 days earlier than average dates (table 3). During the destruction of the ice cover, incomplete freezing (5 days), water on ice (10...12 days), border meltwater (5...9 days), ice movement (2...8 days), polynya (5 days) were observed at the posts. The earliest end of complete freezing was observed at the Mynaral post – on March 12, which was 19 days earlier than

the average date. At the posts of Balkash and Algazy, the complete freezing ended on March 29...30, 7...9 days earlier. At the Mynaral post on March 13...15 floating ice was observed and on March 16, 24 days earlier, the water was completely cleared of ice. At the Balkash and Algazy posts, floating ice was observed for 3...4 days, water clear of ice was observed on April 2...4, 10...13 days earlier. According to the figure 4a on lake ice total depth maps from March 16 to April 4, it can be assumed that the ice began to melt from the southwestern part of the lake. From the first destruction to the date of water clearing, maximum ice thickness decreased from 66,7 cm to 22,2 cm.

The dates of the ice destruction beginning in 2005 differ significantly among the posts. At the Mynaral post, the first ice destruction was observed 6 days earlier – on 11 March. At the Balkash post the ice began to destruct on March 19. Deviation towards earlier dates was insignificant – 1 day. On Algazy post, the first ice destruction was observed on March 26, although March in 2005 was extremely warm ice at this post began to destruct 1 day earlier. In the process of ice destruction, border meltwater was observed, at the Balaksh post – 13 days, on Algazy – 9 days

The earliest date for the complete freezing ending in 2005 was at the Mynaral post – on March 25. The complete freezing ended 6 days earlier than average date. At the posts of Balkash and Algazy, freezing ended on April 2...3, deviations from the average dates towards earlier (3...5 days) were insignificant. After the complete freezing ending, floating ice was observed. Complete clearing of water from ice at the posts was observed from April 1 to 13. According to the figure 4 b in 2005, from April 1 to 15, ice decreased from the southwestern part of the lake. The maximum ice thickness in the period of 1...15 April decreased from 55,6 cm to 22,2 cm.

In 2006, the ice began to break in early and mid-March 10...16 days earlier. During the destruction of ice at the Balkash and Algazy posts, border meltwater and embacles were observed. At the Balkash and Algazy posts, ice movement began on March 29. Complete freezing ended 6...11 days earlier. In early April, polynya (5...8 days), floating ice (2...7 days) were observed. At the Mynaral post, water cleared of ice early – on March 24, which was 17 days earlier than the average date. On the total ice depth maps for April 16, it is shown section of ice-free water on both parts of the lake. The maximum ice thickness form March 24 to April 16 decreased from 77,8 cm to 11,1 cm.

In 2008, the earliest date of ice destruction (March 8) was noted at the Mynaral post. The ice breaking occurred 9 days earlier than the average date. The latest date of destruction was at the Saryshagan post – on March 26, later than the average date by 3 days. At the posts of Algazy and Balkash, the ice began to destruct 2...4 days earlier. During the destruction of ice at the posts, water on ice (9...13 days), border meltwater (10...15 days). According to posts from March 22 to April 5, the complete freezing ending observed, which was 3...9 days earlier than the average dates. During the end of complete freezing ending several days of ice movement, polynya and floating ice were observed. At Mynaral post, water cleared of ice on March 24, 16 days earlier. At other posts, clearing was observed from April 6 to 10, 6...7 days earlier. According to the figure 4 d, it can be seen that on the days of the

earliest clearing from ice, according to Mynaral post (on March 24), fee areas from ice are not visible on the map. Ice thickness maps from April 6 to 10 show a significant decrease of ice. The maximum ice thickness from March 24 to April 10 decreased from 66,7 cm to 11,1 cm.

In 2013, early ice destruction (March 1...2) was observed at the Balkash and Saryshagan posts. According to these posts, on March 1...17, in the presence of complete freezing, water on ice was observed. The early complete freezing ending was also at the posts of Balkash and Saryshagan – March 17. At the posts on Mynaral and Algazy, the complete freezing ending was noted on March 24 and 27. After the complete freezing ending, ice movement, polynya, ice piles were observed at the posts. Water clear of ice was noted at the end of March and early April, 7...15 days earlier than average dates. Lake ice total depth maps for April 7 and 9 in the southwestern part of the lake show ice-free areas (fig.4e). The maximum ice thickness from March 26 to April 9 decreased from 55,6 cm to 11,1 cm.

According to three posts (Mynaral, Saryshagan, Balkash) in 2016, the first ice destruction was observed on March 10...14, which was 3...10 days earlier than the average dates. The ice destruction began with the appearance of water on ice, border meltwater, polynya. At the posts Balkash and Mynaral, the complete freezing ended on March 15 and 24, 21 and 7 days earlier than the average dates. After the complete freezing ending at the Balkash post, ice piles was observed. The clearing of water from ice at all posts was observed at the end of March, 13...16 days earlier than average dates. According to the reanalysis of the ice thickness, on the maps for 25...30 March, it can be assumed ice is melting from southwest to east. The maximum ice thickness decrease form 33,3 cm to 22,2 cm. In 2018, the ice destruction beginning was on March 21...22. At the posts of Balkash and Mynaral on 21...25 March border meltwater was observed. The earliest complete freezing ending was at Mynaral post – March 26. After the ending of complete freezing at the Balkash post, ice piles was observed. The complete freezing at three posts ended 5 days earlier than average dates.



The clearing of water from ice was on March 27...April 4, which was 9...13 days earlier. According to the maps from figure 4g, the ice disappearing is visible on the lake total ice depth maps on April 3...4. From March 27 to April 4, the maximum ice thickness decreased from 44,4 cm to 33,3 cm.

## CONCLUSION

Thus, in this paper, the features of the ice cover's destruction of Balkash lake in extremely warm months were considered and following conclusions can be drawn:

- The air temperature of March is determine for the destruction of ice cover on Lake Balaksh:
- According to the criterion of Bagrov Tokarev's anomaly, years with extremely warm March were revealed. The gradation of extremely warm months included the years after 2000;
- In most cases, in years with an extremely warm month, the ice destruction beginning, the complete freezing ending and the water clear of ice were observed earlier than the average dates. The deviation from average dates were found.
- Ice cover in most cases begins to destruct from the southwestern part of the lake.

## REFERENCES

1. IPCC. Climate change 2013: The Physical science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M., Eds.; Cambridge U. Press: New York, NY, USA, 2013; p. 1535, doi:10.1017/CBO9781107415324.
2. Magnuson, J.J., Robertson, D.M., Benson, B.J., Wayne, R.H., Livingstone, D.M., Arai, T., et al. (2000). Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere. *Science*, 289, 1743-1746.
3. Andrew M.W. Newton, Donal J. Mulan. (2021). Climate change and Northern Hemisphere Lake and river ice phenology from

- 1931-2005. *The Cryosphere*, 15, 2211-2234.
4. Bonsal B.R., Duguay C.R., (2006). Impacts of large-scale teleconnections on freshwater-ice break/freez-up dates over Canada. *Journal of Hydrology*, 330, 340-353.
5. Duguay, C.R., Prowse T.D., Bonsal B.R., Brown R.D., Lacroix M.P., Menard P., (2006). Recent trends in Canadian lake ice cover. *Hydrological processes*, 20, 781-801.
- 6 Assel R. A., Cronk K., Norton D. (2003). Recent trends in Laurentian Great Lakes ice cover. *Climatic Change*, 57, 185-204.
7. Latifovich R, Pouliot D., 2006, Analysis of climate change impacts on lake ice phenology in Canada using the historical satellite data record. *Remote Sensing of Environment* 106, 492-507
8. Surface water resources of the USSR. Central and Southern Kazakhstan. Volume 13. Issue.2. The basin of Lake Balkhash. – L.: Hydrometeoizdat, 1970. – 644 p.
9. Bogorodsky V.V., Gusev A.V., Khokhlov G.P. Physics of freshwater ice. – L.: Hydrometeorological Publishing House, 1971. p. 3.
10. Odrova T.V. Hydrophysics of land reservoirs – L.: Hydrometeoizdat, 1979. – p. 238.
11. Beilinson Formation and destruction of the ice cover: (on watercourses and reservoirs of Kazakhstan). – Alma-Ata: Nauka, 1989.
12. Cherednichenko V.S., Kozhakhmetova E.P. Climate fluctuations in the Ile-Balkhash basin and its relation to the lake level // *Hydrometeorology and ecology*. – 2009. No. 3 – p. 62-77.
13. Shivareva S.P., Dolgikh S.A., Stepanov B.S., Yafyazova R.K., Li V.I., Golubtsov, V.P. Popova, Baymagambetov B.O., Petrova E.E. The impact of climate change on water resources of the basins of Lake Balkhash and the Aral Sea // *Hydrometeorology and ecology*. – 2009. No. 3 – pp. 36-61.
14. Ivkina N.I. Seasonal surging fluctuations of the water level on the lake. Balkhash // *Hydrometeorology and ecology*. – 2011. № .1 – p. 66-74.
15. Vilesov E.N., Akmoldaeva B.K. The change in the main values of the climate of the Balkhash region for 80 years // *Hydrometeorology and ecology*. – 2017. No. 2. – p. 27-35.
16. Beldeubaev E.E., Dolgikh S.A. On the temperature regime of surface air during

- the cold period in the Balkhash region and its changes in recent decades // Hydrometeorology and ecology. – 2019. No. 4. – p. 171-183.
17. *Beldeubaev E.E., Salnikov V.G.* About the dates of ice cover's freeze and break of Lake Balkhash in modern climatic conditions. – 2021. - No. 1. – p.8-18.
18. Climate data store [Electronic resource] / ERA5-Land hourly data from 1950 to present (copernicus.eu) <https://cds.climate.copernicus.eu>
19. *Bagrov N.A., Myakisheva N.N.* Some characteristics of anomalies of average monthly air temperatures // Proceedings of the MMC. – 1966. – Issue 9. – pp. 3-17.
20. IPCC. Climate change 2007: The Physical science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Solomon S., Qin D., Manning M., Marquis M., Averyt K., Tignor M., Miller H.L., Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996pp.

### **ЭКСТРЕМАЛДЫ ЖЫЛЫ АЙЛАРДАҒЫ БАЛҚАШ КӨЛІНІҢ КӨКТЕМ МЕЗГІЛІНДЕГІ МҰЗ ҚҰБЫЛЫСТАРЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ**

**Е.Е. Белдеубаев, Д.К. Кисебаев**

*<sup>1</sup>РМК «Казгидромет», Қазақстан Республикасы, Алматы*  
*E-mail: yerke\_beldeubaev@mail.ru*

Бұл мақалада Балқаш көліндегі мұздың өте жылы айларда бұзылу процестері қарастырылды. Наурыздағы орташа айлық ауа температурасы мен мұздың бұзылуының басталу, мұз жамылғысының аяқталуы және судың мұздан тазару күндері арасында айтарлықтай корреляция анықталды. Наурыз айы үшін Багров-Токарев аномалиясының критерийі есептелді және экстремалды айлар анықталды. Көктемгі кезеңде мұздың бұзылу ерекшеліктері экстремалды жылы айлармен талданды. Мұз құбылыстарының белгілі бір түрлерімен күндер саны есептеледі, экстремалды жылы айлар үшін мұз құбылыстарының әртүрлі түрлері талданады. Мұздың қалыңдығының таралу карталары салынды. Экстремалды жылы айларда мұздың бұзылуының басталу күндерінің, мұз жамылғысының аяқталуының және судың мұздан тазару күндерінің ауытқуы табылды.

Деректер көзі гидрологиялық анықтамалықтар, ауа температурасының орташа айлық мәні және еуропалық орталықтың CDs Copernicus климаттық деректер базасынан алынған реанализ болды.

**Түйінді сөздер:** экстремалды жылы айлар, мұздың бұзылуының басталуы, мұз жамылғысының аяқталуы және судың мұздан тазаруы, ауаның орташа температурасы, мұздың қалыңдығы.

### **ОСОБЕННОСТИ ВЕСЕННИХ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ОЗ. БАЛҚАШ В ЭКСТРЕМАЛЬНО ТЕПЛЫЕ МЕСЯЦЫ**

**Е.Е. Белдеубаев, Д.К. Кисебаев**

*<sup>1</sup>РГП «Казгидромет», Қазақстан Республикасы, Алматы*  
*E-mail: yerke\_beldeubaev@mail.ru*

В этой статье рассматриваются процессы разрушения льда на озере Балкаш в экстремально теплые месяцы. Была выявлена значительная корреляция между среднемесячной температурой воздуха в марте и датами начала разрушения льда, окончания ледостава и очищения воды ото льда. Был рассчитан критерий аномалии Багрова-Токарева для марта и определены экстремальные месяцы. Проанализированы особенности разрушения льда в весенний период годы с экстремально теплыми месяцами. Подсчитано количество дней с определенными типами ледовых явлений, проанализированы различные типы ледовых явлений для экстремально теплых месяцев. Были составлены карты распределения толщины льда. Обнаружено отклонение дат начала разрушения льда, окончания ледостава и очищения воды ото льда от средних дат в годы с экстремально теплыми месяцами.

Источником данных были гидрологические справочники, данные о среднемесячной температуре воздуха и реанализ данных с климатической базы данных CDs Copernicus Европейского центра.

**Ключевые слова:** экстремально теплые месяцы, начало разрушения льда, окончание ледостава и очищение воды ото льда, средняя температура воздуха, толщина льда.

УДК 551.311.21:627.141.

**ЯВЛЕНИЕ СКАЧКООБРАЗНОГО УВЕЛИЧЕНИЯ ПЛОТНОСТИ СЕЛЕВОЙ  
МАССЫ – СЛЕДСТВИЕ НЕОДНОЗНАЧНОЙ ЕЕ ЗАВИСИМОСТИ ОТ УКЛОНА  
ПУТИ ДВИЖЕНИЯ СЕЛЯ**

Б.С. Степанов<sup>1</sup> д.г.н., Р.К. Яфязова<sup>1</sup> д.т.н.

<sup>1</sup>РГП «Казгидромет», г. Алматы, Казахстан

E-mail: bs.stepanov@gmail.com

Характеристики каждого локального объема селя непрерывно изменяются в зависимости от: пути его движения (уклона, ширины и шероховатости русла), расхода, гранулометрического и минералогического составов рыхлообломочных пород, участвующих в селеформировании, плотности, вязкости, пластичности селевой массы и т.д. До настоящего времени принято считать, что плотность селевой массы зависит однозначно от уклона пути движения селя. В результате экспериментальных и теоретических исследований, проведенных в Казахском научно-исследовательском гидрометеорологическом институте (КазНИГМИ) установлено, что ход селевого процесса зависит от плотности селевой массы. Выявление неоднозначности плотности селевой массы от уклона пути движения селя привело к открытию природного явления – скачкообразного изменения плотности селевой массы при превышении критического значения уклона пути движения селя (эффект Степанова). Учет неоднозначности плотности селевой массы от уклона пути движения селя является ключевым элементом при расчете характеристик селя.

**Ключевые слова:** сель, селевая масса, плотность, вязкость, пластичность, концентрация, стесненность, уклон, расход, объем, однозначная (неоднозначная) зависимость.

Поступила: 09.11.2022

DOI: 10.54668/2789-6323-2022-105-2-59-77

---

*Открытие явления, ныне известного как эффект Черенкова, представляет собой интересный пример того, как относительно простое физическое наблюдение при правильном подходе может привести к важным открытиям и проложить новые пути для дальнейших исследований.*

*Карл Манне Георг Сигбан (из речи при получении Нобелевской премии)*

**ВВЕДЕНИЕ**

В 60...80-х годах прошлого столетия в СССР господствовали представления о том, что селевая масса большой плотности (2200...2500 кг/м<sup>3</sup> и более) образуется при трансформации оползневых процессов. «Сель – это движущийся по склону или по руслу горного водотока грязекаменный,

грязецебневый или грязевой поток, который при прекращении движения, отлагаясь, не распадается на головные части, а как бы медленно застывает» (Гагошидзе М.С., 1970).

Считалось, что взаимодействие водного потока с селеформирующими породами не может приводить к формированию грязекаменного селя большой плотности, так как турбулентный режим движения селя (основной источник энергии перемешивания селевой массы) прекращается, если объемная концентрация твердой компоненты селевой массы превысит значение 0,4 (плотность 1690 кг/м<sup>3</sup>) (Великанов М.А., 1948).

Вероятно, поэтому не обращали внимания на то, что грязекаменные сели большой плотности могут перемещаться без изменения плотности селевой массы и на малых уклонах.

Результаты экспериментальных работ по воспроизведению селей в натуральном масштабе на Чемолганском полигоне, проведенных Казахским научно-исследовательским гидрометеорологическим институтом (КазНИГМИ) в период 1972...1978 гг. и последующее теоретическое и экспериментальное исследование реологических свойств селевой массы, коренным образом изменили представления о зарождении, развитии, деградации и остановки селей.

### 1. НЕОДНОЗНАЧНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПЛОТНОСТИ СЕЛЕВОЙ МАССЫ ОТ УКЛОНА ПУТИ ДВИЖЕНИЯ СЕЛЯ

Сель – результат многофакторных процессов. Одним из простых процессов является сдвиг и движение рыхлообломочных пород, накопленных в селевой рывтвине

(Руководство по изучению селевых потоков, 1976) при заполнении порового пространства водой (Гагошидзе М.С., 1970; Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2014). Критическое значение уклона, превышение которого приводит к началу селевого процесса, может быть определено по формуле

$$H > \frac{\tau_{см}}{\rho_{см} g \sin \alpha}, \quad (1)$$

где  $H$  – глубина селя, м;  $\tau_{см}$  – предельное напряжение сдвига селевой массы, Н/м<sup>2</sup>;  $\rho_{см}$  – плотность селевой массы, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\alpha$  – уклон пути движения селя, градус.

Как может изменяться минимальный уклон пути движения крупных фракций селевой массы за счет собственной потенциальной энергии (в условии действия силы Архимеда) показано в таблице 1.

Таблица 1  
Зависимость уклона, на котором происходит сдвиг частиц, от плотности селевой массы их вмещающей

$\rho_m, \text{кг/м}^3$	$\rho_{см}, \text{кг/м}^3$	$\rho_m - \rho_{см}, \text{кг/м}^3$	$\sin \alpha$	$\alpha$
2650	1000	1650	0,373	20°30'
2650	1200	1450	0,328	18°10'
2650	1600	1050	0,237	13°20'
2650	2000	650	0,147	8°20'
2650	2200	450	0,102	5°00'
2650	2400	250	0,0396	2°20'
2650	2500	150	0,0237	1°20'

Примечание:  $\rho_m$  – плотность твердой компоненты селевой массы.

Наиболее сложным процессом является эрозионно-сдвиговый процесс, в результате которого водный поток трансформируется в грязекаменный сель. Основными его характеристиками являются расход и объем, а также плотность селевой массы. Их значения определяются уклоном и длиной селевого очага, расходом и объемом водного потока, гранулометрическим и минералогическим составами рыхлообломочных пород (степенью их увлажне-

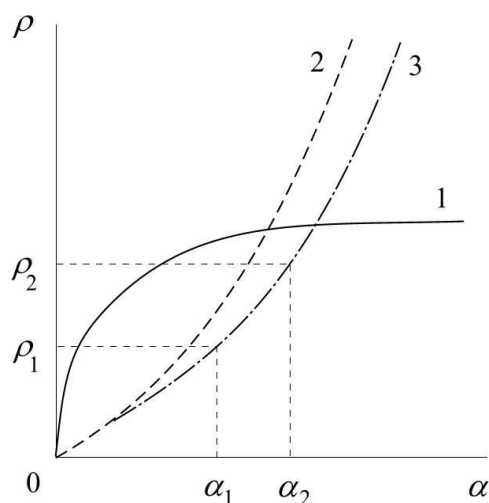
ния, устойчивостью к эрозии, эродирующей способности селевой массы и т.д.), принимающих участие в селеформировании.

На рисунке 1 приведены графики, отображающие, по мнению И. Штини, М.А. Мосткова и Т. Такахаша, зависимость плотности селевой массы от уклона селевого очага (Степанов Б.С., Яфязова Р.К., 2014). Несмотря на существенное различие в форме графиков, они относятся к классу непрерывных однозначных функций.

При прогнозе развития селевого процесса указанное обстоятельство играет важную роль. Физическая интерпретация обсуждаемых зависимостей дает основание утверждать, что плотность селевой массы (концентрация твердой компоненты в селевой массе) «... большая, нежели ... значение, определяемое соотношениями между уклоном и предель-

ной концентрацией, ... невозможна ...» (Флейшман С.М., 1978).

Другими словами, при перемещении селя с плотностью  $\rho_2$ , образовавшегося на уклоне  $\alpha_2$ , на уклон  $\alpha_1$  ( $\alpha_2 > \alpha_1$ ) неизбежно уменьшение плотности селевой массы до соответствующего данному уклону значения  $\rho_1$  ( $\rho_1 < \rho_2$ ).



**Рис. 1.** Зависимость предельной плотности селевой массы от уклона русла по: 1 – И. Штини; 2 – М.А. Мосткову; 3 – Т. Такахаши

Приведенные сведения о предельно возможной транспортирующей способности селей вступали в противоречие с данными наблюдений, свидетельствующими о том, что селевые потоки, плотность которых могла изменяться от 2300 до 2500 кг/м<sup>3</sup>, перемещались на относительно малых уклонах ( $\sin \alpha$  колебался от 0,02 до 0,07) на несколько километров (Марков И.Н. и др., 1983; Тихомиров Ю.П., Шевырталов Е.П., 1985). Острота этого противоречия до конца 60-х годов прошлого столетия сглаживалась установившимися к тому времени представлениями о существовании двух категорий селей: связанных (ламинарных) и несвязных (турбулентных). Возникновение селей первой категории (структурных, связанных, ламинарных), движение всех частиц в которых происходит со средней скоростью потока (Мостков М.А., 1957), увязывалось с переходом в текучее состояние водонасыщенных грунтов. Возможность движения образующейся селевой массы определялась превышени-

ем сдвигающей силы над удерживающей.

Считалось, что сели второй категории (несвязные, турбулентные), скорость движения твердой и жидкой компонент в которых различна (Мостков М.А., 1957), образуются в результате взаимодействия водного потока с рыхлообломочными породами, слагающими русло, на что расходуется потенциальная энергия твердой и жидкой компонент селевой массы.

Из рисунка 1 следует, что если плотный сель сформировался на большом уклоне, то его перемещение на малый уклон должно привести к уменьшению плотности селевой массы. Однако изучение процесса движения селя 1921 года по улицам г. Верный (Алматы) (на участке пр. Абая – пр. Райымбек, длина участка 3,1 км, средний уклон 2°) показало, что на малом уклоне плотность селевой массы могла не только уменьшаться, но и увеличиваться за счет эрозионного процесса. «... Крупные камни плыли в потоке не переворачиваясь, так как не касались дна русла.

Перемешивание в потоке было незначительным, поскольку скорость потока была относительно небольшой». Уменьшение плотности происходило потому, что отлагались глыбы, превышающие 1 м (рис. 2).

Это объясняется тем, что глыбы большего размера выступали за поверхность движущейся селевой массы, при этом действие Архимедовой силы уменьшалось, что приводило к их остановке (Яфязова Р.К., 2007).



*Рис. 2. Отложение селя 1921 года на ул. Капальской (ныне Кунаева)  
(автор фотографии не известен)*

Зарождение селей, их движение по руслам и поймам рек, конусам выноса, расположенным на предгорной равнине – сложные физические процессы. Впервые гипотеза о неоднозначной зависимости плотности селевой массы от уклона пути движения селя была опубликована в 1980 году (Степанов Б.С., 1980 а). Для проверки этой гипотезы в КазНИГМИ было разработано и изготовлено устройство, схема которого приведена на рисунке 3.

Размер цилиндра: диаметр – 75 мм, длина – 155 мм, шероховатость – 5 мм, шаг шероховатости – 35 мм. В роли твердой компоненты выступали селевые отложения, взятые на конусе выноса р. Улкен Алматы (максимальный размер частиц, использованных в экспериментах, не превышал 2 мм).

Селевая масса различной плотности загружалась поочередно в цилиндр, приводившийся во вращательное движение. Определялась минимальная мощность, необходимая для того, чтобы твердая компонента перешла во взвешенное состояние.

Результаты экспериментов приведены на рисунке 4. Нетрудно

видеть, что при увеличении объемной концентрации твердой компоненты от нуля до 0,17...0,18, мощность, затрачиваемая на взвешивание, увеличивается. Дальнейший рост концентрации твердой компоненты не только не нуждался в увеличении мощности, затрачиваемой на перемешивание селевой массы, но и имела место обратная закономерность.

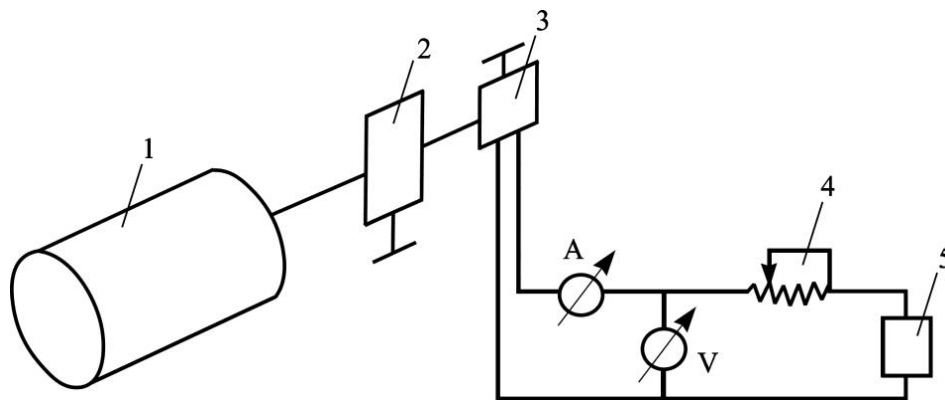
Объясняется это тем, что гидравлическая крупность частицы ( $W$ ) зависит от степени стесненности падающих частиц (Великанов М.А., 1948)

$$W = w_0(1-C) \quad (2)$$

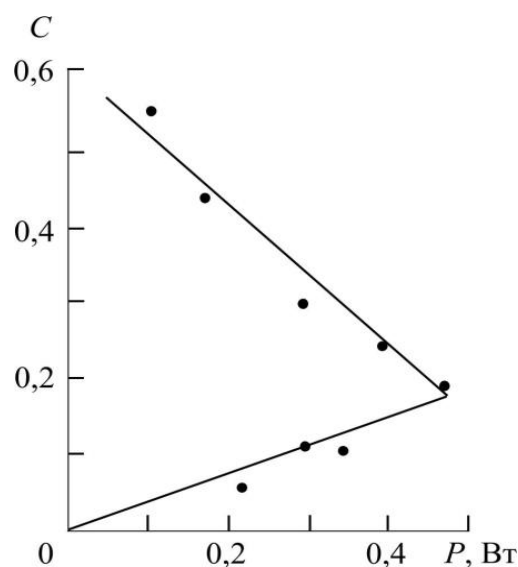
где  $w_0$  – гидравлическая крупность единичной частицы в воде, м/с;  $C$  – объемная концентрация частиц (одного размера и формы) твердой компоненты селевой массы. В настоящее время считается, что

$$W = w_0(1-C)^n \quad (3)$$

где  $n$  – число, изменяющееся в пределах 2...4,2 в зависимости от числа Рейнольдса.



**Рис. 3.** Схема устройства для измерения энергии, необходимой для поддержания твердой компоненты селевой массы во взвешенном состоянии. 1 – цилиндр; 2 – редуктор; 3 – электродвигатель; 4 – реостат, 5 – блок питания.  
A – амперметр, V – вольтметр



**Рис. 4.** Зависимость мощности, необходимой для поддержания частиц твердой компоненты селевой массы во взвешенном состоянии, от объемной концентрации твердой компоненты

О степени влияния стесненности падения частиц на их гидравлическую крупность можно судить по данным таблицы 2.

При полидисперсном составе твердой компоненты селевой массы влияние стесненности падения частиц на величину их гидравлической крупности, скорее всего, уменьшается. В определенной мере это будет компенсироваться проявлением Архимедовой силы, влияние которой возрастает с увеличением размеров частиц за счет увеличения плотности «тяжелой жидкости» (смеси воды и частиц, размер которых на порядок

меньше частиц, находящихся под действием силы Архимеда), в которой они находятся.

С увеличением концентрации твердой компоненты гидравлическая крупность частиц будет уменьшаться также из-за увеличения вязкости и пластичности селевой массы. Существование неоднозначной зависимости плотности селевой массы грязекаменных селей от уклона пути их движения подтверждается отложением крупных фракций твердой компоненты селя на периферийной части конуса выноса, уклон которого находится в пределах  $0,5...2^\circ$  (рис. 5).



Степень влияния стесненности падения частиц на их гидравлическую крупность

$C$	$(1-C)$	$(1-C)^2$	$(1-C)^3$	$(1-C)^4$
0,05	0,95	0,90	0,86	0,81
0,1	0,90	0,81	0,73	0,66
0,2	0,80	0,64	0,51	0,41
0,3	0,70	0,49	0,34	0,24
0,4	0,60	0,36	0,22	0,13
0,5	0,50	0,25	0,12	0,062
0,6	0,40	0,16	0,064	0,026
0,7	0,30	0,09	0,027	0,0081
0,8	0,20	0,04	0,008	0,0016
0,9	0,10	0,01	0,001	0,0001

Примечание:  $C$  – объемная концентрация твердой компоненты.



Рис. 5. Селевые отложения в нижней части конуса выноса р. Сарыкан (Жетысу Ала-тау) (рабочий материал КазНИГМИ)

## 2. АКСИОМАТИЧЕСКОЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ОТРИЦАТЕЛЬНОГО НАКЛОНА У ГРАФИКА ЗАВИСИМОСТИ ПЛОТНОСТИ СЕЛЕВОЙ МАССЫ ОТ УКЛОНА ПУТИ ДВИЖЕНИЯ СЕЛЯ

### 2.1. Аксиомы существования селя

1. Селевая масса – смесь горных пород, представленных полидисперсными частицами, размеры которых могут отличаться на порядки (от долей микрона до 10 м и более) и жидкой компоненты (воды).

2. Селевой процесс – совокупность процессов, составляющих этапы подготовки, зарождения, разви-

тия, деградации и остановки селя.

Селевой процесс стремится к динамическому равновесию, которое характеризуется состоянием селевой массы, при котором не происходит изменение ее плотности.

Селевой процесс носит стационарный характер, если плотность, вязкость и пластичность селевой массы, а также гранулометрический и минералогический составы твердой компоненты селевой массы сохраняются неизменными при постоянном значении характеристик пути движения, глубины, расхода и скорости селевого потока.

Если селевой процесс носит стационарный характер, все частицы твердой компоненты селевой массы и жидкая

компонента перемещаются с одинаковой скоростью.

3. Возможность вовлечения твердой компоненты в селевой процесс определяется мощностью селя, которую он может затратить на увеличение плотности селевой массы.

4. Если мощность селя, затрачиваемая на поддержание частиц твердой компоненты во взвешенном состоянии, меньше необходимой, происходит частичный распад селевой массы, при котором происходит поочередное (от крупных к более мелким) оседание частиц до тех пор, пока мощность потока, которая может затрачиваться на их поддержание во взвешенном состоянии, не уравнивается с мощностью, необходимой для поддержания твердой компоненты во взвешенном состоянии.

5. Под критическим уклоном понимается значение уклона пути движения селя, при превышении которого все фракции твердой компоненты селевой массы принимают участие в селеобразовании. В такой ситуации, при наличии селеформирующего грунта и неограниченной длине пути движения селя, плотность селевой массы увеличивается до предельного состояния (потери текучести).

6. За минимальный расчетный объем селевой массы принимается объем, величина которого (как минимум) на порядок больше объема наиболее крупной частицы, принимающей участие в селевом процессе.

7. Уровень современных знаний об условиях формирования селей и свойствах селевой массы позволяет постулировать: водный поток, взаимодействуя с рыхлообломочными горными породами, представленными полидисперсными частицами, трансформируется в селевой поток большой плотности ( $2300...2500 \text{ кг/м}^3$ , при плотности твердой компоненты  $2650 \text{ кг/м}^3$ ) при превышении критического значения расхода водного потока (зависит от гранулометрического состава селеформирующих пород) и уклона русла (пути движения селя).

8. В начальной фазе формирования селя крупные фракции твердой компоненты перемещаются качением и сальтацией. Экспериментально было установлено, что обломки горных пород, размером бо-

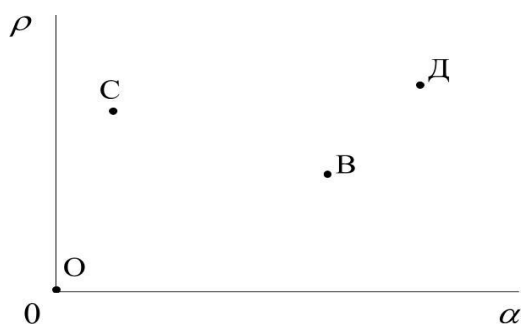
лее  $0,2 \text{ м}$ , после триггера развивают в воздушной среде (на горном склоне, уклон которого превышает  $11...12^\circ$ , под действием силы тяжести) скорость качения и (или) сальтации, значительно превышающую скорость формирующегося селя.

9. Средняя скорость движения всех фракций твердой компоненты и водной компоненты одинакова. Подтверждением тому – отсутствие водного потока перед головным валом селя, что наблюдалось при проведении экспериментов по воспроизведению селей в натуральном масштабе КазНИГМИ (водный поток с расходом  $28 \text{ м}^3/\text{с}$  трансформировался в селя с расходом  $430 \text{ м}^3/\text{с}$ ).

## 2.2. Теорема о графике зависимости между плотностью селевой массы и уклоном (имеющем сегмент с отрицательным наклоном)

Если график зависимости между плотностью селевой массы и уклоном пути движения селя непрерывная линия (малому изменению значения абсцисс соответствует малое изменение значения ординат); каждое последующее значение ординат превышает предыдущее; твердая компонента селевой массы перемещается в квазивзвешенном состоянии; плотность селевой массы может увеличиваться до потери текучести; глубина потока превышает размер наиболее крупных частиц; вязкость и пластичность селевой массы являются непрерывными функциями плотности селевой массы, то график зависимости плотности селевой массы от уклона, на котором селя перемещается без распада и остановки, имеет сегменты с положительным (при увеличении угла наклона пути движения селя плотность селевой массы увеличивается) и отрицательным (при уменьшении угла наклона пути движения селя плотность селевой массы также увеличивается) наклонами.

При доказательстве теоремы использовались характеристики селей Иле и Жетысу Алатау, отложившиеся в предгорной зоне, и пустыне Жаманкум. На рисунке 6 приведено расположение точек О, В, С и Д, характеризующих наиболее важные моменты селеформирования.



**Рис. 6.** Расположение точек на координатной плоскости (уклон пути движения селя; плотность селевой массы), положение которых не требует доказательства или получены экспериментально

**Точка О.** Начало селевого процесса, плотность потока –  $1000 \text{ кг/м}^3$ .  
**Точка В.** Уклон, при котором все фракции твердой компоненты селевой массы перемещаются во взвешенном состоянии с одинаковой средней скоростью.

Результаты экспериментов по воспроизведению селей в натуральном масштабе в бассейне р. Чемолган, анализ условий формирования селей в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы (Иле Алатау) и в бассейне р. Сарыкан (Жетысу Алатау) показали, что минимальный уклон очага селеобразования, при котором все фракции горных пород принимают участие в селеформировании, должен превышать  $11...12^\circ$ , а расход воды – превышать  $6 \text{ м}^3/\text{с}$ . Такой уклон очага селеобразования обеспечивает (в начальной фазе селеформирования) самостоятельное (под действием силы тяжести) движение камней и глыб. Если размер частиц селеформирующих горных пород не превышает  $0,2 \text{ м}$ , они перемещаются во взвешенном состоянии за счет потенциальной энергии жидкой компоненты селевой массы до тех пор, пока эту роль не начнут выполнять вязкость и пластичность селевой массы.

При гранулометрическом составе селеформирующих пород пустынь минимальный уклон очага селеобразования может составлять  $2...3^\circ$ , а движение сформированной плотной селевой массы может происходить на уклоне менее  $1^\circ$  (сель 1988 года в пустыне Жаманкум (Яфязова Р.К., 2007)).

В результате наблюдений за условиями зарождения, развития, деградации и остановки селей установлено, что на малых

уклонах (менее  $2...3^\circ$ ), когда селеформирующие горные породы имеют полидисперсный состав, грязекаменные сели не образуются.

**Точка С.** Сформировавшийся сель может перемещаться на малых уклонах: наблюдаемое значение селевых отложений с плотностью  $2400...2500 \text{ кг/м}^3$  на уклоне  $2...3^\circ$  (сель 1921 года на территории г. Верного (Яфязова Р.К., 2007)). Отложение валунов и глыб обусловлено уменьшением Архимедовой силы, когда их размеры превышали глубину потока (см. рис. 2).

Ситуация, при которой твердая компонента селевой массы – песок, имела место при прорыве накопителя сточных вод в пустыне Жаманкум.

**Точка Д.** Плотность селевой массы, при которой она теряет текучесть (рис. 7) в результате: аномально большой концентрации грунта в селевой массе; аномально большого содержания глинистых фракций в селевой массе; уменьшения содержания жидкой компоненты селевой массы вследствие инфильтрации воды в подстилающий грунт.

Абсцисса и ордината точки Д зависят (как и все остальные точки обсуждаемой зависимости) от морфометрических характеристик пути движения селя, его глубины, плотности селевой массы, гранулометрического и минералогического составов ее твердой компоненты.

Очевидно, что при построении графика зависимости плотности селевой массы от уклона пути движения селя точку О нужно соединить с точкой В.



Рис. 7. Отложения селевого потока 1977 года в пойме р. Улкен Алматы (рабочий материал КазНИГМИ)

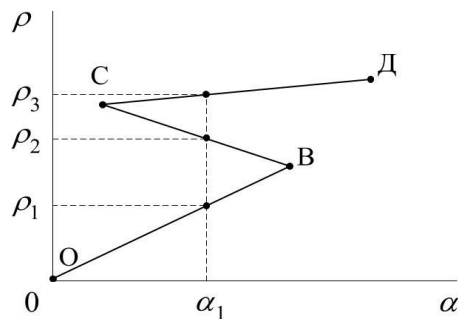


Рис. 8. График зависимости между плотностью селевой массы и уклоном пути движения селя

Точку В можно соединить с точкой С или точкой Д. При соединении точки В с точкой Д продолжением графика будет соединение точки Д с точкой С. Однако при этом нарушается условие теоремы, что каждое последующее значение должно превышать предыдущее. Следовательно, необходимо точку В соединить с точкой С, а точку С с точкой Д (рис. 8).

Нетрудно видеть, что полученный график ОВСД имеет положительный сегмент ОВ (плотность селевой массы возрастает с увеличением угла наклона пути движения селя), отрицательный сегмент ВС (плотность увеличивается с уменьшением уклона) и положительный сегмент СД (плотность селевой массы возрастает с увеличением угла наклона пути движения селя). Из графика следует, что зависимость изменения плотности селевой массы от уклона пути движения селя неоднозначна: одному и тому же значению уклона пути движения селя ( $\alpha_1$ )

соответствует три значения плотности селевой массы (первое значение ( $\rho_1$ ) на сегменте ОВ, второе ( $\rho_2$ ) на сегменте ВС и третье ( $\rho_3$ ) на сегменте СД), поэтому расчет зависимости плотности селевой массы от уклона пути движения селя является ключевым элементом при расчете характеристик селей.

Морфометрические характеристики пути движения селя, глубина потока, реологические характеристики и плотность селевой массы определяют состояние локальных объемов селя (увеличение, уменьшение или стабильность плотности селевой массы) на пути его движения.

График, получаемый путем соединения точки В с точкой Д, характерен для селей, в движении которых решающую роль играет кулоновское трение, препятствующее движению потока. Зависимость плотности селевой массы от уклона пути движения селя однозначна: с увеличением уклона плотность селевой массы увеличивается.

Анализ условий формирования и развития селя, образовавшегося в пустыне Жаманкум, подтвердил существование неоднозначной зависимости плотности селевой массы от уклона пути движения селя. Уместность привлечения характеристик селя, образовавшегося в пустыне Жаманкум, для верификации зависимости плотности селевой массы от уклона пути движения селя связана с практической однородностью размера частиц, принимавших участие в селеобразовании, а также тем, что в селевой процесс, вызванный прорывом накопителя сточных вод с объемом воды около 36 млн м<sup>3</sup>, было вовлечено 36,5 млн м<sup>3</sup> песка.

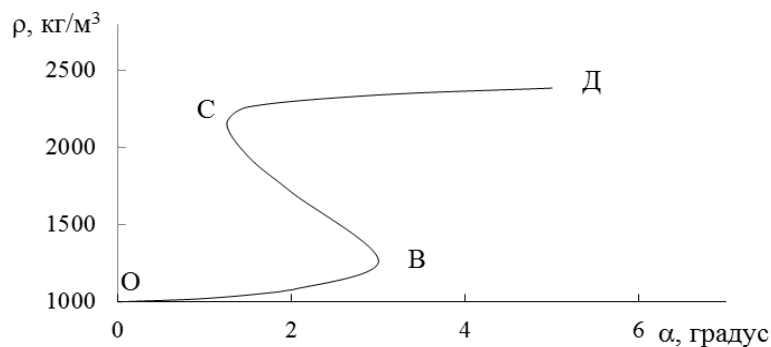
Селевой поток перемещался по руслу и пойме р. Каскелен (средний уклон около 0,5°) десятки километров. Содержание глинистых фракций в песках Жаманкума было

настолько мало, что при концентрации твердой компоненты близкой к пределу текучести, селевая масса практически не обладала пластичностью. Следовательно, частицы песка перемещались в составе суспензии во взвешенном состоянии. В результате в пустыне Жаманкум образовался каньон шириной 50...80 м и протяженностью около 6 км (рис. 9). Отсутствие русла на плоском дне каньона свидетельствовало о том, что ширина селевого потока была равна ширине дна каньона.

После опорожнения накопителя сточных вод селевой процесс инициировался оползнями, возникавшими на бортах накопителя. Плотность оползней была близка к максимальному значению, что позволяло сформировавшемуся селю перемещаться (даже при отсутствии пластичности) 6 км на уклоне близком к 0,5°.



**Рис. 9.** Каньон (длиной около 6 км), образовавшийся в результате формирования селя 28...29 января 1988 года в пустыне Жаманкум (рабочий материал КазНИГМИ)



**Рис. 10.** Зависимость плотности селевой массы от уклона пути движения селя (сель 1988 г. в пустыне Жаманкум)

Характеристики зависимости плотности селевой массы от уклона пути движения селя (рис. 10) зависят от гранулометрического состава твердой компоненты

селевой массы. При расчете графика предполагалось, что глубина потока равна 1 м. Гранулометрический состав твердой компоненты селя 1988 года представлен в таблице 3.

Таблица 3

Гранулометрический состав песков Жаманкум (в процентах)

Глубина отбора проб, см	Фракции, мм			
	1...0,5	0,5...0,25	0,25...0,1	<0,1
0...3	3,4	50,3	37,5	8,8
3...6	1,2	32,0	56,1	10,7
6...9	2,2	36,3	55,2	6,3
9...12	1,1	22,2	59,8	16,9
12...20	4,2	34,3	49,6	11,9
20...50	1,8	30,0	54,9	13,3
Среднее по шести горизонтам	2,3	34,2	52,2	11,3

На рисунке 11 представлен график зависимости плотности селевой массы от уклона пути движения селя, рассчитанный с использованием гранулометрического состава селевых отложений в бассейне р. Киши Алматы. Гранулометрический состав твердой компоненты селевой массы,

типичный для бассейна р. Киши Алматы, представлен в таблице 4. При расчете графика предполагалось, что глубина потока равна 1 м, фракции размером 100...1000 и 1000...10000 мм перемещаются самостоятельно (под действием силы тяжести) до плотности селевой массы 2000 кг/м<sup>3</sup>.

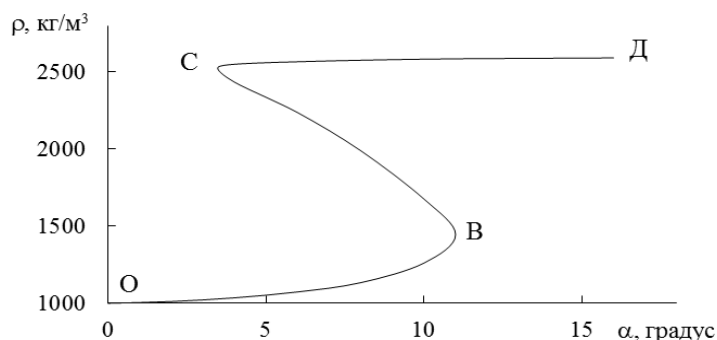


Рис. 11. Зависимость плотности селевой массы от уклона пути движения селя (бассейн р. Киши Алматы)

Таблица 4

Гранулометрический состав морен бассейна р. Киши Алматы (Иле Алатау)

Размер фракций, мм	0...0,1	0,1...1	1...10	10...100	100...1000	1000...10000
Содержание частиц грунта, %	4	7	19	30	36	4

Сравнение зависимостей плотности селевой массы от уклона пути движения селя, приведенных на рисунках 10 и 11 показывает, что затраты на удержание твердой компоненты во взвешенном состоянии мо-

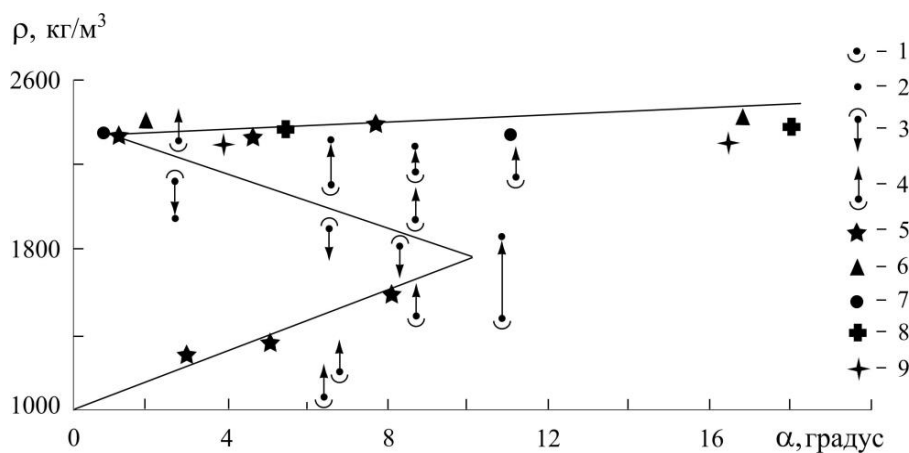
гут не только увеличиваться, но даже уменьшаться. Поскольку возможность теоретического описания кинематики формирования селевой массы в результате взаимодействия водного потока с рыхлообломочными

породами представляется проблематичной, данные о предельных условиях существования селевой массы, необходимые для дальнейшего развития теории формирования селевой массы и решения практических задач по защите от селей, могут быть получены экспериментальным путем (Степанов Б.С., 1980 б).

Круговой лоток, спроектированный и изготовленный в КазНИГМИ, имеет следующие характеристики: диаметр – 1350 мм, ширина – 1000 мм. Внутренняя поверхность лотка снабжена шероховатостями (стальными полосами высотой 60...70 мм и длиной 800 мм). Для возврата обломков, захваченных элементами шероховатости, внутри лотка по всей его ширине установлена наклонная плоскость. Лоток загружался двухкомпонентной смесью до уровня 370 мм, затем приводился во вращение вокруг горизонтальной оси с угловой скоростью, обеспечивающей равномерное распределение твердого компонента в теле потока. Плотность массы потока определялась путем отбора пробы объемом 9 дм<sup>3</sup> в поверхностном слое (толщиной 100...150

мм) в его центральной части. Затем скорость вращения постепенно снижалась до тех пор, пока плотность смеси не начинала уменьшаться вследствие превышения скорости распада смеси над скоростью взвешивания твердой компоненты. В этот момент определялись угловая скорость вращения лотка, уклон свободной поверхности смеси, поверхностная скорость ее движения и плотность селевой массы. Рассчитывался также уклон свободной поверхности селевой массы в лотке при его остановке. К сожалению, при большой плотности смеси, из-за несовершенства электрического привода лотка, не удалось получить минимальные углы наклона свободной поверхности потока, при которых еще не происходит распад селевой массы.

На рисунке 12 приведены результаты экспериментов по выявлению зависимости между плотностью селевой массы и минимальным уклоном, на котором не происходит ее распад. Зависимость получена для селевой массы, гранулометрический состав твердого компонента которой близок к усеченному составу рыхлообломочных пород Иле Алатау.



**Рис. 12.** Результаты экспериментальных исследований и данные наблюдений. 1 – начальное значение плотности; 2 – конечное значение плотности; 3 – распад селевой массы; 4 – обогащение селевой массы; 5 – данные, полученные на круговом лотке.

Данные наблюдений: 6 – сель 1921 г. (бассейн р. Киши Алматы);  
7 – сель 1982 г. (бассейн р. Сарыкан); 8 – сель 1963 г. (бассейн р. Есик);  
9 – искусственный сель 1975 г. (Чемолганский экспериментальный полигон)

Во всем диапазоне плотностей селевой массы течение носило турбулентный и квазиламинарный характер, дви-

жения с ядром не наблюдалось. Таким образом, график зависимости (рис. 13) делит плоскость ( $\rho$ ,  $\alpha$ ) на область распада (М)

и область набора (N), что позволяет прогнозировать эволюцию селевого потока. Результаты вычислений хорошо согласуются с данными наблюдений за прохождением селей и позволяют осуществлять количе-

ственную интерпретацию тех особенностей селевых процессов, которые не находили качественного объяснения в рамках общепринятых представлений о селевых явлениях.

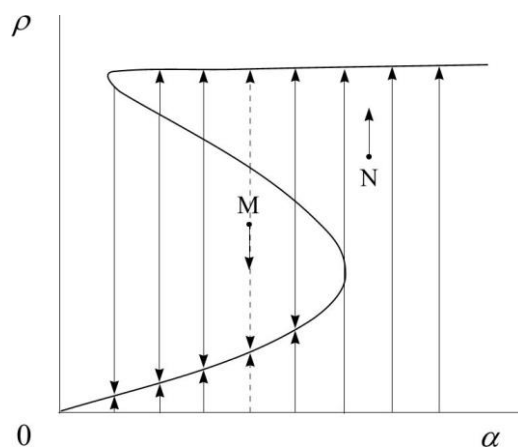


Рис. 13. График зависимости плотности селевой массы от уклона пути движения селя, делящий плоскость ( $\rho$ ,  $\alpha$ ) на область распада (M) и область набора (N).

### 3. СКАЧКООБРАЗНОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ ПЛОТНОСТИ СЕЛОВОЙ МАССЫ ПРИ ЕЕ НЕОДНОЗНАЧНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ОТ УКЛОНА ПУТИ ДВИЖЕНИЯ СЕЛЯ

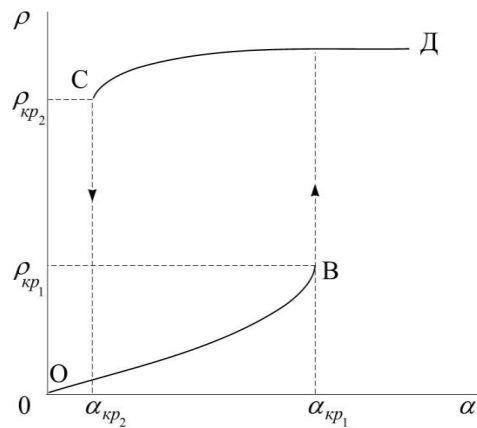
Наличие отрицательного наклона у графика, характеризующего зависимость плотности селевой массы от минимального уклона, на котором селевая масса может существовать без распада и остановки (при глубине селевых потоков, представляющих практический интерес), свидетельствует о том, что с увеличением плотности селевой массы поток обретает способность увеличивать характеристики при уменьшении (до определенного предела) уклона пути его движения. Это объясняется существованием природного явления – скачкообразного увеличения плотности селевой массы при превышении уклоном пути движения селя критического значения (эффект Степанова) (Степанов Б.С., 1992).

Если анализировать эту зависимость, то скачкообразное изменение плотности означает, что при превышении критического значения уклона ( $\alpha_{кр1}$ ) (рис. 14, точка B) бесконечно малое увеличение уклона приводит к конечному изменению плотности

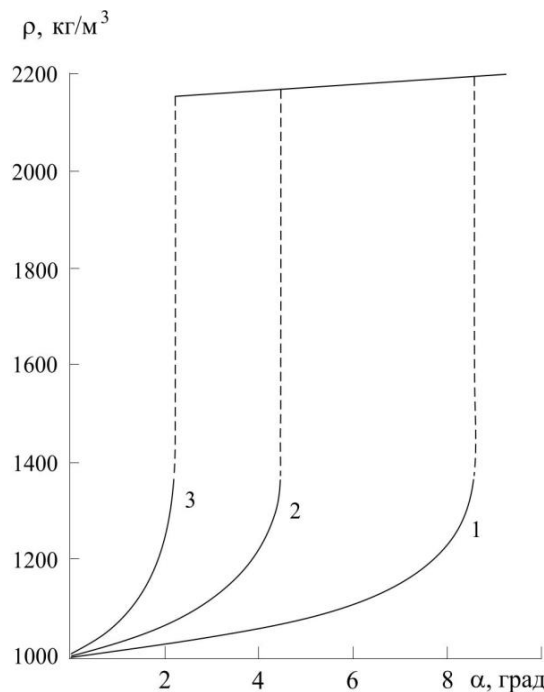
селевой массы (график претерпевает разрыв). Явление скачкообразного изменения плотности селевой массы при превышении уклоном критического значения не могло быть обнаружено экспериментальным путем, так как уменьшить уклон на бесконечно малую долю градуса невозможно. Оно было обнаружено теоретически. Скачкообразное изменение плотности не означает, что плотность селевой массы изменится мгновенно, для этого потребовалась бы бесконечно большая энергия и конечные (по величине) запасы селеформирующих пород на бесконечно малом (по размерам) участке пути движения селя.

На примерах, приведенных на рисунке 15 видно, что если на уклонах, соответствующих точке перехода линии в пунктир, плотность селевой массы была равна 1350...1370 кг/м<sup>3</sup>, то при увеличении уклона на бесконечно малую величину плотность станет (через какое-то конечное время, при наличии рыхлообломочных пород в русле, после продвижения селя на какую-то длину) близкой к предельно возможной (для гранулометрического состава Жаманкумских песков) – 2200 кг/м<sup>3</sup>.





**Рис. 14.** Предельное значение плотности селевой массы для уклонов в области набора (см. рис. 13).

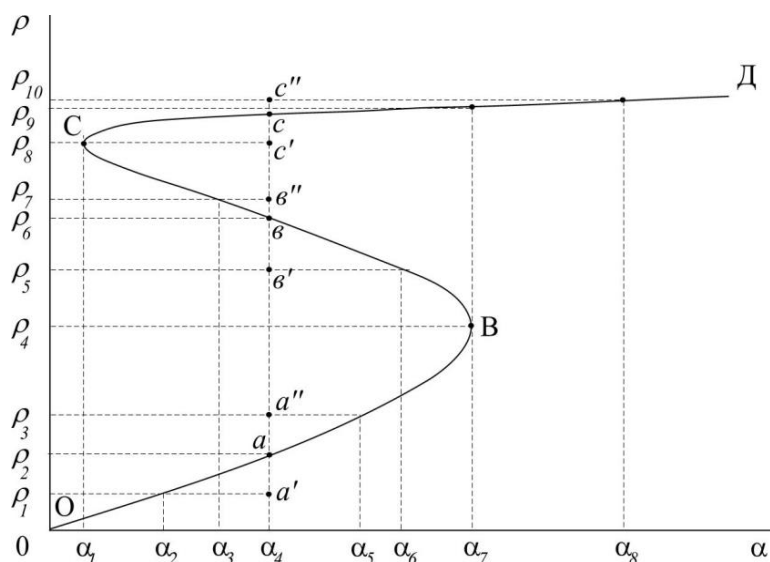


**Рис. 15.** Явление скачкообразного изменения плотности селевой массы при превышении уклоном критического значения при различных глубинах потоков: 1 – 0,5 м; 2 – 1 м; 3 – 2 м

**4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФИКА ЗАВИСИМОСТИ ПЛОТНОСТИ СЕЛЕВОЙ МАССЫ ОТ ПУТИ ДВИЖЕНИЯ СЕЛЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ДАЛЬНЕЙШЕГО ХОДА СЕЛЕВОГО ПРОЦЕССА (УВЕЛИЧЕНИЯ ИЛИ УМЕНЬШЕНИЯ ПЛОТНОСТИ СЕЛЕВОЙ МАССЫ)**

В ходе селевого процесса, в результате изменения характеристик селя и его

пути движения, плотность селевой массы может существенно изменяться. На рисунке 16 представлена зависимость между плотностью селевой массы и минимальным уклоном (глубина потока постоянная, представляющая практический интерес), на котором она может существовать без распада и остановки, и приведены примеры, поясняющие как изменяется ход селевого процесса в различных ситуациях.



**Рис. 16.** Характерная форма кривой зависимости между плотностью селевой массы и минимальным уклоном, на котором она может существовать без распада и остановки

График ОВСД, характеризующий обобщаемую зависимость (для конкретных значений глубины потока, гранулометрического и минералогического составов твердой компоненты селевой массы), состоит из трех сегментов: ОВ и СД – сегменты устойчивого состояния селевой массы и ВС – сегмент неустойчивого состояния селевой массы.

Ход селевого процесса определяется тем, больше или меньше величина плотности селевой массы относительно значений плотности в точках, лежащих на кривой ОВСД при различных уклонах пути движения селя.

Например, уклону  $\alpha_4$  соответствуют точки  $a$ ,  $b$  и  $c$ , в которых энергия, необходимая для поддержания всех частиц во взвешенном состоянии, равна энергии потока, которую он может затрачивать на поддержание этих частиц в упомянутом состоянии.

Пусть, в силу каких-либо обстоятельств, на уклоне  $\alpha_4$  оказался сель с плотностью  $\rho_1$  (точка  $a'$ ), но сель с плотностью  $\rho_1$ , как это следует из рисунка, может существовать без остановки и распада на уклоне  $\alpha_2$ . Так как  $\alpha_2 < \alpha_4$ , избыточная энергия потока будет затрачена на увеличение плотности селевой массы до значения  $\rho_2$ . Подобный процесс будет происходить для всех значений плотности, больших нуля в интервале уклонов от нуля до  $\alpha_7$ , если плотность меньше значений, определяемых сегментом ОВ.

Пусть на уклоне  $\alpha_4$  оказался сель с

плотностью  $\rho_3$  (точка  $a''$ ), но поддержание плотности  $\rho_3$  требует энергетических затрат, существующих на уклоне  $\alpha_5$ . Поскольку  $\alpha_5 > \alpha_4$ , из-за недостатка энергии потока на уклоне  $\alpha_4$  произойдет частичный распад селевой массы до значения плотности  $\rho_2$ . Подобный процесс будет происходить для всех значений плотности (в интервале уклонов от нуля до  $\alpha_7$ ), если значения плотности больше значений сегмента ОВ, но меньше значений сегмента ВС. Обратная ситуация будет наблюдаться, если значения плотности селевой массы будут превышать значения (при соответствующих значениях уклонов), определяемые сегментом ВС, но будут меньше значений, определяемых сегментом СД. Превышение плотности, определяемой сегментом СД, будет приводить к частичному распаду либо остановке селей. Если в интервале уклонов от О до  $\alpha_1$  плотность селевой массы окажется меньше  $\rho_8$ , плотность селевой массы уменьшится до значения, определяемого сегментом ОВ.

Наличие графика зависимости плотности селевой массы от уклона пути движения селя (рис. 17) и данных, необходимых для оценки селевого процесса (в частности данных об уклоне дальнейшего локального участка пути движения селя и плотности селевой массы в его начале), позволяет определять дальнейший ход селевого процесса.

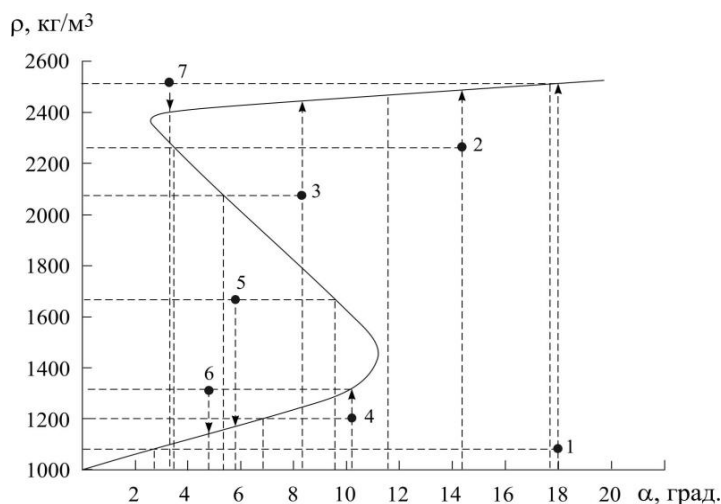


Рис. 17. График зависимости плотности селевой массы от уклона пути движения селя

На рисунке 17 приведены график обсуждаемой зависимости и точки, координаты которых приведены в таблице 5, необходимые для определения хода селевого процесса.

В таблице приведены координаты фактической плотности селевой массы и уклона при пересечении с графиком, а также значения уклона, при котором не происходит распад и остановка селевой массы. Например, определим ход селевого процесса для точки 3. Проведем через точку 3 линию параллельную оси абсцисс. Эта линия пересекает график в точке, координаты которой 2080 кг/м<sup>3</sup> и 5,2°. Из этого следует, что сель с плотностью 2080 кг/

м<sup>3</sup>, находящийся на уклоне 8,3°, обладает избыточной энергией, которая может быть направлена на увеличение плотности селя. Определим ход селевого процесса для точки 5. Проведем через точку 5 линию параллельную оси абсцисс. Эта линия пересекает график в точке, координаты которой 1680 кг/м<sup>3</sup> и 5,8°. Из этого следует, что сель с плотностью 1680 кг/м<sup>3</sup> может существовать без частичного распада на уклоне 9,6°. Следовательно, энергии селя, находящегося на уклоне 5,8°, недостаточно для поддержания этой плотности, произойдет частичный распад селевой массы. Результаты прогноза хода селевого процесса в других ситуациях приведены в таблице 5.

Таблица 5

Координаты точек, используемых при оценке хода селевого процесса

№	Плотность фактическая, кг/м <sup>3</sup>	Уклон фактический, градус	Уклон достаточный (необходимый), градус	Ход селевого процесса
1	1080	18	2,5	Увеличение плотности
2	2250	14,4	3,4	Увеличение плотности
3	2080	8,3	5,2	Увеличение плотности
4	1200	10,2	7,0	Увеличение плотности
5	1680	5,8	(9,6)	Уменьшение плотности
6	1320	4,8	(10,2)	Уменьшение плотности
7	2510	3,2	(17)	Уменьшение плотности

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате теоретических и экспериментальных исследований установлена неоднозначная зависимость плотности селевой массы от уклона пути движения селя, на котором не происходят ее частичный распад или остановка. Выявление наличия отрицательного наклона у графика, описывающего зависимость между плотностью селевой массы и минимальным уклоном, на котором не происходит ее частичный распад или остановка, позволило теоретически обосновать существование природного явления – скачкообразного увеличения плотности селевой массы при превышении уклоном критического значения.

Открытие явления скачкообразного изменения плотности селевой массы имеет большое практическое значение, так как существующие математические модели, разработанные для выявления природы селей, не могут быть использованы для оценки селевых процессов, обусловленных изменением условий их протекания: формы и уклона русла, плотности селевой массы и расхода селя в результате его слияния с водным потоком, гранулометрического и минералогического составов селеформирующих пород, степени их увлажнения и т.д. Эти факторы, влияя на ход селевых процессов, определяют в пространстве и времени объем и расход селя, скорость его движения, плотность селевой массы и, следовательно, степень угрозы, создаваемой селом.

Индикатором состояния селевой массы является плотность. Таким образом, теория существования селевой массы является ключевым элементом при математическом моделировании селевых процессов, и позволяющим характеризовать селевой процесс от момента его зарождения до деградации, выражающейся в распаде селевой массы или ее остановке на относительно малых уклонах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Великанов М.А. Гидрология суши. – Л.: Гидрометеоздат, 1948. – 560 с.
2. Гагошидзе М.С. Селевые явления и борьба с ними. – Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1970. – 385 с.
3. Марков И.Н., Бекаревич В.Е., Толстов М.И., Кострыгин Ю.Н. Некоторые сведения о двух гляциальных селевых потоках Заилийского Алатау // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1983. – №7. – С. 99–106.
4. Мостков М.А. Гидравлические закономерности в горных потоках // Селевые потоки и меры борьбы с ними. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – С. 18–54.
5. Руководство по изучению селевых потоков. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 144 с.
6. Степанов Б.С. О механизме формирования селевых потоков // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1980. – №4. – С. 20–23.
7. Степанов Б.С. Экспериментальное исследование предельной плотности селевой массы // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1980. – №5. – С. 59–63.
8. Степанов Б.С. Явление скачкообразного изменения плотности селевой массы. Теоретическая и практическая значимость его открытия // Гидрометеорология и экология. – 2013. – №3. – С. 67–90.
9. Степанов Б.С. Явление скачкообразного изменения плотности селевых потоков. Заявка на открытие // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1992. – №12. – С. 141–169.
10. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Том 3. Селевые процессы и селетехнические сооружения. – Алматы, 2014. – 434 с.
11. Тихомиров Ю.П., Шевырталов Е.П. Некоторые характеристики гляциального селя, прошедшего в бассейне р. Сарканд // Селевые потоки. – М.: Гидрометеоздат, 1985. – №9. – С. 132–138.
12. Флейшман С.М. Сели. – Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 312 с.
13. Яфязова Р.К. Природа селей Заилийского Алатау. Проблемы адаптации. – Алматы, 2007. – 158 с.
14. Stepanov, B.S. and Yafyazova, R.K. (2017): Influence of Particles Fall Velocity, Archimedean's Force, and Depth of Debris Flow on a Relationship between Ultimate Density of Debris-Flow Mass and Channel Slope. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 10(2): 74–83.

REFERENCES

1. Velikanov M.A. Hidrologiya sushi. – L.: Hidrometeoizdat, 1948. – 560 s.
2. Gagoshidze M.S. Selevy'e yavleniya i bor'ba s nimi. – Tbilisi: Sabchota Sakartvelo, 1970. – 385 s.
3. Markov I.N., Bekarevich V.E., Tolstov M.I., Kostry'gin Yu.N. Nekotory'e svedeniya o dvukh glyaczial'ny'kh selevy'kh potokakh Zailijskogo Alatau // Selevy'e potoki. – M.: Hidrometeoizdat, 1983. – #7. – S. 99–106.
4. Mostkov M.A. Gidravlicheskie zakonomernosti v gorny'kh potokakh // Selevy'e potoki i mery' bor'by' s nimi. – M.: Izd-vo AN SSSR, 1957. – S. 18–54.
5. Rukovodstvo po izucheniyu selevy'kh potokov. – L.: Hidrometeoizdat, 1976. – 144 s.
6. Stepanov B.S. O mekhanizme formirovaniya selevy'kh potokov // Selevy'e potoki. – M.: Hidrometeoizdat, 1980. – #4. – S. 20–23.
7. Stepanov B.S. E'ksperimental'ny'e issledovaniya predel'noj plotnosti selevoj massy' // Selevy'e potoki. – M.: Hidrometeoizdat, 1980. – #5. – S. 59–63.
8. Stepanov B.S. Yavlenie skachkoobraznogo izmeneniya plotnosti selevoj massy'. Teoreticheskaya i prakticheskaya znachimost' ego otkry'tiya // Hidrometeorologiya i e'kologiya. – 2013. – #3. – S. 67–90.
9. Stepanov B.S. Yavlenie skachkoobraznogo izmeneniya plotnosti selevy'kh potokov. Zayavka na otkry'tie // Selevy'e potoki. – M.: Hidrometeoizdat, 1992. – #12. – S. 141–169.
10. Stepanov B.S., Yafyazova R.K. Selevy'e yavleniya Yugo-Vostochnogo Kazakhstana: Tom 3. Selevy'e processy' i seletekhnicheskie sooruzheniya. – Almaty', 2014. – 434 s.
11. Tikhomirov Yu.P., Shevy'rtalov E.P. Nekotory'e kharakteristiki glyaczial'nogo selya, proshedshego v bassejne r. Sarkand // Selevy'e potoki. – M.: Hidrometeoizdat, 1985. – #9. – S. 132–138.
12. Flejshman S.M. Seli. – L.: Hidrometeoizdat, 1978. – 312 s.
13. Yafyazova R.K. Priroda selej Zailijskogo Alatau. Problemy' adaptaczii. – Almaty', 2007. – 158 s.
14. Stepanov, B.S. and Yafyazova, R.K. (2017): Influence of Particles Fall Velocity, Archimedean's Force, and Depth of Debris Flow on a Relationship between Ultimate Density of Debris-Flow Mass and Channel Slope. International Journal of Erosion Control Engineering, 10(2): 74–83.

**ҚҰРЫЛЫҚ ЖАҒДАЙЫ ТЫҒЫЗДЫҒЫНЫҢ ЭПОЗИТИВТІ ӨСУ ФЕНОМЕНИ – ОНЫҢ БӨУГЕ ТӘУЕЛДІЛІГІНІҢ НӘТИПЕСІ ҚОЗҒАЛУ ЖОЛДАРЫ**

**Б.С. Степанов<sup>1</sup> д.ғ.н., Р.К. Яфязова<sup>1</sup> д.т.н.**

<sup>1</sup>«Қазгидромет» РМК, Алматы, Қазақстан  
E-mail: bs.stepanov@gmail.com

Әрбір жергілікті сел көлемінің сипаттамалары сипаттамаларға байланысты үздіксіз өзгеріп отырады: оның қозғалу жолы (арнаның еңісі, ені және кедір-бұдыры), ағыс жылдамдығы, сел түзуге қатысатын борпылдақ сынық жыныстардың гранулометриялық және минералогиялық құрамы, тығыздығы, тұтқырлығы, және сел массасының пластикасы және т.б. Осы уақытқа дейін сел массасының тығыздығы сел жолының еңістігіне бір мәнді тәуелді екендігі жалпы қабылданған. Қазақ ғылыми-зерттеу гидрометеорология институтында (ҚазГМҒЗИ) жүргізілген тәжірибелік-теориялық зерттеулер нәтижесінде сел процесінің барысы ағынды сулардың ағынының суға түсуіне байланысты екені анықталды, сел массасының тығыздығы. Сел жолының көлбеуінен сел массасының тығыздығының анық еместігін анықтау табиғи құбылыстың – сел жолының еңістігінің критикалық мәнінен асқан кезде сел массасының тығыздығының күрт өзгеруінің ашылуына әкелді (Степанов әсері). Сел жолының еңісінен сел массасының тығыздығының анық еместігін есепке алу сел сипаттамаларын есептеудің негізгі элементі болып табылады.

**Түйін сөздер:** қоқыс ағыны, қоқыс ағыны, тығыздық, тұтқырлық, пластикалық, концентрация, тығыздық, көлбеу, ағын жылдамдығы, көлем, бірмәнді (бір мағыналы) тәуелділік

**THE PHENOMENON OF AN EPOSITIVE INCREASE IN THE DENSITY OF THE MURDER MASS – THE CONSEQUENCE OF ITS AMBIGUOUS DEPENDENCE ON THE SLOPE WAYS OF MOVEMENT**

**B.S. Stepanov<sup>1</sup>, R.K. Yafyazova<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>RSE «Kazhydromet», Almaty, Kazakhstan*

*E-mail: bs.stepanov@gmail.com*

The characteristics of each local volume of debris flow are continuously changing depending on the characteristics: a path of its movement (slope, width and roughness of channel), discharge, granulometric and mineralogical compositions of debris involved in debris-flow-formation, density, viscosity and plasticity of debris-flow mass, etc. Up to now, it believes that the debris-flow mass density depends unambiguously on the slope of path of a debris-flow. As a result of experimental and theoretical studies carried out at the Kazakh Research Hydrometeorological Institute (KazNIGMI), it was found that the course of the debris-flow process depends on the density of debris-flow mass. Identification of the ambiguity of the debris-flow mass density from the slope of the debris flow path led to the discovery of a natural phenomenon: an abrupt change of the density of debris-flow mass when the critical value of the slope of the debris flow path is exceeded (the Stepanov's effect). Taking into account the ambiguity of the debris-flow mass density from the slope of the debris flow path is a key element in computing debris flow characteristics.

**Keywords:** debris flow, debris-flow mass, density, viscosity, plasticity, concentration, pressure, slope, discharge, volume, unambiguous (ambiguous) dependence

**ДУСКАЕВ КАСЫМ КОЯНБАЕВИЧ  
(К 65-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)**



Дускаев Касым Коянбаевич – уважаемый профессор кафедры метеорологии и гидрологии факультета географии и природопользования КазНУ имени аль-Фараби. Он является образцом для подражания, надежным наставником, который располагает достаточным опытом и умениями, необходимыми для профессионального роста каждого обучающегося. В этом году лучшему преподавателю, трендовому научному руководителю исполнилось 65 лет.

Дускаев К.К., в 1979 году окончил географический факультет, отделение гидрология суши КазГУ им. С.М. Кирова, получив квалификацию инженер-гидролога. По окончании учебы по распределению был принят на работу в КазГУ на должность ассистента кафедры гидрологии суши. В 1983...1986 гг. обучался в очной аспирантуре при Ленинградском политехническом институте на кафедре инженерных мелиораций, гидрологии и охраны окружающей среды. Аспирантура была закончена в 1987 году с успешной защитой кандидатской диссертации на тему «Неразмывающая скорость потока с учетом вероятности срыва частиц крупного несвязного материала» по специальности 05.14.09 – гидравлика, инженерная гидрология. С 1987 года – ассистент, старший преподаватель, доцент кафедры гидрология суши, сейчас

и.о. профессора кафедры метеорологии и гидрологии КазНУ им. аль-Фараби.

Научные разработки К.К. Дускаева получили признание и одобрены широким кругом специалистов. К.т.н. Дускаевым К.К. опубликовано более 110 научных работ, включая: 3 патента на изобретение, 5 монографии и свыше 20 публикаций в зарубежных изданиях. Под научным руководством Дускаева К.К. успешно защищены кандидатские диссертации Чигринец Л.Ю. в 2001 г. и Чигринец А.Г. в 2007 г., а в 2012 г. PhD-докторская Мырзахметова А.Б. По договорам с научными и проектными институтами под научным руководством Дускаева К.К. были выполнены исследования по научному обоснованию водохозяйственных и водоохраных мероприятий в различных отраслях народного хозяйства Казахстана. С 1993 по 1995 гг. он работал заместителем директора НИИ проблем экологии при КазГУ. Под его научным руководством выполнялись НИР по грантовому финансированию МОН РК: «Прогнозирование степени эрозионной опасности территорий хозяйственного освоения горных и предгорных районов Юго-Восточного Казахстана» и «Оценка влияния природных факторов и хозяйственной деятельности на состояние водных объектов урбанизированных территорий (на примере г. Алматы)».

Также Дускаев К.К. участвовал в выполнении зарубежных научных проектов по интегрированному использованию водных ресурсов Центральной Азии. С результатами научных исследований открыто делится на различных конференциях, симпозиумах, семинарах и по сей день: делегат 5-го Всесоюзного гидрологического съезда (Ленинград, 1986 г.), 6-го (2004 г.) и 7-го (2013 г.) Всероссийского гидрологического съезда (Санкт-Петербург), участник Международной конференции по берегоукреплению (США, Форт-Коллинз, 1993 г.), Международного семинара по водопользованию и охране водных ресурсов (ФРГ, 1994 г.), Международной конференции по Устойчивому Развитию Центральной Азии (КНР, Урумчи, 1998 г.), Международной конференции по управлению водными ресурсами (Голландия, Дельфт, 2002 г.), десятого Международного симпозиума по речным наносам (Москва, Россия, 2007 г.), Международной конференции «Regional G-WADI Workshop on Climate Change Impacts on Water Resources Management in Arid and Semi-Arid Zones» (Иран, Тегеран, 2011 г.), Международных семинаров по ИУВР: Кипр, Никосия (2013 г.);

Испания, Валенсия (2013,2014,2015 г.); Германия, Лейпциг, Грейфсвальд (2015 г.). Дускаев К.К. является обладателем Государственного гранта РК «Лучший преподаватель вуза на 2007 год», победитель конкурса «Лучший преподаватель КазНУ им. аль-Фараби 2008...2009 учебного года».

Дускаев К.К. принимает активное участие в общественной жизни кафедры и факультета, он был заместителем декана, заместителем профбюро, членом методбюро факультета. Касыма Коянбаевича уважают в коллективе за добрый нрав, общительность, любознательность и целеустремленность.

Мы поздравляем Вас с Юбилеем! Желаем крепкого здоровья Вам и Вашей семье, бодрости, легкости, достатка и благополучия! Пусть работа всегда приносит Вам радость и удовольствие, а все Ваши мечты, идеи и планы будут достигнуты!

*С наилучшими пожеланиями коллектив  
кафедры метеорологии и гидрологии  
КазНУ им. аль-Фараби, коллеги из РГП  
«Казгидромет» и редакция научно-  
технического журнала «Гидрометеорология  
и экология».*



## ГЛАВНАЯ ЦЕННОСТЬ СЛУЖБЫ - ЭТО ЛЮДИ

Специальность инженер-метеоролога я получила в 1982 году в Казахском государственном университете им. С.М. Кирова. После окончания ВУЗа, направили по распределению в г. Дзезказган синоптиком в аэропорт. Вскоре после рождения дочери снова вернулась в Алматы и в 1985 году поступила на работу в режимный отдел агрометеорологии Казгидромета под руководством замечательного начальника Зарембо Э.С.

Именно в это время мне – молодому специалисту, посчастливилось работать бок о бок и перенимать опыт у специалистов высокого уровня Исаевой Р.И., Николау Ю.П., Кучменко Г.Е., Зарембо С.Н., Манузиной В.В. и др.

Первая командировка на сеть была на пустынную метеостанцию Анархай. Безлюдная, угнетающая от жары степь, сомнительные ориентиры, скудные условия жизни и бегающие вокруг метеостанции скорпиончики. А потом были командировки по всему Казахстану. Но больше всего мне запомнилась моя первая поездка в старинный город Уральск, который стал для меня самым любимым городом в Казахстане после Алматы. Именно там я получила первые уроки агронаблюдений на практике от опытного наблюдателя Мамбетжанова С.

Во время режимной работы приходилось инспектировать разные области Казахстана. Мне посчастливилось повидать всё разнообразие природы нашей родины. В памяти осталась Мангистауская область, где пески могут засыпать психрометрическую будку практически целиком. А на следующий день подует ветер, и она опять будет на высоте 2 метра.

Помню ковыльные степи Актюбинской области, глиняные дороги Западно-Казахстанской области, по которым ездить опаснее, чем по льду, грибы, костянику и комаров Кокчетавской области, бескрайние степи и ветер, сбивающий с ног в Центральном Казахстане.

И, конечно же, запомнились люди. При скромном образе жизни и низкой заработной плате наблюдатели

на сети очень гостеприимны и вкладывают душу в свою работу. Я на личном опыте ощутила удивительное гостеприимство казахского народа.

В тяжёлые для страны и Казгидромета 90-е годы сократилась агрометеорологическая сеть. Было создано ТОО «Синоптик», где под руководством Карабкиной Н.Н. я училась составлять агропрогнозы, декадные, сезонные и годовые обзоры.

С приходом в «Казгидромет» генерального директора Кудекова Т.К. наша служба стала «подниматься с колен». Некоторое время я пробовала себя в должности начальника отдела агрометеорологии, потом работала в отделе метеорологии и снова возвращалась в отдел агрометеорологии руководителем режимной группы. Работы всегда было много – контроль и организация работы агрометеорологической сети Казахстана, выпуск методических документов, разработка критериев к закону о страховании в растениеводстве, открытие новых агрометеорологических пунктов, закуп оборудования для сети, но жизнь в Гидрометслужбе всегда была интересной.

Когда головной офис Казгидромета перевели в Астану, я перешла в отдел сети зоны деятельности областного центра по г. Алматы, начальником которого была Цапенко Валентина Семеновна – талантливый руководитель, специалист высокой категории, замечательный человек, обладатель медали «Метеоролог №1», у которой было чему поучиться. Работа с людьми на сети – это как жизнь в большой семье, требует найти к каждому подход. Есть очень впечатлительные люди, болезненно реагирующие на замечания, готовые уволиться при первой неудаче. Другие относятся критически к замечаниям куратора и стараются отстоять свою правоту. Встречались конечно и менее добросовестные люди, но очень редко. А, в основном, на нашей сети работают отважные женщины, которые в любую погоду идут на поля, где могут встретить змею, каракурта или плохого человека, которые разбираются в технике, а если

сломался велосипед или мопед, им хватит сил доставить его на станцию.

А работа по обследованию зерновых культур в течение года даёт четкое понимание агрометеорологической обстановки. В нашей специальности очень важно видеть всё своими глазами, потрогать своими руками. Только так можно сделать правильный вывод.

За годы работы в Казгидромете я не раз награждалась грамотами и благодарностями, но особенно горжусь грамотой «За вклад

в укрепление и развитие сотрудничества национальных гидрометеорологических служб государств – участников Содружества Независимых Государств» за подписью председателя межгосударственного совета по гидрометеорологии А. Фролова.

За все годы работы в Казгидромете я ни разу не пожалела о выборе профессии.

*Каримова Ольга Анатольевна*

## БЫТЬ СЧАСТЛИВЫМ – ЭТО ТРУД!



Я родилась в 1950 году в городе Алма-Ата. Отец был водителем троллейбуса, а мать видимо работала кондуктором. Говорю видимо, потому что не знаю точно. Мне было 4 года, когда её не стало. Отец с нами не жил и нас троих девчонок воспитывала бабушка – Дырдина Екатерина Пантелеевна. Бабушка многому научила меня в этой жизни. Доброте, честности, умению довольствоваться малым, ценить помощь и верность друзей, помогать, чем можешь другим, не унывать и добиваться всего своим трудом. Будучи инвалидом труда с маленькой пенсией, она взяла на себя заботу о трех внуках, оставшихся на её руках после смерти моей матери. Маме было всего 32 года, когда она умерла после неудачной операции по удалению аппендицита. Бабушка сделала всё, чтобы мы не чувствовали себя сиротами. Я ненавидела это слово. У меня была Бабушка, и это было больше, чем многие родители моих друзей. Детство всегда радостно и моё было таким же.

Училась я в школе №15. У нас были замечательные учителя – математики Елена Антоновна и Раиса Николаевна, физик Лозоватский Михаил Исакович, историк Мацуцина Раиса Николаевна. Запомнились они не просто как учителя, а как замечательные люди – добрые, честные и справедливые. После окончания школы поступила в КазГУ

на отделение метеорологии географического факультета. Мечтала о мехмате, но побоялась, что не поступлю, а шансов поступать второй раз у меня не было. Я вынуждена была бы пойти работать, и это дело стало для меня важным на всю жизнь.

Так уж меня научили. Берёшься за дело - относись к нему со всей ответственностью.

Ну а в метеорологию попала случайно. В то время был очень популярен фильм «Человек амфибия». История конечно фантастическая, но она вызвала очень живой интерес к морю. Захотелось узнать, что же там в глубинах океана и мы с подружкой пришли на геофак сдавать документы для поступления на отделение гидрологии.

Но документы принимала женщина и она стала убеждать нас, что для девушек гидрология не лучшая специальность. Тем более в Казахстане это по большей части гидрология суши, а не моря и изучать нам придется реки и озёра. Метеорология же изучает атмосферу, а это процессы целых континентов и всей Земли. Так я и попала на отделение метеорологии.

После 15 школы университет мало чего добавил в плане общеобразовательных предметов. Знания, приобретённые в школе, позволяли легко учиться в университете. Главные знания приобретались на спецпредметах – общая метеорология, динамическая метеорология, синоптическая метеорология, аэрология. Вот это уже было ново и интересно! Тем более, что студенчество наше было ещё связано с поездками на практику, а осенью на целину, на уборку урожая. До сих пор стоит перед глазами картина – безграничное поле золотых колосьев пшеницы и идущие по нему комбайны. Это так красиво!

На втором курсе встретила с Левиным Анатолием. Мы были знакомы по школе, учились в параллельных классах. Встретились и уже больше не расставались. Через год я вышла за него замуж. Мы вместе уже 51 год. Вырастили двоих сыновей, построили дом на дачном

участке, посадили сад, ягодники и цветы.

Получив диплом метеоролога я пришла работать в отдел краткосрочных прогнозов погоды Казгидромета на должность инженера – синоптика. Так началась моя трудовая жизнь. Многому пришлось научиться на практике. Я встретила в отделе доброжелательных людей, которые охотно делились своими знаниями и опытом. Величкина Нина Филипповна стала для меня учителем и другом. Многие тонкости в развитии синоптических процессов узнала я, работая рядом с такими ассами синоптики как Жданова Тамара Васильевна, Валькова Валентина Васильевна, Коробейникова Валентина Михайловна. С приобретением опыта менялись мои должности и обязанности.

Конец 90-х годов я застала будучи начальником отдела прогнозов погоды, но я очень часто дежурила в рабочей смене и это было куда интересней, чем просто работа руководителя. Конечно это были не самые лучшие времена для гидрометслужбы. Отделы то объединяли в одно подразделение, то делили на отдел краткосрочных прогнозов и отдел долгосрочных прогнозов погоды. В этот же период мы начинали приобретать опыт коммерческого сотрудничества с различными СМИ, в ежедневную работу синоптиков стали внедряться персональные компьютеры, пришлось осваивать новые методы работы, делать синоптический анализ не на полотерной бумажной карте, а в программе ГисМетео, самостоятельно набирали тексты прогнозов и передавали их потребителям. Всё это было интересно, но и достаточно тяжело. Трудно было привыкнуть к новой технике и новой методике работы. Сегодня обращаться с компьютерами умеют даже дети, а тогда, впервые столкнувшись с работой за компьютером, люди терялись и пугались малейшей оплошности. Ведь что такое потерять набранный текст оперативного прогноза. Об этом даже сейчас вспоминать страшно! И всё же мы и это сделали - научились быть с компьютером на ты.

Очень приятно вспоминать мой опыт преподавания на кафедре метеорологии в родном университете. Однажды меня

пригласили прочесть курс лекций по региональной синоптике. Это было то, что я уже знала хорошо. Правда опыта преподавания у меня не было совсем. И всё же это было что-то новое и интересное для меня, и я, конечно же, согласилась.

Это был год постоянных трудов. Приходилось готовить каждую лекцию по синоптическим процессам на компьютере, используя единственный полноценный источник – книгу Синоптические процессы Средней Азии и описания синоптических процессов, сделанные в разное время синоптиками Казахстана. Прекрасно понимая, что книгу эту студентам не найти, оставляла на компьютере в лаборатории практических занятий свои лекции, чтобы все могли ими пользоваться. Так мной был создан краткий курс лекций по региональной синоптике. Надеюсь, что он пригодился и студентам и тем, кто читал этот курс после меня. Позже участвовала в создании пособия для синоптиков с описанием синоптических процессов Казахстана и Средней Азии, в обновлении и создании электронной версии расчетных методов, применяемых синоптиками Казахстана.

Синоптика – это пожалуй самое интересное направление в метеорологии, хотя и требует особых качеств: собранности, оперативности, способности одновременно оценивать ситуацию с разных ракурсов, причем с точки зрения физики и математики. И главное - результат, который ты видишь уже завтра или через несколько дней. Когда прогноз оправдался синоптика распирает чувство гордости, что он не ошибся, правильно думал, правильно сделал анализ, что принес очередной раз пользу обществу, ведь труд облагораживает человека. Или, если спрогнозированный дождь все еще не начался, то ждешь его с таким нетерпением, как ждешь любимого человека. Бывает даже не спишь, если фронт задержался, а когда наконец дождь или снег пошел, наконец-то хочется прыгать от счастья, как будто выиграл деньги в лотерею. При современном оснащении Гидрометслужбы трудно ошибиться в прогнозе на короткие сроки, и поэтому чаще прогноз может частично не

оправдаться, к примеру прогноз состоит из трех параметров (температуры воздуха, осадков и ветра, и оправдались все три компонента – ура, два из трех – ладно бывает, один из трех – грустно, когда прогноз оправдался ниже чем на 50% - ужас, нужно делать разбор, ну это как искать причинно-следственную связь, как следовательно начинаешь искать ответ на вопрос «почему так произошло». Когда находишь причину, приходит озарение и в следующий раз думаешь еще более тщательно, дабы не

допустить повторную ошибку при похожем синоптическом процессе

Вот так, случайно оказавшись на кафедре метеорологии, я ни разу об этом не пожалела. Здесь мне пригодилось всё чем жила юная девочка Саша – и математика, и способность воочию представлять всю мощь воздушного океана, предвидеть его развитие, и понимание того что хороший результат – это результат упорного ежедневного труда.

*Александра Ивановна Левина*

## БУДЕМ РАБОТАТЬ!

Мое детство прошло в г. Рудном, родители перебрались в Северный Казахстан с города Богданович Свердловской области когда мне было 4 года.

Молодой город Рудный рос и расцветал на левом берегу реки Тобол в просторных ковыльных Костанайских степях. Как и у всех советских детей детство моё было активным и насыщенным. Родители целиком отдавались работе, а воспитанием нашим занимались детский сад и школа, благо что первое заведение находилось через дорогу от дома, а школа через забор.

Была я, что называется «девчонка боевая», в первый класс – при белых бантах и с букетом цветов пошла в 6 лет. Началась веселая школьная жизнь, скоро мы торжественно получили значок октябрёнка, я была командиром звездочки. Когда вступила в ряды пионеров – была председателем отряда и совета дружины, а потом уже комсомольцем - комсоргом класса. Школьные годы действительно были чудесные!

Капризы погоды, особенно в зимний период, вызывали в этом юном возрасте неподдельный интерес. Термометры висели за окном практически в каждом доме. И утром все школьники с надеждой смотрели на красный столбик - опустится он до минус 30 или 35 градусов или нет, чтобы потом с чистой совестью вместо школы отправиться с друзьями на горку, которая была в каждом дворе, на каток или на дневной сеанс в кино.

В начальных классах на стене возле доски висел дневник погоды, в который ученики по очереди записывали температуру воздуха и рисовали кружочки с ясным или пасмурным небом.

Беззаботные школьные времена закончились очень быстро. Большая жизнь стояла у порога. Мечты о морских странствиях и путешествиях привели меня в 1974 году на географический факультет Ленинградского ордена Ленина и Трудового Красного Знамени государственного университета им. А.А. Жданова. Еще в школе после поездки с классом на экскурсию в Ленинград было принято решение, что учиться буду только

в этом городе с великолепными дворцами, полным тайн и исторических событий.

После первого курса, когда студенты в течение трех месяцев закрепляли теоретические познания при прохождении полевых практик на учебной базе в Саблино, шло распределение по кафедрам. Большинству девушек, стремившимся на кафедру океанологии, не удалось туда распределиться, так как деканат считал, что работа на кораблях физически тяжелая.

Так, на кафедре климатологии и метеорологии оказалось десять девушек и три юноши. Все с тайной мечтой о дальних плаваниях. Перед глазами стоял учебник географии о материках и странах, где в нескольких строчках обязательно описывались их климатические характеристики. Вот это было самое нелюбимое в изучении этого предмета.

Математическая интерпретация с дифференцированием и интегрированием при рассмотрении метеорологических процессов была не столь интересна. Но рассмотрение действия и взаимодействия физических процессов в атмосфере завораживала. Природные процессы были более логичны.

Особенно при анализе климатических рядов, в поиске закономерностей прошлых изменений погоды и трендов будущих.

Нам повезло с преподавателями – основные дисциплины по климатологии читал заведующий нашей кафедрой, один из самых известных климатологов страны Дроздов Олег Алексеевич. До этого он более 25 лет возглавлял отдел климата в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. У него был свой стиль преподавания: на лекции он приходил с большой стопкой научных журналов, монографий и трудов всяких научных институтов, из которых самые необходимые статьи были отмечены разными закладками. Перед ним никогда не было конспектов лекций, может какие-то пометки на половинке листа. Он доносил до нас студентов все последние новейшие мировые тенденции и достижения в науке о климате.

Это увлекало и давало толчок дальнейшим исследованиям в курсовых и дипломных работах.

Учебные и производственные практики проходили в крупнейших гидрометеорологических учреждениях СССР: Государственном гидрологическом институте (ГГИ), ГГО им. А. И. Воейкова, Информационном центре погоды г. Ленинграда, Северо-Западном управлении по гидрометеорологии.

А в 1979 году после окончания университета меня направили по распределению в Целиноградскую гидрометеорологическую обсерваторию Управления гидрометслужбы Казахской ССР на должность инженера-метеоролога. Казгидромет был самым большим Управлением в составе Государственного комитета по гидрометеорологии СССР (Госкомгидромет).

В обсерватории очень тепло принимали молодых специалистов, директор обсерватории Гринько Герман Петрович лично занимался вопросами нашего устройства в общежитиях предприятий города. По-отечески интересовался бытовыми проблемами, мягко журил за допущенные недочеты, радовался нашим успехам.

В те времена отдел метеорологии Целиноградской ГМО методически руководил сетью из более 120 АМСГ, метеостанций и постов шести областей: Целиноградской, Северо-Казахстанской, Кокчетавской, Павлодарской, Кустанайской и Тургайской (сохраняю названия областей, как они в то время назывались). Методическая работа заключалась в проверке, анализе и критконтроле первичных материалов метеорологических наблюдений, написании методических писем с разъяснениями ошибок, в регулярном производстве методических инспекций, поверке и установке ртутных барометров и других средств измерений.

Инспектор должен был проверить работоспособность приборов, установленных на метеоплощадке: вертикальность и чувствительность флюгеров и анеморумбометров, ориентацию гелиографов, закрепление полуденных линий

на метеоплощадке, исправность измерителей высоты облаков (ИВО) и датчиков видимости М-53 и М-71, определить не протекают ли осадкомерными сосуды и еще много чего, а ещё объяснить важность всех правил установки.

Часто приходилось совместно с инженерами-прибористами участвовать в замене оборудования на метеостанциях – бурить землю, а потом забивать кувалдой и бетонировать столбики ограды и подставки под осадкомеры, гололедные станки, натягивать металлическую сетку ограждения, монтировать мачты под ветроизмерительные датчики. В наши времена ремонт и установка оборудования производились силами работников и специалистов обсерватории. При открытии метеостанций мы были и землекопами, и сварщиками, и монтажниками. Инспектора-метеорологи на инспекции добирались до метеостанций в основном общественным транспортом: на поездах, самолетах, автобусах или попутным транспортом. В особо отдаленные районы Тургайской области летали на АН-2 даже санитарными или почтовыми рейсами, лежа на мешках с газетами или письмами.

В конце прошлого столетия все работники в обсерватории – технический и инженерный состав имели специальное гидрометеорологическое образование. В отделе ЦГМО работали выпускники Ленинградского, Томского и Казахского государственных университетов, Одесского и Ленинградского гидрометеорологических институтов. Техники-метеорологи заканчивали Ташкентский, Московский, Ростовский, Алексинский гидрометеорологические техникумы.

Причем, даже на метеостанциях работали наблюдатели со специальным образованием после окончания техникума, гидрометшколы или Фрунзенского ПТУ, где готовили радистов-метеорологов для пустынных метеостанций. В нашей обсерватории было пять «пустынок»: Берлик в Целиноградской области и Шили, Сарлытам, Брали и Арал – в Тургайской.

Моим первым наставником в отделе метеорологии была начальник отдела Караулан Валентина Евстафьевна,

выпускница Одесского гидрометеорологического института. Профессионал своего дела, с неиссякаемой энергией и энтузиазмом. Она была нашим лидером и постоянным председателем профсоюзного комитета, организатором всяческих соцсоревнований и тематических вечеров. В эпоху перестройки, когда нововведением считалось выборность руководителя, Валентина Евстафьевна в 1987 году была избрана директором обсерватории на общем собрании работников ЦГМО. Коллектив бурно отстаивал ее кандидатуру, убедив в этом даже обком партии. Это был первый случай в истории Госкомгидромета СССР.

На базе отдела метеорологии в 1980-е годы каждое лето проводились двухнедельные курсы наблюдателей и начальников метеостанций Казгидромета. Все инженеры отдела, которые потом и были преподавателями, тщательно готовились к занятиям: рисовали плакаты с устройствами приборов, писали методички с различными разъяснениями по вопросам производства метеорологических наблюдений и решений организационных работ на метеостанциях, сочиняли тексты и экзаменационные вопросы для обучающихся на курсах. Сколько было переживаний при сдаче экзаменов, дело доходило до слез при удовлетворительных ответах, и даже те кто имел маленький стаж работы, старались показать все свои знания и навыки. После окончания курсов связь с курсантами продолжалась по переписке или телефонным звонкам.

Кроме обучения работников наблюдательной сети, в отделе проводились стажировки инженеров-метеорологов соседних гидрометобсерваторий, мы активно участвовали в работе по обмену опытом с начальниками отделов метеорологии Казгидромета.

Стоит сказать, что все сотрудники обсерватории поддерживали инициативу не только в работе, но и в досуге - чтобы лучше шло дело, отдых нужен и голове, и телу!

Практически к каждому празднику отделы соревновались в танцевальных,

песенных номерах или кулинарном искусстве. Регулярно издавалась стенгазета. Летом, в обеденный перерыв в парке, который был напротив обсерватории (после переноса столицы на этом месте сейчас находится микрорайон «Самал») молодежь играла в волейбол, купалась в Ишиме и ловила раков. Настоящие баталии разворачивались в обеденный перерыв, а иногда и после работы между сотрудниками обсерватории за теннисным столом, который стоял в актовом зале. Играли азартно, с напором и в одиночку, и в парах – мужских, женских и смешанных, молодежь и работники предпенсионного возраста. В выходные дни выезжали на рыбалку, за грибами или просто подышать лесным воздухом в Алексеевские или Боровские леса. В отделе работало 28 человек, в основном это была молодежь в возрасте 20...30 лет.

Годы перестройки конечно негативно сказались на Гидрометслужбе – дефицит финансирования приводил к не совсем обоснованным слияниям отделов, реорганизации и оптимизации, к сокращению наблюдательной сети, некоторые сотрудники вынуждены были менять специализацию. Но все же костяк коллектива остался работать, и потому что сложно было оставить то, что было так дорого и создано такими стараниями, и всё же была какая-то стабильность.

Я на тот момент была начальником отдела метеорологии, а в 1997 году, после выхода на заслуженный отдых Караулан Валентины Евстафьевны, была назначена начальником Акмолинского центра по гидрометеорологии (АЦГМ), позже он был переименован в Центр гидрометеорологического мониторинга г. Астаны, а я стала его директором.

Организация ЦГМ г. Астаны была вынужденной мерой, так как после передислокации столицы Казахстана на север страны руководство Акмолинской области перебазировалось в Кокшетау, и мы, как областное подразделение, должны были также переехать в областной центр.

Головное предприятие РГП «Казгидромет» оставалось в Алматы.



Тогда и появилась на письме министра Даукеева С.Ж. виза руководителя Администрации Президента РК Калмурзаева С.С. «Столицу без метеорологического обслуживания оставлять нельзя». Было дано поручение первому акиму столицы Джаксыбекову А.Р. организовать городскую структуру, отвечающую за ведение метеорологического, гидрологического и экологического мониторинга на прилегающей к Астане территории. Обслуживание гидрометеорологической информацией всех государственных органов, расположенных в столице, поручено было коллективу ЦГМ г. Астаны.

Тогда впервые для обеспечения синоптическими картами отдела прогнозов Астаны Казгидромет начал их передачу по интернету, отказавшись от факсимильной передачи с вредной формальдегидной пропиткой. Затем эта практика была использована и для других областных ЦГМ. Настоящий подъем и восстановление приземной гидрометеорологической сети, открытие новых пунктов наблюдений начались в новом тысячелетии, когда Казгидромет принял юридическую форму государственного предприятия на праве хозяйственного ведения. Хоздоговорные средства помогали покрывать недостающие средства в республиканском бюджете. Все областные Центры по гидрометеорологии являлись дочерними предприятиями и могли свободно использовать заработанные на договорах финансовые средства на приобретение новой техники, программного обеспечения. Это позволило в 2002 году на всех метеостанциях ЦГМ г. Астаны установить компьютеры и подключиться к интернету, чем в три раза была снижена стоимость связи, передаваемая по телеграфу и телефону. Вместо некачественно изготовленных термометров, термографов, гигрографов, будок для самописцев установить автоматические датчики влажности и температуры. Информация в режиме онлайн поступала на компьютеры, установленные в помещениях для наблюдателей. На метеостанциях в качестве резерва электроэнергии были установлены

пятикиловатные бензоагрегаты.

Руководство Казгидромета в лице генерального директора Кудекова Турсынбек Керимовича и его заместителя Кубакова Ердос Кубаковича активно поощряли самостоятельность областного директорского корпуса. В тот период работалось очень легко, практически все директора имели высшее гидрометеорологическое или смежное образование, полученное в ВУЗах во времена СССР. Очень бурно проходили ежегодные коллегии, где обсуждались вопросы по модернизации и развитию национальной гидрометеорологической службы Казахстана. Директорский корпус всегда был дружный и сплоченный, заслуженно уважаемый. Я, как самый неопытный директор, внимательно слушала и запоминала все советы, которыми охотно делились старшие товарищи: Бобровский В., Абдулин К., Стратиенко В., Кондратьев В., Айтбаев Н., Алимжанов Ж.

Руководящий состав Казгидромета состоял всего из 35 человек, в числе которых был всего лишь один заместитель Генерального директора на должности главного инженера, который объехал всю наблюдательную сеть, держал тесную связь с областными директорами ЦГМ и практически решал все производственные вопросы. Мы знали, если Ердос Кубакович пообещал, то обязательно выполнит все разумные наши наказания.

В этот период началось повсеместное оснащение новыми приборами и техникой наземной наблюдательной сети Казгидромета. На метеостанциях вместо вредных ртутных барометров появились вибрационно-частотные барометры БРС 1М-1. Методисты – инспектора уже не ездили с 4 кг ртути за спиной в инспекторских барометрах, а пользовались портативными БРС 1М-3.

С 2004 года в сетевых подразделениях Акмолинской области начали установку автоматических метеостанций производства финской фирмы «Вайсала». Метеостанции, которые открывались, начиная с 2005 года сразу оснащались автоматическими системами наблюдения и передачи метеоданных.

Эти станции уже 15...17 лет верно стоят на страже погоды, обеспечивая потребителей достоверной информацией.

В рамках совместного проекта по сохранению биоразнообразия Министерства охраны окружающей среды и ПРООН/ГЭФ в Коргалжинском заповеднике на гидрологическом посту, расположенному на озере Султанкельды, была установлена автоматическая метеостанция с гидростатическим датчиком уровня воды.

В 1999 году по договору с Российским государственным гидрометеорологическим университетом (РГГМУ, г. Санкт-Петербург, РФ) на базе ЦГМ г. Астаны была организована приемная комиссия для проведения тестирования работников Казгидромета, желающих получить высшее образование по специальностям: метеорология, гидрология, океанология и экология. Вначале тестирование проводилось для абитуриентов, поступающих только на заочное отделение, на второй год действия договора в эту программу подключились и выпускники школ, которые были готовы учиться на очном отделении.

В период с 1999 по 2013 годы тестированием в Казахстане было охвачено более 200 человек. Таким образом, без отрыва от производства были подготовлены 10 инженеров метеорологов и экологов для отделов прогнозов погоды, метеорологии и испытательной лаборатории ЦГМ г. Астаны.

Подготовка специалистов в нашем Центре проводилась в два этапа. Сетевые работники первоначально обучались на заочном отделении Московского гидрометеорологического техникума, который в дальнейшем был переименован в колледж, далее работники, успешно закончившие среднее специальное заведение, рекомендовались для обучения в РГГМУ.

ЦГМ, являясь дочерним предприятием РГП «Казгидромет», оплачивал из заработанных хозяйственных средств проезд до места обучения и назад, стоимость проживания в общежитии и полностью сохранял средний заработок на период сдачи экзаменационной сессии и выпускных экзаменов для студентов колледжа и ВУЗа.

С каждым студентом заключался договор об отработке в течение трех лет, в случае невыполнения договорных обязательств, специалист возвращал затраченные средства на его обучение.

Для ознакомления с передовыми технологиями в области гидрометеорологии и по обмену опытом приходилось выезжать в разные страны: Финляндию, Польшу, Китай, Францию и другие государства. Контакт с коллегами устанавливался очень быстро, ведь мы говорили на одном профессиональном языке.

Надо отдать должное, что акимат города Астаны активно помогал Центру в обеспечении современными приборами нашей испытательной лаборатории: закупил и поставил 7 постов наблюдений над загрязнением атмосферного воздуха (ПНЗ) с автоматическими газоанализаторами, оснастил мобильной лабораторией для ведения экологического мониторинга. Приобретение производилось Управлением природоохранных программ акимата г. Астаны.

Коллектив ЦГМ г. Астаны всегда активно участвовал во всех экологических программах столицы, касалось ли это загрязнения воздушного бассейна столицы или загрязнения малых рек Акбулака и Сарыбулака, или вопросах очистки сточных вод в накопителе Талдыколь.

Жизнь в молодой столице всегда была динамичной и насыщенной, проведение разнообразных международных форумов и встреч. И, если эти мероприятия проводились на свежем воздухе, то без прогноза погоды не обходилось.

Вспоминаю один из самых ответственных моментов профессиональной и виртуозной работы синоптиков ЦГМ г. Астаны. В сентябре 2001 года по приглашению Президента Казахстана Н. А. Назарбаева должен был состояться визит Папы Римского Иоанна Павла II в Астану.

В августе 2001 года заместитель Премьер-Министра РК Тасмагамбетов И.Н. провел совещание с представителями всех заинтересованных государственных структур, задействованных в организации

визита важного гостя. Состояние погоды интересовало всех, так как одним из торжественных событий визита Иоанна Павла II должна была стать Святая месса у Монумена защитникам Отечества на площади «Мать-Родина». Мы от имени Казгидромета представили консультативный месячный прогноз погоды на сентябрь, где на дни посещения погода ожидалась ясной и без осадков.

Приближался день визита – 23 сентября 2001 года, погодой начала интересоваться и папская Канцелярия. И буквально за пять дней до приезда иностранных гостей над Северным Казахстаном завис малоподвижный циклон с низкой облачностью и ежедневными дождями. С тяжелыми думами 22 сентября мы со всеми дежурными синоптиками и начальником отдела прогнозов сидели над картами и составляли суточный прогноз на день Святой мессы. Сошлись во мнении, что ожидается без осадков. Довели эту информацию до всех государственных органов.

Рано утром 23 сентября, проснувшись и сразу выглянув на улицу, сердце тоскливо сжалось – серые тучи по-прежнему висели над городом. Многочисленные паломники и делегации с разных областей Казахстана собирались на площади. Месса должно была начаться в 10 часов 30 минут. Похоже, мы не были настолько грешны, что за полчаса до начала божественной службы облачность исчезла, как по мановению волшебной

палочки, и на голубом небе засияло яркое солнце! Месса, на которой присутствовало более 35 тысяч человек, прошла без осадков.

Потом в прессе выдвигались разные предположения, что якобы самолетами разгоняли тучи, а может и божья благодать снизошла на столицу. Но мы – профессионалы своего дела знали, что погода никогда не приходит по расписанию, как поезда и самолеты минута в минуту, это наши знания и понимание атмосферных физических процессов позволило так блестяще справиться с поставленной задачей!

15 ноября 2013 года закончилась моя трудовая деятельность в Казгидромете, но метеорология настолько вошла в мою жизнь, что стала частью меня. И я вернулась в этот омут снова, но уже в другом качестве, как поверитель гидрометеорологических средств измерений, которые в основном используются в авиации. В нас нуждаются не только на аэродромах Казахстана, но и ждут в Киргизии и в Таджикистане, и мы помогаем, чтобы количество взлетов и посадок совпадало.

Встречаясь со своими коллегами и бывшими сотрудниками, мы все сходимся в едином мнении – было трудно, не очень денежно, но коллектив был замечательный, и работа была интересная! И я ни минуты не жалею, что так сложилась моя гидрометеорологическая жизнь.

*Людмила Евгеньевна Чунтонова*

## ЭТО НАШ ШАРАПОВ

Шарапов Вячеслав Владимирович родился 20 января 1923 года в с. Песчаном Максимо-Горьковского района Павлодарской области в семье военного. Получил среднее образование. В марте 1942 года окончил курсы водолазов при Павлодарском ОСВОДе и до призыва работал на спасательной станции пристани Павлодар.

В сентябре 1942 года Шарапов В.В. был призван Павлодарским областным военкоматом на службу в Военно-Морской Флот. Имея водолазную подготовку, Вячеслав Владимирович участвовал в самых ответственных и сложных операциях, участвовал в аварийно-спасательных работах по разминированию акватории портов, подъёму затонувших судов и самолётов, в тралении подводных мин, торпед, затонувших в результате боевых действий. Победу встретил на излечении в филиале Военно-морского госпиталя г. Симферополь.

За участие в Великой Отечественной войне 1941...1945 гг. старший матрос Шарапов В.В. был награжден медалью «За победу над Германией».

По состоянию здоровья Вячеслав Владимирович был освобождён от несения военной службы, но жить вдали от воды он уже не мог.

Вернувшись в город Павлодар, в ноябре 1946 года Шарапов был принят наблюдателем гидрологического поста «Затон» Гидрометслужбы КазССР. Это один из самых старых гидропостов, он был основан в 1889 году в устье реки Тихая Усолка, выше впадения в реку Иртыш на 150 метров. Более 130 лет здесь непрерывно ведутся гидрологические наблюдения, и 57 лет наблюдения вел Вячеслав Владимирович Шарапов.

За всю трудовую деятельность Вячеслав Владимирович не имел ни одного взыскания и замечания по службе, являлся примером для подражания, ответственным и грамотным специалистом. Не отказывался ни от какой несвойственной работы: собственноручно ввинчивал гидрологические сваи с помощью корабельных цепей,

изготавливал рабочий инвентарь - деревянные ящики-колодцы для укрытия свай в прорубях при зимних наблюдениях, сам закаливал металл для пешней – ломов рубки льда, плёл из проволоки сачки для вылавливания льда из прорубей. В период, когда служба ещё не имела собственной химической лаборатории, освоил методики химической консервации воды для последующих анализов её в головной лаборатории.

С апреля 1956 года по рекомендации партийных, советских органов области и по согласованию с руководством Гидрометслужбы КазССР, Вячеслава Владимировича, как квалифицированного военного водолаза, привлекли к созданию спасательной службы в г. Павлодар, назначив начальником спасательной службы областного Комитета ДОСААФ.

В истории Тихой Усолки было несколько наводнений, а последнее наводнение в 1958 году было самое сильное. Тогда в здании водомерного поста вода стояла высотой под подоконники, а измерения уровня воды производились круглосуточно каждые 4 часа, наблюдателю приходилось дремать короткие часы до измерений на русской печке.

В здании гидропоста, подаренном Шараповым В.В. в 1963 году Павлодарскому филиалу, организовал свою творческую мастерскую резьбы по дереву. Ведь Шарапов В.В. являлся к тому же известным в городе и за пределами Казахстана мастером деревянной скульптуры, лауреатом многочисленных выставок народного творчества.

На территории гидрологического поста заложил яблоневый сад сортами, выведенными им лично, и посадил ель, на которой теперь имеется табличка с надписью: «Эту ель посадил участник ВОВ, водолаз ЭПРОНа Шарапов В.В.». При жизни издал две книги своих стихотворений «В гармонии с природой» и «Жизнь словно миг», каталог своих произведений искусства «Деревянная скульптура Шарапова В.В.», некоторые из которых были подарены Павлодарскому гидрометцентру и украшают холл.

Вячеслав Владимирович очень любил свою работу, потому что с детства бережно относился к природе. Обязанности наблюдателя гидрологического поста исполнял до дня своего ухода из жизни, последний утренний замер уровня реки он провел 26 июля 2003 года.

За свою трудовую жизнь Шарапов В.В. заслужил множество наград – Орден Отечественной войны 2 степени, медаль «За Победу над Германией», 6 памятных медалей в честь Победы в ВОВ, медали «За доблестный труд» (к 100-летию Ленина)

и «За спасение утопающих» (СССР и РК), два Почётных знака – «Ветеран Великой Отечественной войны», «Почёта ДОСААФ СССР» (подписанный Буденным), более 40 Почётных грамот и благодарностей, 6 дипломов Союза художников СССР (в области прикладного искусства).

А для своих коллег он по-прежнему остается эталоном трудолюбия, стойкости и всепоглощающей любви к жизни!

*Шарапова (дочь).*