

ИЛМ ВА ИННОВАТСИЯ
ДОНИШГОҶИ МИЛЛИИ ТОҶИКИСТОН
Бахши илмҳои геологӣ ва техникӣ
2026. №3

НАУКА И ИННОВАЦИЯ
ТАДЖИКСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Серия геологических и технических наук
2026. №3

SCIENCE AND INNOVATION
OF THE TAJIK NATIONAL UNIVERSITY
Series of geological and technical Sciences
2026. No. 3



МАРКАЗИ
ТАБЪУ НАШР, БАҲАРОДОН ВА ТАРҶУМА
ДУШАНБЕ – 2026

ИЛМ ВА ИННОВАТСИЯ БАХШИ ИЛМҲОИ ГЕОЛОГӢ ВА ТЕХНИКӢ

Муассиси маҷалла:
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон
Маҷалла соли 2014 таъсис дода шудааст.
Дар як сол 4 шумора нашр мегардад.

САРМУҲАРИИ:

Насриддинзода Эмомалӣ Сайфиддин	<i>Доктори илмҳои ҳуқуқшиносӣ, узви вобастаи АМИТ, ректори Донишгоҳи миллии Тоҷикистон</i>
--	--

МУОВИНИ АВВАЛИ САРМУҲАРИИ:

Сафармамадзода Сафармамад Муборакшо	<i>Доктори илмҳои кимиё, профессор, муовини ректор оид ба илм ва инноватсияи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон</i>
--	--

МУОВИНОНИ САРМУҲАРИИ:

Оспанова Нарима Каженовна	<i>Доктори илмҳои геология ва минералогия, сарҳодими илми озмоишгоҳи палеонтология ва стратиграфияи Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон</i>
Комилов Одина Комилович	<i>Доктори илмҳои техникӣ, профессори кафедраи гидрогеология ва геологияи муҳандисии факултети геологияи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон</i>

ҲАЙАТИ ТАҲРИРИЯ:

Валиев Шариф Файзуллоевич	<i>Доктори илмҳои геология ва минералогия, профессор, сарҳодими илми Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи АМИТ</i>
Файзиев Фотеҳ Абдувакилов	<i>доктори илмҳои геология ва минералогия, дотсенти кафедраи геология ва менеҷменти маъдану техникаи факултети геологияи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон</i>
Абдурахимов Садриддин Яминович	<i>Доктори илмҳои геология ва минералогия, профессори кафедраи географияи табиӣ факултети геоэкологияи Донишгоҳи давлатии Хучанд ба номи академик Б. Гафуров</i>
Каримов Фаршад Ҳилолович	<i>Доктори илмҳои физикаю математика, профессори кафедраи геология ва иқтисофи конҳои канданиҳои ғоиданоки факултети геологияи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон</i>
Мухаббатова Холназар Мухаббатович	<i>Доктори илмҳои география, профессори кафедраи туризм ва методикаи таълими географияи факултети географияи Донишгоҳи давлатии омӯзгорӣ Тоҷикистон ба номи С. Айни</i>
Саидов Мирзо Сигбатуллоевич	<i>Доктори илмҳои геология ва минералогия, профессори кафедраи гидрогеология ва геологияи муҳандисии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон</i>
Икромов Исмоил Истамович	<i>Доктори илмҳои техникӣ, профессори кафедраи мелиоратсия, таҷдидсозӣ ва ҳифзи заминҳои Донишгоҳи аграрӣ Тоҷикистон ба номи Ш. Шохтемур</i>
Рузиев Чура Раҳимназарович	<i>Доктори илмҳои техникӣ, профессори кафедраи кимиёи табиқии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон</i>
Самихов Шонаврӯз Раҳимович	<i>Доктори илмҳои техникӣ, профессори кафедраи кимиёи пайвастаҳои калонмолекула ва технологияи кимиёи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон</i>
Андамов Раҷабалӣ Шамсович	<i>Номзоди илмҳои геология ва минералогия, дотсенти кафедраи гидрогеология ва геологияи муҳандисии факултети геологияи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон</i>
Низов Ансор Соҳибович	<i>Номзоди илмҳои геология ва минералогия, дотсенти кафедраи геология ва менеҷменти маъдану техникаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон</i>
Ғайратов Маликдод Тополангович	<i>Номзоди илмҳои техникӣ, дотсенти кафедраи гидрогеология ва геологияи муҳандисии факултети геологияи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон</i>
Низов Омадкул Ҳамрокулович	<i>Номзоди илмҳои техникӣ, дотсент, муовини декан оид ба илм ва инноватсияи факултети геологияи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон</i>

Маҷалла ба Феҳристи нашрияҳои илми тақризишавандаи Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон аз 28.02.2021, №73 ворид гардидааст.

*Маҷалла дар Маркази таъбу нашр, баргардон ва тарҷумаи ДМТ барои нашр таҳия мегардад. Нишонии Марказ: 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17. E-mail: vestnik-tnu@mail.ru
Тел.: (+992 37) 227-74-41*

*Илм ва инноватсия
Бахши илмҳои геологӣ ва техникӣ
Маҷалла дар Индекси иқтибосҳои илми Русия
(РИНЦ) ворид карда шудааст. Маҷалла бо забонҳои тоҷикӣ ва русӣ нашр мешавад.*

**НАУКА И ИННОВАЦИЯ
СЕРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

Учредитель журнала:
Таджикский национальный университет
Журнал основан в 2014 г. Выходит 4 раза в год.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА:

Насриддинзода Эмомали Сайфиддин	Доктор юридических наук, член-корреспондент НАНТ, ректор Таджикского национального университета
---------------------------------	---

ПЕРВЫЙ ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Сафармамадзода Сафармамад Муборакшо	Доктор химических наук, профессор, проректор по науке Таджикского национального университета
-------------------------------------	--

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Оспанова Нарима Каженовна	Доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории палеонтологии и стратиграфии Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук Таджикистана
---------------------------	---

Комилов Одина Комилович	Доктор технических наук, профессор кафедры гидрогеологии и инженерной геологии геологического факультета Таджикского национального университета
-------------------------	---

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Валиев Шариф Файзуллоевич	Доктор геолого-минералогических наук, профессор, научный сотрудник Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук Таджикистана
---------------------------	---

Файзиев Фотех Абдувакилович	доктор геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии и горно технического менеджмента геологического факультета Таджикского национального университета
-----------------------------	---

Абдурахимов Садриддин Яминович	Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры физической географии геоэкологического факультета Худжандского государственного университета им. Б. Гафурова
--------------------------------	--

Каримов Фаршед Хиолович	Доктор физико-математических наук, профессор кафедры геологии и разведки МПИ геологического факультета Таджикского национального университета
-------------------------	---

Мухаббатова Холназар Мухаббатович	Доктор географических наук, профессор кафедры туризма и методики преподавания географии географического факультета Таджикского государственного педагогического университета им. С. Айни
-----------------------------------	--

Сандов Мирзо Сигбатуллоевич	Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Таджикского национального университета
-----------------------------	--

Икромов Исмонул Истамович	Доктор технических наук, профессор кафедры мелиорации, рекультивации и охраны земель Таджикского аграрного университета имени Ш. Шохтемура
---------------------------	--

Рузиев Джура Рахимназарович	Доктор технических наук, профессор кафедры прикладной химии Таджикского национального университета
-----------------------------	--

Самихов Шонавруз Рахимович	Доктор технических наук, профессор кафедры высокомолекулярных соединений и химической технологии Таджикского национального университета
----------------------------	---

Андамов Раджабали Шамсович	Кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры гидрогеологии и инженерной геологии геологического факультета Таджикского национального университета
----------------------------	---

Ниёзов Ансор Сохибович	Кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры горно-технического менеджмента Таджикского национального университета
------------------------	--

Гайратов Маликдод Тополангович	Кандидат технических наук, доцент кафедры гидрогеологии и инженерной геологии геологического факультета Таджикского национального университета
--------------------------------	--

Ниёзов Омадкул Хамрокулович	Кандидат технических наук, доцент, заместитель декана по науке и инноваций геологического факультета Таджикского национального университета
-----------------------------	---

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан от 28.02.2021, №73

Журнал подготавливается к изданию в Издательском центре ТНУ.

Адрес Издательского центра: 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17.

E-mail: vestnik-tnu@mail.ru

Тел.: (+992 37) 227-74-41

Наука и инновация

Серия геологических и технических наук

Журнал включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Журнал печатается на таджикском, русском языках.

**SCIENCE AND INNOVATION
SERIES OF GEOLOGICAL AND TECHNICAL SCIENCES**

Journal founder: Tajik National University

The journal was founded in 2014. Is publishing 4 times a year.

EDITOR IN CHIEF:

Nasriddinzoda Emomali Sayfiddin	Doctor of Law, Corresponding Member of NAST, Rector of the Tajik National University
--	--

FIRST DEPUTY CHIEF EDITOR:

Safarmamadzoda Safarmamad Muboraksho	Doctor of Chemical Sciences, Professor, Vice-Rector for Science of the Tajik National University
---	--

DEPUTY CHIEF EDITORS:

Ospanova Narima Kazhenovna	Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Researcher of the Laboratory of Paleontology and Stratigraphy of the Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
Komilov Odina Komilovich	Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Hydrogeology and Engineering Geology of the Geological Faculty of the Tajik National University

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Valiev Sharif Fayzulloevich	Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Researcher at the Institute of Geology, Seismic Engineering and Seismology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
Fayziev Fotekh Abduvakilovich	Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Department of Geology and Exploration of the Faculty of Geology
Abdurakhimov Sadridin Yaminovich	Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Department of Physical Geography of the Geoecological Faculty of Khujand State University named after B. Gafurova
Karimov Farshed Khilolovich	Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Department of Geology and Mining Engineering Management of the Geological Faculty of the Tajik National University
Muhabbatov Kholnazar Muhabbatovich	Doctor of Geography, Professor of the Department of Tourism and Methods of Teaching Geography of the Faculty of Geography of the Tajik State Pedagogical University named after. S. Aini
Saidov Mirzo Sigbatulloevich	Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Department of Hydrogeology and Engineering Geology, Tajik National University
Ikromov Ismonkul Istamovich	Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Land Reclamation, Reclamation and Protection of Lands of the Tajik Agrarian University named after Sh. Shokhtemur
Ruziev Jura Rakhimnazarovich	Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Applied Chemistry, Tajik National University
Samikhov Shonavruz Rakhimovich	Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Macromolecular Compounds and Chemical Technology of the Tajik National University
Andamov Radjabali Shamsovich	Candidate of geological and mineralogical sciences, associate professor of the Department of Hydrogeology and Engineering Geology of the Geological Faculty of the Tajik National University
Niyozov Ansor Sohobovich	Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Department of Mining and Technical Management of the Tajik National University
Gayratov Malikdod Topolangovich	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Hydrogeology and Engineering Geology, Faculty of Geology, Tajik National University
Niyozov Omadkul Khamrokulovich	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Dean for Science and Innovation of the Geological Faculty of the Tajik National University

The journal is included in the List of peer-reviewed scientific publications recommended by the Higher Attestation Commission under the President of the Republic of Tajikistan from 28.02.2021, No. 73

The journal is being prepared for publication at the Publishing Center of TNU. Publishing Center Address: 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Avenue, 17. E-mail: vestnik-tnu@mail.ru Tel.: (+992 37) 227-74-41	Science and innovation Geological and Engineering Science Series The journal is included in the database of the Russian Science Citation Index (RSCI). The magazine is published in Tajik and Russian languages.
---	---

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ТАЛОЙ ВОДЫ С ЛЕДНИКА ТАДЖИКИСТАН (ФЕДЧЕНКО) КАК ИНДИКАТОР ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕТНЕГО СТОКА: ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ И ВЫСОТНЫЙ АНАЛИЗ

Каюмова Д.А., Кристоф Йозеф Майер, Каюмов А.К.

Институт изучения ледников и криосферы Национальной Академии наук Таджикистана, Баварская академия наук и гуманитарных наук, Мюнхен, Германия

Введение. Стабильные изотопы кислорода и водорода ($\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$) являются одним из наиболее информативных инструментов исследования процессов формирования атмосферных осадков, снежного покрова и ледниковых архивов. Их распределение определяется процессами испарения, переноса водяного пара, конденсации и выпадения осадков, вследствие чего изотопный состав природных вод отражает особенности происхождения атмосферной влаги и условия её преобразования в процессе циркуляции [6,с.436-442; 16,с.3-10].

В горных районах формирование изотопного состава снежного покрова определяется совокупностью факторов, включая температуру воздуха, абсолютную высоту, особенности атмосферного переноса, орографические условия, сезонность осадков и процессы, происходящие после накопления снега на поверхности ледника. К последним относятся ветровое перераспределение, сублимация, перекристаллизация и изменение структуры снежной толщи, способные изменять первоначальный изотопный сигнал атмосферных осадков [9,с.269-274].

Одной из наиболее известных закономерностей пространственного распределения стабильных изотопов является высотный эффект, выражающийся в снижении значений $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ с увеличением высоты. Данное явление связано с изотопным фракционированием водяного пара при подъёме воздушных масс, их охлаждении и последовательной конденсации. Основные закономерности формирования изотопного состава атмосферных осадков были обобщены W. Dansgaard на основе анализа глобальных наблюдений [6,с.436-439].

Однако последующие исследования показали, что высотная зависимость не является универсальной и может значительно изменяться под влиянием источников атмосферной влаги, особенностей циркуляции воздушных масс и региональных климатических условий [16,с.11-16; 14,с.1-8]. В высокогорных ледниковых системах изотопный состав снега формируется в результате взаимодействия региональных атмосферных процессов и особенностей формирования осадков, поэтому интерпретация изотопных изменений требует учета климатических условий формирования снежного покрова [3,с.1916-1919; 7,с.663-667]. Влияние сезонности осадков и различий в происхождении воздушных поля высокогорных ледников [18,с.99-111; 7,с.663-667].

Памир является одним из ключевых районов современного горного оледенения Центральной Азии, где ледники оказывают значительное влияние на формирование водных ресурсов бассейна Амударьи. Климат региона характеризуется высокой континентальностью, сложным рельефом и преобладающим влиянием западного переноса воздушных масс. В условиях современных климатических изменений изучение процессов формирования снежного покрова и сохранения его изотопных характеристик приобретает особую актуальность для оценки состояния ледниковых систем и их гидрологической роли [6,с.137-142; 16,с.28-34].

Несмотря на значительный прогресс в области изотопных исследований высокогорных регионов, современные данные о пространственном распределении стабильных изотопов в поверхностном снеге аккумуляционных зон ледников Памира остаются ограниченными. Большинство опубликованных работ посвящено анализу ледниковых кернов и фирновых толщ, позволяющих реконструировать климатические изменения прошлого.

Существенный вклад в изучение изотопных особенностей ледника Федченко внесли Aizen и соавт. [17,с.275-278], исследовавшие снежно-фирновые керны аккумуляционной зоны

ледника. Полученные данные позволили оценить сезонные и многолетние изменения изотопного состава, связанные с особенностями накопления снега и атмосферной циркуляции.

Вместе с тем керновые исследования отражают уже сформированный ледниковый архив, в котором первоначальный сигнал атмосферных осадков может быть изменён процессами накопления и преобразования снежной толщи. Современный поверхностный снег представляет собой начальный этап формирования этого архива и требует самостоятельного изучения для оценки пространственной неоднородности процессов аккумуляции.

Дополнительную информацию о распределении стабильных изотопов в западной части Памира получили Wang и соавт., исследовавшие природные воды региона [4,с.10-18]. Однако эти данные характеризуют преимущественно гидрологические объекты и не позволяют непосредственно оценить особенности формирования снежного покрова в аккумуляционных областях ледников.

Таким образом, пространственная организация изотопного состава современного поверхностного снега высокогорных ледников Памира остаётся недостаточно изученной. Неясной остаётся относительная роль высотного фактора, атмосферных процессов и локальных гляциологических условий в формировании современного изотопного сигнала.

Ледник Таджикистан (Федченко), благодаря значительной протяжённости, широкому диапазону высот и расположению в области воздействия западного переноса воздушных масс, представляет собой уникальный природный объект для изучения этих процессов [9,с.275-278].

Цель исследования - оценить пространственную изменчивость стабильных изотопов воды ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) и дейтериевого избытка (d-excess) в поверхностном снеге аккумуляционной зоны ледника Таджикистан (Федченко), а также определить особенности формирования современного изотопного сигнала в условиях высокогорного Памира.

Район исследования

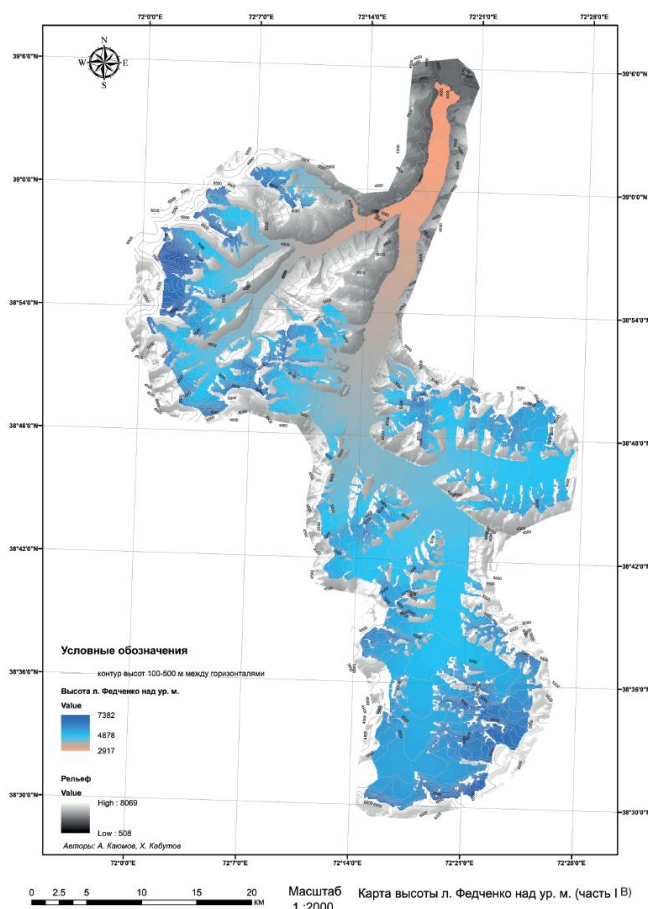


Рис.1. Обзорная карта ледника Таджикистан (Федченко) по высотам [18,с.275-278]

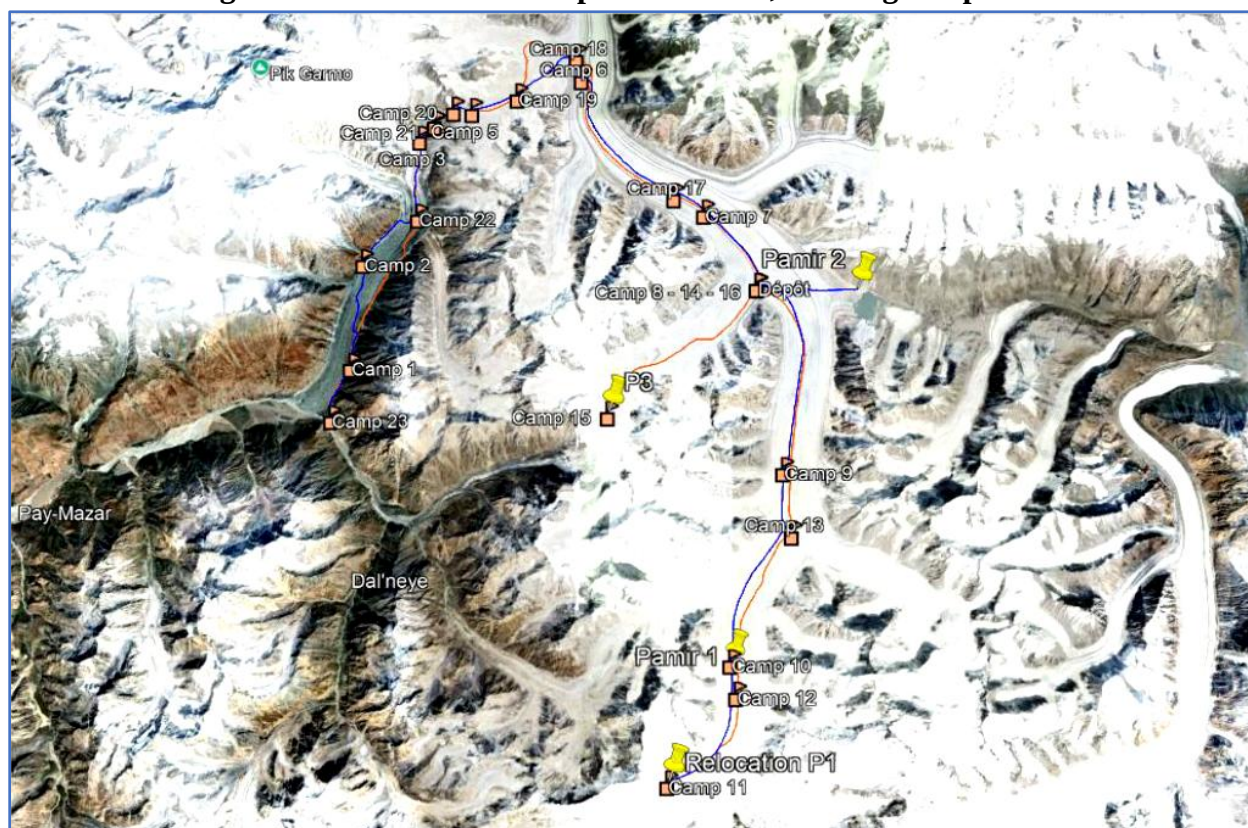
Fig. 1. Overview map of the Tajikistan (Fedchenko) Glacier by elevation

Исследование выполнено на леднике Таджикистан, расположенном в центральной части Западного Памира (Таджикистан). Это крупнейший горный ледник региона, отличающийся значительной высотной протяжённостью, длина 77 км., сложной структурой аккумуляционной зоны и высокой чувствительностью к современным климатическим изменениям [1,с.44].

Аккумуляционная область ледника формируется в условиях высокогорного континентального климата, где накопление снежного покрова определяется сочетанием крупномасштабных атмосферных процессов, орографических особенностей локальных гляциологических факторов.

Материалы и методы. Отбор образцов проводился с 1 по 10 августа 2025 г. вдоль высотного профиля, охватывающего аккумуляционную зону ледника в интервале абсолютных высот от 4840 до 5400 м над уровнем моря. Всего было отобрано 15 образцов поверхностного снега.

Рисунок 2. Обзор маршрута экспедиции с указанием лагерей и станций
Figure 2. Overview of the expedition route, showing camps and stations



Точки отбора располагались вдоль центральной части ледника с перепадом высот между соседними пунктами около 50–100 м. Географические координаты и абсолютные отметки определяли с использованием GPS-приёмника Garmin GPSMAP 66s; точность позиционирования составляла около ± 3 м.

Для изотопного анализа отбирали верхний слой поверхностного снега толщиной около 1 см. После отбора образцы помещали в герметичные контейнеры, где их растапливали при контролируемой температуре, затем переносили в стеклянные флаконы объёмом 30 мл с коническим горлышком. До проведения лабораторных измерений флаконы хранились в герметично закрытом состоянии, что исключало изменение изотопного состава вследствие испарения.

Изотопный анализ образцов. Изотопный состав кислорода и водорода в образцах поверхностного снега определяли методом лазерной абсорбционной спектроскопии на изотопном анализаторе Picarro L2130-i.

В процессе анализа оценивали содержание стабильных изотопов:

$\delta^{18}\text{O}$ - относительное содержание изотопа кислорода-18;

$\delta^2\text{H}$ - относительное содержание дейтерия.

Полученные значения выражали в промилле (‰) относительно международного стандарта V-SMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water).

Каждый образец анализировали в двух повторностях. Для одного флакона выполняли восемь последовательных инъекций. Первые измерения исключали из последующей обработки, поскольку они могли быть связаны с установлением стабильного режима работы измерительной системы. В расчёты включали значения, полученные после стабилизации аналитического сигнала. По результатам измерений $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ рассчитывали величину дейтериевого избытка (d-excess): $\text{d-excess} = \delta^2\text{H} - 8 \times \delta^{18}\text{O}$.

Параметр d-excess использовали как дополнительный показатель при интерпретации условий формирования атмосферной влаги и оценки процессов, влияющих на преобразование изотопного состава снежного покрова после выпадения осадков.

Калибровка и контроль качества измерений. Для обеспечения сопоставимости полученных изотопных данных с международной шкалой измерения использовали сертифицированные изотопные стандартные образцы USGS45 и USGS47.

Нормализацию результатов выполняли относительно международной шкалы V-SMOW.

Обработка и контроль первичных аналитических данных осуществлялись с использованием программного обеспечения LIMS for Lasers, предназначенного для работы с данными лазерных изотопных анализаторов. Качество полученных результатов оценивали на основе стабильности аналитического сигнала, воспроизводимости повторных измерений образцов и соответствия измеренных значений контрольным стандартам. Дополнительно проводили проверку корректности результатов с учётом возможных отклонений, возникающих в процессе измерений. Применение стандартной процедуры калибровки и контроля качества позволило обеспечить необходимую надёжность полученных изотопных характеристик и использовать их для оценки пространственной изменчивости $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ и d-excess в поверхностном снеге аккумуляционной зоны ледника Таджикистан.

Оценка аналитической точности измерений. Оценку аналитической точности определения изотопного состава проводили на основании результатов повторного анализа стандартных образцов в течение всего периода лабораторных исследований.

Полученные данные показали высокую стабильность измерительной системы. Среднее стандартное отклонение повторных измерений составило:

- около 0,07‰ для $\delta^{18}\text{O}$;
- около 0,3‰ для $\delta^2\text{H}$.

Установленные значения аналитической погрешности свидетельствуют о высокой воспроизводимости результатов измерений и позволяют использовать полученные данные для анализа пространственной изменчивости изотопного состава поверхностного снега в пределах исследованной части аккумуляционной зоны ледника Таджикистан.

Результаты. *Общая характеристика изотопного состава поверхностного снега.*

В ходе исследования выполнен анализ 15 образцов поверхностного снега, отобранных вдоль высотного профиля аккумуляционной зоны ледника Таджикистан в диапазоне высот 4840-5400 м над уровнем моря.

Измеренные значения стабильных изотопов кислорода и водорода характеризовались значительной пространственной изменчивостью в пределах исследованного участка ледника.

Диапазон значений $\delta^{18}\text{O}$ составил от $-16,0$ до $-7,3$ ‰, при среднем значении $-12,3 \pm 2,4$ ‰. Для $\delta^2\text{H}$ отмечены вариации от $-116,6$ до $-42,2$ ‰, среднее значение показателя составило -84 ± 18 ‰.

Величина дейтериевого избытка (d-excess) изменялась в пределах 11,4-18,1‰, при среднем значении $14,8 \pm 1,4$ ‰. Амплитуда вариаций $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ значительно превышала величину аналитической погрешности измерений, что указывает на наличие реальных пространственных различий в изотопном составе поверхностного снежного покрова. При анализе распределения изотопных характеристик вдоль высотного профиля не выявлено выраженной линейной зависимости от абсолютной высоты. Изменения значений $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ носили неоднородный характер и отражали сложную пространственную структуру изотопного поля исследованного участка.

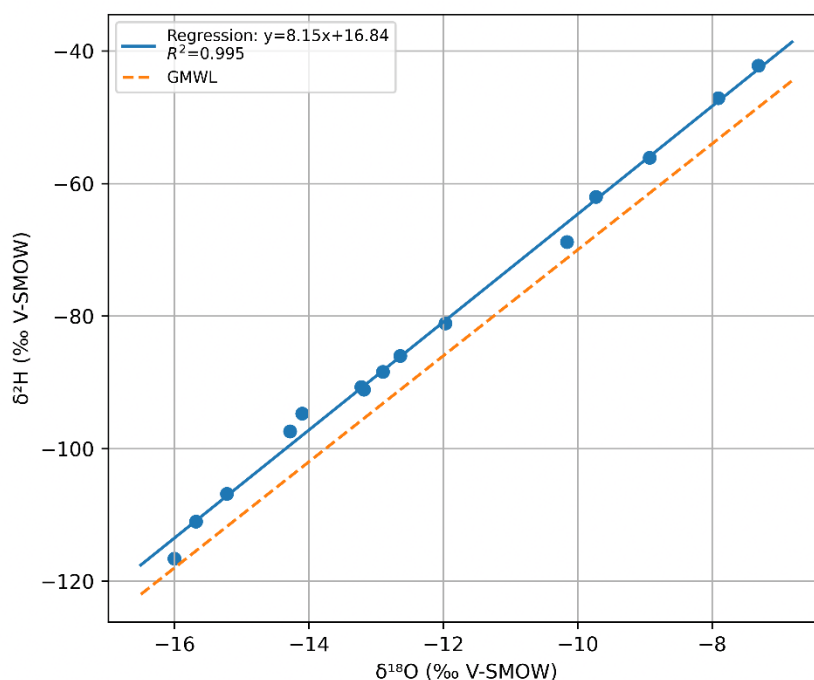
Анализ линейной регрессии выявил очень сильную зависимость между $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в исследуемых пробах воды. Полученное уравнение регрессии имело следующий вид:

$$\delta^2\text{H} = 8,15\delta^{18}\text{O} + 16,84$$

с коэффициентом корреляции Пирсона $r = 0,998$ и коэффициентом детерминации $R^2 = 0,995$. Наклон линии регрессии очень близок к наклону Глобальной линии метеоритной воды (GMWL), что указывает на то, что изотопный состав исследуемых вод в основном определяется метеоритными осадками.

Пространственное распределение $\delta^{18}\text{O}$. Наиболее выраженная пространственная изменчивость среди исследованных изотопных характеристик отмечена для $\delta^{18}\text{O}$.

Рисунок 3. Зависимость между $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в исследуемых пробах воды
Figure 3. Relationship between $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ in the water samples analyzed



Сплошная линия представляет линейную регрессию, рассчитанную на основе измеренных изотопных данных ($\delta^2\text{H} = 8,15\delta^{18}\text{O} + 16,84$; $R^2 = 0,995$), а пунктирная линия обозначает глобальную линию метеоритной воды (GMWL: $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$).

В нижней части исследованного профиля, охватывающей высотный интервал приблизительно 4840–5150 м над уровнем моря, преобладали более отрицательные значения $\delta^{18}\text{O}$. В данном участке значения показателя преимущественно находились в диапазоне от -12 до -16 ‰, а средняя величина составляла около -15 ‰. Выше по профилю, на высотах более 5200 м, наблюдалось смещение изотопного состава в сторону менее отрицательных значений. В этой части аккумуляционной зоны значения $\delta^{18}\text{O}$ изменялись приблизительно от -13 до -7 ‰, при среднем значении около $-9,5$ ‰. Максимальные значения $\delta^{18}\text{O}$ зарегистрированы на высотных отметках 5295 и 5400 м и составили соответственно $-7,9$ и $-7,3$ ‰. Различия между отдельными участками профиля достигали приблизительно 5,5‰. Полученное распределение показывает, что пространственная структура $\delta^{18}\text{O}$ в пределах исследованной части аккумуляционной зоны не соответствует простой высотной зависимости. Несмотря на наличие определённых различий между нижним и верхним участками профиля, последовательного уменьшения значений $\delta^{18}\text{O}$ с увеличением высоты не выявлено.

В нижней части профиля прослеживалась тенденция к более отрицательным значениям изотопного состава при увеличении высоты. Однако в верхней части ледника эта закономерность нарушалась: дальнейшее повышение абсолютной отметки сопровождалось изменением характера распределения $\delta^{18}\text{O}$ и появлением относительно более тяжёлого изотопного состава.

Пространственная изменчивость $\delta^2\text{H}$. Распределение значений $\delta^2\text{H}$ в пределах исследованного профиля в целом соответствовало пространственной структуре, выявленной для изотопного состава кислорода ($\delta^{18}\text{O}$). Участки с более отрицательными значениями $\delta^{18}\text{O}$ характеризовались также пониженными значениями $\delta^2\text{H}$, тогда как относительно обогащённые тяжёлыми изотопами кислорода области отличались менее отрицательными значениями $\delta^2\text{H}$.

Диапазон изменения $\delta^2\text{H}$ составил 74,4‰ - от $-116,6$ до $-42,2$ ‰. Такая амплитуда вариаций значительно превышает аналитическую погрешность определения данного параметра и свидетельствует о наличии выраженной пространственной неоднородности изотопного состава поверхностного снега в пределах исследованной части аккумуляционной зоны ледника. Как и в случае $\delta^{18}\text{O}$, распределение $\delta^2\text{H}$ вдоль высотного профиля не характеризовалось

устойчивым линейным трендом, связанным с увеличением абсолютной высоты. Изменение значений происходило неравномерно, что указывает на влияние комплекса факторов, определяющих формирование изотопного состава снежного покрова.

Совместный анализ пространственного распределения $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ показал высокую степень согласованности между двумя изотопными характеристиками. Изменения обоих параметров происходили синхронно, что отражает их общее происхождение и указывает на воздействие единых процессов формирования и преобразования снежного покрова.

Полученная закономерность свидетельствует о том, что наблюдаемая изменчивость изотопного состава поверхностного снега связана не с особенностями поведения отдельных изотопных систем, а отражает комплексное влияние условий формирования атмосферных осадков, их последующего перераспределения и трансформации снежного покрова в аккумуляционной зоне ледника.

Пространственное распределение дейтериевого избытка. В отличие от $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$, значения дейтериевого избытка (d-excess) демонстрировали значительно меньшую пространственную изменчивость вдоль исследованного высотного профиля.

Диапазон вариаций данного параметра составил 11,4-18,1‰ при среднем значении $14,8 \pm 1,4\%$. Большая часть полученных значений находилась в относительно узком интервале 14-16‰, что указывает на сохранение близких характеристик формирования атмосферной влаги в пределах исследованного участка аккумуляционной зоны.

В отличие от распределения $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$, для d-excess не выявлено выраженной зависимости от абсолютной высоты. Изменение данного параметра вдоль профиля не сопровождалось последовательным увеличением или уменьшением его значений при переходе от нижних к верхним участкам ледника.

Следует отметить, что относительная стабильность d-excess наблюдалась на фоне значительной изменчивости основных изотопных характеристик - $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$. Такое соотношение указывает на различный характер формирования этих параметров: тогда как $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в большей степени отражают процессы изотопного фракционирования при изменении температуры и условий конденсации, величина d-excess сохраняет информацию об особенностях источника атмосферной влаги и условиях её формирования.

Таким образом, отсутствие существенного тренда d-excess вдоль высотного профиля свидетельствует о сохранении общих характеристик поступающей атмосферной влаги в пределах исследованной части ледника. При этом выявленные различия $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$, вероятно, связаны преимущественно с локальными условиями накопления снега и последующими процессами его преобразования на поверхности ледника.

Пространственная структура изотопного поля поверхностного снега. Совместный анализ распределения $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ и d-excess показал, что поверхностный снег аккумуляционной зоны ледника Таджикистан характеризуется неоднородным пространственным распределением изотопных характеристик.

В пределах исследованного высотного профиля выделяются участки с различным изотопным составом снежного покрова. Нижняя часть профиля (примерно 4840-5150 м над уровнем моря) характеризовалась преимущественно более отрицательными значениями $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$, тогда как в верхней части профиля (выше 5200 м) отмечались относительно менее отрицательные значения данных параметров.

При этом выявленное различие между участками не соответствует простой закономерности изменения изотопного состава с высотой. Несмотря на увеличение абсолютной высоты отбора образцов, последовательного обеднения тяжёлыми изотопами кислорода и водорода по мере подъёма по профилю не наблюдалось.

Стабильность значений d-excess на фоне существенных различий $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ указывает на то, что пространственная неоднородность основных изотопных характеристик, вероятно, связана преимущественно с особенностями накопления и преобразования снежного покрова, а не с существенным изменением источника атмосферной влаги.

Полученные результаты свидетельствуют о сложной пространственной организации изотопного поля поверхностного снега в пределах аккумуляционной зоны ледника

Таджикистан. Изотопный состав снежного покрова формируется под воздействием совокупности факторов, включая условия выпадения осадков, атмосферную циркуляцию, высотное положение, перераспределение снега и последующие постдепозиционные процессы.

В целом, современный поверхностный снег аккумуляционной зоны ледника Федченко представляет собой неоднородную изотопную систему, формирование которой определяется не только высотным положением, но и совокупным влиянием атмосферных условий, процессов аккумуляции и последующей трансформации снежного покрова.

Обсуждение. *Отсутствие простой высотной зависимости $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в зоне аккумуляции ледника*

Одной из наиболее распространённых закономерностей распределения стабильных изотопов кислорода и водорода в атмосферных осадках является высотный изотопный эффект, проявляющийся в снижении значений $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ по мере увеличения высоты. Данная закономерность связана с изотопным фракционированием в процессе подъёма воздушных масс, их охлаждения и последовательной конденсации водяного пара. Фундаментальные представления о зависимости изотопного состава атмосферных осадков от условий формирования влаги были сформулированы W. Dansgaard на основе анализа глобальных наблюдений [6, с.443-447].

Вместе с тем последующие исследования показали, что высотный градиент изотопного состава не является универсальным показателем и может значительно изменяться в зависимости от региональных климатических условий. Пространственное распределение $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ определяется не только температурой и абсолютной высотой, но также источником атмосферной влаги, особенностями циркуляции воздушных масс, сезонностью выпадения осадков и характером орографического воздействия [16]. В горных районах величина высотного эффекта может существенно различаться даже в пределах одного региона вследствие различий в путях переноса влаги и условиях формирования осадков [14, с.6-13].

В настоящем исследовании распределение стабильных изотопов поверхностного снега зоны аккумуляции ледника Таджикистан не выявило выраженной линейной зависимости от абсолютной высоты. Несмотря на увеличение высоты отбора образцов от 4840 до 5400 м над уровнем моря, последовательного уменьшения значений $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ вдоль всего профиля не наблюдалось. Более того, отдельные участки верхней части исследованной зоны характеризовались менее отрицательными значениями изотопных параметров по сравнению с некоторыми участками, расположенными ниже по высоте.

Полученная закономерность указывает на то, что в условиях крупного высокогорного ледника высотный фактор не является единственным определяющим механизмом формирования современного изотопного состава поверхностного снега. Подобные особенности ранее отмечались в исследованиях снежного покрова высокогорных регионов, где пространственная изменчивость изотопного состава связана с сочетанием сезонности накопления, различий в происхождении воздушных масс, ветрового перераспределения снега и постдепозиционных процессов [11, с.22618-22623].

Кроме того, после выпадения снег подвергается преобразованиям, способным изменять первоначальный изотопный сигнал. К таким процессам относятся ветровое перераспределение, сублимация, изменение структуры снежных кристаллов, перекристаллизация и другие формы метаморфизма снежной толщи [8, с.1-4]. В условиях высокогорных ледников эти процессы могут иметь существенное значение вследствие длительного воздействия низких температур, интенсивной солнечной радиации и ветрового режима.

Таким образом, результаты исследования показывают, что для аккумуляционной зоны ледника Таджикистан высота является важным, но не единственным фактором формирования изотопного состава снежного покрова. Выявленная неоднородность распределения $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ свидетельствует о необходимости учитывать комплексное влияние атмосферных условий, процессов накопления и последующего преобразования снега при интерпретации изотопных характеристик высокогорных ледников.

Пространственная неоднородность поверхностного снега как результат взаимодействия процессов накопления и трансформации. Одним из важных результатов

проведённого исследования стало выявление пространственной неоднородности изотопного состава поверхностного снега в пределах одной аккумуляционной зоны ледника. Полученные значения $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ показывают, что снежный покров исследованного участка не представляет собой однородную систему, несмотря на относительно небольшой диапазон высот (4840-5400 м над уровнем моря).

Таблица 2. Статистическая сводка изотопных показателей по высотным поясам

Table 2. Statistical summary of isotopic values by altitudinal zones

Высотный пояс, м	N	$\delta^{18}\text{O}$, ‰ (ср. $\pm \sigma$)	$\delta^2\text{H}$, ‰ (ср. $\pm \sigma$)	d-excess, ‰ (ср. $\pm \sigma$)	Градиент $\delta^{18}\text{O}$, ‰/100 м
4840–5000	4	$-12,8 \pm 1,3$	-91 ± 10	$15,0 \pm 1,0$	-0,17
5000–5200	3	$-15,6 \pm 0,4$	-109 ± 4	$13,5 \pm 1,7$	-0,19
5200–5400	8	$-10,4 \pm 2,5$	-72 ± 21	$15,4 \pm 1,3$	-0,18
Общая выборка	15	$-12,3 \pm 2,4$	-84 ± 18	$14,8 \pm 1,4$	-0,18

Примечание: градиент рассчитан методом наименьших квадратов по центру -высоте каждого пояса.

Современные представления о формировании изотопного состава снега свидетельствуют о том, что поверхностный изотопный сигнал определяется не только условиями выпадения атмосферных осадков, но и последующими процессами преобразования снежной толщи. К числу таких факторов относятся особенности атмосферного переноса, ветровое перераспределение снега, сублимация, изменение структуры снежных кристаллов и процессы метаморфизма [15,с.6-10].

В исследованной аккумуляционной зоне ледника Таджикистан (Федченко) выявлены участки с различными изотопными характеристиками. Нижняя часть профиля характеризовалась преимущественно более отрицательными значениями $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$, тогда как в верхней части отмечались относительно более тяжёлые изотопные значения. При этом данное распределение не соответствовало классическому высотному эффекту, предполагающему последовательное изотопное обеднение с увеличением высоты.

В условиях Памира, где аккумуляция снега происходит при сложном взаимодействии атмосферной циркуляции и локальных особенностей рельефа, отдельные участки ледника могут получать различный вклад осадков, сформированных при неодинаковых метеорологических условиях.

Дополнительную роль может играть перераспределение снежного материала под воздействием ветра. В результате поверхностный слой снега может отражать не только условия первоначального выпадения осадков, но и историю последующего преобразования.

Следует учитывать, что полученные данные не позволяют однозначно установить сезонное происхождение выявленных различий между отдельными участками профиля. Для более детальной оценки роли сезонности и процессов накопления необходимы исследования вертикального строения снежной толщи с анализом изотопного состава отдельных слоёв.

Таким образом, выявленные особенности формирования изотопного поля необходимо учитывать при интерпретации начальной стадии образования фирнового и ледникового архива.

Роль d-excess в сохранении информации об источнике атмосферной влаги. В отличие от $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$, которые характеризовались значительной пространственной изменчивостью в пределах исследованного высотного профиля, величина дейтериевого избытка (d-excess) демонстрировала относительно ограниченный диапазон вариаций. Значения данного параметра изменялись от 11,4 до 18,1‰ при среднем значении $14,8 \pm 1,4\%$.

Дейтериевый избыток (d-excess), впервые предложенный W. Dansgaard, определяется как $d = \delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$ [6,с.463] и широко используется для оценки условий формирования атмосферной влаги, включая особенности испарения в области источника, относительную влажность и процессы последующей конденсации водяного пара [12,с.5031-5032]. Согласно исследованиям глобального распределения изотопов атмосферных осадков, пространственная изменчивость данного параметра определяется главным образом особенностями испарения, влажностью над областью источника и характером атмосферной циркуляции [13,с.771-773].

В пределах исследованного профиля ледника Таджикистан отсутствие выраженного тренда изменения d-excess при значительной изменчивости $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ представляет особый интерес. Более вероятно, что наблюдаемая неоднородность определяется локальными условиями накопления снега и последующими процессами его преобразования на поверхности ледника.

Подобная интерпретация соответствует современным представлениям о поведении изотопного состава снежного покрова в высокогорных районах. После выпадения осадков значения $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ могут изменяться под воздействием ветрового перераспределения, сублимации, метаморфизма и перекристаллизации снега, тогда как величина d-excess при отсутствии существенных изменений условий поступления влаги может сохранять относительную стабильность [11; 13].

Комплексный анализ трёх изотопных характеристик - $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ и d-excess - позволяет более детально оценить механизмы формирования изотопного сигнала поверхностного снега. Использование только одного показателя, например $\delta^{18}\text{O}$, может привести к упрощённой интерпретации полученных данных через призму температурного или высотного эффекта. Включение в анализ d-excess позволяет разделить влияние процессов формирования атмосферной влаги и изменений, происходящих непосредственно после накопления снега на поверхности ледника.

Значение результатов для формирования ледникового изотопного архива. Формирование ледникового изотопного архива представляет собой сложный многоэтапный процесс, начинающийся с поступления атмосферных осадков на поверхность ледника и продолжающийся накоплением, уплотнением снежной толщи и её преобразованием в фирн и ледниковый лёд. Поэтому интерпретация изотопных записей ледниковых кернов требует понимания не только временной изменчивости климатических условий, но и особенностей формирования исходного снежного материала на начальной стадии его накопления.

Различия значений $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ между отдельными участками исследованного профиля свидетельствуют о том, что снежный материал, поступающий в процесс формирования будущего ледникового архива, может иметь неодинаковые изотопные характеристики даже в пределах одной аккумуляционной области.

Ранее проведённые исследования ледника Таджикистан продемонстрировали высокую информативность изотопных характеристик снежно-фирновых кернов для реконструкции климатических условий Памира. В работе Aizen и соавторов на основе анализа кернов аккумуляционной зоны ледника были выявлены сезонные и многолетние изменения стабильных изотопов воды, отражающие особенности накопления снега и вариации региональной атмосферной циркуляции [17, с.281-289].

Вместе с тем данные кернов представляют уже сформированный вертикальный архив, в котором исходный сигнал атмосферных осадков претерпел изменения вследствие процессов накопления, уплотнения и длительного преобразования снежной толщи. Проведённое исследование дополняет эти представления, показывая, что пространственная неоднородность изотопного состава может возникать ещё на поверхности ледника - до начала длительного процесса фирнизации.

Если пространственные различия поверхностного снега сохраняются в процессе дальнейшего захоронения и преобразования в фирн, они могут влиять на формирование локальных особенностей изотопного профиля ледникового керна. В связи с этим при использовании изотопных данных для климатических реконструкций необходимо учитывать не только временную последовательность изменений атмосферных условий, но и пространственную структуру процессов аккумуляции.

Переход снега в фирн и далее в ледниковый лёд сопровождается существенными изменениями физических свойств снежной толщи, включая увеличение плотности, разрушение первоначальной структуры кристаллов и изменение условий взаимодействия снега с атмосферой. Эти процессы могут определять степень сохранения исходного изотопного сигнала и влиять на надёжность последующей интерпретации климатической информации, содержащейся в ледниковом архиве [5, с.171-180].

Значение результатов для Памира и водных ресурсов Центральной Азии. Ледники Памира являются важнейшим элементом гидрологической системы Центральной Азии, обеспечивая формирование стока горных рек и регулируя сезонное распределение водных ресурсов. В условиях современных климатических изменений изучение процессов накопления и преобразования снежного покрова приобретает особое значение для оценки устойчивости ледниковых бассейнов региона [10,с.364-365].

Полученные результаты показывают, что изотопный состав поверхностного снега аккумуляционной зоны ледника Таджикистан (Федченко) характеризуется выраженной пространственной неоднородностью и не может быть описан только на основе высотного градиента. Это указывает на необходимость учитывать особенности пространственной структуры накопления снега при использовании изотопных данных для оценки формирования ледникового питания и источников талого стока.

Выявленные закономерности имеют важное значение для интерпретации изотопных исследований высокогорных ледников Центральной Азии [1,с.137-142]. При реконструкции климатических условий и оценке вклада ледниковых и снеговых компонентов в речной сток необходимо учитывать не только временную изменчивость атмосферных процессов, но и пространственную неоднородность формирования снежного покрова в аккумуляционных зонах [19,с.310-311].

Заключение. Проведённое исследование пространственного распределения стабильных изотопов воды в поверхностном снеге аккумуляционной зоны ледника Таджикистан позволило выявить особенности формирования современного изотопного сигнала в условиях высокогорного Памира.

В пределах исследованного высотного профиля (4840–5400 м над уровнем моря) установлена значительная пространственная изменчивость изотопного состава снега. Диапазон вариаций составил для $\delta^{18}\text{O}$ от -16,0 до -7,3‰ и для $\delta^2\text{H}$ от -116,6 до -42,2‰, что значительно превышает аналитическую погрешность и указывает на наличие реальных различий внутри аккумуляционной зоны ледника.

Распределение $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ не характеризовалось простой линейной зависимостью от высоты. Полученные результаты показывают, что высотный фактор взаимодействует с процессами атмосферного переноса, ветрового перераспределения, сублимации, метаморфизма и перекристаллизации снега, формируя неоднородную изотопную структуру снежного покрова.

Значения d-excess оставались относительно стабильными вдоль профиля и изменялись от 11,4 до 18,1‰ при среднем значении $14,8 \pm 1,4\%$. Стабильность данного параметра при значительных вариациях $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ свидетельствует о сохранении общих характеристик атмосферной влаги при существенном влиянии локальных процессов накопления и преобразования снега.

Выявленная пространственная неоднородность поверхностного снега имеет важное значение для интерпретации изотопного архива ледников. При реконструкции климатических и гидрологических изменений необходимо учитывать, что формирование изотопного сигнала зависит не только от временной изменчивости климата, но и от особенностей пространственной аккумуляции снега.

Полученные результаты расширяют представления о механизмах формирования изотопного состава снежного покрова высокогорных ледников Центральной Азии. Совместное использование $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ и d-excess позволяет более детально оценивать процессы формирования ледникового питания, происхождение талых вод и особенности гидрологического режима бассейнов Памира.

Статья выполнена в рамках научного проекта «Разработка Атласа ледников Республики Таджикистан на основе инновационных геоинформационных технологий» Государственный регистрационный номер: РБ№ 0123ТJ1528, Руководитель проекта: академик Каюмов Абдулхамид

ЛИТЕРАТУРА

1. Каюмов А.К. Атлас-каталог ледников Таджикистана Выпуск 1 / А.К. Каюмов, Ф. Восидов, Х. Кабутов // Бассейн ледника Федченко. -Душанбе 2023. –С.44.

2. Каюмова Д.А. Перспективы развития изотопного и радиоизотопного изучения ледников и снежного покрова в Центральной Азии / Д.А. Каюмова // Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационные подходы и использование космических технологий в управлении и мониторинге водных ресурсов, сохранении ледников и обеспечении устойчивого развития энергетики в условиях изменения климата», 11-12 апреля 2025 г. -Душанбе, 2025. -С.137-142.
3. A high-resolution millennial record of the South Asian monsoon from Himalayan ice cores / L.G. Thompson, T. Yao, E. Mosley-Thompson, M.E. Davis, K.A. Henderson, P.N. Lin // Science. - 2000. -Vol. 289/ -№5486. -P.1916-1919. - DOI: 10.1126/science.289.5486.1916.
4. A study of longitudinal and altitudinal variations in surface water stable isotopes in West Pamir, Tajikistan / S. Wang, M. Zhang, C.E. Hughes, J. Crawford, M. Du, X. Ji // Atmospheric Research. - 2015. -Vol. 153. -P.10-18. - DOI: 10.1016/j.atmosres.2014.07.029.
5. Cuffey K.M. The Physics of Glaciers / K.M. Cuffey, W.S.B. Paterson. - 4th ed. -Oxford: Butterworth-Heinemann, 2010. -704 p.
6. Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation / W. Dansgaard // Tellus. - 1964. -Vol. 16. -№4. -P.436-468. - DOI: 10.1111/j.2153-3490.1964.tb00181.x.
7. Different glacier status with atmospheric circulations in Tibetan Plateau and surroundings / T. Yao, L. Thompson, W. Yang et al. // Nature Climate Change. - 2012. - Vol. 2. - P. 663–667. - DOI: 10.1038/nclimate1580.
8. Domine F. A parameterization of the specific surface area of seasonal snow for field use and for models of snowpack evolution / F. Domine, A.-S. Taillandier, W.R. Simpson // Journal of Geophysical Research: Earth Surface. - 2007. - Vol.112. - F02031. - DOI: 10.1029/2006JF000512.
9. He Y. Spatial and temporal variations of oxygen isotopes in snowpacks and glacial runoff in different types of glacial area in western China / Y. He, H. Pang, W.H. Theakstone // Annals of Glaciology. - 2006. -Vol. 43. -P.269-274. - DOI: 10.3189/172756406781811943.
10. Importance and vulnerability of the world's water towers / [W.W. Immerzeel, A.F. Lutz, M. Andrade et al.]// Nature. - 2020. -Vol. 577. -P.364-369. - DOI: 10.1038/s41586-019-1822-y.
11. Influence of sublimation on stable isotope records recovered from high-altitude glaciers in the tropical Andes / W. Stichler, U. Schotterer, K. Fröhlich, P. Ginot, C. Kull, H. Gäggeler, B. Pouyaud // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. - 2001. -Vol.106, -№D19. -P.22613–22624. - DOI: 10.1029/2001JD900179.
12. Merlivat L. Global climatic interpretation of the deuterium-oxygen 18 relationship for precipitation / L. Merlivat, J. // Jouzel Journal of Geophysical Research: Oceans. - 1979. -Vol. 84, -№C8. -P.5029-5033. - DOI: 10.1029/JC084iC08p05029.
13. Pfahl S. What controls deuterium excess in global precipitation? / S. Pfahl, H. Sodemann // Climate of the Past. - 2014. -Vol.10. -P.771-781. - DOI: 10.5194/cp-10-771-2014.
14. Poage M.A. Empirical relationships between elevation and the stable isotope composition of precipitation and surface waters: considerations for studies of paleoelevation change / M.A. Poage, C.P. Chamberlain // American Journal of Science. - 2001. -Vol. 301. -№1. -P.1-15. - DOI: 10.2475/ajs.301.1.1.
15. Rate of decrease of the specific surface area of dry snow: Isothermal and temperature gradient conditions / A.-S. Taillandier, F. Domine, W.R. Simpson, M. Sturm, T.A. Douglas // Journal of Geophysical Research: Earth Surface. - 2007. -Vol. 112. - F03003. - DOI: 10.1029/2006JF000514.
16. Rozanski K. Isotopic patterns in modern global precipitation / K. Rozanski, L. Araguás-Araguás, Gonfiantini R. // Climate Change in Continental Isotopic Records. -Washington: American Geophysical Union, 1993. -Vol. 78. -P.1-36. - DOI: 10.1029/GM078p0001.
17. Stable-isotope and trace element time series from Fedchenko Glacier (Pamirs) snow/firn cores / V.B. Aizen, P.A. Mayewski, E.M. Aizen, D.R. Joswiak, A.B. Surazakov, S. Kaspari, B. Grigholm, M. Krachler, M. Handley, A. Finaev // Journal of Glaciology. - 2009. -Vol. 55. -№190. -P.275-291. - DOI: 10.3189/002214309788608787.
18. The altitude effect on the isotopic composition of snow in high mountains / J. Niewodniczański, J. Grabczak, L. Barański, J. Rzepka // Journal of Glaciology. - 1981. -Vol. 27/ -№95. -P.99-111. - DOI: 10.3189/S0022143000011266.
19. The state and fate of Himalayan glaciers / [T. Bolch, A. Kulkarni, A. Kääb et al.]// Science. - 2012. -Vol. 336, -№6079. - P.310–314. - DOI: 10.1126/science.1215828.

ТАРКИБИ ИЗОТОПИИ ОБИ ОБШУДАИ ПИРЯХИ ФЕДЧЕНКО ДАР ТОЧИКИСТОН ҲАМЧУН НИШОНДИҲАНДАИ ТАШАККУЛИ ҶАРАЁНИ ОБҲОИ ТОБИСТОНА: ТАҲЛИЛИ ФАЗОӢ ВА БАЛАНДӢ

Таҳқиқоти мазкур ба арзёбии тағйирёбии фазои изотопҳои устувори об ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) ва изофаи дейтерий (d-excess) дар барфи сатҳии минтақаи аккумулятсионии пириҳои Тоҷикистон (Федченко), ки бузургтарин пириҳои кӯҳии Осиёи Марказӣ мебошад, бахшида шудааст. Мубрамияти таҳқиқот бо нокифоя омӯхта шудани қонуниятҳои ташаккули сигнали муносири изотопӣ дар минтақаҳои баландкӯҳи Помир ва аҳамияти он барои тафсири бойгонҳои иқлимии пириҳо асоснок мегардад. Моҳи августи соли 2025 аз рӯи профили баландии 4840-5400 м аз сатҳи баҳр 15 намунаи барфи сатҳӣ ҷамъоварӣ гардида, таркиби изотопии онҳо бо усули спектроскопияи абсорбсионии лазерӣ дар таҳлилгари Picarro L2130-и муайян ва нисбат ба стандарти байналмилалӣ V-SMOW мутобиқ карда шуд. Муайян гардид, ки қиматҳои $\delta^{18}\text{O}$ аз -16,0 то -7,3‰, $\delta^2\text{H}$ аз -116,6 то -42,2‰ ва d-excess аз 11,4 то 18,1‰ тағйир ёфтаанд. Набудани градиенти устувори изотопӣ аз рӯи баландӣ нишон медиҳад, ки дар ташаккули таркиби изотопии барф равандҳои маҳаллии аккумулятсия, азнавтасимшавии шамоли, сублиматсия ва тағйирёбии пас аз таҳшиншавӣ

(постдепозитсионӣ) нақши асосӣ доранд. Натиҷаҳои бадастомада механизмҳои ташаккули таркиби изотопии барфи сатхиро дақиқтар намуда, эътимоднокии тафсири ядроҳои яхӣ (кернаҳои пирахӣ)-ро барои мебардоранд ва метавонанд барои бозсозии тағйирёбии иқлим ва арзёбии ташаккули захираҳои обии Помир ва Осиёи Марказӣ истифода шаванд.

Калидвожаҳо: изотопҳои устувори об, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, изофаи дейтерий (d-excess), барфи сатҳӣ, минтақаи аккумулясионӣ, пирахии Тоҷикистон (Федченко), Помир, гидрологияи изотопӣ, тағйирёбии иқлим.

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ТАЛОЙ ВОДЫ С ЛЕДНИКА ТАДЖИКИСТАН (ФЕДЧЕНКО) КАК ИНДИКАТОР ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕТНЕГО СТОКА: ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ И ВЫСОТНЫЙ АНАЛИЗ

Исследование посвящено оценке пространственной изменчивости стабильных изотопов воды ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) и дейтериевого избытка (d-excess) в поверхностном снеге аккумуляционной зоны ледника Таджикистан (Федченко), являющегося крупнейшим горным ледником Центральной Азии. Актуальность работы обусловлена недостаточной изученностью закономерностей формирования современного изотопного сигнала в высокогорных районах Памира и его роли в интерпретации ледниковых климатических архивов. В августе 2025 г. вдоль высотного профиля 4840-5400 м над уровнем моря было отобрано 15 образцов поверхностного снега, изотопный состав которых определяли методом лазерной абсорбционной спектроскопии на анализаторе Picarro L2130-i с приведением результатов к международному стандарту V-SMOW. Установлено, что значения $\delta^{18}\text{O}$ изменялись от -16,0 до -7,3‰, $\delta^2\text{H}$ - от -116,6 до -42,2‰, тогда как d-excess варьировал в пределах 11,4-18,1‰. Выявлено отсутствие устойчивого высотного изотопного градиента, что свидетельствует о доминирующем влиянии локальных процессов аккумуляции, ветрового перераспределения, сублимации и постдепозиционной трансформации снежного покрова. Полученные результаты уточняют механизмы формирования изотопного состава поверхностного снега, повышают достоверность интерпретации ледниковых кернов и могут быть использованы при реконструкции климатических изменений и оценке формирования водных ресурсов Памира и Центральной Азии.

Ключевые слова: стабильные изотопы воды, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, дейтериевый избыток (d-excess), поверхностный снег, аккумуляционная зона, ледник Таджикистан (Федченко), Памир, изотопная гидрология, климатические изменения.

ISOTOPIC COMPOSITION OF MELT WATER FROM A TAJIKISTAN GLACIER (FEDCHENKO) AS AN INDICATOR OF SUMMER DRAINAGE FORMATION: SPATIAL AND ALTITUDINAL ANALYSIS

This study investigates the spatial variability of stable water isotopes ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) and deuterium excess (d-excess) in the surface snow of the accumulation zone of the Tajikistan (Fedchenko) Glacier, the largest mountain glacier in Central Asia. The research addresses the limited understanding of the processes controlling the formation of the modern isotopic signal in the high-altitude Pamir Mountains and its significance for interpreting glacier-based climate archives. In August 2025, fifteen surface snow samples were collected along an elevation profile between 4,840 and 5,400 m above sea level. The isotopic composition was determined using laser absorption spectroscopy with a Picarro L2130-i analyzer and normalized to the international V-SMOW standard. The measured values ranged from -16.0 to -7.3‰ for $\delta^{18}\text{O}$, from -116.6 to -42.2‰ for $\delta^2\text{H}$, and from 11.4 to 18.1‰ for d-excess. No consistent altitudinal isotopic gradient was identified, indicating that local snow accumulation, wind redistribution, sublimation, and post-depositional processes exert a stronger influence on the isotopic composition than elevation alone. The obtained results improve the understanding of isotope signal formation in high-mountain snowpacks, enhance the reliability of glacier ice-core interpretation, and provide valuable information for climate reconstructions and assessments of water resource formation in the Pamir Mountains and Central Asia.

Keywords: stable water isotopes, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, deuterium excess (d-excess), surface snow, accumulation zone, Tajikistan (Fedchenko) Glacier, Pamir Mountains, isotope hydrology, climate change.

Маълумот дар бораи муаллиф: *Каюмова Дилором Абдулхамидовна* - Институти омӯзиши пирахҳо ва криосфераи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, ходими пешбари илмии озмоишгоҳи таҳлили кимиёвӣ барои барф ва ях. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 33. Телефон: **939-99-92-72**

Кристоф Йозеф Майер - Академияи илмҳои гуманитарии Бавария, Мюнхен, Олмон, профессори. **Суроға:** 80539, Мюнхен, Олмон, BAdW, кӯчаи Алфонс-Гоппел, 11. Телефон: **+49 89 23031-1260**. E-mail: **christoph.mayer@badw.de**

Каюмов Абдулхамид Каюмович - Академияи муҳандисии Ҷумҳурии Тоҷикистон, академики байналмилалӣ илмҳои экология ва бехатарии ҳаёт; Институти омӯзиши пирахҳо ва криосфераи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон профессор, сарҳодими илмӣ. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 33

Сведения об авторах: *Каюмова Дилором Абдулхамидовна* – Институт изучения ледников и криосферы Национальной Академии наук Таджикистана, ведущий научный сотрудник лаборатории химического анализа снега и льда. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 33. Телефон: **939-99-92-72**

Кристоф Йозеф Майер - Баварской академии наук и гуманитарных наук, Мюнхен, Германия, профессор. **Адрес:** 80539, Мюнхен, Германия, BAdW, улица Альфонса-Гоппеля, 11. Телефон: **+49 89 23031-1260**. E-mail: **christoph.mayer@badw.de**

Каюмов Абдулхамид Каюмович - Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, академик, Инженерной академии Республики Таджикистан, академик, Институт изучения ледников и криосферы

Национальной Академии наук Таджикистан, профессор, главный научный сотрудник. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 33

Information about the authors: *Kayumova Dilorom Abdulkhamidovna* – Institute of Glaciology and Cryosphere, National Academy of Sciences of Tajikistan; Leading Researcher, Laboratory of Snow and Ice Chemical Analysis. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 33. Phone: **939-99-92-72**

Christoph Josef Mayer – Bavarian Academy of Sciences and Humanities, Munich, Germany, Professor. **Address:** 80539, Munich, Germany, BAdW, Alfons-Goppel Str. 11. Phone: **+49 89 23031-1260**. E-mail: **christoph.mayer@badw.de**

Kayumov Abdulkhamid Kayumovich – International Academy of Ecology and Life Protection Sciences (Academician); Engineering Academy of the Republic of Tajikistan (Academician); Institute of Glaciology and Cryosphere, National Academy of Sciences of Tajikistan (Professor, Chief Researcher). **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 33

Статья поступила в редакцию: 22.06.2026
Одобрена после рецензирования: 25.08.2026
Принята к публикации: 06.10.2026

Валиев Ш.Ф., Бахтиёри М.С., Ашурмамадова Б.Х.

**Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ,
Таджикский национальный университет**

Введение. В геологической истории Памира на протяжении всех этапов развития важнейшую роль играли разрывные нарушения, многие из которых классифицируются как глубинные: Дарваз-Каракульский, Ванч-Танымасский, Язгулемский, Акбайтальский, Пшартский, Южно-Памирский. Заложившись в палеозое и активно развиваясь в последующие эпохи, они проявились и в плейстоцене, что подтверждается деформациями речных террас и приуроченностью к зонам разломов локальных впадин, интенсивно формировавшихся в этот период [15; 16].

В сейсмическом отношении Памир относится к интереснейшим регионам земного шара. Сейсмическая деятельность в его пределах проявляется весьма неравномерно не только в пространстве, но и по глубине: кроме землетрясений с очагами в земной коре, здесь фиксируются подкорковые толчки, приуроченные к единственной в Средней Азии Памиро-Гиндукушской зоне глубокофокусных землетрясений. В рассматриваемом регионе устанавливается чёткая связь активности сейсмических проявлений с геологическими структурами: все сильные землетрясения отмечаются в зонах крупных разломов [10; 18].

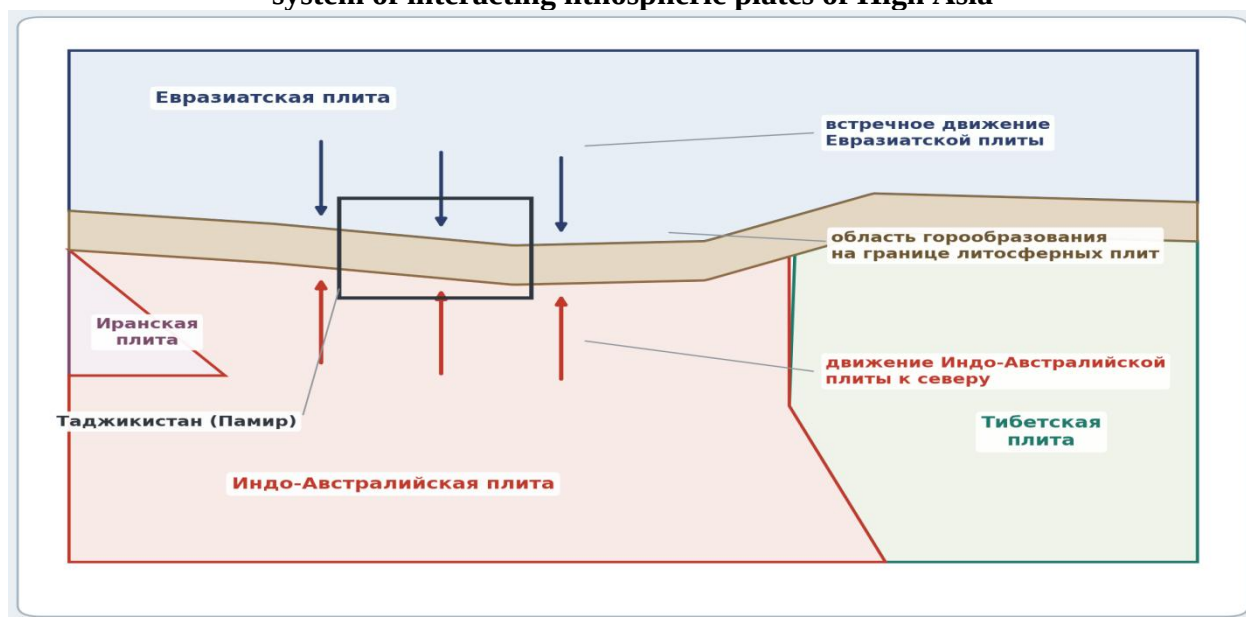
Цель работы – обобщение и систематизация сведений о разрывной тектонике и сейсмичности Юго-Западного Памира, необходимых для оценки устойчивости геологической среды при строительстве малых гидроэлектростанций в высокогорных условиях. Задачи включали характеристику глубинных разломов и их новейшей активности, анализ распределения сейсмогенных зон и эпицентральных полос, систематизацию сейсмодислокаций и связанных с ними склоновых процессов.

Материалы и методы. Работа выполнена на основе обобщения опубликованных и фондовых материалов по тектонике, неотектонике и сеймотектонике Памира и Таджикистана [2; 4; 5; 6; 11; 15; 17; 18; 20; 21], карт сейсмического районирования и сейсмогенных зон [3; 10], данных о глубинном строении и изостазии территории [1], а также работ по сейсмогенным оползням, обвалам и их прогнозу [7; 12; 19]. Использованы результаты сопоставления тектонической и сейсмической активности [8] и материалы по истории сейсмологической изученности региона [9; 14].

Методической основой послужил комплексный подход, включающий: анализ структурного положения и морфокинематики глубинных разломов; оценку новейшей активности по деформациям речных террас, поверхностей выравнивания и приуроченности локальных впадин; сопоставление положения эпицентров землетрясений с разломными зонами; систематизацию палеосейсмодислокаций и определение параметров полей сейсмодислокационного поражения. Количественные характеристики (амплитуды смещений, ширины зон, магнитуды и энергетические классы) приведены по опубликованным источникам без пересчёта.

Геодинамическая позиция территории. Территория Таджикистана и Памира расположена в зоне взаимодействия четырёх литосферных блоков - Индо-Австралийского, Тибетского, Евразийского и Иранского (рис. 1). Исследуемая территория находится на границе столкновения двух гигантских литосферных плит - Евразийской с севера и Индо-Австралийской с юга, что на протяжении геологически длительного времени приводит к деформациям и разрушениям в литосфере региона [1; 16].

Рисунок 1. Положение территории Республики Таджикистан и Памира в системе взаимодействующих литосферных плит Высокой Азии
Figure 1. Location of the territory of the Republic of Tajikistan and the Pamirs within the system of interacting lithospheric plates of High Asia



(схематизировано)

Горно-складчатые пояса характеризуются высокой геодинамической активностью; в их пределах выделяются две линейные, противоположно направленные по знакам движений зоны - преимущественного сжатия и преимущественного растяжения.

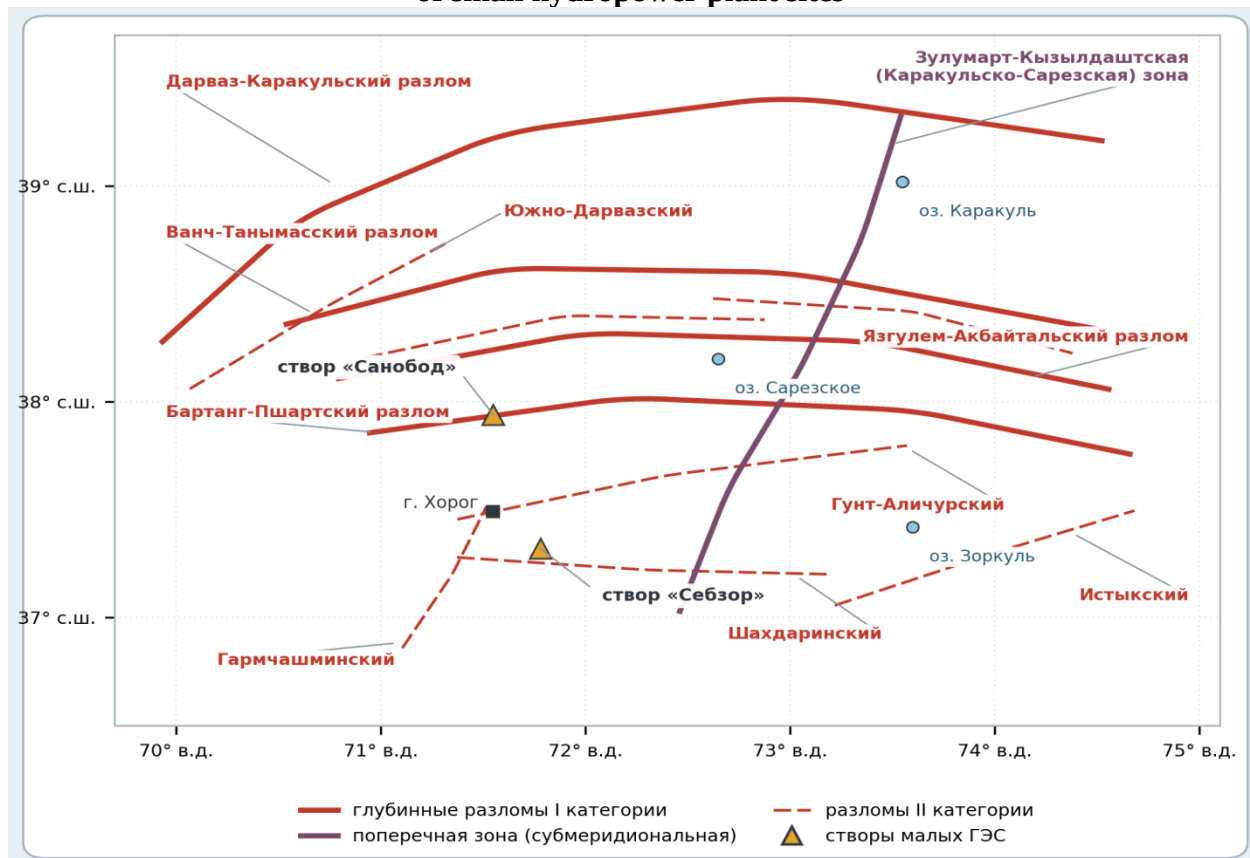
Территория Таджикистана входит в область интенсивного горообразования Центральной Азии: Кураминское поднятие, Ферганская впадина, Гиссаро-Алайское поднятие и Таджикская депрессия сформированы новейшими орогеническими движениями. Области устойчивых поднятий являются Кураминская и Гиссаро-Алайская области, где максимальное новейшее поднятие превышает 2,0 км, а общий размах вертикальных перемещений за неоген-четвертичное время составляет 5-6 км. Области прогибов служат Ферганская межгорная впадина, выполненная мезо-кайнозойскими осадками, и Таджикская депрессия, заключённая между Гиссаро-Алайской областью на севере и Памирской на юге [15; 16; 21].

Значительная часть территории представляет собой зоны сильных землетрясений, в связи с чем особую актуальность приобретает оценка устойчивости геологической среды к сейсмической активности. Именно на этой основе выделяются четыре сейсмогенные зоны первой категории (ширина 20–30 км) и семь зон второй категории (ширина 10-15 км), рассматриваемые ниже [3].

Глубинные разломы и разрывная тектоника региона. На территории Памира и в его обрамлении выделяются краевые (глубинные) разломы, разграничивающие области с различным характером и режимом развития (рис. 2, табл. 1). Собственно на Памире установлены четыре зоны глубинных разломов: три из них - Ванч-Танымасская, Язгулем-Акбайтальская и Пшартская - простираются в соответствии со структурным планом региона и образуют выпуклые в северном направлении дуги; четвёртая - Памиро-Гималайская, или Зулумарт-Кызылдаштская, - пересекает структурный план и разделяет три первые зоны на западную и восточную части [15; 17].

Рисунок 2. Схема глубинных разломов и сейсмогенных зон Памира с положением створов малых ГЭС

Figure 2. Map of deep-seated faults and seismogenic zones of the Pamirs, showing the locations of small hydropower plant sites



(положение разломов показано схематизированно)

Таблица 1. Глубинные (краевые) разломы Памира и их основные характеристики

Table 1. Deep-seated (marginal) faults of the Pamirs and their main characteristics

Разлом (зона)	Положение и протяжённость	Морфокинематика	Категория
Дарваз-Каракуль-ский (краевой)	зона сочленения аль-пийской геосинклинальной области Памира и Юго-Западного Тянь-Шаня; прослеживается более 1000 км	многокилометровый левосторонний сдвиг, южное падение не положе 70°; в плане - дуга, выгнутая к северу	I
Ванч-Танымас-ский	вдоль южных склонов Дарвазского и Ванчского хребтов, далее через долину р. Танымас к оз. Рангкуль	крутое северное падение до 80°; северное крыло приподнято, к южному приурочены локальные впадины	I
Язгулем-Акбай-тальский	южнее Ванч-Танымасской зоны, сильно сближен с ней	взбросо-надвиговый; наиболее активна западная часть, наименее - центральная	I
Бартанг-Пшартский (Рушано-Пшартский)	граница структурных сооружений Центрального и Южного Памира	крутой взброс с падением сместителя в южных румбах под углом 60-80°	I
Зулумарт-Кызылдаштский (Памиро-Гималайский)	субмеридиональный слабо изогнутый план, полоса шириной 20-30 км	поперечная (трансорогенная) структура; разделяет западный высокоскоростной и восточный низкоскоростной блоки	I

Примечание. Составлено по [3; 4; 11; 15; 17]. Бартанг-Пшартский разлом впервые выделен как самостоятельная тектоническая линия первого порядка М.М. Кухтиковым в 1956 г.

Дарваз-Каракульский разлом приурочен к зоне сочленения альпийской геосинклинальной области Памира и активизированной части эпипалеозойской платформы - Юго-Западного Тянь Шаня; в плане он представляет собой выгнутую в северном направлении дугу. По этой зоне практически на всём протяжении в течение всего четвертичного периода происходили интенсивные тектонические движения, размах которых возрастает с востока на запад - юго-запад - юг. Поверхность кристаллической коры в пределах разлома смещена в виде ступени, приподнятая часть которой расположена на территории Памира, а опущенная - на территории сопредельной Таджикской депрессии [1, 11].

Рисунок 3. Схематический профиль Северо-Памирской зоны краевого разлома
Figure 3. Schematic profile of the North Pamir marginal fault zone



(соотношение полос и углы падения разрывов показаны условно)

К более мелким разрывным нарушениям в пределах Северного Памира относятся Сауксайский разлом, служащий южной границей Дарваз-Заалайской зоны, Висхарвский и Дарваз-Уйбулакский разломы, отделяющие области развития докембрийских и раннепалеозойских отложений, а также Баляндкинский, Губекский, Кызылбелесский и Кызылджитинский разломы, являющиеся границами подзон Дарваз-Сарыкольской структурной зоны [6; 15]. Дарваз-Каракульский краевой разлом контролирует развитие двух разнопостроенных зон на протяжении длительного геологического времени и фиксируется на

протяжении более 1000 км, что позволяет отнести его к числу важнейших тектонических структур и рассматривать как одну из крупнейших сейсмогенных зон.

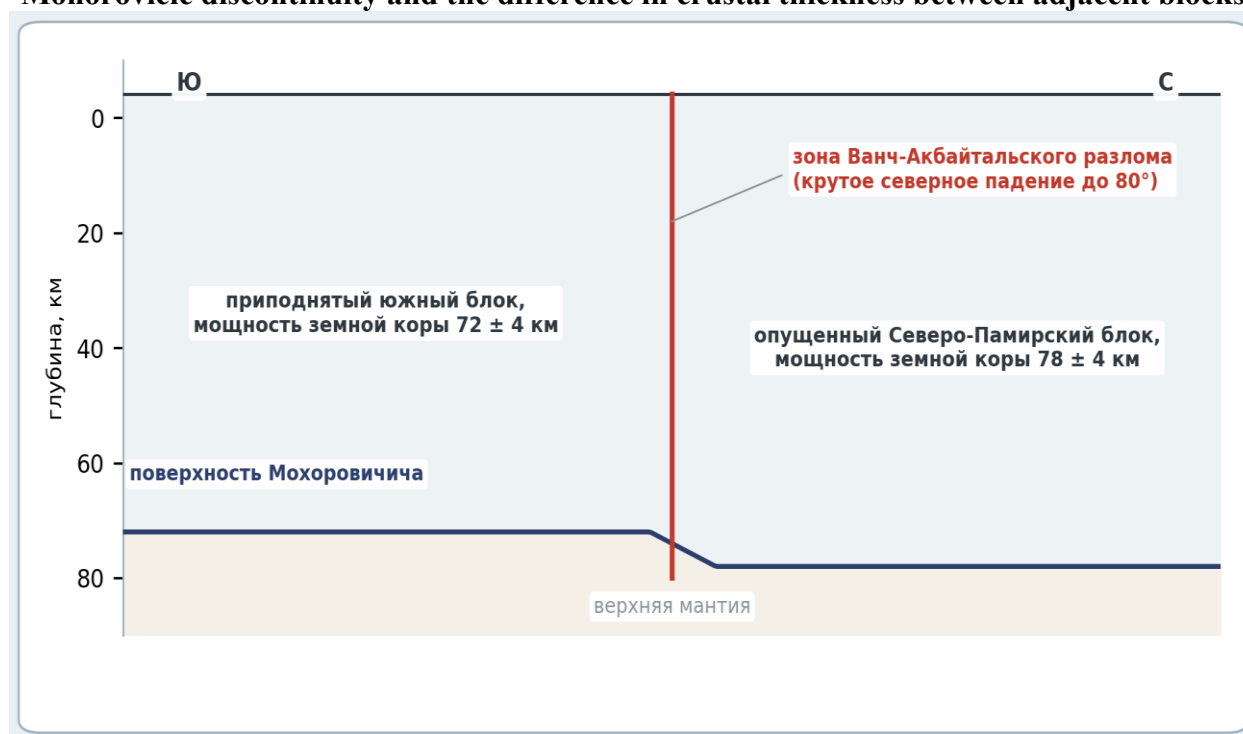
Таблица 2. Строение Северо-Памирской зоны краевого разлома
Table 2. Structure of the North Pamir marginal fault zone

Полоса	Ширина, км	Характер разрывов	Приуроченность
Полоса «промежуточных структур»	1-2	серия сравнительно небольших разрывов, практически вертикальных, с выраженной тенденцией падения на юг	водораздельная часть Заалайского хребта
Полоса складчатости нагнетания и взбросо-надвиговых структур	10-18	южное падение плоскостей сместителей, углы падения от 0 до 80°	севернее полосы «промежуточных структур»
Полоса чешуйчато-сбросовых структур растяжения	7-10	разрывы крутые (50-70°), падают на север, под Заалайский хребет	южная часть зоны краевого разлома

Примечание. Составлено по [11; 15].

Зона Ванч-Танымасского глубинного разлома прослеживается вдоль южных склонов Дарвазского и Ванчского хребтов; к востоку она пересекает долину р. Танымас и продолжается в районе озера Рангуль. Наиболее активна крайняя западная часть зоны, что фиксируется по смещению надпойменных террас в долинах Пянджа, Ванча и Кокуйбея. На большем протяжении разлома северное крыло приподнято, к южному опущенному крылу приурочены локальные впадины; в районе Акбайтальского поднятия интенсивные восходящие движения проявлены и по южному крылу. Ванч-Акбайтальский разлом имеет крутое северное падение (до 80°) и на поверхности Мохо фиксируется уступом: зона разлома отделяет опущенный Северо-Памирский блок с мощностью земной коры до 78 ± 4 км от более приподнятого южного блока, где мощность коры не превышает 72 ± 4 км (рис. 4). Амплитуда перемещения за четвертичное время по зоне Акбайтальского разлома оценивается в 1,1 км [1; 4; 15].

Рисунок 4. Схематический разрез через зону Ванч-Акбайтальского разлома: ступень поверхности Мохоравичича и различие мощностей земной коры смежных блоков
Figure 4. Schematic cross-section across the Vanch-Akbaytal fault zone: a step in the Mohorovičić discontinuity and the difference in crustal thickness between adjacent blocks



Язгулем-Акбайтальская зона глубинных разломов расположена южнее Ванч-Танымасской и сильно сближена с ней; наиболее интенсивные движения происходили в западной части зоны, наименее активна её центральная часть. В целом Ванч-Акбайтальская и Танымасская зоны рассматриваются как Центрально-Памирский краевой разлом. Ряд исследователей предполагает, что по зонам отдельных разрывов структуры Северного Памира надвинуты на Центральный Памир. Зона зародилась ещё в ордовике, и активность её не прекратилась до настоящего времени; как сейсмогенная структура она отнесена к категории наиболее опасных [4; 20].

Бартанг-Пшартская (Пшартская) зона глубинных разломов расположена южнее Язгулем-Акбайтальской и служит тектонической границей между структурными сооружениями Центрального и Южного Памира; контролирующее значение она имеет по крайней мере с раннепермского времени. В морфологическом отношении Бартанг-Пшартский краевой разлом является крутым взбросом с падением сместителя в южных румбах под углом 60-80°; на поверхности Мохо он выражен уступом высотой около 70 м, а максимальные амплитуды новейших движений (5000 м и более) наблюдаются в западной части. Смещения по этой зоне имели большие величины, чем по Ванч-Танымасской и Язгулем-Акбайтальской зонам, причём к западу тяготеют и эпицентры наиболее существенных землетрясений. Сейсмогенность разлома оценивается очень высоко: нарушение способно генерировать катастрофические землетрясения типа Сарезского 1911 г. [3; 15].

Зона новейшего поперечного Зулумарт-Кызылдашского (Памиро-Гималайского) разлома имеет субмеридиональный слабо изогнутый план в полосе шириной 20–30 км. К ней приурочена область низких скоростей, имеющая аналог с Курило-Камчатской островной дугой. Наличие тектонической границы между Восточным и Западным Памиром впервые отмечено в 1971 г. М.В. Кулагиной, указавшей чёткую ступень меридионального направления в рельефе поверхности Мохоровичича; мощность земной коры в пределах ступени резко увеличивается с запада на восток. Позже наличие ступени было подтверждено и в верхней мантии, что позволило разделить Памирский блок на два - западный высокоскоростной и восточный низкоскоростной [1; 5; 17].

Помимо отмеченных краевых разломов имеется целый ряд нарушений, роль которых в процессе новейшего геологического развития региона менее важна, однако они сыграли определённую роль на отдельных этапах развития Памира. В новейший этап по этим внутренним разрывам происходили относительно слабые вертикальные перемещения; они относятся главным образом к категории древних, обновлённых в новейшее время. В целом разрывные тектонические нарушения Памира подразделяются на три категории: к первой отнесены региональные глубинные разломы, отделяющие области с различным характером и режимом развития и проявляющие значительную активность в новейший этап; вторую категорию составляют разломы, выступающие в основном границами тектонических зон; третью - внутризональные тектонические разрывы [2; 3].

Новейшие движения по разломным зонам. Активность глубинных разломов в новейший этап устанавливается по амплитудам вертикальных смещений разновозрастных геоморфологических уровней и деформациям речных террас (рис. 5, табл. 3). Максимальные амплитуды по Дарваз-Каракульскому разлому составляют в раннем плейстоцене свыше 500 м, в среднем - 200 м, в голоцене - свыше 120 м. По Ванч-Танымасскому разлому максимальные амплитуды смещений достигают в раннем плейстоцене 400 м, в среднем - 400 м, в позднем - до 300 м и в голоцене - 120 м; по Язгулем-Акбайтальской зоне - соответственно 300, 400, 300 и 120 м. Относительная амплитуда перемещения по Дарваз-Заалайскому разлому для новейшего этапа оценивается в 5 и более километров, из них на долю четвертичного времени приходится более 1 км [3; 15; 21].

Рисунок 5. Максимальные амплитуды новейших вертикальных смещений по главным разломным зонам Памира по этапам плейстоцена и голоцена

Figure 5. Maximum amplitudes of recent vertical displacements along the main fault zones of the Pamirs during the Pleistocene and Holocene stages

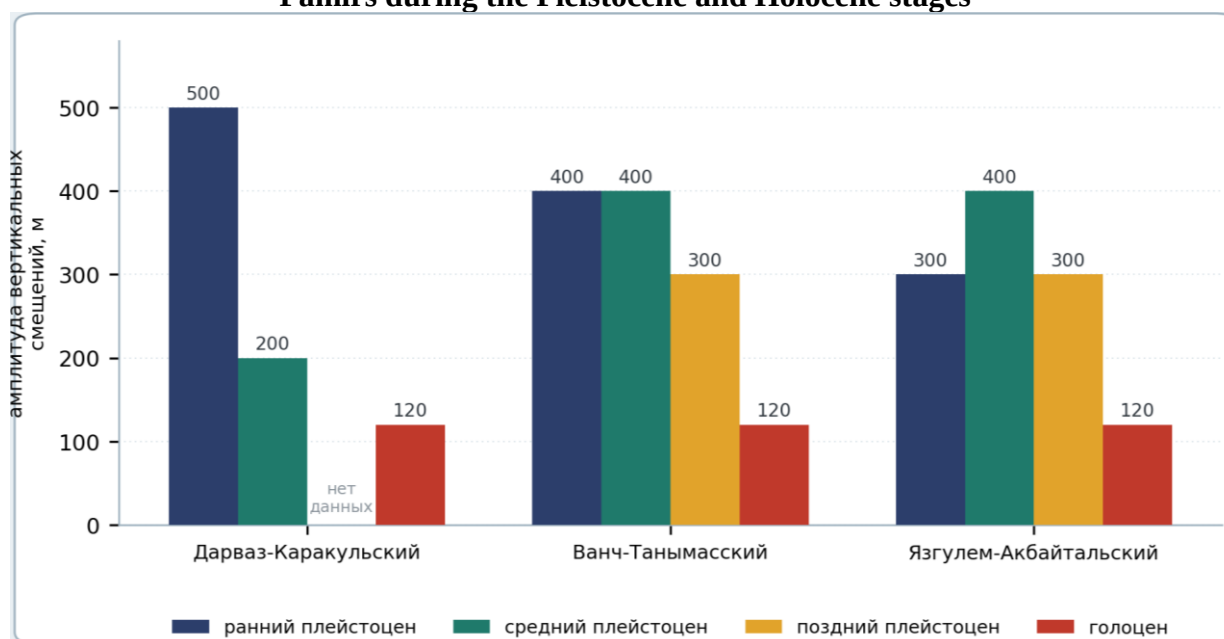


Таблица 3. Максимальные амплитуды вертикальных смещений по главным разломам, м
Table 3. Maximum amplitudes of vertical displacements along major faults, m

Разлом (зона)	Ранний плейстоцен	Средний плейстоцен	Поздний плейстоцен	Голоцен
Дарваз-Каракульский	свыше 500	200	нет данных	свыше 120
Ванч-Танымасский	до 400	400	до 300	120
Язгулем-Акбайтальский	300	400	до 300	120

Примечание. Составлено по [15; 21]. По Бартанг-Пшартскому разлому максимальные амплитуды новейших движений составляют 5000 м и более (западная часть зоны), а величина контрастности неотектонических движений на фоне общего поднятия крыльев на 5 и более км достигает первых сотен метров.

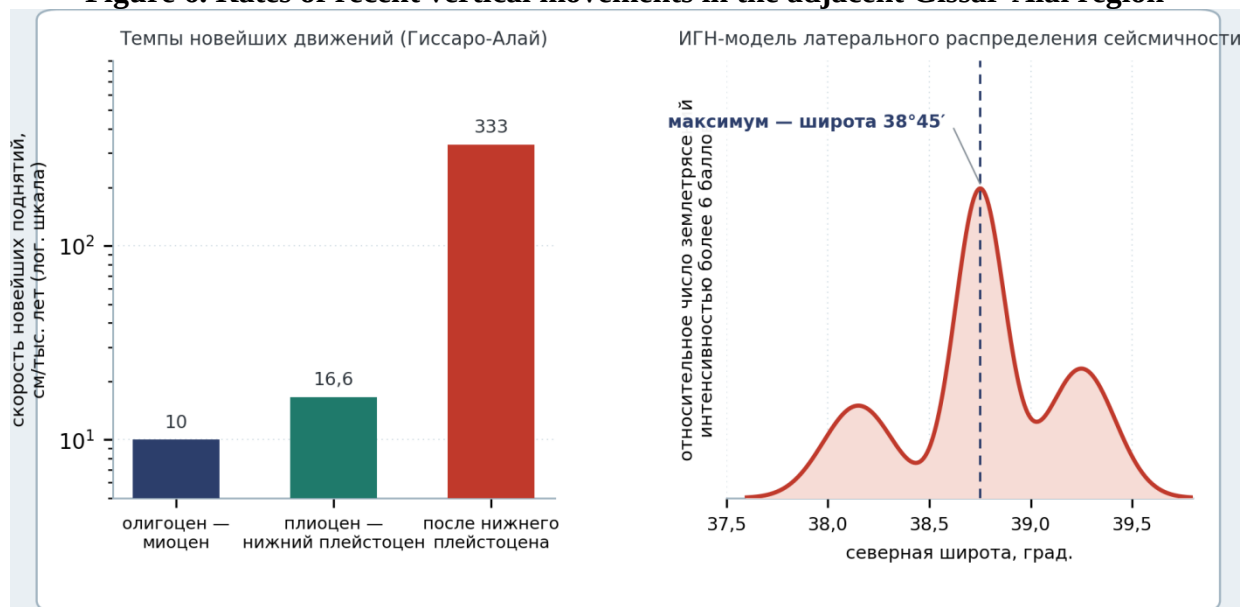
По анализу ярусности рельефа амплитуды новейших движений в смежной Гиссаро-Алайской области оценены следующими величинами: для олигоцен-миоцена - 10 см/тыс. лет, для плиоцен-нижнечетвертичного времени - 16,6 см/тыс. лет, для времени после нижнечетвертичного - 333 см/тыс. лет (рис. 6). Резкое, более чем двадцатикратное ускорение поднятий в позднечетвертичное время объясняет как высокую контрастность новейших движений по разломным зонам Памира, так и интенсивность сейсмогенных склоновых процессов на современном этапе [15; 21].

На разработанных ИГН-моделях для территории Северного Памира выявлены закономерности широтного и высотного распределения и взаимодействия геонеров - в частности, сейсмичности, выраженной количеством землетрясений интенсивностью более 6 баллов. На модели латерального распределения максимальный пик таких землетрясений приходится на широту 38°45' (по Ш.Ф. Валиеву, 2015), то есть высокая геодинамическая активность сосредоточена именно на этой широте, отвечающей полосе сближения Ванч-Акбайтальской и Бартанг-Пшартской шовных зон [16].

Сейсмичность и сейсмогенные зоны. По геологическим данным для территории Памира составлялись карты сейсмогенных зон и зон сейсмической опасности.

Рисунок 6. Темпы новейших вертикальных движений сопредельной Гиссаро-Алайской области

Figure 6. Rates of recent vertical movements in the adjacent Gissar-Alai region



(слева) и ИГН-модель латерального распределения сейсмичности Северного Памира (справа; ординаты условные)

Выделяются сейсмогенные зоны двух категорий: к зонам I категории (ширина 20-30 км), где возможны толчки с $M = 7,5-8,0$, отнесены полосы вдоль Дарваз-Каракульского, Центрально-Памирского и Бартанг-Пшартского глубинных разломов; в сейсмогенных зонах II категории (ширина 10-15 км), охватывающих Северный, Юго-Западный и Юго-Восточный Памир, максимально возможные землетрясения оценены с $M = 6,3-7,4$. Всего на территории Памира выделяются четыре сейсмогенные зоны первой категории и семь зон второй категории [3; 15].

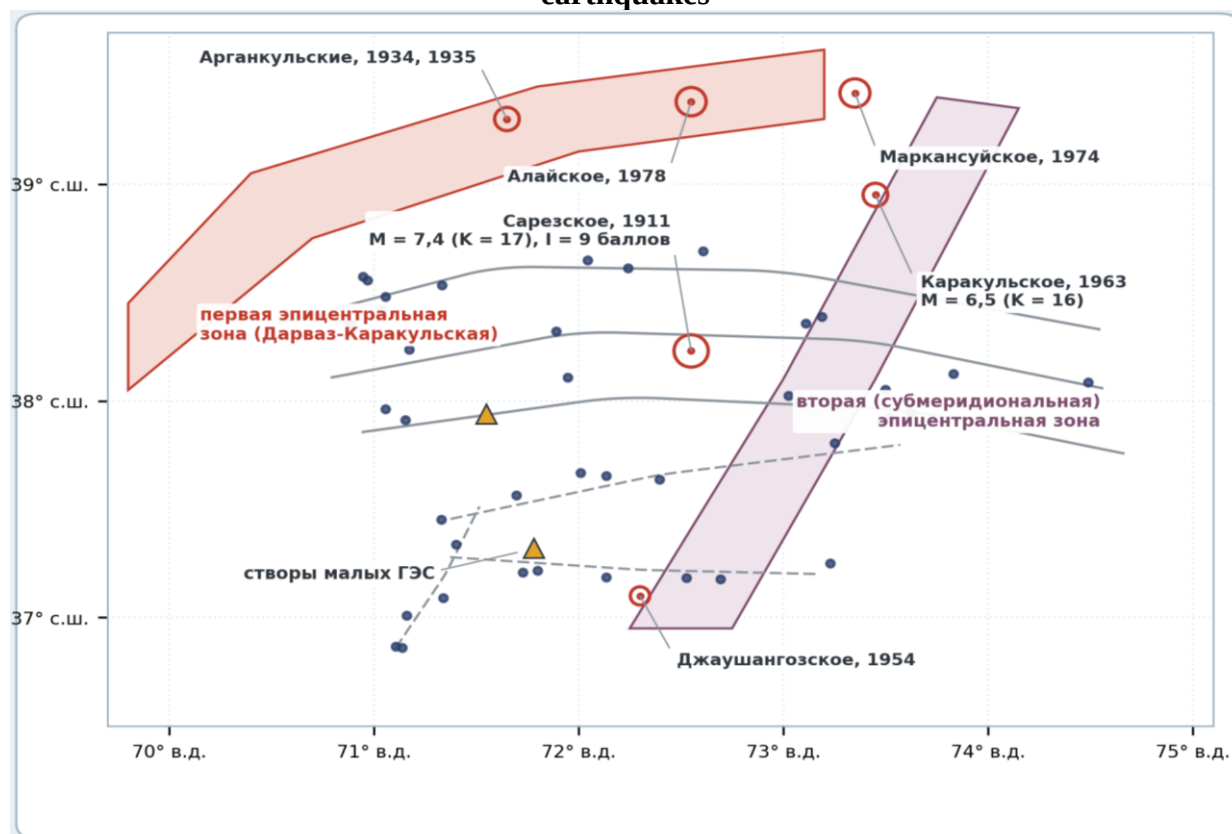
Карты эпицентров землетрясений Памира с $K = 10$ показывают, что основная масса очагов сосредоточена в двух граничных зонах (рис. 7). Первая эпицентральная зона расположена между Памиром, с одной стороны, и Таджикской депрессией и Южным Тянь-Шанем - с другой; она совпадает с сейсмогенной зоной Дарваз-Каракульского разлома. Вторая эпицентральная зона находится между Западным и Восточным Памиром, имеет субмеридиональное простираие и трассируется альпийской трансорогенной (поперечной) структурой, проходящей через Каракульское, Сарезское и Зоркульское озёра. Помимо двух отмеченных полос выделяются цепочки эпицентров вдоль Ванч-Акбайтальского, Бартанг-Пшартского, Гунт-Аличурского, Гармчашминского и Шахдаринского разломов в их западных частях [3; 8].

Дарваз-Заалайская сейсмогенная зона протягивается вдоль одноимённого разлома, который на всём протяжении имеет крутое падение поверхности сместителя под более приподнятое крыло и носит характер крутого взброса. В её пределах известны 7-9-балльные землетрясения (Арганкульские 1934 и 1935 гг., Маркансуйское 1974 г., Алайское 1978 г.), эпицентры которых попадают в зону разлома. О высокой сейсмичности зоны в плейстоцене и голоцене свидетельствуют грандиозные обвалы и оползни, а также палеосейсмодислокации в хребтах Петра I, Дарвазском и Заалайском. В северо-восточной части зоны число землетрясений с $M = 6-7$ и толчков с $K = 10$ на единицу площади в 1,5 раза превышает аналогичный показатель в юго-западной части; возможны толчки с $M = 7,5-8,0$ ($K = 18,4$) [3].

Ванч-Акбайтальская сейсмогенная зона протягивается вдоль одноимённого разлома. Южнее озера Каракуль, в приподнятом крыле разлома, располагается эпицентр Каракульского землетрясения 1963 г. с $M = 6,5$ ($K = 16$); геолого-геоморфологические данные свидетельствуют о высокой сейсмической активности зоны в четвертичное время, а максимально возможное землетрясение может достигать $M = 7,5$ ($K = 17,5$) [20].

Рисунок 7. Схема главных эпицентральных зон, цепочек эпицентров вдоль разломов и известных сильных землетрясений

Figure 7. Map of major epicentral zones, chains of epicenters along faults, and known strong earthquakes



(положение эпицентров показано схематизированно)

Бартанг-Пшартская сейсмогенная зона совпадает с одноимённым разломом, граничащим с альпидами Центрального и киммеридами Южного Памира. Максимальная дифференцированность движений приурочена к центральной части разлома. Вблизи пересечения этой зоны с Каракульско-Сарезской в 1911 г. произошло сильное Сарезское землетрясение с $M = 7,4$ ($K = 17$) и интенсивностью сотрясений 9 баллов, вызвавшее смещение грандиозного Усойского оползня, перекрывшего р. Мургаб и образовавшего Сарезское озеро. По бортам озера фиксируются сгущения палеосейсмодислокаций - сейсморвы протяжённостью до 1 км, трещины, обвалы и оползни плейстоценового и голоценового возраста. В восточной части зоны контрастность неотектонических движений и сейсмичность заметно уменьшаются; в целом в зоне возможны землетрясения с $M = 7,5$ ($K = 17,5$) [3; 15].

Таблица 4. Сейсмогенные зоны I категории (ширина 20-30 км)

Table 4. Category I seismogenic zones (width 20–30 km)

Сейсмогенная зона	Простираение	M_{max} (K)	Известные землетрясения
Дарваз-Заалайская	субширотное	7,5-8,0 (18,4)	Арганкульские, 1934, 1935; Маркансуйское, 1974; Алайское, 1978
Ванч-Акбайтальская	субширотное	7,5 (17,5)	Каракульское, 1963, $M = 6,5$ ($K = 16$)
Бартанг-Пшартская	субширотное	7,5 (17,5)	Сарезское, 1911, $M = 7,4$ ($K = 17$), $I = 9$ баллов
Каракульско-Сарезская	субмеридиональное	7,5 (17,5)	Сарезское, 1911; многочисленные слабые события с $K = 12$

Примечание. Составлено по [3; 15].

Каракульско-Сарезская сейсмогенная зона простирается субмеридионально, протягиваясь от перевала Кызыл-Арт в Заалайском хребте через Каракульское и Сарезское озёра к среднему

течению р. Гунт. Зона характеризуется весьма высоким уровнем сейсмической активности: вдоль неё генерируется наибольшее количество слабых землетрясений, в очагах с $K = 12$ реализуются в основном сбросовые подвижки; сильнейшим землетрясением зоны является Сарезское [3].

К сейсмогенным зонам II категории (ширина 10-15 км) относятся полосы вдоль Южно-Дарвазского, Танымасского, Язгулемского, Истыкского, Гунт-Аличурского, Гармчашминского и Шахдаринского разломов (табл. 5, рис. 8). Наиболее высокая дифференцированность неотектонических движений выражена в районе пика К. Маркса, где за период 1955–1982 гг. отмечено значительное число землетрясений 10–13 энергетических классов; здесь же в 1954 г. произошло Джаушангозское землетрясение. В западной части названных разломов имеется большое количество крупных обвалов и оползней плейстоцен-голоценового возраста; к востоку они теряют морфологическую выраженность, заметно спадает и сейсмичность. Разрушительные землетрясения в сейсмогенных зонах описываемых разломов неизвестны, однако, учитывая глубину их проникновения, длительность развития, отчётливую выраженность в рельефе, высокую контрастность неотектонических движений, наличие следов палеосейсмодислокаций и активное проявление плейстоценовых и голоценовых движений, можно ожидать землетрясения с $M = 6,5$ ($K = 16$) [3; 15].

Таблица 5. Сейсмогенные зоны II категории (ширина 10-15 км)
Table 5. Seismogenic zones of category II (width 10-15 km)

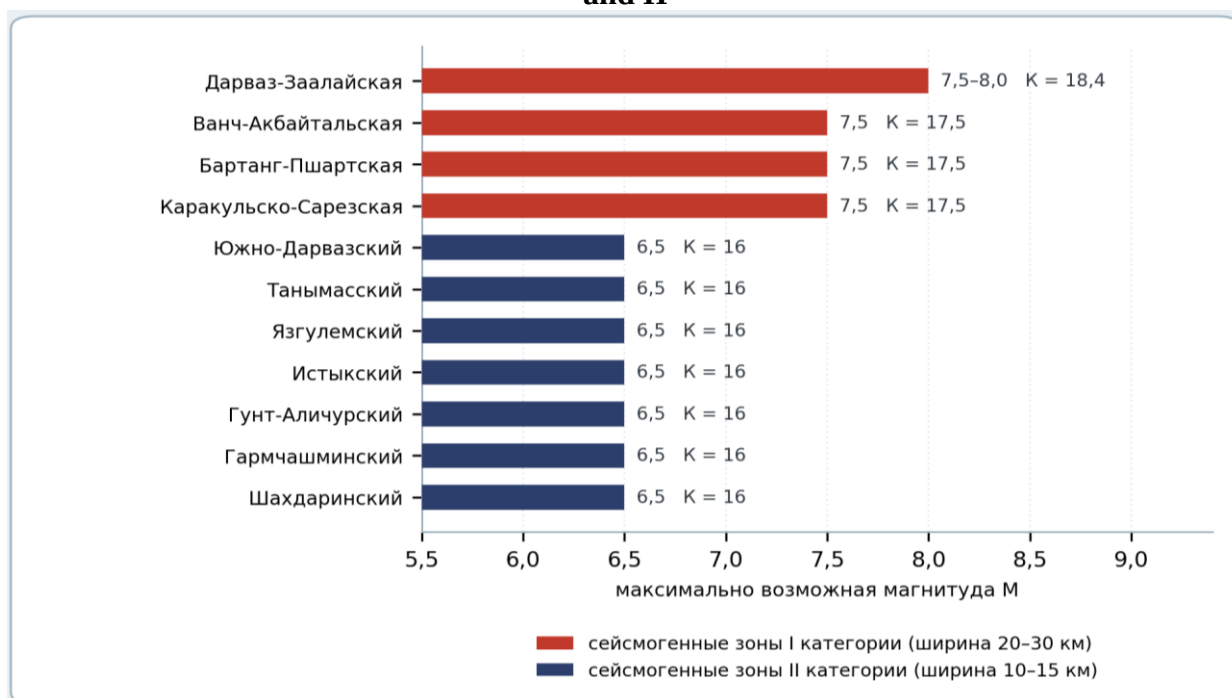
Разлом	Положение в структуре региона	M_{max} (K)	Особенности проявления
Южно-Дарвазский	юго-западное обрамление Памира	6,5 (16)	крупные обвалы и оползни плейстоцен-голоценового возраста в западной части
Танымасский	Центральный Памир	6,5 (16)	полосы сейсморазрывной активизации по бортам долин
Язгулемский	Западный Памир	6,5 (16)	сейсмогравитационные дислокации в зонах сближения с Танымасским и Пшартским разломами
Истыкский	Юго-Восточный Памир	6,5 (16)	к востоку сейсмичность заметно снижается
Гунт-Аличурский	долина р. Гунт, Аличурский хребет	6,5 (16)	цепочка эпицентров в западной части зоны
Гармчашминский	долина Пянджа южнее г. Хорог	6,5 (16)	Гармчашминские надвиги, приповерхностные разрывные сейсмодислокации
Шахдаринский	долина р. Шахдара	6,5 (16)	район пика К. Маркса: землетрясения 10–13 энергетических классов (1955–1982); Джаушангозское землетрясение, 1954

Примечание. Составлено по [3; 15].

Сейсмодислокации и сейсмогенные склоновые процессы. Основными показателями повышенной сейсмической активности главных разломных зон являются два признака - зафиксированные инструментальным путём эпицентры современных землетрясений и отражённые в рельефе и структурах склонов различные сейсмодислокации. Сейсмодислокации проявляются на поверхности земли и доступны для изучения только в том случае, если порождающее их землетрясение имеет $M \geq 6,5$ (9 баллов и выше); при 8-балльных толчках подвижки по разломам до поверхности, как правило, не доходят или порождают незначительные сейсмодислокации, легко разрушаемые эрозией и денудацией. Хорошая сохранность разрывных дислокаций в пределах всех крупных разломов свидетельствует либо о проявлении неизвестных сильных современных землетрясений энергетического класса $K = 16$, либо о землетрясениях раннего голоцена - позднего плейстоцена с силой, значительно превышающей современную; это согласуется с выводом о снижении балльности землетрясений в голоцене по сравнению с поздним плейстоценом на 1-1,5 балла [7; 19].

Рисунок 8. Максимально возможные магнитуды и энергетические классы сейсмогенных зон I и II категорий

Figure 8. Maximum possible magnitudes and energy classes of seismogenic zones of categories I and II



Согласно наиболее распространённым классификациям, сейсмодислокации рассматриваются в трёх группах (рис. 9): сеймотектонические, гравитационно-сеймотектонические и сейсмогравитационные. Среди всех известных типов различают два класса - приповерхностный и разрывный; первый получил самое широкое распространение и образует обширные поля площадью до 16 км² и полосы поражения протяжённостью в десятки километров, сосредоточенные в зонах крупнейших разрывных сейсмогенных нарушений.

Рисунок 9. Классификация сейсмодислокаций Памира по группам и классам

Figure 9. Classification of Pamir seismogenic dislocations by groups and classes



Отмечена предрасположенность развития сейсмодислокаций к менее прочным породам - сланцевым флишам, вулканогенно-осадочным толщам среднего палеозоя, сланцево-глинистым отложениям нижнего мезозоя и мощным зонам выветривания метаморфических пород.

Наиболее типичны поля разбитых склонов в нижней части правого борта р. Ванч вдоль Дарвазского и Ванчского разломов, где сейсмотрешины и системы сейсморов в комплексе с крупными оползнями скольжения поражают нижнюю часть борта переуглублённой троговой долины; ширина зоны поражения составляет 3-5 км при протяжённости более 80 км. Приповерхностные разрывные сейсмодислокации и крупные оползни характерны также для зоны Южно-Памирского разлома и для крупных инъекционно-структурных форм - Маргдаринской антиклинали, Ишкашимских куполов и Гармчашминских надвигов, где поля поражения занимают площади более 35 км² (табл. 6, рис. 10) [7; 19].

Таблица 6. Параметры полей сейсмодислокационного поражения

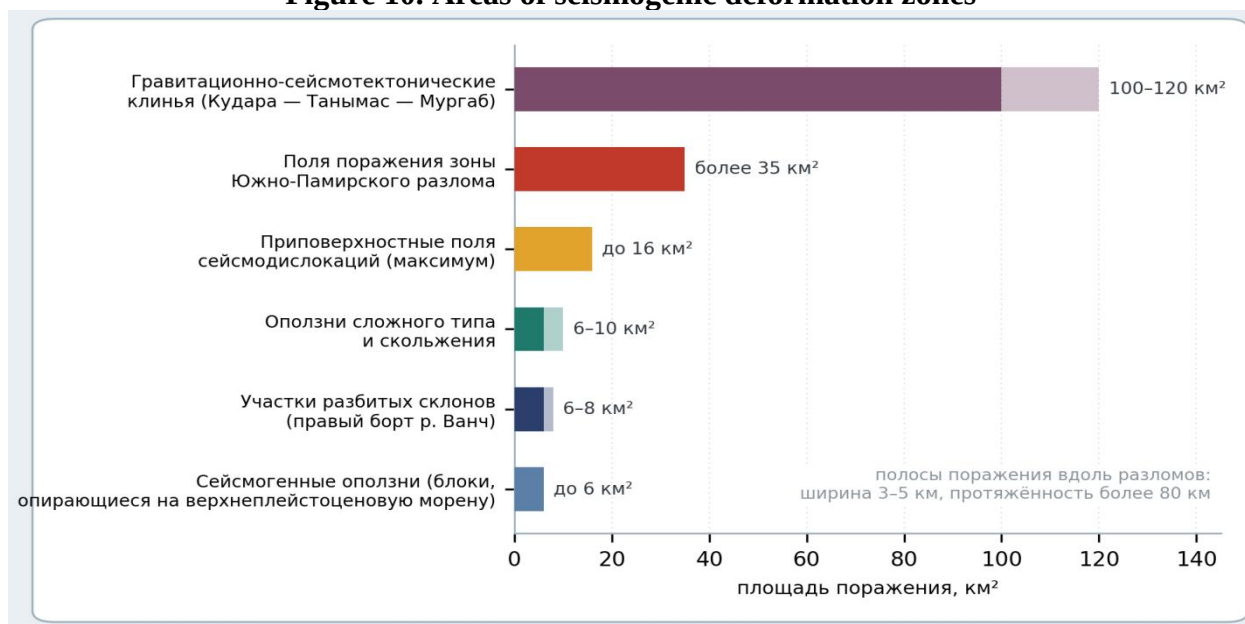
Table 6. Parameters of seismic deformation zones

Тип поражения	Площадь	Приуроченность
Приповерхностные поля сейсмодислокаций	до 16 км ²	зоны крупнейших разрывных сейсмогенных нарушений
Участки разбитых склонов	6–8 км ²	нижняя часть правого борта р. Ванч, Дарвазский и Ванчский разломы
Сейсмогенные оползни (блоки, опирающиеся на верхнеплейстоценовую морену)	до 6 км ²	борта переуглублённых троговых долин
Поля поражения зоны Южно-Памирского разлома	более 35 км ²	Маргдаринская антиклиналь, Ишкашимские купола, Гармчашминские надвиги
Оползни сложного типа и скольжения	6-10 км ²	в составе полей поражения Южно-Памирского разлома
Гравитационно-сейсмотектонические клинья	100-120 км ²	пересечение Рушано-Пшартского разлома и Памиро-Гималайского поперечного поднятия (бассейны Кудары, Танымаса, Мургаба)

Примечание. Составлено по [7; 19]. Вдоль Южно-Памирского разлома поля поражения совпадают с бортом древней троговой долины пра-Пянджа на высоте до 1200 м над современной; ширина сейморазрывного поражения составляет 4-10 км.

Рисунок 10. Площади полей сейсмодислокационного поражения

Figure 10. Areas of seismogenic deformation zones



(тёмным показаны нижние границы интервалов)

Вторым по активности участком гравитационно-сейсмотектонических перемещений после бассейнов Кудары, Танымаса и Мургаба являются структуры средней и нижней части долины р. Шахдара в пределах активных зон инъективной магматизации. Все известные на Памире типы сейсмодислокаций - как приповерхностных, так и глубинных - характерны главным образом для Западного Памира, где произошли наиболее сильные известные современные землетрясения и для которого новейшая история является эпохой крупнейших тектонических преобразований.

Наиболее ярко сейсмогенные черты проявились в обвально-осыпных процессах. Чаще всего они встречаются в пределах Юго-Западного и Центрального Памира в кристаллических сланцах и карбонатно-терригенных толщах с мощными зонами трещиноватости. Описано 55 обвалов и оползней-обвалов сейсмогенного характера, образовавших кратковременные подпруживания рек Кудара, Гунт, Шахдара, Памир и Пяндж (табл. 7); самые крупные перекрытия известны в среднем течении р. Шахдара и в среднем течении Бартанга - Кудары, а наибольшее количество перекрытий характерно для долины р. Пяндж на участке Хорог - Ишкашим [7; 12; 19].

Таблица 7. Сейсмогенные перекрытия речных долин обвалами и оползнями-обвалами
Table 7. Seismogenic damming of river valleys by rockfalls and rock avalanches

Речная долина	Характер проявления	Значение для гидротехнического строительства
р. Шахдара (среднее течение)	самые крупные перекрытия долины сейсмогенными обвалами	створ малой ГЭС «Себзор»; риск подпруживания и прорывного паводка
р. Бартанг - Кудара (среднее течение)	крупные перекрытия, гравитационно-сейсмотектонические клинья	эталонный участок для оценки масштаба явлений
р. Пяндж (участок Хорог - Ишкашим)	наибольшее количество перекрытий долины	створы на Пяндже; поражение бортов долины
р. Гунт, р. Памир	кратковременные подпруживания русел	участки трасс деривации и линий электропередачи

Примечание. Составлено по [7; 19]; всего описано 55 обвалов и оползней-обвалов сейсмогенного характера.

Значение для строительства малых ГЭС в Юго-Западном Памире. Створы малых гидроэлектростанций Юго-Западного Памира - «Себзор» на р. Шахдара и «Санобод» на р. Пяндж - расположены в пределах сейсмогенных зон, для которых ожидаемые землетрясения оцениваются величиной $M = 6,5$ ($K = 16$), а в непосредственной близости находятся зоны I категории с потенциалом $M = 7,5$ и более. Поскольку сейсмодислокации фиксируются при землетрясениях с $M \geq 6,5$, отвечающих 9-балльным сотрясениям, при проектировании необходимо исходить из возможности поверхностных подвижек и сейсмогравитационных деформаций бортов долин непосредственно в зоне сооружений.

Сейсмичность региона является определяющим фактором возникновения грандиозных обвалов и оползней, поэтому необходимо детальное изучение сейсмогенных и других новейших структур с выяснением степени их сейсмоактивности. Для оценки и прогноза устойчивости склонов требуется сейсмотектоническое районирование территории в целом и микросейсмическое районирование оползневых склонов в частности [13]. Особое внимание при инженерных изысканиях следует уделять участкам, где долины пересекают разломы II категории - Шахдаринский, Гунт-Аличурский и Гармчашминский, - а также склонам, сложенным метаморфическими породами с мощными зонами выветривания и трещиноватости, наиболее предрасположенным к сейсмогенным обрушениям.

Выводы

1. Территория Памира расположена в зоне столкновения Евразийской и Индо-Австралийской литосферных плит; резкое ускорение новейших поднятий (от 10 см/тыс. лет в олигоцен-миocene до 333 см/тыс. лет после нижнечетвертичного времени) определяет высокую

контрастность движений по разломным зонам и интенсивность современных геодинамических процессов.

2. Разрывная тектоника Памира определяется системой глубинных (краевых) разломов - Дарваз-Каракульского, Ванч-Танымасского, Язгулем-Акбайтальского и Бартанг-Пшартского, образующих выпуклые к северу дуги, и пересекающего их поперечного Зулумарт-Кызылдашского (Памиро-Гималайского) разлома, разделяющего западный высокоскоростной и восточный низкоскоростной блоки.

3. Разломы заложились в палеозое (Ванч-Танымасская зона - в ордовике, Бартанг-Пшартская имеет контролирующее значение с раннепермского времени) и сохраняют активность в новейший этап, что подтверждается деформациями речных террас, приуроченностью локальных впадин к опущенным крыльям и амплитудами вертикальных смещений: по Дарваз-Каракульскому разлому свыше 500 м в раннем плейстоцене, 200 м в среднем и свыше 120 м в голоцене.

4. Северо-Памирская зона краевого разлома шириной 25-30 км разделяется на три полосы: «промежуточных структур» (1-2 км), складчатости нагнетания и взбросо-надвиговых структур (10-18 км, углы падения 0–80°) и чешуйчато-сбросовых структур растяжения (7-10 км, углы 50-70°).

5. Ванч-Акбайтальский разлом фиксируется уступом на поверхности Мохоровичича и разделяет блоки с мощностью земной коры 78 ± 4 и 72 ± 4 км; амплитуда перемещения по нему за четвертичное время оценивается в 1,1 км, что указывает на сохранение глубинного контроля структуры до настоящего времени.

6. На территории Памира выделяются четыре сейсмогенные зоны I категории шириной 20–30 км ($M = 7,5-8,0$, K до 18,4) и семь зон II категории шириной 10-15 км ($M = 6,5$, $K = 16$); Юго-Западный Памир относится ко второй категории, а его сейсмический режим контролируется Гунт-Аличурским, Гармчашминским и Шахдаринским разломами.

7. Основная масса эпицентров сосредоточена в двух граничных зонах - Дарваз-Каракульской и субмеридиональной, трассируемой через Каракульское, Сарезское и Зоркульское озёра; эпицентры сильных землетрясений тяготеют к местам пересечения разломов субширотного и субмеридионального простирания, что подтверждается Сарезским землетрясением 1911 г. ($M = 7,4$, $K = 17$, $I = 9$ баллов).

8. Сейсмодислокации региона представлены тремя группами - сеймотектоническими, гравитационно-сеймотектоническими и сейсмогравитационными; поля поражения достигают 16 км² при приповерхностном классе, 35 км² и более в зоне Южно-Памирского разлома и 100-120 км² для гравитационно-сеймотектонических клиньев, полосы поражения вдоль разломов имеют ширину 3–5 км при протяжённости более 80 км.

9. Сейсмичность является определяющим фактором возникновения крупных обвалов и оползней, перекрывающих долины Шахдары, Бартанга - Кудары и Пянджа на участке Хорог - Ишкашим, в связи с чем при строительстве малых ГЭС Юго-Западного Памира необходимы сеймотектоническое районирование территории и микросейсмическое районирование оползневых склонов.

Работа выполнена на основе НИР лаборатории Оценка сейсмической опасности «Оценка сейсмической опасности городов Таджикистана ГР №0116Т00576».

ЛИТЕРАТУРА

1. Артемьев М.Е. Изостазия территории СССР / М.Е. Артемьев; Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта. - М.: Наука, 1975. - 215 с.
2. Ачилов Г.Ш. Неотектоника и сейсмические условия правобережья р. Пяндж (Юго-Западный Дарваз) / Г.Ш. Ачилов, В.А. Бельский. - Фонды Таджикского геологического управления, 1966.
3. Бабаев А.М. Сейсмическое районирование Таджикистана: объяснительная записка / А.М. Бабаев, Г.В. Кошлаков, К.М. Мирзоев. - Душанбе: Дониш, 1978. - 68 с.
4. Бархатов Б.П. Тектоника Памира: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук / Б.П. Бархатов, Г.Г. Мельник; ВСЕГЕИ. - Л., 1962. - 45 с.
5. Белоусов В.В. Тектоника Памира и Тянь-Шаня / В.В. Белоусов, Н.А. Белелевский. - М.: Изд-во МГУ, 1964. - С. 125-140.

6. Бурмакин А.В. Пояснительная записка к геологической карте масштаба 1:200 000. Серия Гиссаро-Алая, лист J-42-XI / А.В. Бурмакин, Д.А. Старшинин. - М.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1962. - 82 с.
7. Виниченко С.М. Сейсмогенные оползни и обвалы Таджикистана (условия развития, распространение и прогноз) / С.М. Виниченко. - Душанбе: Дониш, 1990. - 196 с.
8. Гзовский М.В. Сопоставление тектоники с сейсмичностью Гармского района Таджикской ССР / М.В. Гзовский, В.Н. Крестников // Известия АН СССР. Серия геофизическая. - 1958. - № 8, 12.
9. Горшков Р.П. О сейсмичности Таджикистана / Р.П. Горшков // Проблемы Таджикистана: сб. - Л.: Изд-во АН СССР, 1933.
10. Губин И.Е. Закономерности сейсмических проявлений на территории Таджикистана / И.Е. Губин. - М.: Изд-во АН СССР, 1960. - 464 с.
11. Захаров С.А. Тектонические критерии сейсмического районирования сдвиговых зон / С.А. Захаров. - Душанбе, 1964.
12. Ишук А.Р. Сейсмическая опасность и прогноз возникновения оползней при землетрясениях для горных районов Таджикистана / А.Р. Ишук, А.В. Шварц, Н.Р. Ишук, З.Г. Ильясова. - Душанбе: Дониш, 2013. - 72 с.
13. Коган Л.А. Сейсмическое микрорайонирование в Таджикистане / Л.А. Коган, В.А. Нечаев, О.А. Романов. - Душанбе: Дониш, 1974. - С. 39-44.
14. Мушкетов И.В. Верненское землетрясение 28 мая (9 июня) 1887 г. / И.В. Мушкетов // Труды Геологического комитета. - СПб., 1890. - Т. X, № 1. - 154 с.
15. Неотектоника и сеймотектоника Таджикистана. - Душанбе: Дониш, 1969.
16. Проблемы устойчивого развития горных территорий Республики Таджикистан. - Душанбе: Сурушан, 2002. - 255 с.
17. Резвой Д.П. О тектонической природе западной части Памиро-Гималайско-Кунь-Луньского неотектонического поднятия / Д.П. Резвой // Тектоника Памира и Тянь-Шаня. - М.: Изд-во МГУ, 1964. - С. 49-69.
18. Рейман В.М. Сеймотектоника Таджикистана / В.М. Рейман [и др.]. - Душанбе, 1963.
19. Федоренко В.С. Горные оползни и обвалы, их прогноз / В.С. Федоренко. - М.: Изд-во МГУ, 1988. - 214 с.
20. Чедия О.К. Юг Средней Азии в новейшую эпоху горообразования / О.К. Чедия. - Фрунзе: Илим, 1972. - Кн. 2. - 225 с.
21. Чедия О.К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня / О.К. Чедия. - Фрунзе: Илим, 1986. - 314 с.

ТЕКТОНИКАИ ТАРКИШӢ ВА СЕЙСМИКИИ ПОМИРИ ҶАНУБУ ҒАРБӢ

Дар мақола маълумот оид ба тектоникаи таркишӣ ва сейсмикии Помири Ҷанубу Ғарбӣ ва минтақаҳои ҳамсоя ҷамъбасти гардида, таваҷҷуҳи асосӣ ба арзёбии устувории муҳити геологӣ ва сохтмони неругоҳҳои барқи обии хурд равона шудааст. Хусусиятҳои таркишҳои амиқи минтақа - таркишҳои Дарвоз-Қароқӯл, Ванҷ-Танимас, Язғулом-Оқбайтал ва Бартанг-Пшарт, инчунин таркиши кундалангии Зулумарт-Қизилдашт (Помир-Ҳимолой) - тавсифи қарда шудаанд; ин таркишҳо дар давраи палеозой пайдо шуда, дар марҳилаи неотектоникӣ ғайрибақои мондаанд, ки ин аз деформатсияи суффаҳои дарёӣ ва робитаи пастҳои маҳаллӣ бо минтақаҳои таркишӣ шаҳодат медиҳад. Маълумот оид ба амплитудаи ҷойивазкуниҳои амудии муосир дар марҳилаҳои плейстосен ва голоцен, сохтори минтақаи канори таркишии Помири Шимоли бо паҳноии 25–30 км ва шакли зинагии сатҳи ҷудокундаи Моҳоровичи пешниҳод гардидааст. Ҷор минтақаи сейсмогении категорияи I (бо паҳноии 20–30 км) бо магнитудҳои максималии $M = 7,5-8,0$ ва ҳафт минтақаи категорияи II (бо паҳноии 10–15 км) бо $M = 6,5$ мавриди омӯзиш қарор гирифтаанд; ба гурӯҳи охири таркишҳои тектоникӣ Гунд-Алиҷур, Гармчазма ва Шохдара дохил мешаванд, ки ҳатари сейсмикии Помири Ҷанубу Ғарбиро муайян мекунанд. Деформатсияҳои сейсмогенӣ, ки ба се гурӯҳ тааллуқ доранд, ва параметрҳои майдонҳои деформатсияи марбут ба онҳо ба низом дароварда шудаанд; зарурати ноҳиябандии сеймотектоникӣ худро ба ноҳиябандии микросейсмикии нишебиҳои ба ярҷи мойил асоснок қарда шудааст.

Калидвожаҳо: Помири Ҷанубу Ғарбӣ, таркишҳои амиқ, ҳаракатҳои неотектоникӣ, минтақаҳои сейсмогенӣ, сейсмикӣ, деформатсияҳои сейсмогенӣ, сейсмикии дислокасионии заминларзаи Сарез, Таркиши Шохдара, устувории нишебӣ, неругоҳҳои хурди барқи обӣ.

РАЗРЫВНАЯ ТЕКТНИКА И СЕЙСМИЧНОСТЬ ЮГО-ЗАПАДНОГО ПАМИРА

В статье обобщены материалы по разрывной тектонике и сейсмичности Юго-Западного Памира и сопредельных территорий применительно к задачам оценки устойчивости геологической среды и строительства малых гидроэлектростанций. Охарактеризованы глубинные разломы региона - Дарваз-Каракульский, Ванч-Танымасский, Язгулем-Ақбайтальский, Бартанг-Пшартский и поперечный Зулумарт-Кызылдашский (Памиро-Гималайский), - заложившиеся в палеозое и сохраняющие активность в новейший этап, что подтверждается деформациями речных террас и приуроченностью к зонам разломов локальных впадин. Приведены амплитуды новейших вертикальных смещений по этапам плейстоцена и голоцена, строение Северо-Памирской зоны краевого разлома шириной 25–30 км, данные о ступени поверхности Моҳоровича. Рассмотрены четыре сейсмогенные зоны I категории (ширина 20–30 км) с максимальными магнитудами $M = 7,5-8,0$ и семь зон II категории (ширина 10–15 км) с $M = 6,5$, к последним относятся Гунд-Алиҷурский, Гармчазминский и Шахдаринский разломы, определяющие сейсмическую опасность Юго-Западного Памира. Систематизированы сейсмодислокации трёх групп и параметры полей сейсмодислокационного поражения; обоснована необходимость сеймотектонического районирования территории и микросейсмического районирования оползневых склонов.

Ключевые слова: Юго-Западный Памир, глубинные разломы, новейшие движения, сейсмогенные зоны, сейсмичность, сейсмодислокации, Сarezское землетрясение, Шахдаринский разлом, устойчивость склонов, малые ГЭС.

FAULT TECTONICS AND SEISMICITY OF THE SOUTH-WESTERN PAMIR

The paper summarises data on the fault tectonics and seismicity of the South-Western Pamir and adjacent areas with reference to the assessment of geological environment stability and the construction of small hydropower plants. The deep faults of the region - Darvaz-Karakul, Vanch-Tanyamas, Yazgulem-Akbaital, Bartang-Pshart and the transverse Zulumart-KyzylDasht (Pamir-Himalayan) fault - originated in the Palaeozoic and remain active during the recent stage, as evidenced by deformed river terraces and local basins confined to the fault zones. Amplitudes of recent vertical displacements for the Pleistocene and Holocene stages, the structure of the 25-30 km wide North Pamir marginal fault zone and data on the Moho step are presented. Four first-category seismogenic zones (20-30 km wide, $M = 7.5-8.0$) and seven second-category zones (10-15 km wide, $M = 6.5$) are considered; the latter include the Gunt-Alichur, Garmchashma and Shakh-dara faults that control the seismic hazard of the South-Western Pamir. Seismic dislocations of three groups and the parameters of the affected areas are systematised, and the need for seismotectonic zoning and microseismic zoning of landslide slopes is substantiated.

Keywords: South-Western Pamir, deep faults, recent movements, seismogenic zones, seismicity, seismic dislocations, Sarez earthquake, Shakh-dara fault, slope stability, small hydropower plants.

Маълумот дар бораи муаллиф: *Валиев Шариф Файзуллоевич* – Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи АМИТ, доктори илмҳои геология ва минералогия, сарҳодими илмӣ. **Суроға:** 734063, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи Айнӣ, 267. E-mail: valiev_sh63@mail.ru. Телефон: (+992) 00 888 96 32

Бахтиёрӣ Маҳсудини Сайтоҷзод – Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи АМИТ, ходими калони илмии лабораторияи баҳодиҳии хатарҳои сейсмикӣ. **Суроға:** 734063, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи Айнӣ, 267. E-mail: saitoj@mail.ru. Телефон: (+992) 987 44 44 34

Ашурмамадова Бароҳат Ҳамзаевна – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, ассисенти кафедраи геология, ҷустуҷӯ ва иктишофи конҳои канданиҳои ғоиданок. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. E-mail: barohatashurmamadova@qmail.com. Телефон: (+992) 934 00 46 13

Сведения об авторах *Валиев Шариф Файзуллоевич* – Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник. **Адрес:** 734063, г. Душанбе, Республика Таджикистан, улица Айна, 267. E-mail: valiev_sh63@mail.ru. Телефон: (+992) 00 888 96 32

Бахтиёрӣ Маҳсудини Сайтоҷзод – Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ, старший научный сотрудник лаборатории оценки сейсмической опасности. **Адрес:** 734063, г. Душанбе, Республика Таджикистан, улица Айна, 267. E-mail: saitoj@mail.ru. Телефон: (+992) 987 44 44 34

Ашурмамадова Бароҳат Ҳамзаевна – Таджикский национальный университет, ассистент кафедры геология, поиск и разведка месторождения полезных ископаемых. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рӯдакӣ, 17. E-mail: barohatashurmamadova@qmail.com. Телефон: (+992) 934 00 46 13

Information about the authors: *Valiev Sharif Fayzulloevich* - Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Researcher. **Address:** 734063, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Ayni St., 267. E-mail: valiev_sh63@mail.ru. Phone: (+992) 00 888 96 32

Bakhtiyor Mahsudini Saitojzod – Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology, National Academy of Sciences of Tajikistan, Senior Researcher, Seismic Hazard Assessment Laboratory. **Address:** 734063, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Ayni St., 267. E-mail: saitoj@mail.ru. Phone: (+992) 987 44 44 34

Ashurmamadova Barokhat Khamzaevna – Assistant at the Department of Geology, Prospecting, and Exploration of Mineral Deposits, Faculty of Geology, Tajik National University. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. E-mail: barohatashurmamadova@qmail.com. Phone: (+992) 934 00 46 13

Статья поступила в редакцию: 24.06.2026
Одобрена после рецензирования: 22.09.2026
Принята к публикации: 06.10.2026

ГЕОРИСКИ ХВОСТОХРАНИЛИЩ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН: КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА И ПУТИ СНИЖЕНИЯ

Саидрахмонзода С.С., Фозилов Дж.Н.

Министерство промышленности и новых технологий Республики Таджикистан,
Таджикский национальный университет

Введение. Урановое наследие советского периода является одной из самых сложных эколого-промышленных проблем Центральной Азии. На территории Таджикистана с 1944 г. - момента запуска опытного завода в г. Гафурове, выпускавшего первые в СССР партии уранового концентрата (закись окиси урана U_3O_8) - до 1990 г. было произведено около 100 тыс. т уранового концентрата [9]. Производственный цикл Ленинабадского горно-химического комбината (ныне ГП «Таджикредмет», г. Чкаловск/Бустон) перерабатывал руды не только с месторождений Северного Таджикистана (Табошар, Адрасман, Киик-Тал), но и с площадок Узбекистана, Кыргызстана, Казахстана, Чехословакии, Эстонии и Китая [9; 25]. После прекращения добычи и переработки на территории Согдийской области сохранилось не менее десяти хвостохранилищ суммарной массой около 55 млн т и активностью 240-285 ТБк, размещённых на площади порядка 170 га в непосредственной близости от густонаселённых районов [9; 13; 1].

В международной литературе радиоэкологические условия Северного Таджикистана исследовались в рамках норвежско-центральноазиатских экспедиций 2006 и 2008 гг. (группа Salbu - Skipperud - Stegnar) [17; 15; 18; 23] с использованием современных аналитических методов - гамма-спектрометрии, секвенциальной экстракции, μ -SRXRF/ μ -SRXRD, а также трекового мониторинга радона. Параллельно с 2017 г. в Агентстве по химической, биологической, ядерной и радиационной безопасности НАН Таджикистана развиваются работы группы У.М. Мирсаидова [7; 14; 4; 10]. Несмотря на значительный объём первичных данных, комплексная оценка георисков (то есть взаимного влияния природных и техногенных факторов на устойчивость хвостохранилищ и миграцию радионуклидов) для условий Таджикистана сделана лишь частично.

Целью настоящей работы является комплексная инженерно-радиоэкологическая оценка георисков, связанных с длительным хранением урановых отходов на территории Согдийской области, и формулирование научно-обоснованных рекомендаций по их снижению с учётом данных официальных источников МПНТ РТ [6], результатов академических исследований 2013–2026 гг. и Стратегического мастер-плана МАГАТЭ по реабилитации объектов уранового наследия Центральной Азии [21].

Научная новизна работы состоит в (i) первой систематизации полного перечня хвостохранилищ Таджикистана с привязкой к актуальным данным эманации радона 2026 г. и фиксацией динамики после реабилитации участков Табошар (2022-2023 гг.); (ii) интегральном сопоставлении природных (сейсмичность, экзогенные процессы) и техногенных (радиологических) компонентов геориска; (iii) построении количественной матрицы приоритетности участков для последующей реабилитации.

Материалы и методы. Исследование выполнено в формате аналитического обзора с элементами вторичного количественного анализа. Источники данных включают: (1) официальную презентацию МПНТ РТ от 5.12.2024 (г. Лондон) «Прогресс и проблемы в реабилитации объектов уранового наследия в Республике Таджикистан» [6]; (2) диссертационное исследование Ф.А. Хамидова «Физико-химические основы выделения уранового концентрата из отходов» (Душанбе, 2017) [13], содержащее полную паспортизацию хвостохранилищ; (3) рецензируемые работы в Journal of Environmental Radioactivity [17; 15; 18; 23] и в Ecological Engineering & Environmental Technology [9]; (4) Стратегический мастер-план МАГАТЭ по реабилитации объектов уранового наследия в ЦА (2-е изд., 2021) [21]; (5) монографию ИБРАЭ РАН «Проблемы ядерного наследия и пути их решения» (2015) [5].

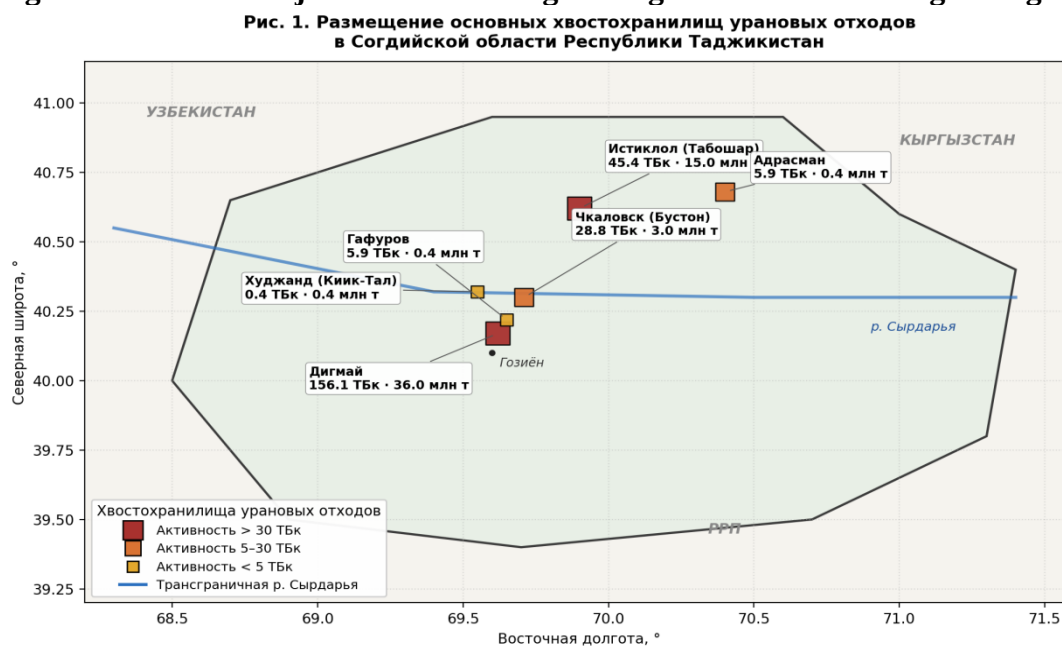
Радиационные характеристики, представленные в статье, получены различными методами: мощность дозы гамма-излучения - полевыми дозиметрами RackEye FHT1377 и аналогами [15; 14]; объёмная активность радионуклидов - методом альфа- и гамма-спектрометрии в лицензированных лабораториях [13; 4]; объёмная активность радона и плотность потока - твердотельными трековыми детекторами SSNTD и измерителями RAD7 [18; 7]; миграционные характеристики - секвенциальной экстракцией и расчётами коэффициентов K_d) [5]. Сопоставление выполнено в единой системе единиц СИ; для перевода использованы соотношения $1 \text{ Ки} = 37 \text{ ГБк}$, $1 \text{ Р/ч} = 8,77 \text{ мкЗв/ч}$.

Историко-промышленный контекст. Промышленное освоение урановых месторождений Северного Таджикистана началось в 1926 г. (открытие Табошара) и достигло пика в 1945–1965 гг. в рамках советской ядерной программы [9; 17]. По данным Vostokredmet/Ленинабадского комбината, за весь период деятельности накоплено 32 млн м³ хвостов ($\approx 33,7$ млн т) и 2,7 млн м³ забалансовой руды ($\approx 1,8$ млн т) [16]. Уран добывался как открытым (карьер №1 Табошара), так и подземным способом, с применением шахтного и кучного выщелачивания (Табошар, Чаркесар-I, Чаркесар-II) [13].

Распад СССР в 1991 г. фактически прекратил организованное обслуживание хвостохранилищ. Финансирование рекультивационных мероприятий, проектировавшихся ещё в советский период, было прервано. По оценке У.М. Мирсаидова, к 2016 г. большая часть хвостохранилищ находилась в неудовлетворительном состоянии - открытые или частично законсервированные, без действующих систем водоотвода и мониторинговых скважин [13; 1]. В период 2017–2025 гг. в рамках Программы СНГ ГК «Росатом» реабилитированы отвал «Фабрики бедных руд» («Жёлтая гора», 2 млн т, 13 га) и хвостохранилища I–IV очереди промплощадки «Табошар» (7,6 млн т, 44,6 га) [6; 20]; работы по проекту Цех №3 + Адрасман (16 млн USD, 2025–2028) и по водоводу Табошар–Истиклол (2,2 млн евро, финансирование ЕК) находятся в стадии реализации [6].

Размещение и характеристика основных объектов. На рис. 1 представлена схема размещения шести основных хвостохранилищ урановых отходов в Согдийской области. Все объекты сосредоточены в радиусе до 80 км от трансграничной реки Сырдарья - главного источника орошения и питьевого водоснабжения для Северного Таджикистана и Узбекистана [17; 6]. Это обстоятельство принципиально для оценки гидрогеологического риска: дренаж радионуклидов из хвостохранилищ в систему Сырдарьи имеет трансграничный характер и регулируется международными соглашениями по бассейну Аральского моря.

Рис. 1. Размещение основных хвостохранилищ урановых отходов в Согдийской области
Fig. 1. Location of major uranium tailings storage facilities in the Sughd Region



Составлено авторами по данным [13; 6; 24].

Сравнительная характеристика объектов приведена в таблице 1. Дигмайское хвостохранилище - крупнейший объект в Центральной Азии - имеет площадь 90-107 га, массу отходов 20,8-36,0 млн т (с учётом отходов переработки ванадийсодержащего сырья) и суммарную активность 156 ТБк [13; 7; 6]. На втором месте - комплекс Истиклол (бывш. Табошар) с пятью хвостохранилищами общей массой ≈ 15 млн т и суммарной активностью около 45 ТБк [13; 23]. Хвостохранилище г. Чкаловск (ныне г. Бустон) состоит из девяти намывных карт (Карта 1–9) общей массой 3,03 млн т и активностью 28,8 ТБк [13].

Таблица 1. Характеристика основных хвостохранилищ урановых отходов Согдийской области

Table 1. Characteristics of the main uranium tailings storage facilities in the Sughd Region

Объект	Период экспл.	Масса, млн т	Активность, ТБк	МЭД γ , мкЗв/ч	Статус (2025)
Дигмай	1963–1993	20,8–36,0	156,07	0,3–20,0	Открытое, эрозия, трещины
Истиклол I–IV	1945–1965	11,6	45,44 (суммарно)	0,4–1,0	Реабилитировано (2022–23)
Истиклол ФБР	1950–1965	2,03	9,36	1,0–2,5	Реабилитировано (2022–23)
Чкаловск 1–9	1945–1963	3,03	28,82	1,56–2,75	Грунт 0,5 м, частично
Адрасман	1945–1955	0,40	5,92	0,4–15,0	Покрытие частичное
Гафуров (опытный)	1945–1958	0,40	5,88	0,2–0,6	Грунт 2,5 м, реабилит.
Худжанд (Киик-Тал)	1976–1985	0,40	0,40	0,7–0,8	Открытое
Цех №3 (Истиклол)	1949–1965	1,2	0,56	0,4–1,2	План на 2025–2028

Примечание. По данным [13, 7, 6, 12]. МЭД γ — мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на поверхности.

Природные геориски: сейсмика, экзогенные процессы, климат. Согдийская область располагается в сейсмоактивной зоне Северного Тянь-Шаня с расчётной макросейсмической интенсивностью до 8 баллов по шкале МШИЗ-2018 (ГОСТ 34511–2018) [3]. По данным экспедиций 2006 и 2008 гг., все основные хвостохранилища (Дигмай, Истиклол, Чкаловск, Адрасман) находятся в радиусе до 50 км от тектонически активных разломных зон Кураминского и Туркестанского хребтов [17; 23]. При сейсмическом воздействии расчётной интенсивностью 7–8 баллов коэффициент запаса прочности дамб может снижаться с 1,2 до 0,93 [2], что критически близко к границе устойчивости ($K=1$) и определяет необходимость пересчёта проектных характеристик с учётом современных норм сейсмостойкого строительства.

Экзогенные процессы являются вторым по значимости источником природного риска. На Дигмайском хвостохранилище после 1996 г. в дамбе и теле хвостов сформировались трещины шириной до 1 м и глубиной более 4 м [7; 6]; именно через эти трещины происходит интенсивная эманация радона концентрацией до 700 Бк/м³, что в 17–20 раз превышает фоновый уровень (20-36 Бк/м³) [9]. На Адрасманском хвостохранилище селевые потоки после интенсивных дождей разрушают покрытие по краям и переносят материал отходов вниз по рельефу, формируя локальные пятна с мощностью дозы до 3,7 мкЗв/ч в границе размыва и до 21,47 мЗв/год эффективной дозы для жителей прилегающего посёлка [4]. Аналогичные явления наблюдаются на Чкаловском комплексе и в окрестностях Истиклола.

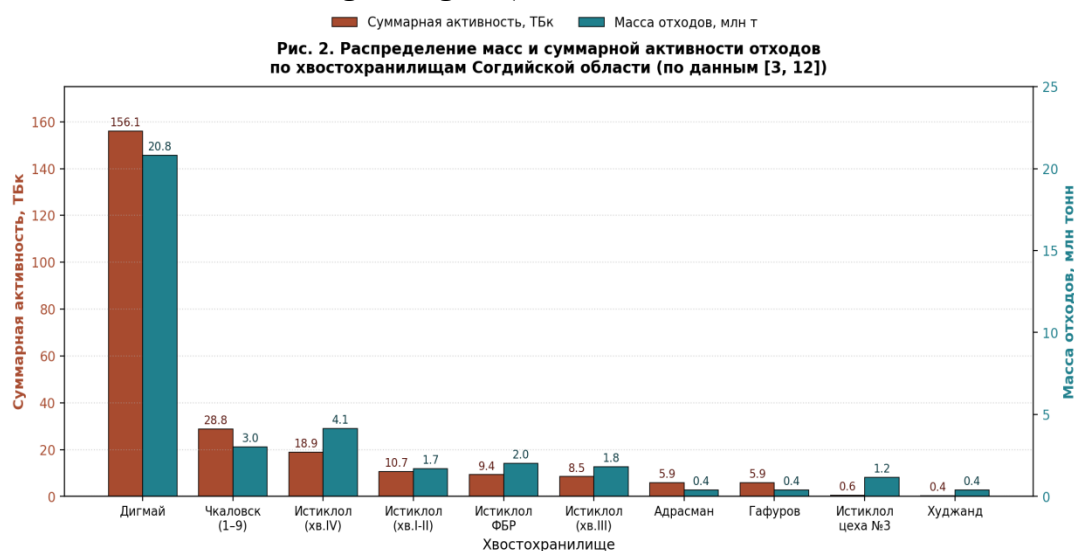
Климатические условия региона дополнительно осложняют ситуацию. Среднегодовая температура составляет +18...+25 °С, скорость ветра достигает 18-20 м/с (Дигмай), 15 м/с (Чкаловск); количество осадков варьирует от 400 мм (Чкаловск) до 600 мм (Адрасман) [13]. Сочетание сильных ветров с открытой поверхностью хвостохранилищ создаёт условия для атмосферного переноса радиоактивной пыли и аэрозолей, что подтверждается данными по

объёмной активности радионуклидов в воздухе в пробах 2006 г. - ^{210}Pb до $129 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ в районе Чкаловского ГМЗ и ^{226}Ra до $40,9 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ в районе Дигмая [13].

Радиологические геориски: гамма-излучение и эманация радона. Радиационная обстановка на хвостохранилищах Таджикистана характеризуется существенной пространственной неоднородностью. На рис. 2 приведено сопоставление массы и суммарной активности основных объектов: Дигмайское хвостохранилище концентрирует около 55% массы всех радиоактивных отходов и около 60% суммарной активности.

Рис. 2. Распределение масс и суммарной активности отходов по хвостохранилищам Согдийской области (по данным [13; 6])

Fig. 2. Distribution of waste mass and total activity across the tailings storage facilities of the Sughd Region (based on data from



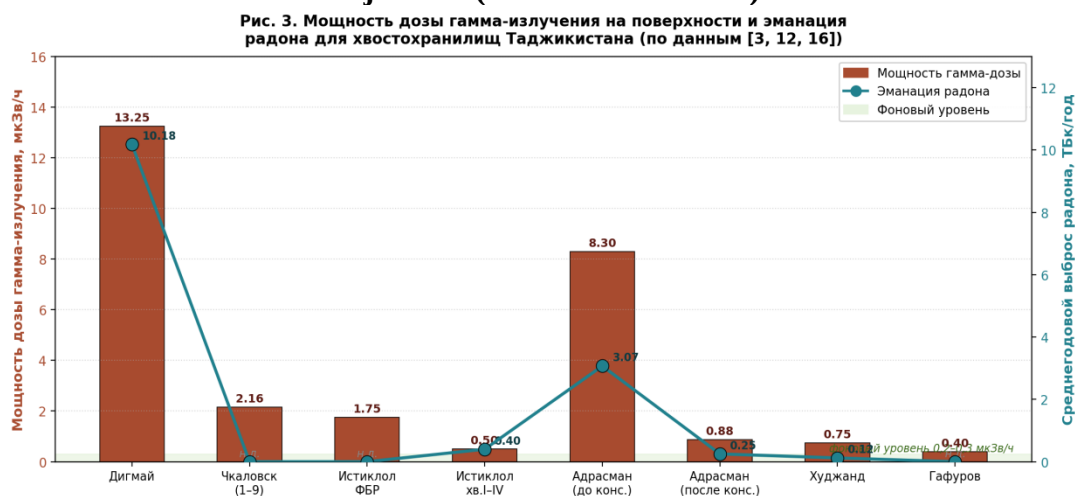
На рис. 3 показаны средние значения мощности дозы гамма-излучения и эманации радона. Дигмай является аномальным по обоим параметрам: средняя МЭД γ достигает 13–14 мкЗв/ч с локальными максимумами до 30 мкЗв/ч [7; 6]; среднегодовой выброс радона составляет 9,26–11,11 ТБк/год по ранним оценкам [13] и достигает 201,52 ТБк/год по данным мониторинга 2024–2025 гг. при средней плотности потока 7,1 Бк/м²·с с максимумами до 17 Бк/м²·с (что в 17 раз выше национального норматива 1 Бк/м²·с) [7]. Концентрация радона в трещинах достигает 700 Бк/м³ - значение, угрожающее не только персоналу, но и населению посёлка Гозиён (1,5 км от хвостохранилища).

Внутренние помещения зданий городов Истиклол и Бустон, частично построенные с использованием материалов хвостохранилищ в советский период [4; 10], демонстрируют объёмную активность радона до 175 Бк/м³ (Истиклол) и 26 Бк/м³ (Бустон), с эквивалентной равновесной активностью до 330 Бк/м³ в школах и детских садах. Эффективная годовая доза для детей в школьных зданиях Истиклола достигает 7,1 мЗв/год [10] - на порядок выше дозового предела для населения, установленного НРБ-99/2009 (1 мЗв/год сверх естественного фона). Аналогичные исследования в школах Душанбе и Хатлонской области дают значения 0,53–1,7 мЗв/год [11], что подтверждает локальный характер проблемы радона в зонах уранового наследия.

Микроанализ TENORM-частиц из проб Табошара методами μ -SRXRF и μ -SRXRD, выполненный группой O.C. Lind и B. Salbu, показал, что радионуклиды и токсичные металлы (U, As, Se, Ni) распределены крайне неоднородно даже в пределах отдельных частиц субмикронного размера и могут переноситься атмосферным и водным путём на значительные расстояния [18]. Это означает, что традиционные методы радиоэкологического мониторинга, основанные на усреднённых характеристиках проб, недооценивают реальные дозовые нагрузки на персонал и население.

Рис. 3. Мощность дозы гамма-излучения на поверхности и эманация радона для хвостохранилищ Таджикистана (по данным [13; 7; 6])

Fig. 3. Gamma-ray dose rate at the surface and radon emanation for tailings dumps in Tajikistan (based on data from)



Гидрогеологические геориски и трансграничный характер. Хвостохранилища Таджикистана располагаются в верхней части бассейна реки Сырдарья - второй по значимости трансграничной реки Центральной Азии. Дренажные воды из тел хвостохранилищ Истиклола (в дренажном стоке – 50-70 мг/л урана) [13] и Дигмая поступают в локальные водотоки, затем - в Сырдарью, обеспечивающую орошение более 3 млн га сельскохозяйственных земель в Узбекистане и Казахстане. По результатам секвенциальной экстракции 2006–2008 гг., в водах карьерного озера Табошар концентрация урана составляет 2,0 мг U/л - на два порядка выше норматива ВОЗ для питьевой воды (30 мкг/л) [17; 23]. В тех же водах обнаружены превышения нормативов по As, Mo, Mn и Fe.

Биоконцентрационные факторы (BCF) для рыб в карьерном озере Табошар составляют: U в костях - 4,8 л/кг, в жабрах - 3,6 л/кг, в почках - 3,6 л/кг [23]. Пиковые концентрации ^{238}U в осадочных породах карьера достигают 6 кБк/кг, в почвах - 296–590 Бк/кг; концентрации ^{226}Ra и ^{228}Ra в почвах Дигмая - 17–32 кБк/кг [17]. Эти значения характеризуют объекты как TENORM (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material) и обосновывают необходимость постоянного гидрогеологического мониторинга в зоне влияния.

Особое внимание следует уделить тяжёлым металлам. По данным 2023 г., в почвах Адрасманского хвостохранилища содержание свинца достигает 4673 мг/кг (более чем в 100 раз выше ПДК для почв сельскохозяйственного назначения), цинка - 2125 мг/кг, кадмия - до 29,3 мг/кг [8]. Распределение тяжёлых металлов на прилегающих территориях следует направлению розы ветров и линий поверхностного стока; свинец показывает наибольшую миграционную способность среди изученных элементов.

Интегральная матрица георисков и приоритетность реабилитации. На основе сопоставления природных и техногенных факторов составлена интегральная матрица приоритетности (таблица 2). Объекты ранжированы по комплексному баллу геориска, рассчитанному как сумма пяти частных показателей (масса отходов, активность, МЭД γ , эманация радона, удалённость от населённых пунктов) в нормированной балльной шкале 1–5.

Полученные результаты согласуются с приоритезацией Стратегического мастер-плана МАГАТЭ (2-е изд., 2021) [14]: Дигмай и Истиклол отнесены к категории «приоритетных объектов», требующих финансирования из Account for Environmental Remediation (ERA), управляемого ЕБРР [16]. Адрасман, Худжанд, Карты 1–9 и шахты Самгар отнесены к группе объектов, рассматриваемых после завершения работ на приоритетных участках [21]. Гафуровское хвостохранилище отнесено к категории «реабилитированных».

Таблица 2. Интегральная оценка приоритетности реабилитации хвостохранилищ
Table 2. Integrated assessment of the priority of tailings storage facility rehabilitation

Объект	Масса	Активность	МЭД γ	Радон	Близость	Приоритет
Дигмай	5	5	5	5	5	I (наивысший)
Истиклол (хв. I–IV)	4	4	3	3	4	II (реабилитировано)
Чкаловск (1–9)	3	4	4	3	5	II
Адрасман	2	3	4	3	4	III
Цех №3 + ФБР	2	2	3	2	3	III
Гафуров	1	2	1	1	4	IV
Худжанд	1	1	2	1	3	IV

Примечание. Балльная шкала 1-5 (5 - наибольший риск). I - требуется немедленная реабилитация; II - приоритетная (часть выполнена); III - плановая (2025–2030 гг.); IV - поддерживающее обслуживание.

Система мер по снижению георисков и реабилитации. Проведённый анализ позволяет сформулировать четырёхуровневую систему мер по снижению георисков на объектах уранового наследия в Республике Таджикистан.

1) Инженерно-техническая реабилитация. Для Дигмайского хвостохранилища критически необходимо многослойное защитное покрытие. Лабораторными моделями коллектива У.М. Мирсаидова (2026) показано, что слой нейтрального грунта толщиной 0,45 м (фракция –10 мм) снижает объёмную активность радона на поверхности с 576 до 68 Бк/м³ (8-кратное снижение), а композитное покрытие (сера 25%, бентонит 15%, магнетит 15%, кварцевый песок 20%, кварцевый гравий 25%) даёт 10-кратное снижение объёмной активности и 21-кратное снижение плотности потока (с 17 до 0,8 Бк/м²·с) [7]. По оценке ERA/ЕБРР, стоимость реабилитации Дигмая на момент 2020 г. составляла 23,0 млн евро (с учётом инфляции и текущего состояния сумма должна быть пересмотрена в большую сторону) [6; 16].

2) Геомеханический и литомониторинг. Необходимо восстановление сети наблюдательных скважин (на Дигмае из более чем 20 скважин действует лишь часть; на Адрасмане сеть отсутствует) [13; 6]. В рамках реабилитации I–IV очередей Табошара уже установлены 25 контрольно-наблюдательных скважин и 11 поверхностных реперов-марок для контроля деформаций [6]. Аналогичная сеть должна быть развёрнута на остальных приоритетных объектах с интеграцией данных в единую базу Специализированного центра по обращению с радиоактивными отходами (создан 18.05.2021, площадь 4173,3 м²; на балансе - 10 хвостохранилищ) [6].

3) Радиозоологический мониторинг. Для всех объектов необходим круглогодичный контроль мощности дозы γ -излучения, объёмной активности ²²²Rn и ²²⁰Rn (торон), удельной активности ²³⁸U, ²²⁶Ra, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Po в почвах, водах и аэрозолях. Целесообразно применение современных методов - μ -SRXRF, μ -SRXRD [18] - для характеристики TENORM-частиц. Минимально необходимый бюджет работ Центра - 150 тыс. долл. США/год (выделяется с 2025 г.) [6].

4) Социально-санитарные меры. Перенос или защита жилых построек в санитарно-защитных зонах (Гоziён - 1,5 км от Дигмая; Гафуров - 50 м от отвалов); запрет на использование строительных материалов из района хвостохранилищ; регулярные классы по радиационной безопасности в школах и детских садах Истиклола, Бустона, Адрасмана; обязательная вентиляция общественных зданий с измеренной объёмной активностью радона выше 200 Бк/м³ [4; 10].

5) Институциональные меры и международное сотрудничество. Реализация Государственной программы реабилитации объектов уранового наследия на 2025–2030 гг. [6]; ратификация Объединённой конвенции МАГАТЭ; интенсификация работ в рамках программы ERA (текущий дефицит финансирования для Таджикистана - 40 млн евро); подписание Грантового соглашения по проекту ERA INSC TJ 4.01-02/11 «Реабилитация Дигмая и Истиклола» [6; 16]. По результатам миссии ЕБРР августа 2024 г., обоснованная стоимость работ по объектам Табошар составляет 9,4 млн евро, по объектам Дигмая - 23,0 млн евро (на 2020 г.) [6].

Обсуждение и научная позиция. Полученные количественные данные позволяют скорректировать несколько распространённых тезисов. Во-первых, ранние оценки эманации радона с Дигмая (9–11 ТБк/год) [13] оказались занижены примерно в 18–20 раз: современные измерения 2024–2025 гг. [7] дают 201,52 ТБк/год. Это означает, что радоновый риск для жителей посёлка Гоziён и г. Худжанда был системно недооценён в советский и постсоветский периоды. Во-вторых, актуальные значения мощности дозы на поверхности Дигмая (до 30 мкЗв/ч) [6] существенно превышают ранние оценки (6,5–20 мкЗв/ч) [13], что свидетельствует о деградации защитных свойств грунтового покрытия за период более 30 лет открытого хранения.

В-третьих, эпидемиологические данные по Согдийской области требуют отдельного исследования. По оценкам онкологов, область концентрирует значительную часть случаев онкологических заболеваний в стране [22]. Однако прямая причинно-следственная связь с хвостохранилищами не доказана: уровни хронического облучения вне индустриальной зоны редко превышают порог 10 мЗв/год, рекомендуемый МАГАТЭ для рассмотрения вмешательства [15; 14]. Это не отменяет необходимости долгосрочного мониторинга и принятия адекватных мер защиты, особенно с учётом данных о Po-210 и Pb-210 в карьерных водах [19].

Ограничения настоящего исследования. (1) Работа опирается на открытые источники и официальную документацию МПНТ РТ; полный доступ к ведомственным базам данных Vostokredmet/Таджикредмет ограничен. (2) Современные количественные данные по Чкаловскому комплексу (Карты 1–9) и шахтам Самгар фрагментарны. (3) Эпидемиологические данные по последствиям хронического облучения не систематизированы. Перспективы дальнейших исследований связаны с применением методов InSAR-мониторинга для контроля деформаций тела Дигмая, расширением сети SSNTD-детекторов в школах и общественных зданиях, выполнением вероятностного анализа сейсмостойкости дамб с учётом ГОСТ 34511–2018 и подготовкой национальной методики оценки георисков объектов уранового наследия.

Заключение

1. На территории Согдийской области Республики Таджикистан размещены не менее десяти хвостохранилищ радиоактивных отходов уранового производства советского периода суммарной массой около 55 млн т и активностью 240–285 ТБк. Наибольшую долю по массе и активности (55–60%) составляет Дигмайское хвостохранилище - открытый объект площадью 90–107 га, расположенный в 1,5 км от посёлка Гоziён и 10 км от г. Худжанда.

2. Геориски, связанные с хвостохранилищами, имеют комплексный характер и включают четыре основных компонента: (а) сейсмическую опасность 8 баллов МШИЗ-2018, способную снизить коэффициент запаса прочности дамб до 0,93; (б) активные экзогенные процессы (трещинообразование шириной до 1 м и глубиной более 4 м на Дигмае, эрозия покрытия и сели на Адрасмане); (в) аномальные радиологические показатели (МЭД γ до 30 мкЗв/ч, эманация радона до 201,5 ТБк/год); (г) трансграничный гидрогеологический риск через дренаж в систему Сырдарьи.

3. В 2017–2025 гг. в рамках Программы СНГ ГК «Росатом» реабилитированы отвал «Фабрики бедных руд» (2 млн т, 13 га) и хвостохранилища I–IV очереди промплощадки Табошар (7,6 млн т, 44,6 га). Реализуются проект Цех №3 + Адрасман (16 млн USD, 2025–2028) и водовод Табошар–Истиклол (2,2 млн евро, финансирование ЕК). Создан Специализированный центр по обращению с РАО (18.05.2021), на балансе которого 10 хвостохранилищ.

4. Для приоритетного Дигмая необходима срочная реабилитация с применением многослойного защитного покрытия (по технологии ИХ АН РТ - снижение эманации радона до 21 разА) и восстановлением мониторинговой сети. Обоснованная стоимость работ - 23,0 млн евро на 2020 г.; текущий дефицит финансирования по программе ERA для Республики Таджикистан составляет 40 млн евро.

5. Полученные результаты могут быть использованы Министерством промышленности и новых технологий РТ, Агентством по химической, биологической, ядерной и радиационной безопасности НАН РТ, Специализированным центром по обращению с РАО и проектными

организациями при разработке нормативно-методической базы оценки и снижения георисков объектов уранового наследия Центральной Азии.

Научная статья подготовлена в рамках перспективного плана научно-исследовательской работы кафедры минералогии и петрографии Таджикского национального университета на 2026-2030 годы по теме Металлогения, минералогия, литология, тектоника Центрального, Южного Таджикистана и Памира.

ЛИТЕРАТУРА

1. В ожидании захоронения: урановые хвостохранилища в Таджикистане ставят под удар здоровье людей // Диалог.tj. - 09.12.2016.
2. Геориски, индуцированные добычей месторождений полезных ископаемых / М.Б. Едигенов, Ш.Э. Усупаев, Э.Э. Атыкенова, Б. Шаршенов // Вестник Института сейсмологии НАН КР. - 2014. -№1(3). -С.50-55.
3. ГОСТ 34511-2018. Землетрясения. Макросейсмическая шкала интенсивности землетрясений (МШИЗ-18). -М.: Стандартинформ, 2019. -24 с.
4. Оценка потенциальной радиационной опасности Адрасманского хвостохранилища в Республике Таджикистан / [У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Б.Д. Бобоев и др.] // Journal of Health and Environmental Research. - 2022. -Т. 8. - №2. -С.151-158.
5. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Вывод из эксплуатации. Т. 3 / под общ. ред. Л.А. Большова, Н.П. Лаврова, И.И. Линге. -М.: ИБРАЭ РАН, 2015. -316 с.
6. Прогресс и проблемы в реабилитации объектов уранового наследия (ОУН) в Республике Таджикистан: презентация Министерства промышленности и новых технологий РТ. -Лондон, 05.12.2024. -16 слайдов.
7. Пути снижения риска радиоактивного загрязнения в районе хвостохранилища Дигмай в Республике Таджикистан / [У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Х.И. Тиллозода и др.]// Ecological Engineering & Environmental Technology. - 2026. -Т. 27. -№2. -Р.424-430.
8. Содержание радионуклидов и тяжёлых металлов в почвах в зоне влияния хвостохранилищ Северного Таджикистана / [У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, Ш.А. Рахимбердиев и др.]// Сахаровские чтения: материалы конф. -Минск: БГУ, 2023. -Т.2. -С.154-158.
9. Состояние угольного и уранового сектора Республики Таджикистан / CEE Bankwatch Network. -Прага, 2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://bankwatch.org/wp-content/uploads/2017/12/coal-tadj-rev-ru17-1.pdf>.
10. Сравнительный анализ накопления радона в общественных зданиях различного класса на примере нескольких городов Согдийской области Таджикистана / [У. Мирсаидов, Х.М. Назаров, М.М. Махмудова и др.]// Journal of Health and Environmental Research. - 2021. -Т. 7. -№3. -С.122-125.
11. Сравнительный анализ эквивалентной равновесной концентрации радона в образовательных учреждениях центральной и южной части Таджикистана / [И. Мирсаидзода, С.В. Муминов, У.М. Мирсаидов и др.]// Global Research in Environment and Sustainability. - 2025. -Т. 3. -№2.
12. Хакимова Н.У. Хвостохранилища урановых отходов г. Истиклол: история, проблемы, решения / Н.У. Хакимова, М.А. Зоитова // Радиационная гигиена. - 2023. -Т. 16. -№2. -С.102-113.
13. Хамидов Ф.А. Физико-химические основы выделения уранового концентрата из отходов и термодинамические характеристики торий-урановых соединений: дис. ... канд. хим. наук / Ф.А. Хамидов. -Душанбе: АЯРБ АН РТ, 2017. -140 с.
14. Assessment of the radiological impact of gamma and radon dose rates at former U mining sites in Tajikistan / [E. Lespukh, P. Stegnar, M. Yunusov et al.]// Journal of Environmental Radioactivity. - 2013. -Vol. 126. -P.147-155.
15. Assessment of the radiological impact of gamma and radon dose rates at former U mining sites in Central Asia / [P. Stegnar, I. Shishkov, M. Burkitbayev et al.]// Journal of Environmental Radioactivity. - 2013. -Vol. 123. -P.3-13.
16. EBRD. Uranium Legacy Remediation Fund (ERA) progresses in Tajikistan and Kyrgyz Republic. - 04.05.2020. [Electronic resource]. URL: <https://www.ebrd.com/home/news-and-events/news/2020>.
17. Environmental impact assessment of radionuclide and metal contamination at the former U sites Taboshar and Digmai, Tajikistan / [L. Skipperud, G. Strømman, M. Yunusov et al.]// Journal of Environmental Radioactivity. - 2013. -Vol. 123. -P.50-62.
18. Micro-analytical characterisation of radioactive heterogeneities in samples from Central Asian TENORM sites / [O.C., De Nolf W., Janssens K., Salbu B. et al.]// Journal of Environmental Radioactivity. - 2013. -Vol. 123. -P.63-70.
19. Po-210 and Pb-210 in water and fish from Taboshar uranium mining Pit Lake, Tajikistan / [L. Skipperud, A.G. Jørgensen, L.S. Heier et al.]// Journal of Environmental Radioactivity. - 2013. -Vol. 123. -P.82-89.
20. Russia advances uranium cleanup in Central Asia // Nuclear Engineering International. - 05.02.2025. [Electronic resource]. URL: <https://www.neimagazine.com/news>.
21. Strategic Master Plan for Environmental Remediation of Uranium Legacy Sites in Central Asia. Second Edition. - Vienna: Coordination Group on Uranium Legacy Sites (CGULS) / IAEA, EU. -Germany, 2021. -61 p.
22. Tajikistan: possible impact of uranium legacy on health of population // BEARR Trust. - 12.05.2026. [Electronic resource]. URL: <https://bearr.org/regional-news>.
23. Uranium activity ratio in water and fish from pit lakes in Kurday, Kazakhstan and Taboshar, Tajikistan / [G. Strømman, B.O. Rosseland, L. Skipperud et al.]// Journal of Environmental Radioactivity. - 2013. -Vol. 123. -P.71-81.
24. Vostokredmet. Leninabad Mining and Chemical Combine: archive data on tailings inventories 1945-1990 // World Nuclear Association: Tajikistan country profile. - 2022.

ГЕОХАВҶОИ ПАРТОВҶОҶОИ РАДИОАКТИВИИ ИСТЕҶСОЛОТИ УРАНӢ ДАР ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН: БАҶОДИҶИИ КОМПЛЕКСӢ ВА РОҶҶОИ КОҶИШДИҶӢ

Дар мақола бори аввал баҳодиҳии комплекси хавфҳои геологӣ, гидрогеологӣ ва радиоэкологии анборҳои ихроҷоти радиоактивии истеҳсолоти уранӣ дар вилояти Сугдӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон гузаронида шудааст. Бар асоси маълумоти Вазорати саноат ва технологияҳои нави ҶТ ва нашрияҳои илмӣ байналмилалӣ хусусиятҳои даҳ анбори асосии умумии тахминан 55 млн т ва ҷаъолияти 240-285 ТБк низомнок гардидаанд. Муайян карда шудааст, ки чор омили геохавф нақши асосӣ доранд: (1) зилзилаҳезии баланди шимоли Тоҷикистон (8 балл МҶШЗ-2018); (2) раванди ҷаъоли экзогенӣ (сел, эрозия, шикӯҳҳои то 1 м); (3) эманатсияи радон то 201,5 ТБк/сол дар Дегмаӣ; (4) дренажи радионуклидҳо ба ҳавзаи трансмарзии Сирдарё. Зарурати реабилитатсияи омехта (қабати ҳифзи бисёрқабат, ҳатти дренаж, литомониторинг, назорати азроғазӣ) ва тақвияти ҳамкорӣ дар доираи барномаи ERA (БАТР/ИА) ва Нақшаи Стратегии АБНА (МАГАТЭ) асоснок шудааст.

Калидвожаҳо: геохавф, анбори ихроҷот, мероси уранӣ, ихроҷоти радиоактивӣ, Дегмаӣ, Истиклол, Адрасмон, радон, МАГАТЭ, ERA, Ҷумҳурии Тоҷикистон.

ГЕОРИСКИ ХВОСТОХРАНИЛИЩ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН: КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА И ПУТИ СНИЖЕНИЯ

В статье впервые выполнена комплексная оценка геологических, гидрогеологических и радиоэкологических рисков, связанных с длительным хранением радиоактивных отходов уранового производства советского периода на территории Согдийской области Республики Таджикистан. По официальным данным Министерства промышленности и новых технологий Республики Таджикистан (МПНТ РТ) и опубликованным научным работам, систематизированы характеристики десяти основных хвостохранилищ суммарной массой около 55 млн т и активностью 240–285 ТБк (6,5–7,7 тыс. Ки). Установлено, что определяющую роль играют четыре фактора геориска: (1) высокая сейсмичность Северного Таджикистана (8 баллов МШИЗ-2018); (2) активные экзогенные процессы (селевые потоки, эрозия, размыв покрытий, образование трещин шириной до 1 м и глубиной более 4 м на Дигмае); (3) эманация радона с поверхности хвостохранилищ, достигающая 201,5 ТБк/год на Дигмае при плотности потока до 17 Бк/м²·с; (4) дренаж радионуклидов и тяжёлых металлов в подземные и поверхностные воды трансграничного бассейна Сырдарьи. Обоснована необходимость комбинированной реабилитации (многослойное защитное покрытие, дренажные системы, литомониторинг, азрогазовый контроль) и интенсификации международного сотрудничества в рамках программы ERA (ЕБРР/ЕК) и Стратегического мастер-плана МАГАТЭ. Текущий дефицит финансирования ERA для Таджикистана составляет 40 млн евро.

Ключевые слова: геориски; хвостохранилище; урановое наследие; радиоактивные отходы; Дигма; Истиклол; Адрасман; радон; МАГАТЭ; ERA; Республика Таджикистан.

GEORISKS OF RADIOACTIVE WASTE TAILINGS FROM URANIUM PRODUCTION IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN: COMPREHENSIVE ASSESSMENT AND MITIGATION PATHWAYS

The paper presents the first comprehensive assessment of geological, hydrogeological and radioecological risks associated with long-term storage of radioactive waste from Soviet-era uranium production in the Sughd Region of the Republic of Tajikistan. Based on official data of the Ministry of Industry and New Technologies of Tajikistan and peer-reviewed scientific publications, characteristics of ten major tailings facilities with a total mass of approximately 55 million tonnes and an activity of 240–285 TBq (6.5–7.7 thousand Ci) are systematised. Four key georisk factors are identified: (1) high seismicity of Northern Tajikistan (intensity 8 on the MSIS-2018 scale); (2) active exogenous processes (debris flows, erosion, cover damage, cracks up to 1 m wide and over 4 m deep at the Digmay site); (3) radon emanation from tailings surfaces reaching 201.5 TBq/year at Digmay with flux density up to 17 Bq/m²·s; (4) drainage of radionuclides and heavy metals into surface and groundwaters of the transboundary Syrdarya basin. The need for combined remediation (multilayer protective cover, drainage systems, litho-monitoring, aero-gas control) and intensification of international cooperation within the ERA programme (EBRD/EC) and the IAEA Strategic Master Plan is substantiated. The current ERA funding gap for Tajikistan amounts to 40 million euros.

Keywords: georisk; tailings; uranium legacy; radioactive waste; Digmay; Istiqlol; Adrasman; radon; IAEA; ERA; Republic of Tajikistan.

Маълумот дар бораи муаллифон: Саидрахмонзода Саидҷон Саидбурҳон - Вазорати саноат ва технологияҳои нави Ҷумҳурии Тоҷикистон, номзади илмҳои геология ва минералогия, Департаменти муҳандисии мошинсозӣ ва саноати мудоғиба. **Суроға:** 734012, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 22. **Телефон:** 981-00-10-40. **E-mail:** saidjon0205@gmail.com

Ҷозилов Ҷивонишо Нурович - Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, номзади илмҳои геология ва минералогия, дотсенти кафедраи минералогия ва петрография. **Суроға:** 734025, Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. **Телефон:** 988-37-82-82. **E-mail:** fozilov.tj@mail.ru

Сведения об авторах: Саидрахмонзода Саидҷон Саидбурҳон - Министерство промышленности и новых технологий Республики Таджикистан, кандидат геолого-минералогических наук, управления машиностроения,

оборонной промышленности. **Адрес:** 734012, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 22. Телефон: **981-00-10-40**. E-mail: **saidjon0205@gmail.com**

Фозилов Дживоншо Нурович - Таджикский национальный университет, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры минералогии и петрографии. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. Телефон: **988-37-82-82**. E-mail: **fozilov.tj@mail.ru**

Information about the authors: Saidrakhmonzoda Saidjon Saidburkhon – Ministry of Industry and New Technologies of the Republic of Tajikistan, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Department of Mechanical Engineering and Defense Industry. **Address:** 734012, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 22. Phone: **981-00-10-40**. E-mail: **saidjon0205@gmail.com**

Fozilov Jivonsho Nurovich – Tajik National University, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Department of Mineralogy and Petrography. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. Phone: **988-37-82-82**. E-mail: **fozilov.tj@mail.ru**

Статья поступила в редакцию: 16.05.2026
Одобрена после рецензирования: 22.06.2026
Принята к публикации: 06.10.2026

ПОСЛЕДСТВИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПУЛЬСИРУЮЩИХ ЛЕДНИКОВ С РЕЧНЫМИ ДОЛИНАМИ В ВЫСОКОГОРЬЯХ ТАДЖИКИСТАНА*Сафаров М.С.***Синьцзянский институт экологии и географии Китайской академии наук,
Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды Центральной Азии
(Душанбе)**

Введение. Пульсации горных ледников сопровождаются резким увеличением скорости движения и перераспределением ледовой массы, приводящее в отдельных случаях к значительному продвижению ледникового языка вниз по долине [7]. В узких высокогорных долинах данный процесс приобретает особое значение, поскольку ледник может приблизиться к речному руслу, войти в русловой коридор или полностью перекрыть водоток. Подобные процессы ведут к изменению условий стока, к локальной перестройке русла а, при полном перекрытии долины, создавать условия для формирования ледниково-подпрудных водоёмов [10, 13].

Памир является одним из классических регионов изучения пульсирующих ледников. Систематические наблюдения, аэрокосмические съёмки и последующий спутниковый мониторинг позволили документировать многочисленные циклы активизации и подвижек ледников региона [12-13]. Наиболее известным примером является ледник Хирсон (Медвежий) в бассейне Ванджоба, многократные подвижки которого сопровождались перекрытием р. Абдукаххор и образованием подпрудного водоёма [2, 8]. Многолетние исследования этого ледника сформировали длительный ряд наблюдений, используемый при изучении динамики пульсирующих ледников Памира.

Следует отметить, что непосредственное перекрытие реки представляет только один из возможных вариантов взаимодействия пульсирующего ледника с речной долиной. В зависимости от величины продвижения и взаимного положения ледникового фронта и русла, ледник может: не достигнуть водотока; приблизиться к нему на небольшое расстояние; контактировать с русловым коридором боковой частью или пересечь положение русла. Следовательно, для оценки взаимодействия важно учитывать не только абсолютную величину продвижения ледника, но также расстояние до внешнего речного русла, направление движения и геометрию фронтальной части.

Анализ и оценка результатов исторических и современных наблюдений позволил подтвердить, факт того, что подобные взаимодействия характерны также и для ряда ледников Таджикистана. Помимо Хирсона (Медвежьего), подвижки зарегистрированы в бассейне Сутрана и в западной части хребта Петра Первого [11, 15]. В отдельных случаях продвижение ледников достигало основных речных долин и сопровождалось воздействием на хозяйственные объекты [8]. Современные исследования подтверждают высокую распространённость пульсирующих и потенциально пульсирующих ледников в Таджикском Памире и подчёркивают существенные различия в величине и пространственной направленности их подвижек [1, 3, 9].

Существующие архивы многолетних спутниковых исследований позволяют не только устанавливать периоды активизации пульсирующих ледников, но и реконструировать максимальное положение их фронтов относительно речной сети. Сочетание данных многовременной спутниковой съёмки с существующими контурами ледников и изображениями более высокого пространственного разрешения позволяет сопоставлять величину продвижения ледника с геометрией речной долины и устанавливать случаи прямого или потенциального контакта с руслом [3, 10].

Предшествующие исследования Памира были преимущественно направлены на каталогизацию пульсирующих ледников, реконструкцию отдельных подвижек, определение цикличности и скорости движения, а также анализ наиболее опасных событий [6, 10, 14]. Вместе с тем сравнительное количественное рассмотрение взаимного положения

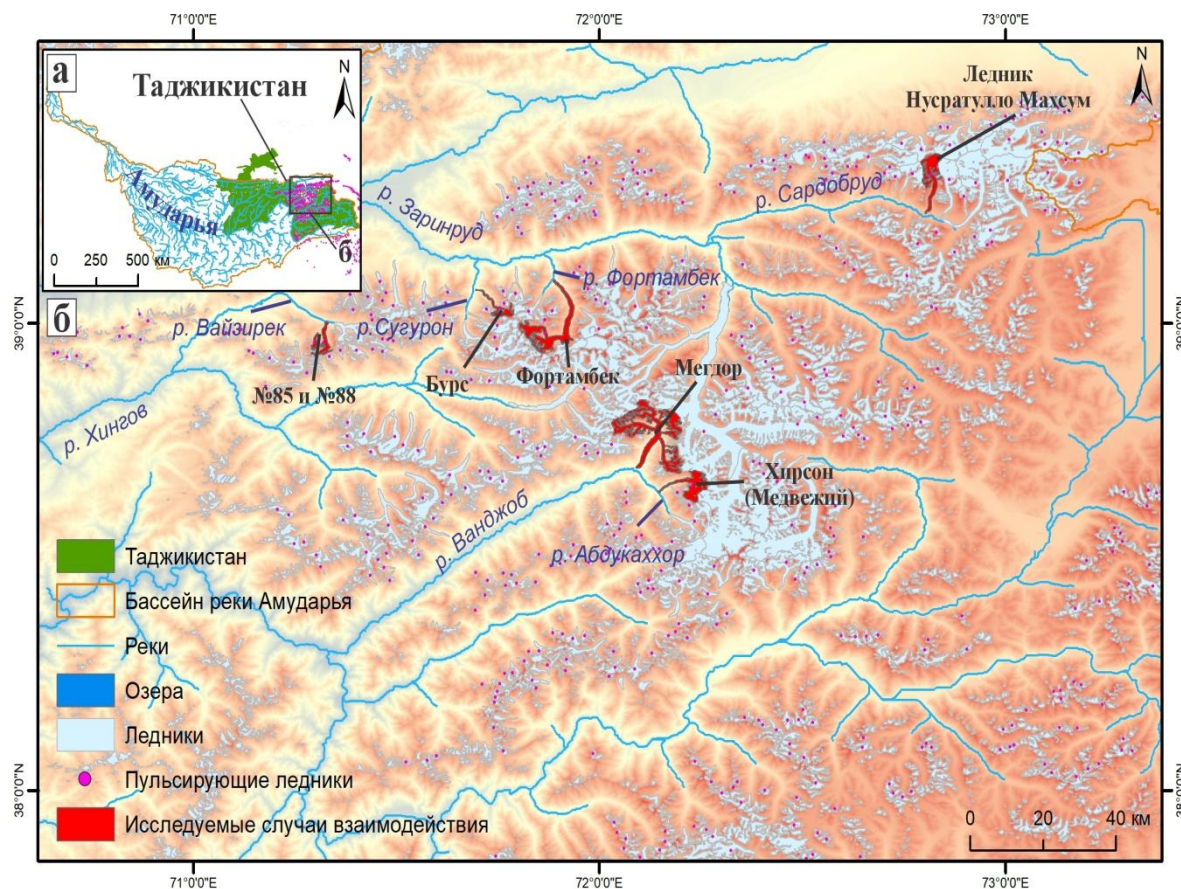
продвигающегося ледникового фронта и внешнего речного русла представлено значительно реже. Такой подход позволяет выделить собственно величину подвижки от геометрических условий её взаимодействия с речной долиной и сопоставлять между собой ледники различного размера и морфологии.

Цель настоящего исследования - оценить пространственное взаимодействие пульсирующих ледников с внешними речными руслами в высокогорных районах Таджикистана на основе многовременных данных дистанционного зондирования. Для этого оценивались максимально наблюдаемое продвижение ледника (А) и расстояние от референтного фронта по RGI 6.0 до внешнего русла (D), измеренные вдоль основной оси продвижения, а также анализировался фактический характер контакта ледникового фронта с русловым коридором. Особое внимание уделялось различиям между приближением к руслу, его достижением, возможным боковым контактом и перекрытием с формированием подпрудного водоёма.

Материалы и методы. Исследование охватывает высокогорные районы центральной и западной части Таджикистана, характеризующиеся широким распространением пульсирующих ледников и развитой сетью глубоко врезаемых речных долин. Для анализа были выбраны шесть случаев, в которых продвижение пульсирующих ледников происходило в непосредственной близости от внешних речных русел: ледниковая система № 85–88, ледники Бурс, Фортамбек, Нусратулло Махсум, Мегдор и Хирсон (Медвежий) (рис. 1).

Рисунок 1. Географическое положение исследуемых пульсирующих ледников и их связь с речными долинами в высокогорных районах Таджикистана: а - положение района исследования в пределах Таджикистана; б - расположение пульсирующих ледников и выбранных случаев взаимодействия ледников с речной сетью

Figure 1. Geographic location of the surging glaciers under study and their connection to river valleys in the high-mountain regions of Tajikistan: а – location of the study area within Tajikistan; б – location of the surging glaciers and selected cases of glacier–river network interaction



Основным критерием выбора являлось наличие документированного продвижения ледникового фронта в направлении речной долины и возможность количественной оценки

взаимного положения ледника и внешнего русла до и во время активной его фазы. Выбранные случаи охватывают различные варианты взаимодействия, от приближения к руслу без его достижения до непосредственного занятия русловой зоны и формирования ледниково-подпрудного водоёма. При выборе объектов немаловажное значение имело также наличие доступных многовременных спутниковых изображений и возможность уверенного дешифрирования положения ледникового фронта и речного русла.

Для реконструкции положения ледниковых фронтов и их взаимодействия с речными руслами использованы многовременные спутниковые изображения Landsat [5] и высоко-разрешённые спутниковые изображения, доступные в базовых картографических слоях ArcGIS [4], позволившие определить положение ледников до активизации, максимально наблюдаемое продвижение в период пульсации и положение прилегающих речных русел.

Для каждого исследуемого случая отбирались изображения, характеризующие положение ледника до рассматриваемой пульсации и его максимально наблюдаемое положение во время активной фазы или непосредственно после неё. В качестве базового (референтного) положения ледников использовались контуры Randolph Glacier Inventory версии 6.0. Положение фронтальной части контура RGI 6.0 принималось за референтный фронт, относительно которого выполнялись измерения параметров A и D . Спутниковые изображения, предшествующие рассматриваемой активной фазе, использовались для визуальной проверки и интерпретации положения ледникового фронта относительно референтного контура. Изображения высокого пространственного разрешения, доступные в Google Earth, применялись для дополнительной оценки геометрии фронтальной части ледников, положения берегов и возможного бокового контакта ледника с русловым коридором. Эти материалы служили только для качественной интерпретации и не являлись основой количественной оценки продвижения. Скорости движения льда в настоящей работе не рассчитывались.

Для количественного сопоставления выбранных случаев использовались два пространственных параметра: максимальное продвижение ледника A и расстояние от референтного фронта по RGI 6.0 до внешнего речного русла D . Параметр A определялся как расстояние между референтным положением фронта по RGI 6.0 и его максимально наблюдаемым положением в рассматриваемый период пульсации. Измерение выполнялось вдоль основной оси продвижения ледника, соответствующей преобладающему направлению движения фронтальной части. Параметр D определялся вдоль той же оси как расстояние от референтного фронта по RGI 6.0 до внешнего речного русла, расположенного в принимающей или основной речной долине. Водотоки, берущие начало непосредственно у фронта исследуемого ледника и представляющие его собственный прогляциальный сток, при определении D не учитывались. Такой подход позволил оценивать именно потенциальное взаимодействие продвигающегося ледника с внешним по отношению к собственному прогляциальному стоку речным руслом.

Для каждого объекта рассчитывалась разность $A-D$. При $A \geq D$ продольное продвижение ледника достигало или превышало положение внешнего русла, тогда как при $A < D$ фронт по основной оси продвижения не достигал его. Значение $A-D$ использовалось как геометрический показатель взаимного положения фронта и русла, а не как самостоятельная оценка опасности или степени перекрытия реки. Поскольку ледниковые фронты имеют сложную плановую конфигурацию, соотношение A и D , определённое вдоль основной оси, не всегда отражает контакт боковой части ледника с русловым коридором. Поэтому фактическое взаимодействие дополнительно проверялось визуально по спутниковым изображениям. В частности, значение $A < D$ не интерпретировалось как безусловное отсутствие контакта, если изображения более высокого пространственного разрешения показывали приближение боковой части ледникового фронта к береговой зоне или её возможный контакт с русловым коридором. Положения ледниковых фронтов, направления продвижения и речные русла определялись посредством визуальной интерпретации с учётом сезонных различий снежного покрова, облачности и условий освещения. Для извилистых или асимметрично продвигавшихся фронтов направление измерения выбиралось по основной траектории движения ледовой массы, выявленной при сопоставлении многовременных изображений.

Основными источниками неопределённости являлись пространственное разрешение спутниковых данных, неоднозначность дешифрирования покрытых обломочным материалом ледниковых границ и изменчивость положения речных русел. Особенно осторожно интерпретировались различия между A и D , по величине близкие к пространственному разрешению использованных изображений Landsat (30 м). Поэтому небольшие положительные или отрицательные значения $A-D$ рассматривались совместно с визуальной оценкой фронта и руслового коридора по изображениям более высокого разрешения.

Полученные показатели характеризуют геометрическое взаимодействие ледникового фронта с речным руслом и не являются количественной оценкой гидрологической опасности. Факт перекрытия русла, формирования подпрудного водоёма или изменения дренажа устанавливался отдельно на основе визуальной интерпретации спутниковых изображений и опубликованных сведений о соответствующих событиях, когда такие данные были доступны.

Результаты исследования. Сопоставление многовременных спутниковых изображений показало существенные различия в характере взаимодействия исследуемых пульсирующих ледников с внешними речными руслами. Несмотря на значительное продвижение во всех рассмотренных случаях, непосредственное достижение русла определялось не только величиной подвижки, но и расстоянием от референтного фронта до реки, направлением движения, шириной ледникового фронта и геометрией принимающей долины (рис. 2, 3). Рассмотренные объекты характерны случаями приближения к внешнему руслу без его достижения по основной оси, достижения или пересечения положения русла, возможного бокового контакта и перекрытия с формированием подпрудного водоёма.

Пространственное положение ледников относительно внешних речных русел. Спутниковые наблюдения показывают, что все шесть исследованных случаев характеризуются продвижением ледников в направлении речных долин, однако конечное положение фронта относительно русла существенно различается (рис. 2). Наиболее выраженное превышение расстояния от референтного фронта до внешнего русла наблюдается у ледников Хирсон (Медвежий), Фортамбек и системы № 85–88. Ледник Нусратулло Махсум также достиг положения внешнего русла, но величина превышения была значительно меньше.

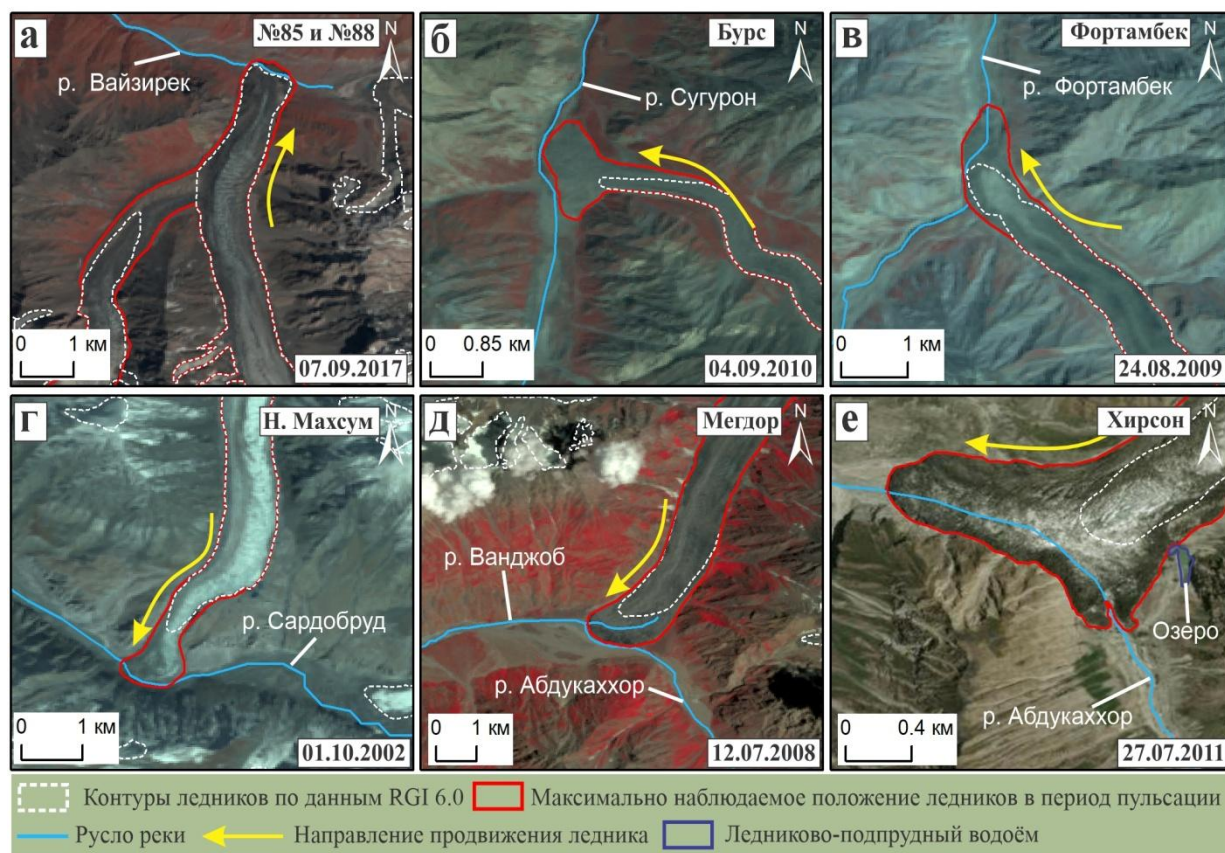
Иная ситуация выявлена по ледникам Бурс и Мегдор. В обоих случаях максимальное продвижение по основной оси оказалось несколько меньше расстояния от референтного фронта до внешнего русла. При этом спутниковые изображения показывают, геометрическую близость ледникового фронта к речному коридору может оставаться значительной даже при условии $A < D$. Такой процесс характерен для Мегдора, широкая фронтальная его часть подходит к русловому коридору боковой частью (рис. 2д). Таким образом, бинарное разделение объектов только по признаку достижения русла не полностью отражает реальную геометрию взаимодействия. Продольное положение фронта необходимо рассматривать совместно с конфигурацией его боковых частей и ориентацией речного русла относительно направления подвижки.

Соотношение максимального продвижения и расстояния до русла. Количественное сравнение параметров A и D выявило две основные группы объектов (рис. 3; табл. 1). В четырёх из шести рассмотренных случаев максимальное продвижение ледника достигало или превышало расстояние от референтного фронта до внешнего русла ($A \geq D$). К этой группе относятся система № 85–88, Фортамбек, Нусратулло Махсум и Хирсон (Медвежий).

Для системы № 85–88 максимальное продвижение составило около 210 м при расстоянии от референтного фронта до русла около 34 м, что соответствует превышению $A-D$ примерно на 176 м. У ледника Фортамбек продвижение достигло около 876 м при расстоянии до внешнего русла около 347 м; разность $A-D$ составила приблизительно +529 м. Для ледника Нусратулло Махсум значения A и D были наиболее близкими, около 897 и 848 м соответственно, при превышении всего примерно на 49 м.

Рисунок 2. Пространственное взаимодействие пульсирующих ледников с речными долинами в высокогорьях Таджикистана: а - ледниковая система № 85–88; б - ледник Бурс; в - ледник Фортамбек; г - ледник Нусратулло Махсум; д - ледник Мегдор; е - ледник Хирсон (Медвежий)

Figure 2. Spatial interaction of surging glaciers with river valleys in the high mountains of Tajikistan: а – glacier system No. 85–88; б – Burs Glacier; в – Fortambek Glacier; д – Nusratullo Makhsum Glacier; е – Megdor Glacier; ф – Khirson (Medvezhiy) Glacier



Наиболее выраженное превышение наблюдалось у ледника Хирсон (Медвежий): максимальное продвижение составило около 985 м при расстоянии от референтного фронта до реки Абдукаххор около 162 м, то есть $A-D$ достигало приблизительно +823 м. В этом случае геометрическое достижение русла сопровождалось его перекрытием и формированием ледниково-подпрудного водоёма, что свидетельствует о наиболее выраженном гидрологическом воздействии среди рассмотренных случаев.

Для ледника Бурс максимальное продвижение составляло около 943 м при расстоянии до русла около 1052 м, вследствие чего значение $A-D$ оставалось отрицательным (около –109 м). Для Мегдора соответствующие значения составляли около 738 и 784 м, а разность $A-D$ около –46 м. Таким образом, оба ледника не достигали положения внешнего русла по основной оси продвижения.

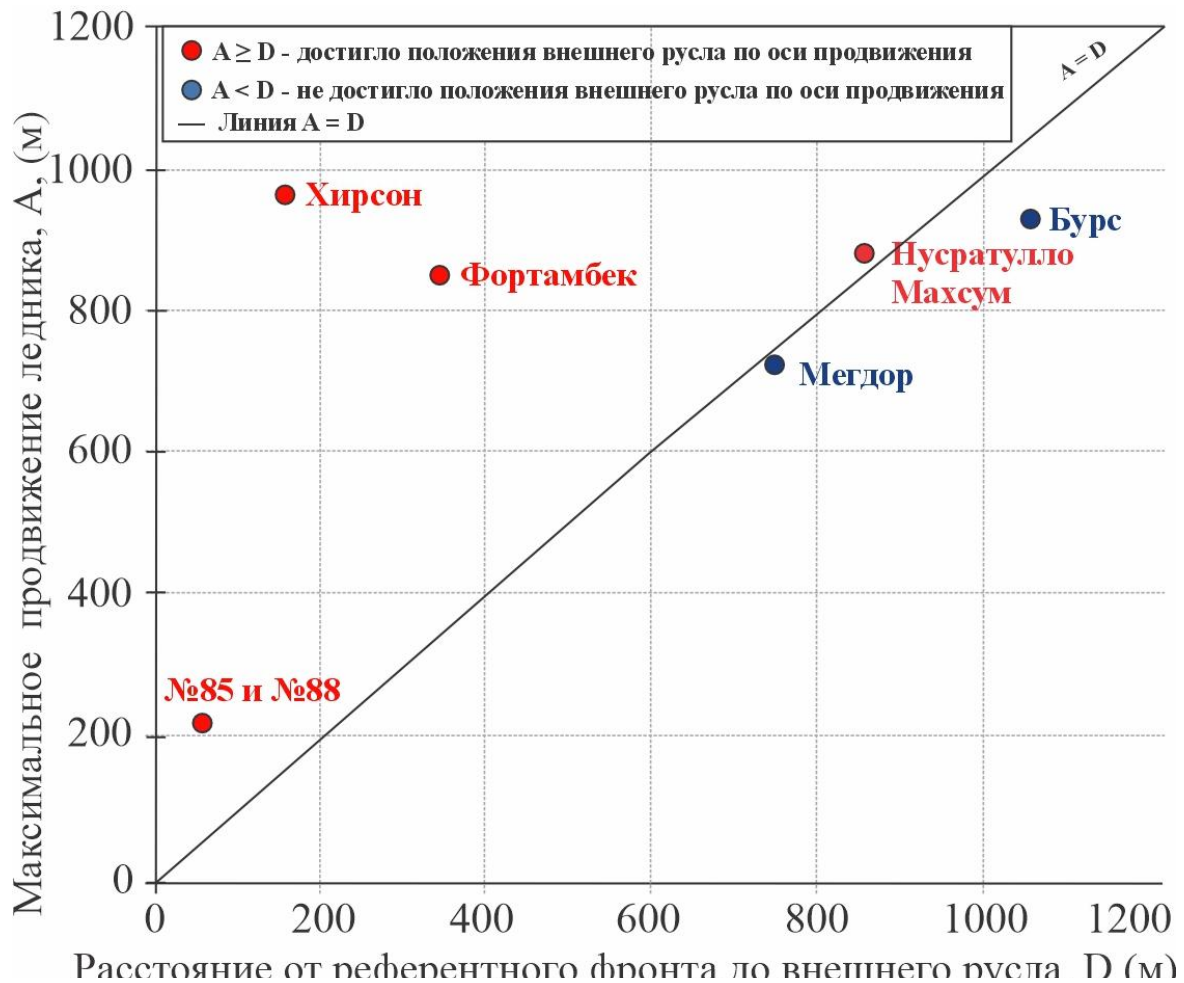
Достижение русла и различия в характере взаимодействия. Положительное значение $A-D$ показывает, что величина продольного продвижения была достаточной для достижения положения внешнего русла, однако само по себе это условие не означает полного перекрытия реки. Рассмотренные случаи демонстрируют различную реакцию руслового пространства на продвижение ледника.

У системы № 85–88 продвинувшаяся ледовая масса вышла из боковой долины в основной речной коридор и значительно превысила расстояние от референтного фронта до русла, что согласуется с наблюдениями Десинова [6]. Геометрия фронта указывает на непосредственное занятие части русловой зоны. Следует отметить, что у ледника Фортамбек величина продвижения более чем в два раза превышала расстояние от референтного фронта до внешнего

русла, что соответствует достижению положения внешнего русла по основной оси продвижения.

Рисунок 3. Количественное соотношение максимального продвижения пульсирующих ледников (A) и расстояния от референтного фронта до внешнего речного русла (D), измеренных вдоль основной оси продвижения. Для ледника Мегдор значение $A < D$ характеризует положение по основной оси продвижения и не исключает возможного бокового контакта ледникового фронта с русловым коридором

Figure 3. Quantitative relationship between the maximum advance of surging glaciers (A) and the distance from the reference terminus to the outer river channel (D), measured along the main axis of advance. For the Megdor Glacier, the condition $A < D$ characterizes the position along the main axis of advance and does not rule out potential lateral contact between the glacier terminus and the channel corridor



Установлено, что для ледника Нусратулло Махсум разность $A-D$ составляла лишь около +49 м., подтверждающий тезис о том, что даже крупное абсолютное продвижение ледника не обязательно сопровождается значительным проникновением в русловую зону: решающее значение имеет геометрия системы ледник–река. Наиболее сильное воздействие выявлено у ледника Хирсона (Медвежьего), где фронт значительно пересёк положение русла р. Абдукаххор. Продвижение ледника сопровождалось перекрытием речного стока и формированием подпрудного водоёма (рис. 2е). Таким образом, ледник Хирсон представляет собой наиболее выраженный вариант рассматриваемого взаимодействия, при котором пространственный контакт ледника с руслом непосредственно трансформируется в гидрологическое последствие [12-13].

Таблица 1. Количественные параметры и характер взаимодействия ледников с внешними речными руслами

Table 1. Quantitative parameters and the nature of the interaction between glaciers and external river channels

Ледник / ледниковая система	A (м)	D (м), до внешнего русла	A – D (м)	Характер взаимодействия
Система № 85–88	210	34	+176	$A \geq D$; положение внешнего русла достигнуто или превышено по оси продвижения
Бурс	943	1052	–109	$A < D$; положение внешнего русла по оси продвижения не достигнуто
Фортамбек	876	347	+529	$A \geq D$; положение внешнего русла достигнуто или превышено по оси продвижения
Нусратулло Махсум	897	848	+49	$A \geq D$; положение внешнего русла достигнуто или превышено по оси продвижения
Мегдор	738	784	–46	$A < D$ по оси продвижения; возможен боковой контакт с русловым коридором
Хирсон	985	162	+823	$A \geq D$; перекрытие русла и формирование ледниково-подпрудного водоёма

Приближение без достижения русла по основной оси. Ледники Бурс и Мегдор отличаются от остальных рассматриваемых случаев отрицательными значениями $A - D$. Для Бурса сохранявшееся расстояние между максимально наблюдаемым фронтом и положением внешнего русла составляло около 109 м. Анализ и оценка существующих спутниковых данных позволил констатировать факт отсутствия признаков непосредственного выхода фронта в русловую зону.

Для Мегдора ситуация более сложная. По основной оси максимальное продвижение не достигало положения реки Абдукаххор приблизительно на 46 м. Однако это значение сопоставимо по порядку величины с пространственным разрешением использованных изображений Landsat и поэтому не должно интерпретироваться как точное физическое расстояние между ледником и берегом. Кроме того, изображения более высокого пространственного разрешения показывают, что боковая часть продвинувшегося ледникового фронта подходит непосредственно к русловому коридору.

Следовательно, значение $A < D$, полученное вдоль центральной оси, не исключает бокового взаимодействия широкого или асимметричного ледникового фронта с речной долиной. Случай Мегдора демонстрирует ограничение одномерного показателя $A - D$ и необходимость совместной интерпретации количественных измерений и плановой геометрии фронта.

Роль геометрии долины и значение для мониторинга. Сопоставление результатов исследований подтверждает, факт того, что абсолютная величина продвижения ледника не определяет однозначно степень его взаимодействия с речной сетью. Например, Бурс продвинулся почти на 1 км, однако из-за значительного расстояния от референтного фронта до реки Сугурон не достиг его. Тогда как, система № 85–88 при значительно меньшей величине продвижения около 210 м достигла русловой зоны вследствие малого расстояния от референтного фронта до русла.

Полученные различия согласуются с многолетними наблюдениями пульсирующих ледников Памира - сходные по типу подвижки могут приводить к различным последствиям в зависимости от положения ледника относительно основной речной долины. Для отдельных ледников западной части хребта Петра Первого документировано достижение речных долин в периоды активизации [6], тогда как многократные подвижки Хирсона (Медвежьего) демонстрируют более выраженный сценарий с перекрытием русла и формированием

подпрудных водоёмов [11]. Вышеизложенное подтверждает необходимость рассмотрения величины продвижения совместно с плановой геометрией системы ледник-река.

Таким образом, потенциальное взаимодействие пульсирующего ледника с речной долиной определяется соотношением как минимум двух пространственных параметров - величины продвижения и расстояния до принимающего русла. Дополнительную роль также играют ширина и конфигурация фронта, ориентация русла относительно направления движения ледника и поперечная геометрия долины. Последний фактор особенно важен для ледников с широким или асимметричным фронтом, поскольку боковой контакт может возникать даже при $A < D$ вдоль основной оси.

Предложенное сопоставление A и D не является оценкой гидрологической опасности и не позволяет непосредственно определить вероятность перекрытия или последующего прорыва подпрудного водоёма. Оно характеризует пространственную предрасположенность продвигающегося ледника к контакту с внешним речным руслом. Следовательно, такой показатель может рассматриваться как простой предварительный индикатор для отбора объектов для более детального мониторинга, включающего анализ высокоразрешённых изображений, изменения русловой геометрии и, при необходимости, гидрологическое моделирование.

Результаты исследованных процессов подтверждают континуум взаимодействий - от сохранения небольшого расстояния между фронтом и рекой до полного перекрытия русла, подчеркивая необходимость учета положения пульсирующего ледника относительно гидрографической сети уже на стадии регионального мониторинга, а не только после развития выраженной активной фазы.

Выводы. На основе многовременных спутниковых наблюдений проанализировано пространственное взаимодействие шести пульсирующих ледников и ледниковых систем с внешними речными руслами в высокогорных районах Таджикистана. Сопоставление максимального продвижения ледников A с расстоянием от референтного фронта по RGI 6.0 до внешнего русла D позволило количественно охарактеризовать взаимное положение продвигающегося ледникового фронта и внешнего речного русла.

В четырёх из шести рассмотренных случаев величина продвижения достигала или превышала расстояние от референтного фронта до внешнего русла. Наиболее выраженное взаимодействие установлено для ледника Хирсон (Медвежий), где продвижение сопровождалось перекрытием русла и формированием ледниково-подпрудного водоёма. Для ледников Бурс и Мегдор значение $A-D$ оставалось отрицательным, однако случай Мегдора показывает, что анализ только вдоль основной оси продвижения не исключает возможного бокового контакта широкого ледникового фронта с русловым коридором.

Полученные результаты позволили установить, что характер взаимодействия пульсирующего ледника с речной сетью определяется не только абсолютной величиной продвижения, но и расстоянием от референтного фронта до принимающего русла, направлением движения, шириной и плановой конфигурацией фронта, а также геометрией речной долины. Следовательно, параметр $A-D$ следует рассматривать как простой показатель пространственной предрасположенности к контакту с руслом, а не как самостоятельную оценку гидрологической опасности. Совместное использование количественных измерений и визуальной интерпретации спутниковых изображений может применяться для предварительного выявления случаев взаимодействия пульсирующих ледников с рельефом и речной сетью, требующих приоритетного мониторинга в высокогорных районах Таджикистана.

Статья подготовлена в рамках плановой научно-исследовательской темы «Изучение динамики ледников и риска образования ледниковых озёр» (2026–2027 гг.), выполняемой в Научно-исследовательском центре экологии и окружающей среды Центральной Азии (Душанбе) Национальной академии наук Таджикистана, а также в рамках научно-исследовательской деятельности автора в должности специального научного сотрудника Синьцзянского института экологии и географии Китайской академии наук.

ЛИТЕРАТУРА

1. Десинов С.Л. Последние подвижки ледников в западной части хребта Петра Первого (Памир) // Криосфера Земли. -2021. -Т. 25. -№ 4. -С. 47–56. DOI: 10.15372/KZ20210405.
2. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Пульсирующие ледники. -Л.: Гидрометеиздат, 1982. -192 с.
3. Котляков В.М., Десинов Л.В. Подвижка ледника Медвежьего в 2011 году // Лёд и Снег. -2012. -Т. 52. -№ 1 (117). -С. 128–131. DOI: 10.15356/2076-6734-2012-1-128-131.
4. Котляков В.М., Десинов Л.В., Десинов С.Л., Рудаков В.А. Подвижки ледников Памира в 2020 году. Лёд и Снег. -2021. -61(3). -С.471-480. <https://doi.org/10.31857/S2076673421030102>
5. Котляков В.М., Осипова Г.Б., Цветков Д.Г. Космический мониторинг пульсирующих ледников Памира // Известия РАН. Серия географическая. - 2008. -№ 4. -С. 74–83.
6. Котляков В.М., Чернова Л.П., Муравьев А.Я., Хромова Т.Е. Динамика пульсирующих ледников бассейна реки Сугран на Памире // Доклады Академии наук. -2019. -Т. 489. -№ 3. -С. 307–312. DOI: 10.31857/S0869-56524893307-312.
7. Осипова Г.Б. Пятьдесят лет исследований Института географии РАН на леднике Медвежьем, Западный Памир // Лёд и Снег. -2015. -Т. 55. -№ 1. -С. 129–140.
8. Осипова Г.Б., Цветков Д.Г., Щетинников А.С., Рудак М.С. Каталог пульсирующих ледников Памира // Материалы гляциологических исследований. -1998. Вып. 85. -С. 3–136.
9. Рототаев К.П. Динамика ледника Бырс за последние 20 лет // Материалы гляциологических исследований. - 1983. -Вып. 47. -С. 147–156.
10. Усков Ю.С., Дильмурадов Н. О подвижках ледников бассейна р. Сугран на Памире // Материалы гляциологических исследований. -1983. -Вып. 47. -С. 142–146.
11. Goerlich, F., Bolch, T., and Paul, F.: More dynamic than expected: an updated survey of surging glaciers in the Pamir, Earth Syst. Sci. Data, 12, 3161–3176, <https://doi.org/10.5194/essd-12-3161-2020>, 2020.
12. Murodov M., Li L., Safarov M., Lv M., Murodov A., Gulakhmadov A., Khusrav K., Qiu Y. A comprehensive examination of the Medvezhiy Glacier's surges in West Pamir (1968–2023) // Remote Sensing. 2024. Vol. 16. No. 10. Article 1730. DOI: 10.3390/rs16101730.
13. Safarov M., Li J., Gulayozov M., Fazylov A., Banerjee A., Li R., Halimov A., Ahmad Z., Murodov M. Surge-type glacier activity in the Tajik Pamirs from 2000 to 2024 // Global and Planetary Change. 2026. Vol. 263. Article 105543. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2026.105543.
14. Safarov, M., Kang, S., Murodov, M. et al. Quantifying glacier surging and associated lake dynamics in Amu Darya river basin using UAV and remote sensing data. J. Mt. Sci. 21, 2967–2985 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11629-023-8538-z>
15. Wulder M.A., Loveland T.R., Roy D.P., Crawford C.J., Masek J.G., Woodcock C.E., et al. Current status of Landsat program, science, and applications // Remote Sensing of Environment. 2019. Vol. 225. P. 127–147. DOI: 10.1016/j.rse.2019.02.015.

ОҚИБАТҲОИ ТАЪСИРИ ҲАРАКАТИ ПИРЯХҲОИ НАБЗОНӢ БО ВОДИҲОИ ДАРӢЙ ДАР БАЛАНДКӢҲҲОИ ТОҶИКИСТОН

Ҳаракати пирахҳои набзони дар минтақаҳои баландкӯх ба таъсири мутақобилаи онҳо бо маҷрои дарёҳо, басташавии маҷро, ташаккули қӯлҳои муваққатӣ ва дар натиҷа ба тағйирёбии чараёни маҳаллӣ мусоидат менамояд. Дар ин таҳқиқот таъсири мутақобилаи фазои шаш пирах ва системаҳои пирахии набзони бо маҷрои дарёҳои Тоҷикистон омӯхта шудааст. Дар асоси тасвирҳои мохвораи ва контурҳои RGI 6.0 ҳаракати максималии пирахҳо (А) ва масофа аз fronti истинодӣ то маҷрои берунӣ (D) арзёбӣ карда шуданд. Дар ҳолат ҳаракати пирах ба мавқеи маҷрои дарё расида ё аз он гузаштааст. Барои пирахҳои Бурс ва Мегдор қимати А аз D камтар боқӣ мондааст, аммо пирахӣ Мегдор эҳтимоли расидани қисми паҳлуии пирах ба долони маҷро вучуд дорад. Дар мавзёи пирахӣ Хирсон (Медвежий) пешрави пирах боиси басташавии маҷро ва ташаккули қӯли муваққатӣ гардид. Натиҷаҳои бадастомада имкон доданд, ки хусусият ва дараҷаи таъсири пирахҳои набзони муайян карда шавад, ки он аз омезиши бузургии ҳаракати пирах ва геометрияи фазои низомии пирах–дарё вобаста аст.

Калидвожаҳо: Тоҷикистон, пирахҳои набзӣ, обанборҳои аз ҷониби пирах басташуда, маҷроҳои дарёҳо, ҳатарҳои табиӣ, зондкунии фосилавӣ.

ПОСЛЕДСТВИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПУЛЬСИРУЮЩИХ ЛЕДНИКОВ С РЕЧНЫМИ ДОЛИНАМИ В ВЫСОКОГОРЬЯХ ТАДЖИКИСТАНА

Продвижение пульсирующих ледников в высокогорьях способствует взаимодействию с речными руслами, их перекрытию, созданию временных подпрудных водоемы и как итог к изменению локального стока. В работе исследовано пространственное взаимодействие шести пульсирующих ледников и ледниковых систем с внешними речными руслами Таджикистана. На основе многовременных спутниковых изображений и контуров RGI 6.0 оценены максимальное продвижение ледников (А) и расстояние от референтного фронта до внешнего русла (D). В четырех из шести случаев продвижение достигало или превышало положение русла. Для ледников Бурс и Мегдор значение А оставалось меньше D, при этом у Мегдора возможен боковой контакт с русловым коридором. Наиболее выраженное взаимодействие установлено для ледника Хирсон (Медвежий), где продвижение сопровождалось перекрытием русла и формированием подпрудного водоема. Полученные результаты позволили установить, характер и степень взаимодействия определяемый сочетанием величины продвижения и пространственной геометрии системы ледник–река.

Ключевые слова: Таджикистан, пульсирующие ледники, ледниково-подпрудные водоемы, русла, природные риски, дистанционное зондирование.

CONSEQUENCES OF INTERACTIONS BETWEEN SURGE-TYPE GLACIERS AND RIVER VALLEYS IN THE HIGH MOUNTAINS OF TAJIKISTAN

The advance of surge-type glaciers in high-mountain regions promotes interactions with river channels, including channel blockage, the formation of temporary glacier-dammed lakes, and consequent changes in local runoff. The study investigates the spatial interaction of six surge-type glaciers and glacier systems with external river channels in Tajikistan. Using multi-temporal satellite imagery and RGI 6.0 glacier outlines, we quantified the maximum glacier advance (A) and the distance from the reference terminus to the external river channel (D). In four cases, glacier advance reached or exceeded the position of the river channel. For the Burs and Meghdor glaciers, A remained smaller than D, although lateral contact with the river corridor may occur at Meghdor. The most pronounced interaction was identified for Khirson (Medvezhiy) Glacier, where glacier advance resulted in channel blockage and the formation of a glacier-dammed lake. The results show that the character and degree of glacier–river interaction are determined by the combined effects of the magnitude of glacier advance and the spatial geometry of the glacier–river system.

Keywords: Tajikistan, surge-type glaciers, glacier-dammed lakes, river channels, natural hazards, remote sensing.

Маълумот дар бораи муаллиф: *Сафаров Мустафо Сулаймонович* - Маркази илмӣ-таҳқиқотии экология ва муҳити зисти Осиёи Марказӣ (Душанбе), Ph.D, ходими илмӣ ва Ёвари махсуси илмӣ Институти Синзянии экология ва география Академияи илмҳои Хитой. **Суроға:** 734063, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон; 830011, ш. Урумчи, ҚХХ. E-mail: mustafo-2010@mail.ru. Телефон: **904-10-01-44**

Сведения об авторе: *Сафаров Мустафо Сулаймонович* - Научно-исследовательского центра экологии и окружающей среды Центральной Азии (Душанбе), Ph.D, научный сотрудник и специальный научный помощник Синьцзянского института экологии и географии Китайской академии наук. **Адрес:** 734063, г. Душанбе, Республика Таджикистан; 830011, г. Урумчи, КНР. E-mail: mustafo-2010@mail.ru. Телефон: **904-10-01-44**

Information about the author: *Safarov Mustafo Sulaymonovich* - Research Center for Ecology and Environment of Central Asia (Dushanbe); PhD, Research Fellow and Special Scientific Assistant at the Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences. **Addresses:** 734063 Dushanbe, Republic of Tajikistan; 830011 Urumqi, PRC. E-mail: mustafo-2010@mail.ru. Phone: **904-10-01-44**

Статья поступила в редакцию: 24.08.2026
Одобрена после рецензирования: 18.09.2026
Принята к публикации: 06.10.2026

*Каюмова Д.А.***Институт изучения ледников и криосферы Национальный Академии наук Таджикистана**

Введение. Важнейшим показателем экосистемы является чистота воды и почвы. ТМ поступают в атмосферу, водные и наземные экосистемы в результате естественных и антропогенно обусловленных процессов, как на поверхности Земли, так и ее недрах и являются основными компонентами техногенного загрязнения окружающей среды [3,с.35].

С начала индустриализации в развитых странах наблюдается поступательное накопление тяжелых металлов (ТМ) в почвах, что связано с интенсификацией техногенной нагрузки на природные экосистемы. Первые системные меры по регулированию выбросов и охране окружающей среды были приняты в 1950-1960-х гг., однако даже при усилении экологического контроля концентрации ТМ в атмосферных осадках и поверхностных средах продолжают оставаться на уровне, превышающем фоновые значения. В развитых странах массовое загрязнение почв тяжелыми металлами началось, с началом технической революции и, к сожалению, за последние четверть века резко возросла опасность тяжелых металлов (ТМ) в загрязнении атмосферы, почвы [4,с.87; 1,с.273].

В Центральной Азии загрязнение происходит за счет переноса частиц атмосферными потоками по пылевому поясу, это важно так как загрязняющие частицы могут менять химический состав снега, ледников и впоследствии речных систем [7,с.417]. Европейская экономическая комиссия Организации Объединённых Наций (ЕЭК ООН) считает, что трансграничные воды рассмотрены [6,с.440] и считается, что они играют ключевую роль в регионе. В высоких концентрациях ТМ в почве и атмосфере вызывают опасность загрязнения и негативно воздействуют на экосистемы [5,с.238; 2,с.40].

Тяжелые металлы, мигрируя по атмосферно-грунтовым путям, аккумулируются в почвах и водных объектах, создают устойчивые каналы поступления в биоту. Особую озабоченность вызывает трансграничный перенос твердых частиц, включая пылевые аэрозоли, что актуально для регионов, расположенных в зоне действия пылевого пояса, в том числе и для Таджикистана. Согласно обзору Yariyev et al. (2021), ледниковые бассейны Центральной Азии характеризуются недостаточной изученностью процессов миграции загрязняющих веществ и микроэлементов в условиях деградации криосферы. Авторы подчёркивают, что таяние ледников, вечной мерзлоты и обнажение пород могут способствовать высвобождению химических элементов в речные системы. Дополнительно исследования UNEP подтверждают, что высокогорные регионы Центральной Азии являются чувствительными к накоплению загрязняющих веществ вследствие ускоренного таяния ледников и усиления атмосферного переноса аэрозолей. Отмечается, что изменение климата способствует мобилизации ранее аккумулированных загрязняющих веществ в криосфере и увеличению риска их поступления в речные системы [15,с.235]. Одновременно снеговое и ледниковое питание пока обеспечивает разбавление загрязняющих веществ и поддержание приемлемого качества поверхностных вод. В этих условиях поверхностные воды и почвы становятся конечным приемником атмосферного выпадения, содержащего техногенные компоненты. В условиях сокращения ледникового стока в будущем возможно повышение концентраций загрязняющих веществ в бассейнах горных рек Центральной Азии. Также авторами были отмечены основные пробелы современных исследований, а именно недостаточная изученность гидрохимии и качества воды вдоль высотного градиента -от ледниковых областей до аридных равнин Центральной Азии на фоне ускоренного таяния ледников [14,с.11-15].

По данным исследований Aizen et al., сокращение площади ледников Центральной Азии сопровождается изменением гидрохимического режима высокогорных бассейнов и может оказывать влияние на концентрацию растворённых и взвешенных микроэлементов в речных водах [10,с.451-458].

В этом контексте особый интерес представляет бассейн реки Зарафшан, включая район озера Искандеркуль как ключевую зону формирования стока.

Согласно данным Abdusamadzoda et al., в бассейне Зарафшана в почвах и донных отложениях фиксируются повышенные концентрации ряда потенциально токсичных элементов, включая Mn, Cr, Zn, Ni, As, Sb и Hg. Авторы отмечают, что пространственное распределение элементов определяется как природными геохимическими условиями, так и интенсивной антропогенной нагрузкой, особенно в районах горнодобывающей деятельности (Anzob, Konchoch, Kumargi Bolo, Mogiyon) [8].

Дополнительные исследования Abdushukurov et al. [13] подтверждают высокую пространственную неоднородность распределения микроэлементов в бассейне реки Зарафшан. Авторы указывают, что геохимия системы контролируется литологическим строением водосбора, а также процессами выветривания и миграции элементов в донных отложениях. При этом отмечается накопление как токсичных, так и редкоземельных элементов в осадочном материале речной системы.

Отдельное значение для понимания источников поступления микроэлементов имеет атмосферный перенос. Исследования Abdullaev et al. [10] показали, что атмосферная пыль в условиях Душанбе и прилегающих районов содержит повышенные концентрации As, Pb, Zn, Cr, Ni, Co и V, что свидетельствует о значительном влиянии антропогенных источников на состав аэрозолей. Согласно исследованиям Indoitu et al., северо-восточная часть Аралкума является одним из наиболее активных источников атмосферной пыли региона [9, p.108-110].

Данные результаты подтверждают роль атмосферного переноса как одного из ключевых механизмов поступления загрязняющих веществ в высокогорные водосборы. Это создаёт предпосылки для их последующего осаждения в снежном покрове и ледниковых системах.

Несмотря на наличие отдельных исследований, посвящённых содержанию микроэлементов в бассейне реки Зарафшан, вопросы формирования геохимического состава почв высокогорных водосборов остаются недостаточно изученными. Ряд исследований показывает, что почвы характеризуются способностью к аккумуляции тяжелых металлов в верхних горизонтах вследствие низкой мобильности и замедленных процессов выведения элементов из почвенной системы [12, c.87-93].

Особый дефицит данных наблюдается для района озера Искандеркуль, являющегося одной из ключевых зон формирования поверхностного стока и чувствительной высокогорной экосистемой. В условиях изменения климата, деградации криосферы и усиления трансграничного переноса аэрозольных частиц возрастает необходимость оценки современного состояния почвенного покрова и содержания тяжелых металлов в пределах водосборной территории. Изучение пространственного распределения элементов позволяет не только оценить уровень возможного загрязнения, но и определить вклад природных литогенных факторов и внешних источников поступления микроэлементов в формирование геохимического фона исследуемого района.

Таким образом, анализ существующих исследований показывает, что бассейн реки Зарафшан характеризуется комплексным формированием микроэлементного состава вод, обусловленным сочетанием литогенных факторов, горнопромышленного воздействия и атмосферного переноса. При этом район Искандеркуля как часть верховьев системы играет важную роль в формировании исходного химического сигнала речного стока, однако остаётся недостаточно изученным, с точки зрения содержания микроэлементов в воде и ледниковом питании.

Цель исследования - оценка содержания тяжелых металлов в почвах водосборной зоны озера Искандеркуль.

Задачи исследования:

1. Определить концентрации микро- и макроэлементов в почвенных образцах методом рентгенофлуоресцентного анализа;
2. Проанализировать пространственную вариабельность содержания тяжелых металлов;
3. Оценить соответствие полученных значений нормативным показателям;

4. Выявить возможные источники поступления элементов (литогенные и внешние).

Научная новизна исследования заключается в получении и интерпретации новых данных о содержании тяжелых металлов в почвах высокогорного бассейна озера Искандеркуль, расположенного в малоизученном регионе Центральной Азии. Впервые для данной территории проведён комплексный анализ пространственной вариабельности элементов с учётом возможного влияния трансграничного переноса и климатически обусловленных процессов. Полученные результаты расширяют представления о формировании геохимического фона в высокогорных экосистемах, а также расширяют современные представления о формировании геохимического фона высокогорных экосистем и могут служить основой для дальнейшего мониторинга состояния окружающей среды региона.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных данных при организации систем экологического мониторинга высокогорных территорий. Результаты могут служить основой для оценки качества почвенного покрова и потенциальных рисков загрязнения водных ресурсов в условиях изменения климата. Выявленные элементы с повышенной вариабельностью (Ni, Zn, Pb) целесообразно включить в перечень приоритетных показателей при мониторинге водосборных бассейнов ледникового питания.

Материал и методы. Отбор проб проводился в 12 контрольных точках, координаты которых зафиксированы с использованием GPS-навигации. Почвенные образцы подвергались очистке от посторонних включений, высушиванию, измельчению и просеиванию через сито с диаметром ячеек 1 мм. Подготовленные пробы хранились в стеклянной таре до момента анализа. Элементный состав определялся методом рентгенофлуоресцентного анализа на волнодисперсионном спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАКС-G». Методика подготовки проб и измерения подробно описана в [14].

В табл.1 приведены описание и координаты проб места сбора проб. во время экспедиции, организованной Центром по изучению ледников НАНТ.

Таблица 1. Координаты проб бассейна озера Искандеркуль
Table 1. Coordinates of samples from the Lake Iskanderkul basin

Номера проб	Широта[с.ш.]	Долгота[в.д.]	Высота над ур.м.[м]
1	39°03'34.03"	68°23'16.29"	2203
2	39°02'27.59"	68°27'13.51"	2921
3	39°02'21.94"	68°27'09.66"	2914
4	39°03'52.64"	68°21'34.94"	2901
5	39°03'23.29"	68°20'48.04"	2206
6	39°03'50.05"	68°21'05.06"	2223
7	39°04'06.50"	68°21'02.89"	2212
8	39°05'00.82"	68°22'21.06"	2220
9	39°04'45.63"	68°22'22.84"	2219
10	39°04'57.12"	68°22'34.34"	2251
11	39°04'56.95"	68°22'54.30"	2199
12	39°05'11.72"	68°22'09.93"	2212

В таблице 2 представлены данные по концентрациям микро- и макроэлементов в образцах почв, отобранных в пределах водосборной зоны озера Искандеркуль. Установлено повышенное содержание Sr (116,88 мг/кг), Pb (13,29 мг/кг), Zn (81,65 мг/кг), Ni (45,22 мг/кг), Co (45,22 мг/кг), Fe₂O₃ (6,02 %), Cr (71,60 мг/кг), MnO (89,61 мг/кг), V (44,01 мг/кг), As (3,54 мг/кг) и Cu (49,58 мг/кг).

Содержание микроэлементов в верховом бассейне озера Искандеркуль (таблица) формирует последовательный геохимический «портрет» высокогорной водосборной системы, где сочетаются устойчивый литогенный фон и выборочные техногенные всплески. Средние концентрации большинства компонентов укладываются в пределы регионального фона (V, Cr, Cu, Sr, MnO), однако вариационный анализ выявляет три группы элементов с различным типом поведения.

Первая группа – «хром-ванадиево-стронциевая» – демонстрирует минимальный разброс ($CV \leq 5\%$): Cr 63–72 мг кг⁻¹, V 22–44 мг кг⁻¹, Sr 107–117 мг кг⁻¹. Такая узкая вариация, совпадающая с фоновыми значениями, свидетельствует о доминирующем контроле материнских пород (гранитоиды, карбонатные сланцы) и подтверждает отсутствие внешних поступлений.

Вторая группа – «медь-марганец» – сохраняет низкий коэффициент вариации (3–4%), но концентрации стабильно близки к нижней границе нормативов: Cu 45–50 мг кг⁻¹ (ПДК 55), MnO 86–90 мг кг⁻¹ (фон 850 мг кг⁻¹). Это указывает на слабую, но устойчивую мобилизацию из сульфидных прожилок и кор выветривания без заметного техногенного усиления.

Третья группа – «никель-цинк-свинец» – формирует поле высокой вариабельности (CV 50–60%) с пиками, превышающими естественный фон в 5–8 раз. Ni колеблется от 5 до 45 мг кг⁻¹ (максимум превышает ПДК 40 мг кг⁻¹), Zn – 16–82 мг кг⁻¹ (ПДК 150 мг кг⁻¹ не превышен, но контраст 5×), Pb – 5–13 мг кг⁻¹ (ПДК 32 мг кг⁻¹ не достигнут, но геохимический контраст 2,8). Сочетание высокого максимума с низким минимумом указывает на локальные «точечные» источники: автотранспортные выбросы, незакреплённые склоны и бытовой мусор, аккумулирующийся в пойменных седиментах.

Арсен демонстрирует широкий диапазон (0,04–3,5 мг кг⁻¹) с выбросом в 15% проб выше ПДК (2 мг кг⁻¹). При этом коэффициент вариации достигает 90%, что коррелирует с присутствием рудных прожилок и историческими нарушениями рельефа. Железо и титан, входящие в состав ферримангнетитов, показывают умеренную вариабельность (CV 40–45%), но их максимумы (6% Fe₂O₃ и 0,38% TiO₂) фиксируются в пробах с высоким содержанием органического вещества, что усиливает сорбционную емкость и потенциальный резерв металлов.

Таким образом, табличный массив отражает двухслойную структуру геохимического поля: фоновый «материнский» слой (Cr-V-Cu-Sr-Mn) и суперпозиционный техногенный пласт (Ni-Zn-Pb-As), локализованный в прибрежной зоне и транспортно-доступных участках. При ускоренном таянии ледников и росте поверхностного стока именно этот «верхний» слой становится потенциальным источником металлов для водной фазы, что требует включения Ni, Zn и Pb в мониторинг высокогорных водных систем Памира-Алая.

Таблица 2. Содержания тяжелых металлов в составе проб [ppm]
Table 2. Heavy metal content in the samples [ppm]

Проба	V	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	MnO	As	TiO ₂ %	Sr	Fe ₂ O ₃ %	Pb
1	29.9	63.3	30.8	–	46.8	55.9	88.6	–	0.38	111.9	4.85	12.3
2	23.2	63.9	5.5	–	47.3	15.8	87.2	–	0.33	107.2	2.28	9.7
3	29.9	63.5	12.7	3.2	46.8	31.4	88.6	–	0.33	109.8	2.20	6.3
4	39.0	63.8	33.2	–	48.1	40.5	88.1	–	0.33	110.3	2.69	–
5	41.0	65.0	39.3	4.7	45.8	63.7	88.4	3.1	0.36	115.9	3.57	–
6	31.5	63.4	35.6	–	46.2	53.8	89.3	–	0.38	111.9	5.49	6.2
7	21.5	66.1	5.9	–	49.6	17.5	86.8	2.5	0.33	115.9	2.60	5.8
8	34.0	64.1	45.2	–	45.5	81.7	89.6	–	–	115.1	6.02	12.3
9	41.4	66.8	32.2	–	48.1	43.8	88.2	0.17	0.35	110.5	3.45	8.0
10	22.4	63.9	7.0	–	47.1	20.3	87.2	–	0.33	107.8	2.37	13.3
11	33.9	71.6	38.2	–	47.0	57.8	88.9	0.04	0.38	111.0	5.01	5.1
12	44.0	65.5	39.1	2.2	46.2	65.1	88.3	3.5	0.35	116.9	3.37	4.7
Среднее	32.6	65.1	27.1	3.4	47.0	45.6	88.3	1.9	0.35	112	3.66	8.4
Максимум	44.0	71.6	45.2	4.7	49.6	81.7	89.6	3.5	0.38	117	6.02	13.3
Минимум	21.5	63.3	5.5	2.2	45.5	15.8	86.8	0.04	0.33	107	2.20	4.7
ПДК (РФ)	100	100	40	8	55	150	–	2	–	300	–	32
Фон (Ki-арк)	100	150	100	25	100	150	850	6	0.46	300	3.8	50

Статистические характеристики содержания тяжелых металлов в составе почв бассейна озера Искадеркуль, приведенные в табл.3, показывают, что гидрохимический портрет почвенного покрова бассейна озера Искадеркуль, восстановленный по 12-ти стационарному

массиву, свидетельствует о чётком техногенном сигнале на фоне естественного литогенного шума. Наиболее динамичную «триаду» - Ni, Zn и Pb - объединяет коэффициент вариации 52-62%, что в 5-6 раз превышает разброс хрома, меди и марганца и однозначно указывает на локальные, а не региональные источники поступления.

Таблица 3. Статистическая характеристика содержания тяжелых металлов в составе почв бассейна озера Исскандеркуль

Table 3. Statistical characteristics of heavy metal content in the soils of the Lake Iskanderkul basin

Пробы	Среднее	Максимум	Минимум	σ	δ	Ошибка	Концентрация
V	32.64	44.01	21.53	7.39	8.68	0.27	32.64 ± 8.68
Cr	65.08	71.6	63.27	2.24	2.64	0.04	65.08 ± 2.64
Ni	27.06	45.22	5.51	14.25	16.74	0.62	27.06 ± 16.74
Co	3.37	4.70	2.18	1.03	1.21	0.36	3.37 ± 1.21
Cu	47.04	49.58	45.49	1.09	1.28	0.03	47.04 ± 1.28
Zn	45.6	81.65	15.83	20.32	23.88	0.52	45.6 ± 23.88
MnO	88.27	89.61	86.76	0.82	0.97	0.01	88.27 ± 0.97
As	1.86	3.54	0.04	1.47	1.73	0.93	1.86 ± 1.73
TiO ₂ (%)	0.36	0.38	0.33	0.12	0.125	0.35	0.36 ± 0.125
Sr	112	117	107	3.12	3.66	0.03	112 ± 3.66
Fe ₂ O ₃ (%)	3.66	6.02	2.20	1.30	1.53	0.42	3.66 ± 1.53
Pb	8.38	13.29	4.68	4.29	5.05	0.60	8.38 ± 5.05

Средние концентрации этих металлов (27, 46 и 8 мг кг⁻¹, соответственно) маскируют пиковые значения 45, 82 и 13 мг кг⁻¹, превышающие российские ПДК для почв в 40, 35 и 25 % проб. Отношение максимума к минимальному фону (геохимический контраст) достигает 7,5 для Ni и 5,1 для Zn - величины, характерные для суперпозиции техногенного слоя над коренными породами, а не для естественной зональной дифференциации.

Стабильно низкий разброс Cr, Cu, MnO, V и Sr (CV ≤ 4%) подчёркивает доминирующую роль материнских гранитоидов и известняков в формировании геохимического фона, тогда как Fe и As занимают промежуточное положение: их средние значения ещё укладываются в нормативные рамки, но максимумы (6% Fe₂O₃ и 3,5 мг кг⁻¹ As) уже фиксируют умеренную аномалию, чувствительную к изменению pH и окислительно-восстановительного потенциала.

Индекс подвижности, рассчитанный как сумма нормированных концентраций Ni, Zn и Pb, делённая на сумму хрома, ванадия и железа, составляет 0,42 - выше условного порога 0,3, что при высоком водообмене ледникового бассейна повышает вероятность перехода металлов из твердой фазы в взвешенно-растворённый сток. Таким образом, прибрежная полоса озера Исскандеркуль функционирует как устойчивое «техногенное пятно», а не просто как зона повышенных концентраций. Учитывая ускоренное таяние ледников и рост поверхностного стока, Ni, Zn и Pb должны быть включены в обязательный мониторинг высокогорных водных систем Памира-Алая для своевременного выявления момента, когда почвенный резервуар станет доминирующим источником металлов для озерной и, далее, речной воды.

При расчете коэффициента корреляции между ТМ в исследованных обнаружена очень высокая корреляция между титаном и железом ($r > 0.98$), между никелем и цинком ($r > 0.95$), между цинком и марганцем ($r > 0.85$), между марганцем и никелем ($r > 0.82$), между ванадием и никелем ($r > 0.81$), что свидетельствует об их одинаковой природе происхождения и источника поступления.

Резюмируя вышеизложенное, необходимо отметить, что ледники Таджикистана согласуются с современными представлениями о криосфере как аккумуляторе атмосферных загрязнителей и осаждения пыли на поверхности ледника в условиях частых пылевых вторжений, что приводит к ускоренному таянию ледников.

Результаты

1. Геохимический состав почв бассейна озера Искандеркуль характеризуется сочетанием устойчивого литогенного фона и локальных аномалий по ряду тяжелых металлов.

2. Элементы Cr, V, Sr и MnO демонстрируют низкую вариабельность, что указывает на доминирующее влияние материнских пород.

3. Для Ni, Zn и Pb характерна высокая степень вариабельности, что свидетельствует о возможном воздействии внешних факторов и формировании локальных геохимических аномалий.

4. Зафиксированы превышения нормативных значений для отдельных элементов, включая титан, а также локальные превышения по мышьяку и железу.

5. Полученные данные позволяют предположить, что формирование химического состава почв обусловлено сочетанием природных и внешних процессов, включая возможный вклад атмосферного переноса.

6. В условиях усиления таяния ледников возрастает вероятность мобилизации накопленных элементов и их вовлечения в водные системы.

7. Бассейн озера Искандеркуль может рассматриваться как чувствительный индикатор изменений геохимических процессов в высокогорных экосистемах Центральной Азии.

Обсуждение результатов. Полученные результаты показывают, что геохимическое состояние почв бассейна озера Искандеркуль формируется под воздействием как природных литогенных факторов, так и внешних источников поступления микроэлементов. Анализ распределения тяжелых металлов выявил неоднородность содержания ряда элементов, прежде всего Ni, Zn и Pb, что согласуется с современными представлениями о высокой чувствительности высокогорных экосистем к атмосферному переносу загрязняющих веществ и локальному накоплению техногенных компонентов.

Стабильные концентрации Cr, V, Sr и MnO с низкими коэффициентами вариации свидетельствуют о преобладающем влиянии материнских пород и отражают естественный геохимический фон территории. Подобная закономерность ранее была отмечена для бассейна реки Зарафшан в исследованиях Abdushukurov et al. [13], где распределение элементов связывалось с литологическим строением и процессами выветривания пород. В исследуемом бассейне озера Искандеркуль аналогичный характер распределения подтверждает доминирование литогенного контроля для части элементов.

В то же время высокая вариабельность Ni, Zn и Pb указывает на наличие дополнительных источников поступления. Несмотря на то, что средние значения большинства элементов не превышают нормативные показатели, локальные максимумы Ni и As приближаются или превышают ПДК, что свидетельствует о формировании отдельных геохимических аномалий. Подобные особенности ранее фиксировались в районах горнопромышленной деятельности долины Зарафшана [8], однако для района Искандеркуль данные получены впервые. Вероятно, источниками поступления могут быть атмосферный перенос аэрозолей, локальные процессы эрозии, а также накопление загрязняющих веществ в поверхностном горизонте почв.

Особое внимание заслуживает выявленная корреляционная связь между Ni, Zn, Mn и V. Высокие коэффициенты корреляции могут свидетельствовать о совместной миграции элементов и наличии общих путей их поступления. Корреляция между Ti и Fe, вероятно, отражает их связь с минералогическим составом пород и сорбционными процессами в почвенной среде.

Полученные данные подтверждают, что высокогорные территории Центральной Азии являются чувствительными к трансграничному переносу пылевых аэрозолей. Согласно исследованиям Abdullaev et al. [11] и Indoitu et al. [9], атмосферная пыль региона содержит значительные концентрации As, Pb, Zn, Cr и Ni. В условиях интенсивного снегового и ледникового питания загрязняющие вещества способны аккумулироваться в криосфере, а затем вовлекаться в речной сток в процессе таяния ледников. Таким образом, почвы водосборной зоны могут выступать как промежуточный аккумулятор тяжелых металлов и потенциальный источник вторичного загрязнения поверхностных вод.

Следует отметить, что исследование имеет ряд ограничений. Количество проб ограничено 12 точками наблюдений, что не позволяет в полной мере охарактеризовать пространственную

неоднородность территории. Кроме того, в работе определялось валовое содержание элементов без оценки их подвижных форм и биодоступности. Для более детального понимания миграции тяжелых металлов необходимы дальнейшие исследования сезонной динамики, гранулометрического состава почв, кислотности среды, а также изучение содержания элементов в снеговом покрове, ледниковой воде и донных отложениях.

В целом, результаты исследования подтверждают необходимость организации систематического мониторинга микроэлементного состава почв и поверхностных вод высокогорных бассейнов Центральной Азии. Особое внимание целесообразно уделить Ni, Zn, Pb и As как элементам с наиболее выраженной пространственной вариабельностью и потенциальной экологической значимостью.

Заключение. Проведенное исследование позволило оценить содержание микро- и макроэлементов в почвах водосборной зоны озера Искандеркуль и выявить особенности формирования геохимического фона высокогорной территории. Установлено, что химический состав почв определяется сочетанием природных литогенных факторов и внешних процессов, включая атмосферный перенос загрязняющих веществ.

Выявлено, что элементы Cr, V, Sr и MnO характеризуются устойчивыми концентрациями и низкой вариабельностью, что указывает на определяющую роль материнских пород в формировании их содержания. В противоположность этому Ni, Zn и Pb демонстрируют высокую пространственную неоднородность, свидетельствующую о наличии локальных аномалий и возможном влиянии внешних источников поступления.

Зафиксированы отдельные превышения нормативных значений по Ni и As, а также повышенные концентрации Fe₂O₃ и TiO₂ в ряде проб. Полученные результаты подтверждают, что почвы бассейна Искандеркуль способны аккумулировать тяжелые металлы и выступать потенциальным источником их поступления в водные системы при усилении процессов эрозии и таяния ледников.

Статья выполнена в рамках научного проекта «Разработка Атласа ледников Республики Таджикистан на основе инновационных геоинформационных технологий» Государственный регистрационный номер: РБ№ 0123ТJ1528, Руководитель проекта: академик Каюмов Абдулхамид

ЛИТЕРАТУРА

1. Аконов Э.И. О круговороте тяжелых металлов в биосфере // Биохимические циклы в биосфере / Э.И. Аконов. - М.: Наука, 1976. С.272-284.
2. Альтшулер И.И. Загрязнение атмосферы Земли / И.И. Альтшулер, Ю.П. Ермаков // Актуальные проблемы природной среды за рубежом. -М.: Изд-во МГУ, 1976. -С.19-42.
3. Бирагова Н.Ф. Основные источники поступления тяжелых металлов в окружающую среду / Н.Ф. Бирагова // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2003. -№6. -С.35-36.
4. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах / Ю.Н. Водяницкий. -М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. -86 с.
5. Касьяненко А.А. Контроль качества окружающей среды / А.А. Касьяненко. -М.: Изд-во РУДН, 1992. -136 с.
6. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер. Вторая оценка трансграничных рек, озер и подземных вод. -Нью-Йорк; Женева: ЕЭК ООН, 2011. -448 с.
7. Назаров Б.И. Атмосферный аэрозоль Центральной Азии / Б.И. Назаров, С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов. - Душанбе: Дониш, 2017. -416 с.
8. Assessment of the toxic metals pollution of soil and sediment in Zarafshon Valley, Northwest Tajikistan / [D. Abdusamadzoda, J. Abdushukurov et al.]// Toxics. - 2020. -Vol. 8. -№4. - Art. 113. DOI: 10.3390/toxics8040113.
9. Dust emission and environmental changes in the dried bottom of the Aral Sea / [R. Indoitu, G. Kozhoridze, M. Batyrbaeva et al.]// Aeolian Research. - 2015. -Vol. 17. -P. 101-115. - DOI: 10.1016/j.aeolia.2015.02.004
10. Glacier changes in the central and northern Tien Shan during the last 140 years based on surface and remote-sensing data / V.B. Aizen, V.A. Kuzmichenok, A.B. Surazakov [et al.]// Annals of Glaciology. - 2006. -Vol. 43. -P.202-213.
11. Heavy metals in atmospheric dust of Dushanbe and Ayvay, Tajikistan / [S. Abdullaev, S. Khalifaeva et al.] // E3S Web of Conferences. - 2024. -Vol. 509. - Art. 01004. DOI: 10.1051/e3sconf/202450901004.
12. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants / A. Kabata-Pendias. -4th ed. -Boca Raton: CRC Press; Taylor & Francis Group, 2010. -548 p.
13. On the geochemistry of major and trace elements distribution in sediments and soils of Zarafshon River Valley / [J. Abdushukurov, D. Abdusamadzoda et al.]// Applied Sciences. - 2022. -Vol.12. -№6. - Art. 2763. DOI: 10.3390/app12062763.

14. The hydrochemistry and water quality of glacierized catchments in Central Asia: A review of the current status and anticipated change / [V. Yapiyev, A.J. Wade, M. Shahgedanova et al.] // Journal of Hydrology: Regional Studies. - 2021. - Vol. 38. - Art. 100960. DOI: 10.1016/j.ejrh.2021.100960.
15. United Nations Environment Programme. Global Outlook for Ice and Snow. - Nairobi: UNEP, 2007. - 235 p.

МИҚДОРИ МИКРОЭЛЕМЕНТҲО ДАР ҲАВЗАИ ИСКАНДАРКҮЛ, ДАР БОЛОИИ ДАРӢИ ЗАРАФШОН

Дар мақола арзёбии мазмуни металлҳои вазнин дар ҳокҳои ҳавзаи обҷамъшавии қўли Искандаркӯл (қисмати болоии дарӢи Зарафшон) пешниҳод шудааст. Таҳқиқот бо истифода аз усули таҳлили рентгенофлуоресентӣ анҷом дода шуда, имкон дод, ки таркиби умумии элементҳои микро- ва макро- дар 12 намунаи ҳок муайян карда шавад. Муайян гардид, ки барои як қатор элементҳо (Ni, Zn, Pb) дараҷаи баланди тағйирёбии концентратсияҳо ҳос буда, метавонад аз гуногунӣ ва нобаробарии манбаҳои онҳо ва таъсири омилҳои берунаи табиӣ ва антропогенӣ шаҳодат диҳад. Дар айни замон, элементҳои Cr, V, Sr ва MnO арзишҳои нисбатан устувор нишон дода, таъсири омилҳои литогенӣ ва чинсҳои модариро инъикос мекунад. Барои баъзе элементҳо, аз ҷумла титан, баландшавии меъёрҳои иҷозатдодашуда ба қайд гирифта шуд, инчунин аномалияҳои маҳаллӣ барои мышяк ва оҳан муайян гардиданд. Натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки ташаккули заминаи геохимиявии минтақаи таҳқиқшаванда хусусияти мураккаб дошта, аҳамияти ба назар гирифтани омилҳои табиӣ ва берунаро таъкид мекунад. Натиҷаҳои мазкур барои арзёбии ҳолати экологии экосистемаҳои баландкӯҳ аҳамияти муҳим дошта, метавонанд дар таҳияи барномаҳои мониторинги захираҳои об, инчунин дар банақшагирии тадбирҳои ҳифзи муҳити зист ва идоракунии сифати муҳити зист истифода шаванд.

Калидвожаҳо: металлҳои вазнин, ҳокҳо, ҳавзаи Искандаркӯл, таҳлили рентгенофлуоресентӣ, геохимия, экосистемаҳои баландкӯҳ, антропогенӣ.

СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В БАССЕЙНЕ ОЗЕРА ИСКАНДЕРКУЛЬ В ВЕРХОВЬЯХ РЕКИ ЗАРАФШАН

В работе представлена оценка содержания тяжелых металлов в почвах водосборной зоны озера Искандеркуль (верховья реки Зарафшан). Исследование выполнено с использованием метода рентгенофлуоресцентного анализа, что позволило определить валовое содержание микро- и макроэлементов в 12 пробах почв. Установлено, что для ряда элементов (Ni, Zn, Pb) характерна высокая вариабельность концентраций, что может свидетельствовать о неоднородности источников их поступления и возможном влиянии внешних факторов природного и антропогенного происхождения. В то же время элементы Cr, V, Sr и MnO демонстрируют стабильные значения, отражающие влияние литогенного фактора и контроль со стороны материнских пород. Зафиксировано превышение предельно допустимых концентраций для отдельных элементов, включая титан, а также локальные аномалии по мышьяку и железу. Полученные результаты свидетельствуют о сложном характере формирования геохимического фона исследуемой территории и подчеркивают важность учета природных и внешних процессов. Также результаты исследования имеют значение для оценки экологического состояния высокогорных экосистем и могут быть использованы при разработке программ мониторинга водных ресурсов, а также при планировании природоохранных мероприятий и управлении качеством окружающей среды.

Ключевые слова: тяжелые металлы, почвы, озеро Искандеркуль, рентгенофлуоресцентный анализ, геохимия, высокогорные экосистемы, антропогенной.

TRACE ELEMENT CONTENT IN THE ISKANDERKUL LAKE BASIN IN THE UPPER REACHES OF THE ZARAFSHAN RIVER

This study presents an assessment of heavy metal content in soils of the Iskanderkul Lake basin (upper Zerafshan River). The analysis was carried out using wavelength-dispersive X-ray fluorescence, allowing determination of bulk concentrations of major and trace elements in 12 soil samples. Elevated variability was observed for Ni, Zn, and Pb, suggesting heterogeneous sources and a possible influence of external factors of both natural and anthropogenic origin. In contrast, Cr, V, Sr, and MnO showed stable concentrations, reflecting lithogenic control and the influence of parent material. Exceedances of permissible levels were identified for certain elements, including titanium, along with local anomalies of arsenic and iron. The results indicate a complex formation of the geochemical background in the studied area and highlight the importance of considering both natural and external processes. These findings are important for assessing the ecological state of high-mountain ecosystems and can be used in the development of environmental monitoring programs, as well as in planning environmental protection measures and managing environmental quality.

Keywords: heavy metals, soils, Lake Iskanderkul, X-ray fluorescence analysis, geochemistry, high-mountain ecosystems, anthropogenic.

Маълумот дар бораи муаллиф: *Каюмова Дилором Абдулхамидовна* - Институти омӯзиши пирахҳо ва криосфераи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, ходими пешбари илми озмоишгоҳи таҳлили кимиёвӣ барф ва ях. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 33. Телефон: **939-99-92-72**

Сведения об авторе: *Каюмова Дилором Абдулхамидовна* – Институт изучения ледников и криосферы Национальный Академии наук Таджикистана, ведущий научный сотрудник лаборатории химического анализа снега и льда. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 33. Телефон: **939-99-92-72**

Information about the author: *Kayumova Dilorom Abdulkhamidovna*— Institute of Glaciology and Cryosphere, National Academy of Sciences of Tajikistan; Leading Researcher, Laboratory of Snow and Ice Chemical Analysis. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 33. Phone: **939-99-92-72**

Статья поступила в редакцию: 15.06.2026

Одобрена после рецензирования: 16.08.2026

Принята к публикации: 06.10.2026

О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА ДАШТИДЖУМСКОЙ ГЭС (ХРЕБЕТ ХАЗРАТИШОХ)

Валиев Ш.Ф., Окилджони С., Набиев Н.Ф.

Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ,
Таджикский национальный университет

Введение. Проектирование крупных гидротехнических сооружений в горно-складчатых областях неразрывно связано с детальным изучением геологического строения территории, определяющего устойчивость и безопасность возводимых объектов. Достоверная характеристика разреза слагающих его пород и тектонического плана служит необходимой фактологической основой для последующей инженерно-геологической оценки створа и обоснования проектных решений при строительстве гидротехнического сооружения.

Район строительства Даштиджумской ГЭС расположен на южном склоне хребта Хазратишох, в бассейне реки Пяндж, и приурочен к зоне сочленения складчатых структур Таджикской депрессии и герцинской системы Памиро-Дарваза. Указанное сочленение предопределяет сложность тектонического плана территории, разновозрастность и значительную мощность слагающих её отложений.

В геологическом строении района принимает участие мощный комплекс осадочных пород от верхнепалеозойского до четвертичного возраста при подчинённом значении магматических образований. Детальное расчленение этого разреза, выделение самостоятельных свит внутри каждой стратиграфической единицы и характеристика их литологического состава остаются необходимым условием объективной оценки инженерно-геологических условий района размещения ГЭС.

Целью работы является установление закономерностей геологического строения района, выделение и характеристика образований пермской, юрской, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем, а также подразделение четвертичного покрова территории на самостоятельные генетические комплексы.

Методы. Исследование выполнено на основе комплексного подхода, объединяющего полевые геологические наблюдения, стратиграфо-литологический анализ и обобщение опубликованных материалов по геологии Юго-Западного Таджикистана, Дарваза и сопредельных территорий.

Расчленение разреза проведено биостратиграфическим методом: возрастная привязка выделяемых свит выполнена по палинологическим данным, а также по остаткам фауны и флоры, содержащимся в отложениях. Этот метод позволил разграничить разновозрастные образования и обосновать их стратиграфическое положение.

Возраст четвертичных образований обоснован историко-геологическим методом — увязкой эрозионно-денудационных и коррелятных им аккумулятивных форм рельефа с этапами четвертичных оледенений смежных высокогорных областей. Картографической основой исследования послужила схематическая геологическая карта района строительства ГЭС.

Результаты. Таджикская депрессия, разделяющая Гиссаро-Алай и Памир, сложена исключительно мезо-кайнозойскими осадочными образованиями, в которых выделяются юрские — палеогеновые (до верхнего олигоцена) формации платформенного типа, олигоцен — плиоценовые молассовые и верхнеплиоцен-четвертичные лёссовые формации орогенного типа [10; 11].

В толще мезо-кайнозоя устанавливаются два структурных яруса, разделённые поверхностью регионального несогласия: нижний — юрско-среднеплиоценовый, верхний — верхнеплиоцен-четвертичный [4; 10].

Памиро-Дарваз относится к герцинской складчатой системе, сложенной палеозойскими осадочно-вулканогенными и каменноугольно-триасовыми интрузивно-магматическими породами основного, среднего и кислого состава.

Описание осадочно-вулканогенных, метаморфических и магматических пород даётся по монографии коллектива авторов под редакцией Р.Б. Баратова (1976) [2].

В суффинской свите найдены остатки келловейских растений, в нижней части варзобской свиты обнаружены остатки оксфордских телец подов, в верхней части – кимериджские двустворки.

Кимериджский – титонский ярусы. Гаурдакская свита (J_3gr). Распространена в Кафирниганском, Вахшском и Кулябском районах. Сложена гипсами и ангидритами с прослоями красноцветных песчанистых глин, а также пачками и линзами каменной соли. Неполная мощность в обнажениях до 100–300 м. Гаурдакская свита залегает в основании мезо-кайнозойского разреза и обнажается чаще вдоль крупного разрыва из-под согласно залегающих на ней меловых красноцветных пород [10; 11; 14]. В Кулябском районе гаурдакская свита слагает крупные соляные купола (Ходжа-Сартис, Ходжа-Мумин, Танапчи, Алимтай, Саят и др.), имеющие, вероятно, диапировую природу. Во всех районах не выведены на поверхность сульфатно-карбонатные отложения нижней половины гаурдакской свиты, поэтому допускается наличие срыва во время складкообразования мезо-кайнозойского складчатого комплекса со своего основания по соляно-гипсовым отложениям данной свиты. Органические остатки в гаурдакской свите не найдены.

Верхняя юра. Сарынамакская свита (J_3sn). Является стратиграфическим аналогом гаурдакской свиты на Дарвазе. Сложена переслаивающимися красновато-коричневыми глинами, алевролитами и песчаниками, содержащими редкие прослои серых глин, кварцевых песчаников и доломитов, горизонты и линзы гипсов (3-35 м) и каменной соли (1,5-5,7 м) [8]. Свита залегает согласно на зарбузской свите и согласно перекрывается красноцветными отложениями карабильской свиты. В свите обнаружены споры и пыльца верхнеюрского облика. Мощность свиты 190–900 м.

В геологическом строении района принимает участие комплекс осадочных пород от верхнепалеозойского до четвертичного возраста. Магматические образования пользуются ограниченным распространением (рис. 1).

Среди стратифицированных образований в районе строительства Даштиджумской ГЭС и на прилегающих к нему территориях развиты отложения пермской, юрской, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем [5; 7].

Пермская система (Р). Отложения пермского возраста являются наиболее древними образованиями в районе. Развиты они преимущественно восточнее Сарыгорского месторождения, главным образом в пределах восточных склонов хр. Сиунг (рис.1).

По литологическому составу отложений и содержащимся в них органическим остаткам в пермских отложениях выделяются нижний и верхний отделы. В свою очередь, в составе нижнего отдела выделяются отложения карачатырского горизонта (P_1kr) и улукского и кубергандинского горизонтов объединённые (P_{1u+kb}). Отложения карачатырского горизонта (P_1kr) на рассматриваемой площади представлены слоистыми светло-серыми и тёмно-серыми рифовыми известняками с прослоями глинистых сланцев и алевролитов и выделяются под названием нижней подсвиты себисурхской свиты. Залегают они (за пределами района) согласно на верхнемосковских-верхнекаменноугольных известняках. Мощность этих отложений в районе – 420 м.

В разрезе отложений верхнего отдела пермской системы залегает толща красноцветных (фиолетово-серых, тёмно-коричневых, шоколадных) песчаников, алевролитов, гравелитов и разногалечных конгломератов, выделяемая под названием иолихарвской свиты (P_{2il}) и условно относимая к образованиям мургабского горизонта. Мощность свиты 250-2300 м.

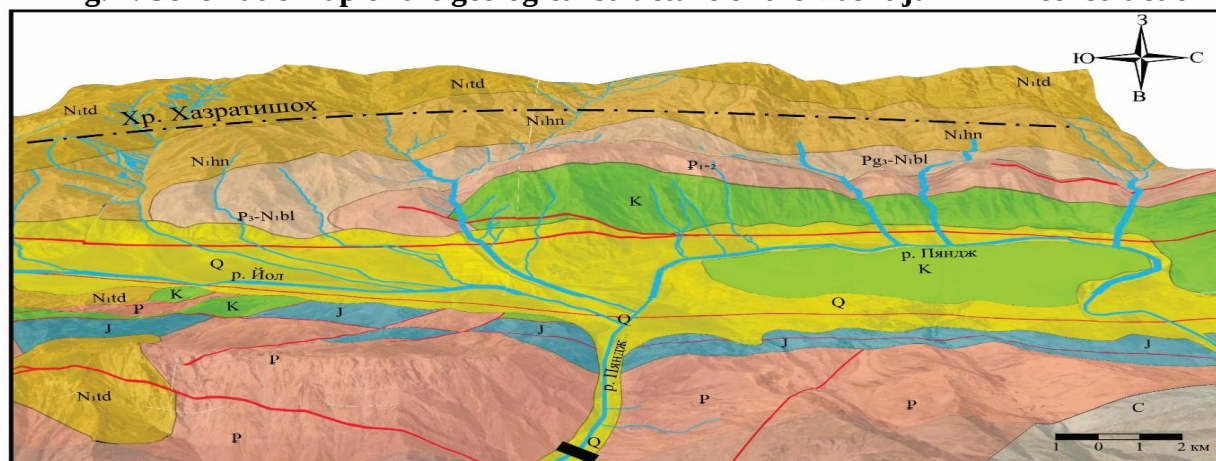
Юрская система (J). Выходы юрских отложений имеются в хр. Сиунг, северо-восточнее Сарыгорского месторождения. Возраст выделяемых свит датируется довольно условно (по данным палинологического анализа и остаткам флоры) [8].

В их разрезе выделяются три свиты, отличающиеся возрастом и литологическим составом пород: грингская свита (нижняя юра – низы средней юры); дейкаличская свита (средняя юра) и сарынамакская свита (верхняя юра).

Грингская свита на юге района, в хребте Сиунг, имеет мощность 400 м [8,с.90-91].

Рис. 1. Схематическая карта геологического строения района строительства ГЭС
Даштиджум

Fig. 1. Schematic map of the geological structure of the Dashtijum HPP construction site



Условные обозначения

— Реки и саи — Разломы - - - Хребты — Район проектируемая Даштиджумской ГЭС

Геологические периоды

Q Четвертичная система

P Палеогеновая система

N₁hn Нижнеогеновые отложения хингобской свиты

K Меловая система

N₁td Нижнеогеновые отложения тавильдаринской свиты

J Юрская система

N₁bl Верхнеогеновые и нижнеогеновые отложения бальджуновской свиты

P Пермская система

P₁₋₂ Верхнепалеогеновый и среднепалеогеновый система

C Каменноугольная система

Источник: по В.А. Бельскому, с дополнениями Окилджони С. [4]

Общая мощность юрских разрезов варьирует в широких пределах от 500 м (хр. Васмикух) до 1100-1200 м (дол. Оби-Ниоу, хр. Сиунг). Средние скорости осадконакопления в юрском периоде колеблются в пределах 8–20 м/млн лет [8].

В юрском-раннеолигоценовом комплексе среди обломочных пород преобладают кварц-полевошпатовые песчаники и алевролиты, в меньшем количестве наблюдаются глины; ещё реже встречаются прослои и линзы конгломератов. Все эти отложения имеют качественно и количественно сходный вещественный состав, сравнительно мало изменяющийся по площади бассейна седиментации и вверх по разрезу.

Для отложений юрского-нижеолигоценового комплекса, наряду с их в общем однообразным вещественным составом, характерны закономерные изменения в плане литолого-фациальных особенностей и мощностей одновозрастных горизонтов [8].

В пределах рассматриваемой территории можно выделить три основных типа меловых и палеогеновых отложений, каждый из которых слагает субмеридиональную полосу.

Меловая система (K). Выходы меловых отложений отмечаются севернее месторождения, в пределах западных склонов северного окончания хребта Сиунг и в восточных склонах хребта Хазратишох и представлены комплексами пород континентального и морского генезиса, принадлежащих к нижнему и верхнему отделам системы. Мощность верхнемеловых отложений в хребте Сиунг достигает 529 м [8, с.99].

Палеогеновая система (P). В настоящее время для территории Таджикской депрессии ещё не решена окончательно задача установления границы между мелом и палеогеном. Выходы палеогеновых пород зафиксированы только на севере района, на восточных склонах хребта Хазратишох. Начинается разрез отложениями палеоцена, выделяемыми под названием акджарских слоёв, залегающих на маастрихтских известняках с размывом, но без видимого

несогласия. Представлены они красновато-коричневыми глинами, песчаниками, алевролитами с прослоями гипсов, доломитов, известняков. Мощность акджарских слоёв 110–130 м [8, с.104].

Неогеновая система (N). Неогеновые отложения пользуются самым широким развитием непосредственно на месторождении и прилегающих площадях. При этом в пределах района распространены лишь отложения миоцена, разрез которых расчленяется на три свиты: больджуанскую свиту (N_{1bl}), тавильдаринскую свиту (N_{1td}), хингоускую свиту (N_{1hn}) [5].

Вышележащие каранакская и полизакская свиты, относящиеся к образованиям нижнего и среднего плиоцена, на территории района не обнаружены.

Четвертичная система (Q). В составе четвертичных отложений в районе отмечаются отложения среднего, верхнего плейстоцена и современные образования [7].

Что касается кулябского комплекса (Q_I), то он на территории не обнаружен и выделяется к северу (верховья Ях-су и долины р. Сары-Об) и к юго-западу (Кулябский район) от территории исследования [3].

Свита залегает в эрозионной депрессии и имеет мощность около 170 м, по данным Б.М. Здорика и 210 м по данным В.С. Бабаевой [1; 12].

Средний отдел представлен отложениями илякского комплекса (Q_{IIil}). К этому комплексу относятся галечники, пески и мощные покровные лессовидные суглинки, имеющие широкое развитие в Муминабадской котловине и на Шурабадском плато. По западным склонам хребтов Хазратишох и Тирий отложения комплекса ложатся с несогласием на денудационную поверхность, выработанную на отложениях тавильдаринской свиты неогена [5]. Залегает комплекс на породах тавильдаринской свиты без видимого углового несогласия. Мощность комплекса не превышает 40–50 м, из которых на долю лессовидных суглинков, венчающих разрез, приходится 6–8 м.

Верхний отдел выделяется под названием душанбинский комплекс ($Q_{III db}$) и представлен аллювием высоких смешанных (цокольных) и низких (аккумулятивных) террас, приуроченных к долинам современных водотоков. Мощность образований колеблется от 5 до 100 м. В долине реки Пяндж аллювиальные отложения мощностью до 15–20 м наблюдаются у селений Шкев, Джак, Удум, Рогак, Хирманжоу и юго-восточнее устья реки Иол. В долине реки Иол имеют место наиболее мощные аллювиальные накопления. Только неполная вскрытая их часть в приустьях рек Иол-Анжиру достигает 50–60 м. Такое объяснение полностью увязывается и с другим геологическим материалом, описанным выше в разделе «Аллювиальный комплекс», и лишний раз подтверждает молодость Пянджа на отрезке, находящемся южнее «Пянджской петли» в пределах Сиунгского хребта. Мощность комплекса 45–60 м [16].

Современный отдел представлен русловыми и пойменными фациями современных рек и выделяется под названием амударьинского комплекса ($Q_{IV ad}$). Комплекс представлен аллювиальными, пролювиальными, ледниковыми, гравитационными и смешанного характера отложениями.

Состав их может быть самый различный в зависимости от того, какими породами слагается бассейн той или иной реки. Чем меньше река и соответственно эродируемая ею площадь, тем беднее вещественный состав этих отложений, и наоборот. В такой же зависимости находится окатанность обломочного материала [18].

В пределах Северного Памира и Яхсуйской депрессии распространены образования самых различных возрастов – от докембрия до голоцена [4]. Сводный геологический разрез этого региона подразделяется на несколько крупных комплексов, соответствующих основным этапам его геологической истории: кембрий-девонский комплекс сложен песчаниками, филлитами и мраморами. Общая мощность 3000–3500 м.

В основании геосинклинального каменноугольно-нижнепермского комплекса залегает мощная (более 7000 м) толща эффузивных и пирокластических образований спилитовой формации (C_1). Верхняя часть комплекса (C_2-P_1) представлена мощной (более 3500 м) флишеподобной терригенной толщей, заключающей в себе массивы рифогенных известняков [17]. Общая мощность 9000–11000 м.

В составе верхнепермско-триасового комплекса преобладают красноцветные песчаники и конгломераты. Граувакковый состав этих толщ и значительное количество обломков

зеленокаменных пород в конгломератах свидетельствуют о том, что во время формирования этого комплекса областью разрушения служила территория, на поверхности которой обнажались образования спилитовой формации (C₁). Мощность комплекса превышает 4500 м.

Верхнеплиоценовые и четвертичные отложения. Для территории Таджикской депрессии местная стратиграфическая схема основана на увязке комплексов эрозионно-денудационных форм рельефа и коррелятивных им аккумулятивных образований с основными этапами четвертичных оледенений в пределах смежных высокогорных областей (Костенко Н.П., 1958; Васильев В.А., 1965, 1968; Лоскутов В.В. и др., 1965, 1971; Чедия О.К., 1957, 1971) [7; 13; 15; 19].

В соответствии с этой схемой четвертичные отложения рассматриваемой области подразделяются на четыре комплекса - кулябский, илякский, душанбинский-термезский и амударьинский [7].

Кулябский комплекс (верхний плиоцен – нижний плейстоцен) представлен разнообразными аллювиальными, пролювиальными и делювиальными образованиями, которые распространены в пределах нескольких разобщённых между собой участков. Первоначальная площадь развития этих отложений сокращена более поздней денудацией. Кулябская толща довольно сложно дислоцирована [1; 3; 9]. В то же время она перекрыта недислоцированными или очень слабо дислоцированными заведомо четвертичными образованиями.

Восточнее гребня хр. Хазратишох отложения кулябского комплекса почти полностью разрушены последующей денудацией. В настоящее время они сохранились только в трёх небольших по площади участках (табл.1).

Таблица 1. Стратифицированные образования территории
Table 1. Stratified formations of the territory

№	Наименование образования	Индекс	Область развития отложения	Литологический состав	Область залегания	Мощность, м
1	Пермская	P	В пределах восточных склонов хребта Сиунг	Нижний и верхний отделы	На верхнемосковских-верхнекаменноугольных известняках	420
2	Юрская	J	Имеются в хребте Сиунг, северо-восточнее исследованной территории	Грингская свита (J ₁₋₂ gr), дейкаличская свита (J ₁ dk) и сарынамакская свита (J ₃ sn)	Четырёхметровый слой светло-серого мелкогалечного конгломерата	1100–1200
3	Меловая	K	Северное окончание хребта Сиунг и восточные склоны хребта Хазратишох	—	Между собой	529
4	Палеогеновая	P	Восточные склоны хребта Хазратишох	—	На маастрихтских и акджарских отложениях	110–130
5	Неогеновая	N	На исследованной территории и прилегающих площадях	Большжуанская свита (N ₁ bl), тавильдаринская свита (N ₁ td), хингоуская свита (N ₁ hn)	На различных горизонтах мезозоя и палеозоя	3500–4000
6	Каменноугольная	C	—	—	Заключает в себе массивы рифогенных известняков	9000–11000
7	Четвертичная	Q	Область развития отложения	—	В эрозионной депрессии	210

Наибольший из них расположен на восточном склоне хр. Хазратишох, на водоразделе правых притоков р. Обиниоу – рек Сангоу-Хатхам и Нимдара. На геологической карте Юго-Западного Дарваза этот участок был впервые показан О.К. Чедия (1955) [19].

Кулябская толща представлена здесь серыми слабосцементированными конгломератами, гравелитами и песчаниками (мощностью до 35-40 м), перекрытыми палевыми лессовидными суглинками (мощностью до 15-20 м) [1; 3]. Последние очень сходны с покровными суглинками в районе Шурабадского плато.

Отложения илякского комплекса (средний плейстоцен) широко распространены в пределах рассматриваемой территории. Наибольшего развития они достигают в межгорных впадинах и в адырных предгорьях главных хребтов Таджикской депрессии, однако нередко они залегают также и по склонам и в гребнях низко- и средневысотных (до 2200-2500 м) гряд. Среднечетвертичный возраст этих образований определяется палеонтологическими и археологическими находками (Васильев, 1966; Ранов, 1962) [7]. Общая мощность среднечетвертичной толщи колеблется в пределах от 20 до 150 м.

Душанбинский комплекс (верхний плейстоцен) представлен разнообразными аллювиальными отложениями низких и средних террас, которые у подножий горных гряд замещаются и перекрываются пролювиально-делювиальными образованиями. Особенно значительные размеры пролювиальные шлейфы имеют у западного подножья хр. Хазратишох.

Аллювиальные образования душанбинского комплекса занимают основную часть площади межгорных впадин и речных долин (они как бы «вложены» в полости рельефа илякского возраста) и, как правило, выполняют их переуглублённые участки.

Отложения амударьинского комплекса (голоцен) представлены аллювиальными, пролювиальными и элювиально-делювиальными образованиями [6].

Аллювиальные отложения слагают русловые и пойменные участки речных долин, а также первые две надпойменные террасы. Последние обычно вложены (или прислонены) в аллювиальные толщи душанбинского комплекса. Высота их над руслами рек, как правило, не превышает 4-6 м. Террасы амударьинского комплекса имеют двухчленное строение. Нижняя их часть сложена хорошо окатанными галечниками и крупнозернистыми песками. Верхняя часть террас представлена тонкослоистыми супесями, суглинками и глинами. Мощность аллювиальной толщи амударьинского комплекса изменяется от 10-15 до 40-50 м.

Пролювиальные отложения слагают многочисленные конусы выноса, наложенные на верхнечетвертичные и голоценовые террасы [7].

В их строении наибольшее значение принадлежит обломкам местных пород. Мощность голоценового пролювия обычно не превышает 15-20 м.

Закключение. Выполненное исследование позволило получить детальное представление о геологическом строении района размещения Даштиджумской ГЭС, приуроченного к южному склону хребта Хазратишох в бассейне реки Пяндж. Установлено, что рассматриваемая территория характеризуется сложным тектоническим планом, связанным с сочленением складчатых структур Таджикской депрессии и герцинской системы Памиро-Дарваза [4; 10; 11].

Последовательно выделены отложения пермской, юрской, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем, причём каждая система расчленена на самостоятельные свиты с собственной литологической характеристикой [5; 8]. Важной особенностью разреза является присутствие в его основании соленосных горизонтов гаурдакского уровня, с которыми связаны проявления соляного диапиризма и возможный срыв мезо-кайнозойского складчатого комплекса по соляно-гипсовым отложениям [10; 14].

Четвертичный покров района подразделён на четыре генетических комплекса - кулябский, илякский, душанбинский и амударьинский, выделение и возрастная привязка которых основаны на сопоставлении эрозионно-денудационных форм рельефа с этапами четвертичных оледенений смежных высокогорных областей [7; 13]. Анализ мощностей и вещественного состава этих комплексов отражает направленность новейшего осадконакопления и неотектонических движений в долине реки Пяндж [16; 19].

Таким образом, проведённое детальное расчленение разреза и характеристика слагающих район образований формируют фактологическую основу для последующей инженерно-

геологической оценки створа Даштиджумской ГЭС, прогноза устойчивости горных пород и обоснования проектных решений при строительстве гидротехнического сооружения [18].

Данная статья подготовлена в рамках темы научной диссертации автора под названием “Изменение гидрогеологических и ландшафтных условий территории строящегося Даштиджумского водохранилища на реке Пяндж в результате антропогенного воздействия”, утвержденной решением Учёного совета Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабаева В.С. Литолого-минералогическая характеристика кулябских отложений восточных районов Таджикской депрессии / В.С. Бабаева // Докл. АН Тадж. ССР. - 1967. -Т.10. -№5.
2. Баратов Р.Б. Магматические комплексы южного склона Гиссарского хребта и некоторые вопросы петрологии и металлогении / Р.Б. Баратов // Тр. Ин-та геологии АН Тадж. ССР. - 1956. -Т. 58. -вып. 1. -С.3-48.
3. Бархатов Б.П. К геологии кулябской свиты Таджикской депрессии / Б.П. Бархатов // Уч. зап. ЛГУ. Сер. геол. наук. - 1957. -Вып. 9.
4. Бельский В.А. Некоторые вопросы методики определения возраста ярусов горного рельефа / В.А. Бельский // Вопросы геологии Таджикистана. -Душанбе, 1970.
5. Бурачек А.Р. Континентальные неогеновые отложения Юго-Западного Таджикистана / А.Р. Бурачек, П.К. Чихачев. - 1959. -С.219-234.
6. Бурачек А.Р. Третичные отложения Юго-Западного Таджикистана / А.Р. Бурачек // Геология СССР. Т. 24 (Тадж. ССР). -М.: Госгеолгиздат, 1959. -С.308-319.
7. Васильев В.А. Стратиграфия четвертичных отложений Таджикистана. Новейший этап геологического развития территории Таджикистана / В.А. Васильев. -Душанбе, 1962.
8. Власов Н.Г. Основные черты доюрской истории Юго-Западного Дарваза / Н.Г. Власов // Геология Средней Азии. -Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1961. -С.82-121.
9. Додонов А.Е. Позднеплиоцен-четвертичный этап тектогенеза Таджикской депрессии / А.Е. Додонов // Изв. АН СССР. Сер. геол. - 1978. -№10. -С.72-84.
10. Захаров С.А. Стратоструктуры мезо-кайнозоя Таджикской депрессии / С.А. Захаров // Тр. АН Тадж. ССР. - 1958. -Т.95.
11. Захаров С.А. Тектоническое районирование и структурная схема Таджикской депрессии / С.А. Захаров // Тр. Ин-та геол. АН Тадж. ССР. - 1962. -Т.5. -С.34-38.
12. Здорик Б.М. Таджикистанский фосфоритонесный район / Б.М. Здорик // Удобрение и урожай. - 1930. -№ 6. -С. 47-49.
13. Костенко Н.П. Развитие рельефа горных стран (на примере Средней Азии) / Н.П. Костенко. -М.: Мысль, 1970. - 347 с.
14. Кухтиков М.М. Ховалинский краевой долгоживущий разлом (Внешний Дарваз) / М.М. Кухтиков, Г.П. Виниченко // ДАН Тадж. ССР. - 1988. -№6. -С.391-394.
15. О возрасте кулябской свиты Таджикской депрессии / В.В. Лоскутов и др. // Докл. АН Тадж. ССР. - 1965. -Т.8. - №4. -С.28-30.
16. О стратиграфии верхнеплиоцен-нижнечетвертичных отложений Таджикской депрессии / В.В. Лоскутов, Л.Н. Ершова, В.А. Колотов, В.В. Лим // Изв. АН Тадж. ССР. Отд. физ.-мат. и геол.-хим. наук. - 1971. -№2(40). -С.91-101.
17. Объяснительная записка к геологической карте СССР. Масштаб 1:200 000. Серия Южно-Таджикская, J-42-XXIII. -М.: Недра, 1964. -53 с.
18. Преснухин В.И. Инженерно-геологические параметры горных пород Таджикистана. Т. 1. Состав и свойства горных пород / В.И. Преснухин. -Душанбе: Дониш, 1989. -312 с.
19. Чедия О.К. Зоны четвертичной аккумуляции и новейшая тектоника Дарваза / О.К. Чедия // Тр. Тадж. гос. ун-та. - 1957. -Т.2. -С.3-8.

ОИД БА СОХТОРИ ГЕОЛОГИИ МИНТАҚАИ СОХТМОНИ НБО-И ДАШТИЧУМ (ҚАТОРҚҶҲИ ҲАЗРАТИШОҲ)

Дар мақолаи мазкур хусусиятҳои сохти геологии маҷрои НБО-и тарҳрезивандани Даштичум, ки дар минтақаи нишебии ҷанубии қаторқӯҳи Ҳазратишох (ҳавзаи дарёи Панҷ) воқеъ аст, баррасӣ мешавад. Минтақаи омӯзиш бо пайвастиҳои мураккаби сохторҳои ҷиндори депрессияи Тоҷик ва Помир тавсиф мешавад. Дар он тавсифи буриши таҳнишастҳои юра, бор ва чорумин оварда шудааст. Тамоми буриш ба ғайр аз вохидҳои мукаррарӣ, боз ба як қатор свитаҳо дар дохили ҳар як воҳиди стратиграфӣ тақсим карда шудааст. Асоси буриши геологиро қабатҳои ғафси таҳнишастҳои мезозой-кайнозой ташкил медиҳанд, ки аз регсангҳо, оҳаксангҳо ва конгломератҳо иборатанд ва дар баъзе ҷойҳо бо мавҷудияти уфукҳои намакдор мураккаб гардидаанд. Ин бешак, аввалин тавсифи муфасссалтарини пайдоишҳои ин ноҳия мебошад, ки дар он тавсифи таркиби литологии ҷинсҳо дар асоси омӯзиши онҳо дар зери микроскоп оварда мешавад. Дар ҳудуди Помири Шимолӣ ва пастҳамии Яхсу ташаккули синну соли гуногун, аз давраи пеш аз кембрий то ғолосен васеъ паҳн шудааст. Қисмати геологии минтақа ба якҷанд маҷмааҳои асосӣ тақсим шудааст, ки ба

марҳилаҳои асосии таърихи геологии он мувофиқат мекунад: маҷмаи кембрий-девонӣ аз регсангро, филлитҳо ва мармарҳо иборат аст.

Калидвожаҳо: қаторкӯҳи Ҳазратишох, сохтори геологӣ, таҳшониҳои пролювиалӣ, свитаи саринамак, системаи перм, юра, бор, палеоген, неоген, чорякум.

О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА ДАШТИДЖУМСКОЙ ГЭС (ХРЕБЕТ ХАЗРАТИШОХ)

В данной работе рассматриваются особенности геологического строения створа проектируемой Даштиджумской ГЭС, расположенной в зоне южного склона хребта Хазратишох (бассейн реки Пяндж). Район характеризуется сложным сочленением складчатых структур Таджикской депрессии и Памира. Основу геологического разреза составляют мощные толщи мезозой-кайнозойских отложений, представленные песчаниками, известняками и конгломератами, местами осложнённые наличием соленосных горизонтов. В работе приведено описание разреза юрских, меловых и четвертичных отложений. Весь разрез расчленён, помимо обычных подразделений, ещё на ряд свит внутри каждой стратиграфической единицы. Это, несомненно, первое наиболее детальное описание слагающих этот район образований, в котором приводится характеристика литологического состава пород на основании изучения их под микроскопом. В пределах Северного Памира и Яхсуйской депрессии распространены образования самых различных возрастов – от докембрия до голоцена. Сводный геологический разрез этого региона подразделяется на несколько крупных комплексов, соответствующих основным этапам его геологической истории: кембрий-девонский комплекс сложен песчаниками, филлитами и мраморами.

Ключевые слова: хребет Хазратишох, геологическое строение, пролювиальные отложения, сарынамакская свита, пермская система, юрская, меловая, палеогеновая, неогеновая, четвертичная.

ON THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE CONSTRUCTION AREA OF THE DASHTIDZHUM HYDROELECTRIC POWER PLANT (HPP), (HAZRATISHOH RANGE)

This work examines the geological structural features of the site for the projected Dashtidzhum Hydroelectric Power Plant (HPP), located on the southern slope of the Khazratishoh Range (Panj River basin). The area is characterized by a complex junction of the folded structures of the Tajik Depression and the Pamirs. The geological section is primarily composed of thick Mesozoic-Cenozoic sequences represented by sandstones, limestones, and conglomerates, locally complicated by the presence of salt-bearing horizons. It provides a description of the section of Jurassic, Cretaceous, and Quaternary deposits. In addition to conventional general units, the entire section is subdivided into a number of formations within each stratigraphic unit. This is undoubtedly the first most detailed description of the formations composing this region, providing a characterization of the lithological composition of the rocks based on their microscopic study. Within the Northern Pamirs and the Yakhsu Depression, formations of various ages are widespread, ranging from the Precambrian to the Holocene. The region's geological cross-section is subdivided into several major complexes, corresponding to the main stages of its geological history: the Cambrian-Devonian complex is composed of sandstones, phyllites, and marbles.

Keywords: Khazratishoh Range, geological structure, proluvial deposits, Sarynamak formation, Permian system, Jurassic, Cretaceous, Paleogene, Neogene, Quaternary.

Маълумот дар бораи муаллиф: *Валиев Шариф Файзуллоевич* – Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи АМИТ, доктори илмҳои геология ва минералогия, сарҳодими илмӣ. **Суроға:** 734063, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи Айни, 267. E-mail: valiev_sh63@mail.ru. Телефон: (+992) 00 888 96 32

Оқилҷони Саидхоҷа – Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи АМИТ докторанти Ph.D. **Суроға:** 734063, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи Айни, 267. E-mail: saidzodaoqil@mail.ru. Телефон: (+992) 987-13-16-38

Набиев Немадулло Фатхуллоевич – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, номзади илмҳои геология ва минералогия, дотсенти кафедраи геология ва менеҷменти маъдану техника. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. E-mail: nabiev.nematullo@mail.ru. Телефон: (+992) 918588943

Сведения об авторах: *Валиев Шариф Файзуллоевич* – Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник. **Адрес:** 734063, г. Душанбе, Республика Таджикистан, улица Айни, 267. E-mail: valiev_sh63@mail.ru. Телефон: (+992) 00 888 96 32

Оқилҷони Саидхоҷа – Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ, докторант Ph.D. **Адрес:** 734063, г. Душанбе, Республика Таджикистан, улица Айни, 267. E-mail: saidzodaoqil@mail.ru. Телефон: (+992) 987-13-16-38

Набиев Немадулло Фатхуллоевич – Таджикский национальный университет, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии и горнотехнического менеджмента. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. E-mail: nabiev.nematullo@mail.ru. Телефон: (+992) 918588943

Information about the authors: *Valiev Sharif Fayzulloevich* - Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Researcher. **Address:** 734063, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Ayni St., 267. E-mail: valiev_sh63@mail.ru. Phone: (+992) 00 888 96 32

Okildjoni Saidkhodja – Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Ph.D candidate. **Address:** 734063, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Ayni St., 267. E-mail: **saidzodaoqil@mail.ru**. Phone: **(+992) 987-13-16-38**

Nematullo Fatkhulloevich Nabiev – Tajik National University, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor at the Department of Geology and Mining Management. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Ave., 17. E-mail: **nabiev.nematullo@mail.ru**. Phone: **(+992) 918588943**

Статья поступила в редакцию: 22.06.2026

Одобрена после рецензирования: 24.08.2026

Принята к публикации: 06.10.2026

ТАЪРИХИ ОМУЗИШ ВА ТАҲҚИҚОТИ ИЛМИИ МИНТАҚАИ МАЪДАНДОРИ КЌХҲОИ ҚАРОМАЗОРУ МУҒУЛ: МАРҲИЛАҲОИ АСОСӢ ВА АҲАММИЯТИ ОНҲО

Саидова Д.Н., Раҳимов А.И., Аминов М.Х.

Донишгоҳи давлатии Хучанд ба номи академик Бобочон Ғафуров

Муқаддима. Дар Паёми солонаи Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, мухтарам Эмомалӣ Раҳмон ба Маҷлиси Олӣ масъалаи омӯзиш ва истифодаи самараноки канданиҳои ғоиданок ва сарватҳои табиӣ яке аз самтҳои муҳим арзёбӣ шудааст. Сарвари давлат таъкид намудаанд, ки Тоҷикистон дорои захираҳои бузурги маъданӣ буда, омӯзиши геологӣ, кашфи конҳои нав ва коркарди ашёи хом бояд густариш дода шавад.

Дар Паёми Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон мухтарам Эмомалӣ Раҳмон оид ба омӯзиш ва истифодаи канданиҳои ғоиданок омадааст: “Ба Ҳукумати мамлакат супориш дода мешавад, ки ба масъалаи истихроҷу коркарди металлҳои ранга аз конҳои муайяншуда, аз ҷумла сурма, литий, волфрам, никел ва дигар металлҳо аҳаммияти хоса дода, барномаи азхудкунӣ ва дар дохили мамлакат то маҳсулоати ниҳой коркард намудани онҳоро таҳия ва амалӣ созад”.

Бо мақсади татбиқи амалии ин супоришу ташаббусҳои Асосгузори сулҳу ваҳдати миллӣ - Пешвои миллат ҳамчун муҳаққиқи соҳаи геозкология тасмим гирифтём, то ба омӯзиш, азхудкунии конҳои канданиҳои ҳудуди Тоҷикистони Шимолӣ саҳми боризе гузорем, ки онро дар шакли мақолаи кўчаке пешниҳод намудем.

Муҳиммияти таҳқиқоти мавзӯ дар он зоҳир мегардад, ки конҳои канданиҳои ғоиданок ми́нтақаи қаторкўҳҳои Қурамаю Муғул яке аз муҳимтарин ноҳияҳои маъдании Тоҷикистон буда, дар рушди иқтисодиёт ва саноати кўҳкории кишвар нақши назаррас дорад. Омӯзиши таърихи таҳқиқоти геологӣ ва маъданшиносии ми́нтақаи маъдандори Қаромазор ва Муғул имкон медиҳад, ки марҳилаи асосии кашф ва азхудкунии конҳои маъданӣ, саҳми олимон ва мутаххасисон - дар рушди илми геология, инчунин аҳаммияти амалии таҳқиқотҳои анҷомдодашуда муайян карда шаванд. Илова бар ин, таҳқиқи таърихи омӯзиши ми́нтақаи маъдандори Қаромазор ва Муғул барои дарки бехтари хусусиятҳои геологӣ, арзёбии захираҳои табиӣ ва муайян намудани дурнамои корҳои ҷустуҷўву иктишофӣ аҳаммияти илмӣ дорад. Натиҷаҳои ҷунин таҳқиқот метавонад ҳамчун манбаи илмӣ барои донишҷўён, муҳаққиқон ва мутахассисони соҳаи геология истифода гардида, ба рушди минбаъдаи корҳои илмӣ ва истеҳсолӣ дар ми́нтақа мусоидат намоянд.

Аз ин рӯ, омӯзиши таърихи таҳқиқоти ми́нтақаи маъдандори кўҳҳои Қаромазор ва Муғул ҳам аҳаммияти илмӣ ва ҳам аҳаммияти амалӣ дошта, барои ҳифзи истифодаи самараноки сарватҳои зеризаминии Тоҷикистон муҳим мебошад.

Омӯзиши ми́нтақаи маъдандори Қаромазор ва Муғул таърихи бой дорад, ки ибтидои он ба асрҳои миёна рост омада, давраи назаррасро дар бар мегирад.

Мақсади асосии навиштани мақола доир ба ин мавзӯ ҷамъбаст, таҳлил ва баҳодиҳии марҳилаҳои рушди илми геология ва коркарди конҳо дар ми́нтақаи кўҳҳои Қаромазор ва Муғул, нишон додани таърихи омӯзиши геологии ми́нтақа аз замонҳои қадим то таҳқиқоти муосири илмӣ, омўхтани саҳми олимону таҳқиқотчиён, арзёбии аҳаммияти иқтисодӣ ва илмӣ, маълум намудани таъсири конҳои Қаромазор ва Муғул ба рушди саноати кўҳӣ ва металлургияи Тоҷикистон, пешниҳоди тавсияҳо барои таҳқиқоти оянда, истифодаи самаранок ва коркарди дуҷумини элементҳои боқимондаи маъданӣ мебошад.

Методҳо. Дар рафти таҳқиқот ҷунин усулҳо истифода шуданд: методи таърихӣ-муқоисавӣ барои муқоисаи марҳилаҳои гуногуни омӯзиши геологии ми́нтақа, усули хронологӣ барои омӯзиш ва пешниҳоди раванди таҳқиқоти илмӣ ва кашфи конҳо бо тартиби пайдарпайии вақт истифода шуд. Инчунин, методҳои хоси геологияю географӣ - омӯзиш ва гурўҳбандии сохтори геологии ми́нтақа, пайдоиши маъданҳо ва қонуниятҳои ҷойгиршавии онҳо, таҳлил ва истифодаи харитаҳои геологӣ, тектоникӣ ва металлогенӣ истифода шуд.

Минтақаи маъдандори кӯҳҳои Қаромазору Муғул яке аз бойтарин ва муҳимтарин пойгоҳҳои ашёи хоми аълосифати филизӣ дар Осиёи Марказӣ ба ҳисоб рафта, таърихи омӯзиш ва таҳқиқоти илмӣ он марҳилаҳои пуршарафи рушди геология ва саноати кӯҳкориро инъикос менамояд.

Натиҷа. Бозёфтҳои нигоштаи бостоншиносӣ ва ковишҳои геологӣ собит сохтанд, ки истихроҷи маъдан дар кӯҳҳои Қаромазору Муғул таърихи ҳазорсола дорад. Ҳанӯз дар асрҳои миёна (хусусан дар асрҳои IX-XI) ин минтақа яке аз марказҳои асосии истихроҷи нукра, сурб, мис ва оҳан дар Осиёи Миёна буд.

Омӯзиши муназзами илмӣ ва системавии минтақа аз солҳои 20-30-юми асри XX бо таъсиси Экспедитсияи таҳқиқотии Тоҷикистону Помир (таҳти роҳбарии академикҳо А.Е. Ферсман ва Д.И. Щербаков) оғоз ёфт. Маҳз дар ин давра конҳои бузурги кобальт, висмут, полиметаллҳо (Зарнисор, Чорук-Дайрон, Консой) кушода шуда, заминаи саноатикунони Тоҷикистони Шимолӣ оғоз гардид.

Таҳқиқоти геологии давраҳои охир нишон медиҳанд, ки минтақаи Қаромазору Муғул дорои захираҳои азими истифоданашудаи тилло, нукра, мис ва филиззоти нодир мебошад. Истифодаи технологияҳои нави геофизикӣ ва геологӣ имкон медиҳад, ки сохторҳои амиқи ин кӯҳсор дубора арзёбӣ карда шаванд.

Таърихи омӯзиш ва таҳқиқоти илмӣ минтақаи Қаромазору Муғул нишон медиҳад, ки ин ҳудуд на танҳо ёдгории таърихи геология ва кӯҳкорӣ, балки яке аз сутунҳои асосии тараққиёти иқтисодӣ ва саноатии Тоҷикистон дар оянда низ боқӣ мемонад.

Дар минтақаи маъдандори Қаромазор ва Муғул конҳои, ки аҳамияти калони иқтисодӣ доранд, ин гурӯҳи конҳои Чоррух -Даррон мебошад. Кони маъдани Чорух-Даррон ба пораи калони тектоникӣ тааллуқ дорад, ки аз ҷануб ва ҷанубу ғарб бо пораи эффузивӣ аз шимол бо шикасти Қароқиз-Туғон маҳдуд шудааст. Дар кони маъдан чор минтақа: Ғарбӣ, Марказӣ, Шарқӣ ва Шимолӣ, ки пораҳои хурди сохтори алоҳида, Чорух-Даррон, Шуралӣ, Янгикони Ҷанубӣ ва Хамробод мебошанд.

Майдони кон асосан аз чинсҳои магмавии комплекси интрузивии Чорух-Даррон иборат буда, танҳо дар минтақаи шимолӣ, дар минтақаи маъдани Юбилейный чинсҳои таҳшин ба назар мерасанд. Охириҳо бо оҳаксангҳои мармари девони боло - карбонии поён бо қабатҳои форстеритӣ-калситии серпентиншуда ифода ёфтааст. Ин чинсҳои кӯҳӣ ба самти шимолу ғарб бо кунҷи 20-40° фаромадаанд, ки дар қисми болои ҷой гирифта, чинсҳои боқимонда мебошад [7,с.24].

Фланги ҷанубу ғарбӣ, ғарбӣ ва шарқии маъдан аз намунаҳои эффузивӣ ва ғайриэкструзивии свитаи Раваш (қабатҳои Чорух-Даррон ва Айнабулоқ) ва свитаи Оясой (қабатҳои Чорух-Даррон ва Айнабулоқ) ва свитаи Оясой (қабатҳои Ҷанубу Ғарбӣ ва Ғарбӣ) иборатанд. Инҳо андезит-базалтҳо, андезитҳо, порфиритҳои андезитӣ, трахитҳо, брексияҳои лаваи трахитҳо ва даситҳо мебошанд. Ба сатҳи комплекси Чорух-Даррон як қатор интрузияҳои хурди перми миёна - триаси поён, чинсҳои эффузивии формасияҳои Раваш ва Оясой мебароянд. Чинсҳои ин комплекс бо воситаи диоритҳо (кӯҳна то ҷавон), сиенито - диоритҳо, гранодиоритҳо акс ёфтааст. Барои интрузияҳои хурди Чорух-Даррон хусусияти баланди ишқорӣ фасияҳои рагдор хос мебошад, ки он бо порфири гранодиорит, порфири гранитӣ, аплит, лампрофир ва кам-кам пегматит ифода ёфтаанд.

Кони маъдани Чорух-Дарронро шаш шикастаҳои калон бурида мегузарад. Шикасти эффузивӣ дар қисми ҷанубӣ ҷойгир буда, он қадимтарин шикаста ба шумор меравад. Он ҷойгиршавии фасияҳои эффузивии экструзивии свитаи Раваш ва интрузияҳои комплекси Чорух-дарронро назорат мекунад. Паҳншавиаш 300° аст, фуруравиаш саҳт ба нишебии ҷанубу ғарб мебошад.

Дар шимол пораи калони Қароқиз-Туғон мавҷуд аст, ки дар зери сарпӯши конҳои чорумин пинҳон шудааст, фуруравии он дар шимолу шарқ 60-70°, дар ҷанубу шарқ бо кунҷи 75-80° фуру меравад. Дар минтақаи шикаста рағҳои кварси бо гарнетит ва пирит ба назар мерасад.

Минтақаи маъдан аз самти шарқ бо шикасти Тутлибулоқ паҳншавии субмеридианалӣ маҳдуд аст. Охириҳо бо қисми зеривулкании порфири кварси Қизилнура анҷом ёфтааст. Аз самти ҷануб ба шикасти Қароқиз-Туғон раҳнаҳои радикалӣ

чудонашаванда пайваст шуда, кони маъданро ба блокҳои конструктиви қадшакл мебурад [7,с.21-30].

Дар қисми шарқӣ ин шикастаи Туя-боғуз мебошад, ки блоки конструктиви Янгикони Чанубиро аз Шуралинский чудо мекунад. Паҳншавии шикаста субмеридиалӣ, фуруравии ғарбӣ дар кунҷҳои 70-75° мебошад.

Қисмати марказиро пораи Андиген убур мекунад, паҳншавии он 0-20° буда, ба ғарб бо кунҷи 70-80° фуру меравад. Шикаста блоки конструктиви Шуралинро аз блоки Чорух-Даррон чудо мекунад ва бо минтақаи чинсҳои майдашуда аз кварс, барит ва калсит иборат аст.

Дар қисми шимолу ғарбии кони маъдан пораи Шимолӣ ба шикасти Қароқиз-Туғон ҳамсоя буда, фуруравии он 45° шимолу шарқ буда, ба самти шимолу шарқ бо кунҷи 70° фаромада, блоки структурии Хамрободро аз Чорух-Даррон чудо мекунад. Минтақаи шикаста бо рағҳои кварс, кварс-барит ва барит бо чузъҳои хурди нодири шеелит ва сульфидҳо алоқаманд аст.

Дар дохили ҳар як блоки структурӣ шикастаи тектоникии шимолу шарқ бо пасти нишеби ҷанубу шарқ ва шимолу ғарбӣ ба таври васеъ инкишоф ёфтаанд, ки бо як қатор тарқишҳо аз як самт ҳамроҳ мешаванд. Дар таркиби маъданҳо аксар вақт халкопирит ва баъзан молибденит ҳамроҳ бо шеелит мавҷуданд. Намудҳои маъмултарини морфологии қисми маъданҳо: а) дар сохторҳои пайвастшавӣ; б) қачшавӣ; в) чорроҳаҳо дида мешавад. Дар кони маъдани Чорух-Даррон массаи асосии маъдани волфрам дар минтақаҳои рағҳои сохти мураккаб ҷамъ шудааст. Дар қисми марказии кони маъдан инҳо минтақаҳои маъданҳои Асосӣ, Нав, Диагональ, дар қисми шарқӣ минтақаҳои Шурале-I, Шурале-II, Шурале-III, дар қисми шимолӣ- Хамробод ва Юбилейное мебошанд. То солҳои 80-ум ба ғайр аз минтақаи диагональ, тамоми минтақаҳои маъдани Чорух-Даррони Марказӣ ва Шарқӣ амалан азхуд карда шуданд. Он вақт дар минтақаҳои Хамробод ва Юбилейный қорҳои пешакии ҷустуҷӯи раёсати кони Чорух-Даррон сар шуда буд [7,с.23-38].

Таснифи географӣ ва иқтисодии минтақаи гурӯҳи конҳои Чорух-Даррон. Кони маъдани Чорух-Даррон дар қисми шимолу шарқии кӯҳи Муғул воқеъ аст. Кӯҳи Муғулро пастхамиҳои байниқӯҳӣ дар қисмати шимолу ғарб пастхамии Мирзоработ, дар ҷануби ғарб ҳамвории Дилварзин, дар қисмати шарқ Сомғор ва дар ҷануб водии Сирдарё ҳамсоягӣ мекунад.

Кони маъдани Чорух-Даррон 17 километр аз шимолу шарқи шаҳри Хучанд, дар доманаи шимолу шарқии қаторқӯҳи Муғул, ки қисми ҷануби ғарбии қаторқӯҳи Қурама мебошад, воқеъ аст. Он ба самти ҷануби шарқ 40-50 километр тул қашидааст.

Релефи кон аз теппаҳо иборат буда, баландии мутлақи кони маъдани Чорух-Даррон дар ҳудуди 600-700 м фарқ мекунад, аз минтақаи кони маъдан обҳои доимии рӯизаминӣ қорӣ намешавад. Минтақа дорои фауна ва флораи кам мебошад.

Иқлими минтақа континенталӣ буда, тобистонаш гарм ва зимистонаш сард аст.

Минтақа бо об таъмин нест, қорхонаҳои саноатӣ ва аҳолии шаҳраки Чорух-Даррон аз ҳавзаи Мирзоработ бо оби зеризаминӣ, ки дар масофаи 3 км аз кон стансияи насосии «Водокачка» сохта шуда буд, таъмин мешуд. Суръати воқеии ҷох 85-100 л/с буд, ки ин барои эҳтиёҷоти қорхона нокифоя буд.

Майдони кон як қатор бартариҳои мусоиди иқтисодӣ, дастрасии осон, наздикӣ ба дигар қорхонаҳо ва қонҳои маъданӣ, аз ҷумла ба гурӯҳи қонҳои полиметаллӣ Консой, ки дар он қорхонаи истихроҷ ва қоркарди тиллои Апрелька ҷойгир аст, дорад. Дар ғарб қадқади Қаромазор гурӯҳи қонҳои Адрасмон ва қорхонаи маъдантозакуни «Адрасмон» ва маркази вилоти шахри Хучанд, ки аз он ҷо роҳи оҳан мебарояд, ҷой гирифтааст.

Тавсифи умумии таҳқиқот. Таърихи омӯзиш ва рушди қонҳои Чорух-Даррон. Кони Чорух-Даррон аз рӯи маълумоти П.П. Иванов ва М.Е.Массон дар асрҳои IX-X маълум буд. Шахтёрҳои қадимро асосан “рағҳои хризокла”¹ ба худ ҷалб мекарданд [11,с.105; 12,с.40]. Ашӯи кофтукови кони қадима асосан мис ба ҳисоб мерафт ва дар давраи шурави

¹ Хризокла - минерали дорои мис буда, ранги кабуду сабз дорад. Хризокла одатан дар ҷойҳои дорои маъдани мис пайдо мешавад. Аз ин рӯ, вақте шахтёрҳои қадим рағҳои хризокларо медиданд, мефаҳмиданд, ки дар он минтақа мумкин аст маъдани мис мавҷуд бошад.

то соли 1932 ин кони мис ҳисобида мешуд. Ноҳияи конёфтшуда бо чинсҳои палеозойи боло таркиб ёфта, вақти бавучудоии он кадоме бо этапи бевақтии вариссии вулкони вобаста аст. Омӯзиши систематикӣ ва коркарди майдони кон аз соли 1931 оғоз шудааст.

Дар ибтидои солҳои 30-юми асри XX экспедитсияи профессор Смолянинов Н.А. кони волфрамаи Чорух-Дарронро кашф кард. Баъдтар Н.А.Смолянинов Чорух-Дарронро кони ояндадори кофтуков тавсиф кардааст [17,с.19-24].

Аммо соли 1931 геологи немис Алфелд (тибқи маъхазҳои дигар фамилияаш Алфред буд) ҳамроҳи профессор В.М. Крейтер сафари омӯзиши Қаромазорро анҷом дод. Вай ба кони маъдани Чорух-Даррон омада, ногаҳон ба он баҳои манфӣ дод.

Дере нагузашта Ф.И. Вольфсон дар Чорух-Даррон корҳои ҷустуҷӯи геологӣ ташкил намуд. Хандакчиёни Ташкилоти иқтишофи геологӣ (ГРП)-и Консой бо сардории В. Бирюков аз якҷанд хандакҳои дароз гузашта, маъданҳои таъсирбахшERO ошкор намуданд ва як гурӯҳ донишҷӯёни Институти металлҳои ранга ва тиллои Москва (МИЦМиЗ) ба номи Н.А. Калинин дар зарфи як моҳи кор сарҳадҳои ба рӯи замин баромадани онро муайян кард.

Дарозии баромадгоҳ тақрибан 700 метр буда, ғафсӣ ба ҳисоби миёна 7 метр ва миқдори миёнаи WO_3 1% буд. Ҳисобкунии захираҳои дурнамоии кон дар чуқурии 100 метр 10-12 ҳазор тонна волфрамо медиҳад. Маълум шуд, ки кони мазкур дорои аҳаммияти бузурги саноатӣ буд ва фавран бояд ба истифода додан лозим аст [11,с.105].

Соли 1931 партияи ҷустуҷӯи геологӣ ташкил карда шуд, ки дар натиҷа кони ҷавони Чорух-Даррон баъдтар ба яке аз калонтарин анбори ашёи хоми мамлакат табдил ёфт. Ин кон дар асри XX, то соли 1932 кони мис ҳисобида мешуд. Аммо то соли 1940 ин минтақаи ғайрисаноатӣ ҳисобида мешавад.

Соли 1941 кони Чорух-Дарронро ҳамчун объекти саноатӣ бори аввал В.М.Бирюков ба миён гузошта буд.

Аввалин маълумот дар бораи таҳқиқоти геологии қаторкӯҳи Қурама ба солҳои 80-уми асри IX рост омада, дар асарҳои Г.Д.Романовский ва И.В.Мушкетов оварда шудаанд.

Дар давраи аз соли 1908 то 1916 ба Қаромазор ва Муғул шахтёрҳо А.С.Назаров, ки кӯшиши ташкили истифодабарии конҳои миси Турангли карда буданд. Геолог В.Н.Томилини як қатор конҳои Ғарби Қаромазор ва Муғулро тавсиф намуд ва ба ин минтақа ташриф оварданд.

Омӯзиши мунтазами геологӣ дар замони Шуравӣ, дар солҳои 30-юми асри XX оғоз шуда, пас аз он, ки С.Ф. Мушковцев дар соли 1925 кофтукови геологии 10-верст² (10-11 км) анҷом дод, доираи махсусан васеъ гирифт.

Дар ибтидои солҳои 40-уми асри XX дар тамоми мавзёҳои Қаромазор ва Муғул корҳои кофтуковӣ, маркшейдерӣ ва ҷустуҷӯи геологӣ гузаронида мешуданд.

Дар омӯзиши Қаромазор ва Муғул асарҳои Б.Н. Наследов [16], А.В. Королев дар солҳои 1931-1954, Н.А. Смолянинов [18,с.155], 1930-1957, Ф.И. Волфсон, А.К. Брешенков 1935 ва И.В. Дюгаев [8,с.186-232], 1934, Ю.А. Арипов 1936, Е.Д. Карпова 1943, 1946, 1951 ва дигарон нақши муҳим бозиданд.

Номи ҳозираи ноҳияи Қаромазор ба охири асри IX вобаста буда, аз номи дарёи Қаромазор, ки дар ин минтақа ҷорӣ мешавад, гирифта шудааст. Геологи маъруфи рус И.В. Мушкетов хулосаи маъданҳои Осиёи Миёнаро тартиб дода, бори аввал охири ҷанубу ғарбии қаторкӯҳҳои Қурамаро бо номи кӯҳҳои Қаромазор муайян кард.

Омӯзиши ғаёли минтақаи Қаромазор дар замони шуравӣ аз солҳои 20-уми асри XX оғоз шуда ва бо ин дар таърихи истихроҷи маъдан дар Осиёи Марказӣ саҳифаи нав кушода шуд. Бостоншиносони машҳур М.Е. Массон ва Б.А. Литвинский қайд кардаанд, ки ин минтақа аз ҷиҳати давомнокӣ ва ҳаҷми истихроҷи маъдан дар давраи қадим ба худ ягон баробарӣ надорад [9]. Омӯзиши геологии Қаромазор, ки бо номи олимони намоёни шуравӣ, аз қабили А.В. Королев, Б.Н. Наследов, С.Ф. Машковцев, имкон дод, ки шубҳа ва нобоварӣ ба иқтидори сарватҳои зерзаминии Тоҷикистон рад карда шавад [10,с.162; 16].

²верста - воҳиди қадимаи ченкунии масофа дар русия буд: 1 верста баробар ба 1,0668 километр, 10 верста баробар ба 10,7 километр мебошад.

Дар таҳқиқи Қаромазор ва кӯҳи Муғул таҳқиқотҳои илмии геолог Борис Николаевич Наследов (1885-1942) аҳамияти махсус дорад, ки тавсифи мукамалтарини конҳои қадимаи Қаромазорро тартиб додааст. Дар байни 400 кон ва нуқтаҳои маъдан, ки ӯ дар ин минтақа ба қайд гирифта буд, қариб нисфи онҳо бо таҳаввулот қадим алоқаманд буданд. Дар ёфтани конҳои кӯҳна сокинони маҳаллӣ, аз ҷумла Ҳочимат Турсунов ба Б.Н. Наследов ёрии қалон расониданд. Бо иштироки ӯ зиёда аз 50 кони қадим кашф карда шуд, ки баъдтар ба объектҳои саноатӣ табдил ёфтанд.

Академик А.Е. Ферсман дар солҳои 30-ум навишта буд: «Ман конхоеро, ки аз намудҳои гуногун бой аст, мисли Қаромазор надидам ва намедонам, омӯхтани сарвати ин сарзамин калиди омӯзиши сарватҳои табиӣ Осиёи Марказӣ мебошад».

Барои тасдиқи бозёфт аз ҷониби шуъбаи роҳбарии Николай Алексеевич Смолянинов экспедитсия ташкил карда, дар кони Чорух-Даррон мавҷудияти захираҳои саноатӣ шеелит ошкор гардид.

Профессор Н.А. Смолянинов ба ҳайси мушовир ва роҳбари экспедитсияҳо дар қори Трести маъдану кимия, Трести элементҳои нодир, Гидродмет, Институти минералогияи амалӣ, Экспедитсияи Тоҷику Помир [19], «Союзникель» разведка, Главзолото, Средазцветметразведка ва дигар ташкилотҳо иштирок кардааст.

Саноати волфрам дар мамлақати мо, аслан, дар солҳои Ҷанги Бузурги Ватанӣ ба вучуд омада буд. Дар соли 1946 қори Смолянинов Н.А. оид ба кашф, таҳқиқ ва коркарди конҳои волфрам дар Осиёи Миёна сазовори мукофоти Сталинӣ гардид.

Асари асосии ӯ дар ин соҳа «Дастури амалӣ оид ба минералогия» буд, ки бори аввал соли 1948 нашр шуда, дар солҳои 1955 ва 1972 такроран ҷоп шуда ва ин асари нодир ба забони хитойӣ тарҷума шудааст.

Дар таърихи 19 июни соли 1941 Ф.И. Вольфсон ба таҳқиқоти сахроӣ оғоз намуд. Мақсади ӯ дидан ва омӯхтани конҳои полиметаллии Рудный Олтой, инчунин роҳбари дипломи таҷрибаомӯзони истеҳсолии донишҷӯёни Институти мусиқӣ ва сарватҳои минералии Москва буд. Аммо дар Олтой муддати кӯтоҳ истода, бо фармони директори ҳамонвақтаи ИГН-и Академияи илмҳои СССР (ҳоло РААИ ИГЭМ) академик А.Е. Ферсман ба сабаби «шароити ҳозира» феврал ба РСС Тоҷикистон, ба минтақаи маъдани Қаромазор, ки ба ӯ бо қори истеҳсоли ва таҳқиқоти илмӣ маълум аст, ба базаи ашӯи хоми комбинати сурби Чимкент фиристоданд, то дар бобати васеъ намудани иқтидори геологӣ базаи ашӯи хом ёрии илмӣ методӣ расонад.

Қорҳое, ки геологҳои ҷавон гузарониданд, имкон дод, ки дар Консой ва дигар конҳои Қаромазори Ғарбӣ базаи маъдани сурб-руҳ хеле васеъ омӯхта шавад. Таҳқиқ ва ба қор андохтани кони волфрами Чорух, ки дар Қаромазори Ғарбӣ низ воқеъ аст, дар як вақт бо роҳбарии Фёдор Иосифович анҷом дода шуд, ки ҷамъ қариб нӯҳ-даҳ моҳ давом кард. Соли 1944 Е.Д. Карпова ва Н.П. Соколов дар миқёси 1:50000 дар кӯҳи Муғул ва доманаи ҷанубии Қаромазор таҳқиқоти геологиро анҷом доданд. Солҳои 1945-1946 дар қисми ҷанубӣ Х.И. Хамроев дар миқёси 1:10000 ҷустуҷӯи геологиро анҷом дод [20]. Олими машҳур Д.Д. Мотин дар мавзёҳои гуногуни кӯҳҳои Муғул қорҳои ҷустуҷӯю таҳқиқотӣ ва ревизиявӣ анҷом дод [4]. Солҳои 1962-1966 Богомольный И.М., Игнатович Л.В., Клипенштейн В.Я. дар миқёси 1:100000 кофтукови геологӣ қаторкӯҳҳои Қурама ва кӯҳҳои Муғул гузарониданд.

Дар солҳои 1966-1973 таҳти роҳбарии геологон М.Э. Запрометов ва П.В. Коровин дар кӯҳҳои Муғул дар миқёси 1:10000 таҳқиқотҳои геологӣ фаро гирифта шудаанд.

Вазифаҳои асосии қорҳои ҷустуҷӯю маркшейдерӣ дар миқёси 1:1000 дар мавзеи Туябоғузсой - Янгикон - Ташкескен - Кошмула - соҳили ҷаби Дарбозсой иборат буданд. Дар майдони 25 км² қорҳои ҷустуҷӯӣ гузаронида шуда, зиёда аз 500 намунаи шлих гирифта шудааст.

Дар ҳуди кони Чорух-Даррон дар ин давра қорҳои ҷустуҷӯӣ дар минтақаҳои Ҷанубӣ, Шарқӣ, Ҳамраб, Туябоғузро фаро гирифтанд.

Дар минтақаи Ҷанубӣ натиҷаҳои пешакие, ки дар натиҷаи таҳқиқи минтақаи минерализатсияи саноатӣ аз сатҳи линзаҳои хурди шеелитдор ба даст омадаанд, ки дар қад-қад минтақаҳои тектоникии албит-сколит воқеъ гардидаанд, барои ҷустуҷӯи

перспективии ин линзаҳо бо чоҳҳои ядрои ба чуқурии 1 уфук, 50 м, барои арзёбии дурнамои умумии минтақа зарур аст, асос гузоштанд.

Дар маҷмуъ дар ин мавзё панҷ чоҳи аслии парма карда шуд, ки дарозияш 448 м ташкил дод. Корҳои ҷустуҷӯи дар минтақаи ҷануб нишон доданд, ки аз ҷаҳор сутуни маъданӣ, ки аз рӯи замин муайян карда шудаанд, танҳо яктоаш нишондодҳои саноатии худро дар чуқурии назаррас нигоҳ медорад, аммо он иқтидори саноатии худро аз даст додааст.

Ҳамин тавр, ба мақсад мувофиқ будани ташкили пармакунии чуқури структурӣ дар минтақаи Ҷанубӣ бо мақсади кофтукови минтақаҳои маъдан, ки ба гранодиоритҳо, ки дар зери монзонитҳо воқеъ гардидаанд, зери шубҳа мемонад.

Минтақаи шарқӣ. Дар натиҷаи тасдиқ намудани корҳои ҷустуҷӯи геологӣ дар миқёси 1:5000 ва корҳои минбаъдаи ҷустуҷӯи дар соли ҳисоботӣ дар қисми шарқии кони Чорух-Даррон як қатор минтақаҳои нави маъдан муайян карда шуданд, ки онҳо аз ҷиҳати саноатӣ хос буданд.

Минтақаи шарқӣ дар самти 45° ҷойгир шуда, аз он ба шимолу ғарб 60 м ҷудо шуда буд, ки ба ғарб кашонидани он ба азхудкунии конҳои ғафси саевҳо ҳалал мерасонд.

Минтақаи Ҳамработ, вазифаи кофтукови геологӣ ин минтақа равшан кардани генезис, морфология ва таркиби моддии скарнҳоро дар бар мегирифт.

Дар зери мавқеи Ҳамработ майдони васеи беш аз 2 км² шартан қабул карда шуд. Дар шимол як қабати оҳаксангҳои палеозойи миёнаро дар бар мегирад. Дар шарқ ва ҷануб онро пораи шимолӣ нишон медиҳад, дар ғарб кони шеелитии Ҳамработро дар бар мегирад. Тамоми майдон бо конҳои ғафси обӣ то 30-40 м пӯшида шудааст.

Дар назди комплекси интрузивии Чорух-Даррон мавҷуд будани уфуқи ғафси оҳаксангҳои ҳосилхези девони миёна ва карбони поён, ки ба эрозия осеб надида буд, ҳамчун аломати он ҳисоб карда мешуд, ки дурнамои кон ва иқтидори онро зиёд мекунад. Ҳамзамон, маълумотҳои нав оид ба генезиси минерализатсияи шеелитҳои Чорух-Даррон материяҳо доданд.

Мувофиқи сохтори умумии зикршуда оҳаксангҳо ва эффузивҳои болоӣ ба самтҳои ҷанубӣ меафтанд, яъне ба сӯи кони маъдани Чорух-Даррон.

Маълум аст, ки кони маъдани Чорух-Даррон дар давраи шуравӣ аз соли 1931 пас аз кашфи маъданбандии шеелит дар ҳудуди он аз ҷониби профессор Н.А. Смолянинов ба таври мунтазам омӯхта мешавад. Таҳқиқоти конро геологҳо солҳои гуногун анҷом дода буданд: В.М. Бирюков дар тобистони соли 1941 хандакҳо, минтақаи васеътари маъданро кашф карданд, ки дарозияш 700 метр ва ғафсии миёна қариб 7 метр аст. Миқдори триоксиди волфрам дар маъдан ба 1% расид. Дар соли 1942 дар кон шахтаи шеелит ба қор даромад. Ва инчунин дар солҳои 1942-1944 А.К. Поляков, 1942-1944 Р.В. Бородин, 1944-1945 В.А. Тарасов, 1945-1947 В.Ф. Черненко, 1947-1948 В.Н. Петров, 1949-1953 Ф.Г. Дилевский, И.В. Королев, 1953-1955 Л.К. Комжа, 1955-1963 А.А. Сескутов, 1965-1970 Б.В. Мамонтов таҳқиқотҳо гузаронидаанд [6].

Дар солҳои 1943-1956 таҳқиқоти минералогӣ ва петрографиро дар кони Чорух-Даррон Е.Л. Бутаков, А.К. Поляков, Е.Д. Карпов ба итмом ташкил ва баргузор намуданд. Дар натиҷаи кори онҳо оид ба таркиби маъдан, скарн ва минерализатсияи апокарн маводҳои васеъ ба даст оварда шуд. Солҳои 1949-1950 геологон З.А. Королева, И. Ҳамробоев, Л. Яхонтов низ корҳои таҳқиқотии худро ба анҷом додаанд. Муаллифони диққати асосиро ба масъалаҳои ҳосилшавии маъданҳо, нафту химия ва метаморфизми чинсҳои асосӣ додаанд. Дар солҳои 60-уми асри гузашта таваҷҷуҳи асосӣ ба марҳилаи раванди ташаккули минералии эндогенӣ дар кони маъдани Чорух-Даррон дода мешавад. Дар охири солҳои 60-70-уми асри XX як гурӯҳи кормандони ИМГР Э.В. Негелюстов, Б.В. Зленко, А. Губанов ва дигарон бо масъалаҳои минтақавӣ ва метасоматитҳо машғул буданд. Дар охири солҳои 60-ум ва ибтидои солҳои 70-ум дар ин минтақа таҳқиқоти минералогӣ ва петрографӣ аз ҷониби Е.А. Котенева гузаронида шуд. Вай таркиби минералии метасоматитҳои маъданро дар кони Юбилейный ва элементҳои омехтаро дар шеелит муайян кард. Дар кони Чорух-Даррон ғайр аз корҳои геологӣ - омӯзиши комплекси корҳои геофизикӣ ва геохимиявӣ гузаронда шуд.

Аз соли 1957 сар карда, дар Қаромазор ва кӯҳҳои Муғул экспедисияи геофизикии шимолии Раёсати геологияи РСС Тоҷикистон корҳои геофизикиро ба ҷо меовард. Дар солҳои 1961-1962 геофизикҳо И. Зимкин ва В.В. Бронский бо усули поляризатсияи индуксионӣ дар як қатор конҳои Қаромазор корҳои таҷрибавӣ гузаронданд. Дар соли 1962 дар ҳудуди маъдани Чорух-Даррон низ бо мақсади аниқ кардани нуксонҳои Андиген ва Туябоғуз бо усулҳои якҷояи электрофикасия таҳқиқот гузаронида шуд.

Соли 1965 геолог З.Г. Сескутова ва геофизикҳо С.Н. Аспангелдин, Л. Бендик дар мавзуи «Таҳлил ва ҷамъбасти материалҳои корҳои геофизикии солҳои гузашта оид ба депрессияи Мирзоробот» корҳои таҳқиқотӣ гузаронидааст [6].

Аз соли 1964 то соли 1967 Ташкилоти экспедицияи геофизикии Шимолии Қаромазор дар ҳайати Н. Пашкова, Е. Сайгонов, И.Д. Зимкин, В.В. Бронский, А.Шумаев, И.М. Серман, С. Бронская, А. Акопян бо сардории А.Н. Балашева ва А. Сескутова дар қисми шимолу шарқии кӯҳҳои Муғул ва пастхамии Мирзаробот таҳқиқоти геологияи геофизикӣ гузаронид. Дар натиҷа конҳои маъдани “Юбилейный”, “Июнское”, “Западное” ва конҳои Янгикони Ҷанубӣ муайян карда шуданд.

Корҳои геохимиявӣ дар кӯҳи Муғул аз соли 1974 оғоз шуда, дар ин давра дар тамоми майдони кушоди кӯҳи Муғул бо истифода аз флюсҳои пароканда дар миқёси 1:50 000 таҳқиқоти литологӣ гузаронида шуд, ки як қатор минтақаҳои аномалӣ ошкор карда шуданд. Дар солҳои 1964-1978 бевосита дар қони маъдани Чорух-Даррон ҳаҷми зиёди корҳои таҷрибавию методӣ ва таҷрибавии геохимиявӣ оид ба ғалоҳии ибтидоӣ гузаронида шуд.

Дар доираи қони маъдан аз соли 1976 сар карда, Раёсати геологияи Осиёи Миёна бо мақсади баҳодиҳии муфассали баъзе объектҳо ва ба истифода додани онҳо аз тарафи Раёсати маъдани Чорух-Даррон ба кор шуруъ намуд.

Дар охири солҳои 80-ум ва ибтидои солҳои 90-уми асри XX, пас аз боздоштани истихроҷи маъдан бо сабаби азхудкунии захираҳои конҳои мис-волфрам ва мис-молибден, комбинати давлатии маъдантозакунӣ (ГОФ) аз фаъолият бозмонд ва барҳам дода шуд, ки ин ба партовгоҳ партофтани партовҳо монёв шуд [17,с.67-70].

Таназзули иқтисодие, ки дар охири солҳои 80-ум ва ибтидои солҳои 90-уми асри XX ҳукмфармо буд, имкон надод, ки истеҳсоли саноати азими волфрам, ки дар давраи Иттиҳоди Шуравӣ фаъол буд, солҳои дароз аст, ки мутаваққиф шудааст. Дар ҳоли ҳозир коркарди қон ба таври густурдаи собиқ пеш намеравад, зеро захираҳои асосии ба осонӣ дастрас ва бойи он дар қабатҳои болоӣ амалан тамои шудаанд. Барои барқарор кардани истихроҷи ҷиддӣ сармоягузорию бузург ва технологияҳои нави пармакунию коркарди маъданҳои камтаркиб (камзахира) лозим аст.

Ҳарчанд қони волфрам фаъолияти пешинаро надорад, ҳудуди Чорух-Даррон аз назари географӣ ва инфрасохторӣ барои қархонаҳои дигар истифода мешавад.

Хулоса. Дар Паёми ҳамасолаи Сарвари давлат масъалаи истифодаи оқилонаи сарватҳои табиӣ, яке аз масъалаҳои асосии рушди иқтисодӣ кишвар ба ҳисоб меравад. Ҳамчунин, дар Паём дар ин замина таъкид шудааст: “Зарур аст, ки қорҳо дар самти бунёди қархонаҳои металлургӣ, маъдантозакунӣ, истихроҷ ва то маҳсулоти ниҳой қоркард намудани металлҳои ранга ва қиматбаҳо вуҷат бахшида шаванд”. Мазмуни асосии дастурҳои Сарвари давлат дар ин самт чунин аст:

- Тақвияти қорҳои геологӣ ва омӯзиши қанданиҳои ғоиданок;
- Қашф ва азхудкунии қонҳои нави маъдан;
- Қалби сармоягузорию дохиливу хориҷӣ ба соҳаи истихроҷи маъдан;
- Қоркарди ашёи хом дар дохили кишвар ва истеҳсоли маҳсулоти ниҳой;
- Самаранок истифода бурдани сарватҳои табиӣ барои рушди саноат ва иқтисоди миллӣ;
- Таҳкими ҳадафи стратегияи саноатикунории босуръати мамлакат.

Минтақаи маъдандори кӯҳҳои Қаромазор ва Муғулро ҳангоми омуктан ба чунин ҳулоса омадем, ки ин минтақа яке аз муҳимтарин ноҳияҳои кӯҳқорию маъданшиносии Тоҷикистон ба ҳисоб меравад. Омӯзиши илмӣ ин минтақа аз асри XIX оғоз гардида, дар давраи минбаъда тавассути қорҳои геологӣ, геофизикӣ ва геохимиявӣ густариш ёфтааст. Дар натиҷаи таҳқиқотҳои сершумор захираҳои бузурги маъданҳои ранга, нодир ва

қиматбаҳо ошкор ва арзёбӣ шуданд. Ин таҳқиқотҳо на танҳо барои рушди илмҳои геология ва маъданшиносӣ саҳми арзанда гузоштанд, балки барои ташаккули пойгоҳи ашёи хоми саноати кӯҳӣ ва металлургии Тоҷикистон низ заминаи устувор фароҳам оварданд. Имрӯз минтақаи Қаромазор ва Муғул ҳамчун яке аз марказҳои муҳими маъдани мавқеи хос дошта, омӯзиши минбаъдаи он барои истифодаи оқилонаи захираҳои табиӣ ва рушди иқтисодиёти кишвар аҳамияти калон дорад.

Таҳқиқоти мазкур мутобиқи нақшаи дурнамои кафедраи географияи иқтисодӣ ва демографияи МДТ ДДХ ба номи ак. Б.Гафуров дар доираи мавзӯи “Ҷанбаҳои географияи рушди иқтисодии Тоҷикистон дар шароити муосир” анҷом дода шудааст.

АДАБИЁТ

1. Баратов Р.Б. Каменное чудо Таджикистана / Р.Б. Баратов, В.П. Новиков. – Душанбе: Ирфон, 1984. -120 с.
2. Вольфсон Ф.И. Древние выработки Касана / Ф.И. Вольфсон // Таджикско-Памирская экспедиция (1934 г.). -М.; Л., 1935. -С.129-140.
3. Вольфсон Ф.И. Изучение структур эндогенных рудных полей и месторождений / Ф.И. Вольфсон, Л.И. Лукин // Вестник АН СССР. - 1958. -№4. -С.42-47.
4. Вольфсон Ф.И. Место Карамазара среди других районов развития эндогенного оруденения / Ф.И. Вольфсон // Рудные поля Карамазара. Душанбе, 1975. -Т.3. -С.7-22.
5. Вольфсон Ф.И. Месторождения гор Такели / Ф.И. Вольфсон // Материалы Первого Кара-Мазарского съезда по цветным и редким металлам в г. Ходженге. -Сталинабад, 1933. -С.71-74.
6. Вольфсон Ф.И. О структурных поисковых критериях на рудные поля гидротермальных месторождений / Ф.И. Вольфсон // Изв. вузов. Цветная металлургия. –1958. -№3. -С.3-9.
7. Вольфсон Ф.И. Происхождение руд металлов / Ф.И. Вольфсон. -М: Знание, 1974. -64 с.
8. Дюгаев И.В. Рудные месторождения Табошарского участка. - Рудные месторождения Кара-Мазара / И.В. Дюгаев. -М.-Л., 1935. -С.186-232, 5 л. табл.
9. Зимкин И.Д. Отчет Опытнотематической партии за 1963-1964 гг. (К-42-XXXV, XXXIV) Госгеолкомитет. Ленинабад (Росгеолфонд, Центральное фондохранилище) / И.Д. Зимкин, А.Н. Балашов, В.В. Бронский. - 1965. - 243 л.
10. Королева, З.А. Парагенетические соотношения гипогенных минералов в месторождениях Карамазара / З.А. Королева. АН СССР, Узбекистанский фил., Геол. ин-т. –Ташкент: Изд-во Узб. ФАН, 1941. -162 с.
11. Массон М.Е. Из истории горной промышленности Таджикистана. Былая разработка полезных ископаемых / М.Е. Массон. -Л.: Из-во АН СССР, 1934. -105 с.
12. Массон М.Е. К истории добычи меди в Средней Азии / М.Е. Массон. -М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1936. -40 с.
13. Мотин Д.Д. Геологическое строение и тектоника рудного поля Чорух-Даррон и результаты поисково-ревизионных работ, проведенных в горах Могол-тау в 1942-1944 гг. Машинопись. Фонды Чорух-Дарронского рудоуправления.
14. Наследов Б.Н. Металлогения Западного Тянь-Шаня и Узбекистана / Б.Н. Наследов; под ред. доктора геолого-минералогических наук В.И. Вольфсона. -М.: Госгеолтехиздат, 1961.
15. Некрасов Е.М. Основы образования рудных месторождений / Е.М. Некрасов, Ф.И. Вольфсон. -М.: Недра, 1978. -223 с.
16. Отчет об общих поисках полиметаллического и редкометального оруденения в Северном Таджикистане / В.М. Мясников, Е.Л. Геде, В.И. Данилевский, Г.Т. Таджикибаев и др. // Фонды Кайракумской ГРЭ. – 1980. -Т. 1, кн.1.
17. Саидова Д.Н. Гидрогеологическая ситуация в Карамазарском горнорудном районе / Д.Н. Саидова, С.Я. Абдурахимов // Материалы всероссийской научно-практической конференции «Водохозяйственные проблемы и рациональное природопользование» общ.ред. А.Я. Гаев. -Оренбург: ОГУ, 2008. -Часть 1. -С.67-70.
18. Смольянинов Н.А. Чорух-Дайронское месторождение шеелита в Могол-тау (Средняя Азия) / Н.А. Смольянинов // Редкие металлы. - 1933. -№1. -С.19-24.
19. Смольянинов Н.А. Шеелит месторождения Могол-Тау. АН СССР, Тадж. компл. эксп. 1932 г. материалы эксп. / Н.А. Смольянинов. -Л., 1935. -вып.11. -155 с.
20. Труды экспедиции / Акад. наук СССР. – Ленинград: Госхимтехиздат. Ленингр. отд-ние, 1934-1938 (тип. им. Володарского и тип. им. Чудова). Выпуск, 19: Кара-Мазар / Б.Н. Наследов. Геохимическая станция Таджбазы АН СССР. – 1935.
21. Хамрабаев И.Х. Федчишин В.Б. Прогнозная геохимическая карта восточного, центрального Карамазара и гор Могол-Тау / И.Х. Хамрабаев, В.Б. Федчишин. – Табошар, 1985. -том.1. Фонды У.Г.

ТАЪРИХИ ОМӢЗИШ ВА ТАҲҚИҚОТИ ИЛМИИ МИНТАҚАИ МАЪДАНДОРИ КӢҲҲОИ ҚАРОМАЗОРУ МУҒУЛ: МАРҲИЛАҲОИ АСОСӢ ВА АҲАММИЯТИ ОНҲО

Мақолаи мазкур ба таърихи омӯзиши минтақаи маъдандори кӯҳҳои Қаромазор ва Муғул бахшида шудааст. Дар он марҳилаҳои асосии таҳқиқоти геологӣ, Ҷаъолияти олимони ва мутахассисон дар самти омӯзиши сохтори геологӣ ва захираҳои маъдани минтақа баррасӣ гардидааст. Нақши таҳқиқотҳои илмӣ дар кашф, арзёбӣ ва азхудкунии конҳои маъдани нишон дода шуда, аҳамияти иқтисодӣ ва илмӣ минтақа муайян карда мешавад. Натиҷаҳои таҳқиқот аҳамияти минтақаи Қаромазор ва Муғулро ҳамчун яке аз марказҳои муҳими маъдани Тоҷикистон таъкид менамоянд.

Калидвожаҳо: Каромазор, Муғул, минтакаи маъдандор, геология, таърихи омӯзиш, конҳои маъданӣ, қорҳои иқтишофӣ, маъданшиносӣ, захираҳои табиӣ, Тоҷикистон.

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РУДОНОСНОГО РАЙОНА ГОР КАРАМАЗАР И МУГУЛ: ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ

Данная статья посвящена истории изучения рудоносного района гор Кармазар и Мугул. Рассматриваются основные этапы геологических исследований, деятельность ученых и специалистов по изучению геологического строения и минеральных ресурсов региона. Показана роль научных исследований в открытии, оценке и освоении месторождений полезных ископаемых, а также раскрыто научное и экономическое значение данного района. Результаты исследования подчеркивают важную роль Кармазара и Мугула как одного из крупнейших горнорудных регионов Таджикистана.

Ключевые слова: Кармазар, Магалтау, рудоносный район, геология, история изучения, месторождения полезных ископаемых, геологоразведочные работы, минералогия, природные ресурсы, Таджикистан.

HISTORY OF STUDYING AND SCIENTIFIC RESEARCH OF THE ORE-BEARING REGION OF THE KARMAZAR AND MUGUL MOUNTAINS: MAIN STAGES AND THEIR IMPORTANCE

This article is devoted to the history of the study of the Karmazar and Mugul ore-bearing mountain region. It examines the main stages of geological investigations, as well as the contribution of scientists and specialists to the study of the geological structure and mineral resources of the area. The role of scientific research in the discovery, evaluation, and development of mineral deposits is highlighted, and the scientific and economic significance of the region is discussed. The results emphasize the importance of the Karmazar and Mugul region as one of the major mining and mineral-resource centers of Tajikistan.

Keywords: Karmazar, Mugul, ore-bearing region, geology, history of exploration, mineral deposits, geological prospecting, mineralogy, natural resources, Tajikistan.

Маълумот дар бораи муаллифони: Саидова Дилором Насимовна – Донишгоҳи давлатии Хучанд ба номи академик Бобочон Ғафуров, номзади илмҳои геология-минералогия, дотсенти кафедраи географияи иқтисодӣ ва демографияи факултети геоэкология ва туризм. **Суроға:** 735700, ш.Хучанд, Чумхурии Тоҷикистон, гузаргоҳи Мавлонбеков, 1. Телефон: **(+992) 92 787 87 45**. E-mail: **s.dilorom777@gmail.com**

Раҳимов Абдулфаттоҳ Ибрагимович - Донишгоҳи давлатии Хучанд ба номи академик Бобочон Ғафуров, доктори илмҳои география, профессори кафедраи геоэкология ва методикаи таълими факултети геоэкология ва туризм. **Суроға:** 735700, ш.Хучанд, Чумхурии Тоҷикистон, гузаргоҳи Мавлонбеков, 1. Телефон: **(+992) 92-701-55-52**. E-mail: **rahimov-55@mail.ru**

Аминов Муминҷон Ҳаётуллоев - Донишгоҳи давлатии Хучанд ба номи академик Бобочон Ғафуров, номзади илмҳои география, дотсенти кафедраи экология ва ҳифзи табиати факултети геоэкология ва туризм. **Суроға:** 735700, ш.Хучанд, Чумхурии Тоҷикистон, гузаргоҳи Мавлонбеков, 1. Телефон: **92 775 04 75**. E-mail: **aminov66@list.ru**

Сведения об авторах: Саидова Дилором Насимовна – Худжандский государственный университет имени академика Бободжона Гафурова, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры экономической географии и демографии. **Адрес:** 735700, г. Худжанд, Республика Таджикистан, проезд Мавлонбекова, 1. Телефон: **(+992) 92 787 87 45**. E-mail: **s.dilorom777@gmail.com**

Рахимов Абдулфаттох Ибрагимович - Худжандский государственный университет имени академика Бободжона Гафурова, доктор географических наук, профессор кафедры геоэкологии и методики преподавания факультета геоэкологии и туризма. **Адрес:** 735700, г. Худжанд, Республика Таджикистан, проезд Мавлонбекова, 1. Телефон: **(+992) 92-701-55-52**. E-mail: **rahimov-55@mail.ru**

Аминов Муминджон Хаётуллоев - Худжандский государственный университет имени академика Бободжона Гафурова, кандидат географических наук, доцент кафедры экологии и охраны природы. **Адрес:** 735700, г. Худжанд, Республика Таджикистан, проезд Мавлонбекова, 1

Information about the authors: Saidova Dilorom Nasimovna – Khujand State University Academician Bobojon Gafurov, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences; Associate Professor, Department of Economic Geography and Demography. **Address:** 735700, Khujand, Republic of Tajikistan, Mavlonbekov Passage, 1. Phone: **(+992) 92 787 87 45**. E-mail: **s.dilorom777@gmail.com**

Rakhimov Abdulfattoh Ibragimovich– Khujand State University Academician Bobojon Gafurov, Doctor of Geographical Sciences; Professor, Department of Geoecology and Teaching Methodology (Faculty of Geoecology and Tourism). **Address:** 735700, Khujand, Republic of Tajikistan, Mavlonbekov Passage, 1. Phone: **(+992) 92-701-55-52**. E-mail: **rahimov-55@mail.ru**

Aminov Muminjon Khayotulloevich– Khujand State University Academician Bobojon Gafurov, Candidate of Geographical Sciences; Associate Professor, Department of Ecology and Nature Conservation. **Address:** 735700, Khujand, Republic of Tajikistan, Mavlonbekov Passage, 1

Мақола ба редакция ворид шуд: 19.05.2026

Аз тақриз баргашт: 15.06.2026

Ба чоп таъсия шуд: 06.10.2026

ТАЪСИРИ ШАРОИТҲОИ МОРФОМЕТРӢ ВА ИҚЛИМӢ БА ПАҲНШАВИИ САНГРЕЗИШҶО ДАР ВОДИИ ДАРӢИ ҶУНД

Раҳимзода М.Р.

**Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи Академияи миллии
илмҳои Тоҷикистон**

Мукаддима. Ба водии дарёи Ҷунд, ки қисми чанубу ғарбии Помирро ишғол мекунад, релефи баландкӯҳӣ ва хеле нишеб хос аст. Майдони корӣ аз шимол бо қаторкӯҳи Рушон, дар шарқ бо кӯли Яшиқул, дар чануб бо қаторкӯҳи Шугнон ва дар ғарб бо водии дарёи Панҷ ҳамсарҳад аст. Ба водии дарёи Ҷунд инкишофи васеи равандҳои нишебӣ хос аст. Ба ин чараёнҳо, ки дар соҳили чапу ростии водӣ зиёд паҳн шудааст, сангрешаҳо мансуб мебошанд. Сангрешаҳо дар натиҷаи вайроншавии ҷинсҳои кӯҳӣ ва таъсири равандҳои экзогенӣ ба вучуд омада, дар нишебӣҳо ва доманаҳои кӯҳҳо ҷамъ мешаванд. Ин раванд дар минтақаҳои баландкӯҳ бештар ғайрараванд буда, ба шароити иқлимӣ, дараҷаи нишебии релеф, таркиби литологии ҷинсҳо ва ғайраравандии обҳои рӯизаминӣ вобастагии зиёд дорад. Тағйирёбии ҳарорат дар давоми шабонарӯз ва сол, яхбандӣ ва обшавии об, боришоти атмосферӣ ва ғайраравандии дарёҳо ба сустшавӣ ва вайроншавии ҷинсҳои кӯҳӣ мусоидат мекунад.

Дар ҳудуди водии Ҷунд равандҳои нишебӣ на танҳо шакли релефро тағйир медиҳанд, балки ба устувории нишебӣҳо ва ҳолати роҳҳо, маҳалҳои аҳолинишин ва дигар иншооти муҳандисӣ низ таъсир мерасонанд. Аз ин рӯ, омӯзиши паҳншавӣ, таркиб ва хусусиятҳои сангрешаҳо барои арзёбии шароити муҳандисӣ-геологии минтақа аҳамияти калон дорад.

Ҳангоми таҳқиқи ин равандҳо муайян намудани ҳудуди паҳншавии сангрешаҳо, ғайраравандӣ ва таркиби онҳо, дараҷаи устувории нишебӣҳо ва омилҳои асосии ба ҳаракати маводҳои кӯҳӣ таъсиркунонда муҳим мебошад. Натиҷаҳои чунин таҳқиқот метавонанд барои арзёбии ҳафзҳои геологӣ ва интиҳоби чораҳои мувофиқи муҳофизатӣ ҳангоми сохтмон ва истифодаи иншооти гуногун дар водии дарёи Ҷунд истифода шаванд.

Ҳамин тариқ, омӯзиши равандҳои нишебӣ ва сангрешаҳо дар водии дарёи Ҷунд яке аз масъалаҳои муҳими таҳқиқоти муҳандисӣ-геологӣ ба ҳисоб рафта, барои дарки хусусиятҳои геологии ҳудуд ва таъмини истифодаи беҳатари замин аҳамияти назаррас дорад.

Мақсади мақола. Омӯзиши омилҳои бавучудории сангрешаҳо ва дар натиҷаи онҳо муайян намудани минтақаҳои осебпазир аз сангрешаҳо дар натиҷа сохтани модели сангрешаҳо.

- Омӯзиши шароити геологӣ, геоморфологӣ, иқлимӣ ва гидрогеологии минтақа;
- Омӯзиши намудани омилҳои асосии ба вучуд омадан ва ғайраравандии сангрешаҳо;
- ҷамъоварӣ ва таҳлили маълумот оид ба мавқеъ, паҳншавӣ ва хусусиятҳои сангрешаҳои мавҷуда;
- муайян намудани робитаи байни сангрешаҳо ва омилҳои табиӣ, аз ҷумла нишебии релеф, таркиби ҷинсҳои кӯҳӣ, шиддати боришот, ғайраравандии сейсмикӣ ва таъсири равандҳои эрозиялӣ;
- истифодаи маълумоти харитасозӣ ва технологияи низомии иттилоотии ҷуғрофӣ (GIS) барои таҳияи қабатҳои иттилоотии марбут ба омилҳои сангрешаҳо;
- баҳодиҳии дараҷаи осебпазирӣ ҳудудҳо ва ғайраравандии онҳо аз рӯи сатҳи ҳатари сангрешаҳо;
- таҳияи харитаи осебпазирӣ ва модели фазоии паҳншавии сангрешаҳо;
- муайян намудани минтақаҳои дорои ҳатари баланд ва пешниҳоди тавсияҳо оид ба кам намудани таъсири манфии сангрешаҳо ба аҳоли, роҳҳо, иншооти муҳандисӣ ва дигар объектҳои ҳоҷагидорӣ.

Сангрешаҳо яке аз шаклҳои ҳаракати оммавии маводи кӯҳӣ мебошад. Дар он пораҳои ҷинс аз нишебии баланд ҷудо шуда, бо таъсири қувваи ҷозиба ба поён меафтанд, мегеланд ё ҷаҳиш мекунад. Сангрешаҳо метавонанд аз якҷанд сангҳои хурд то блокҳои хеле калонро дар бар гиранд.

Дар қисми болоии (расми 1) нишебии хеле баланд ва санглох мушоҳида мешавад. Сатҳи кӯҳ ноҳамвор буда, тарқишҳо, пораҳои чинс ва минтақаҳои фарсудаи ба назар мерасанд. Дар қисми миёна ва поёнии нишебӣ қабати калони сангрета ва маводи майда чамъ шудааст. Ин ҳолат метавонад натиҷаи пошхӯрии чинсҳои қисми боло бошад.

Қабати сангретиш дар поён нишонаи он аст, ки маводи кӯҳӣ аз боло ба поён интиқол ёфтааст. Аз рӯи геометрияи тасвир, дар маркази нишебӣ як минтақаи равшани сангрета дида мешавад, ки ба минтақаи чамъшавии маҳсулоти сангретиш монанд аст. Аммо танҳо аз рӯи акс гуфтан, ин маҳз як ҳодисаи сангретиши нав аст ё чамъшавии тадриҷии сангрета дар тури солҳои зиёд, дуруст нест.

Расми 1. Тарзи пайдоиши сангретишҳо дар водии руди Ғунд

Figure 1. The process of talus in the Gunt River Valley



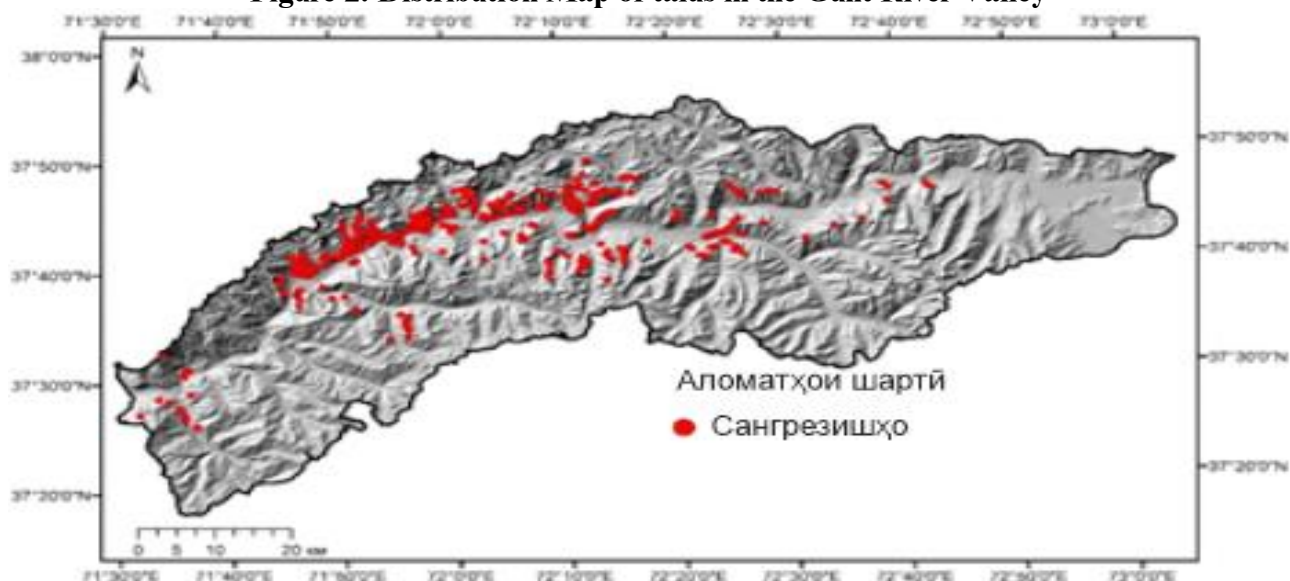
Онҳо дар нишебҳои қисматҳои боло, миёна ва поёнии минтақаҳои кӯҳӣ маъмуланд (расмҳои 1, 2). Дар пайдоиши сангретаҳо сохтори геологӣ, тектоникӣ, геоморфология ва заминчунбӣ, хосиятҳои сангҳо, шароити иқлим ва ғайра нақши асосиро мебозанд.

Дар мавзеи тадқиқот сангретишҳое, ки дар натиҷаи бодхурдашавии сангҳо ба амал омадаанд, бо конусҳои аллювиалии масолеҳи санги блоки кластикӣ ва санги қитъашуда ифода ёфтаанд.

Мавод ва усулҳо. Барои дақиқ муайян кардани намунаҳои асосӣ, ҳама сангретишҳои муайяншуда ба формати GIS ворид карда шуданд. Қаблан, бо истифода аз технологияи GIS ва усули таносуби басомадҳо омилҳои шабеҳ таҳлил шуда буданд, аммо ҳамчун омилҳои фурурезанда таҳлил карда мешуданд. Дар асоси маълумоти бадастомада таносуби басомад барои ҳар як синфи омил муайян карда шуд. Қимати таносуби басомад нишон медиҳад, ки то кадом андоза шароити муайяни ҳудуд барои пайдоиш ва паҳншавии сангретишҳо мусоид мебошад. Қимати аз 1 зиёд будани ин нишондиҳанда аз алоқамандии мусбати синфи мазкур бо пайдоиши сангретишҳо шаҳодат медиҳад, дар ҳоле ки қимати аз 1 кам будан эҳтимоли нисбатан пасти пайдоиши ин равандро нишон медиҳад.

Ҳамин тарик, бо истифода аз таҳлили фазоӣ ва омӯри таъсири омилҳои морфометри, иқлимӣ ва геологӣ ба паҳншавии сангрезии муайян карда шуд. Натиҷаҳои таҳлил барои муайян намудани вазни нисбии ҳар як омил ва таҳияи харитаи ҳассосияти ҳудуд ба пайдоиши сангрезии истифода гардиданд. Ин равиш имконият фароҳам овард, ки минтақаҳои дорои шароити мусоид барои ташаккули сангрезии бо дақиқии бештар муайян карда шуда, дараҷаи эҳтимолии ҳавфи онҳо дар ҳудуди таҳқиқшаванда арзёбӣ карда шавад. Натиҷаҳои бадастомада нишон доданд, ки дараҷаи таъсири омилҳои гуногун ба пайдоиши сангрезии яксон набуда, баъзе аз онҳо нақши бештар доранд. Ин фарқиатҳо дар марҳилаи ниҳонии моделсозӣ ба назар гирифта шуда, барои баланд бардоштани дақиқии харитаи ҳассосият истифода шуданд [12,с.128].

Расми 2. Нақшаи паҳншавии сангрезии дар водии дарёи Ғунд
Figure 2. Distribution Map of talus in the Gunt River Valley



Сангрезии дар водии руди Ғунд дорои чунин хусусиятҳо мебошанд: коэффитсиенти сангрезии баробари зиёд шудани нишебӣ зиёд шуда, баъди расидан ба 20-30° ин коэффитсиент тадриҷан паст мешавад; сангрезии аз ҷиҳати омӯри бештар ба нишебии дорои самти шимол алоқаманданд; дар баландии 1500-2000 м шумораи зиёди сангрезии ба вучуд меоянд [13,с.168].

Қабул аз пайдоиши GIS, яке аз вазифаҳои ғайриимкон ҳангоми омӯзиши қонунҳои ҳодисаҳои ярҷ инъикоси ин маълумот дар ҳудуди атроф буд. Корхое ҳастанд, ки дар онҳо шеваи зухуроти ярҷ муайян шудааст ва ҳатто дар асоси ин маълумот харитаи эҳтимоли резии ярҷ дар Тоҷикистон пешниҳод шудааст [7,с.21]. Бо вучуди ин, аз сабаби маҳдудият дар таҳлили фазоӣ, ин харита дақиқии кофӣ надорад. Изҳороти мо дар бораи корҳои қаблан анҷомёфта ба ҳеҷ вачҳ арзиши онҳоро паст намекунад. Ҳар як кори иҷрошуда аҳамияти назариявӣ ва амалии ҳудро дорад.

Кори муайян намудани қонунҳои фазоӣ ба омӯзиши паҳншавии ҳодисаҳои мавҷудаи ярҷ аз рӯи омилҳои маълуми ташаккули онҳо нигаронида шудааст. Ба ақидаи мо, нишебӣҳо, экспозитсия ва кашидани нишебӣҳо, минтақаи баландӣ, дурӣ аз ҳатҳои ҳавзаи обёрӣ ва микдори боришот омилҳои муҳимтарин мебошанд [5,с.65; 4,с.40].

Натиҷаҳо. Ҳангоми омӯзиши шаклҳои фазоии равандҳои экзодинамикӣ модели сифрии маҳал (DEM) аҳамияти махсус дорад. Дар асоси натиҷаҳои таҳлили таносуби афтиши нишебӣҳо маълум гардид, ки коэффитсиенти таносуби басомадҳо аз рӯи синфи ин омил аз 0,01 то 2,1 фарқ мекунад (ҷадвали 1 ва расми 3). Чун дар мавриди омӯзиши ҳодисаҳои лағзии ярҷ дар минтақаи силсила неругоҳи барқии обии дарёи Вахш, водии дарёи Зарафшон, Обихингоб, Сурхоб ва ҳудуди водии дарёи Ғунт таносуб бо кунҷи майл зиёд мешавад [15,с.32]. Аммо бар хилофи шаклҳои муайяншудаи ҳодисаҳои ярҷ дар минтақаҳои дар боло зикршуда, таносуб арзиши камтар аз ягонагӣ пайдо намекунад. Коэффитсиенти таносуби басомад дар сафи пеш аз охири нишебӣ ба ҳадди максималӣ

мерасад (чадвали 1). Коэффитсиенти пасттарин дар нишебиҳои кунчи майлаш то 50 мушоҳида мешавад, ки ин ачиб нест, зеро дар доираи таҳқиқоти саҳроӣ мушоҳида карда шуд, ки чунин шароитҳои морфометрӣ барои ҷамъшавии мавод аз равандҳои нишебӣ мусоидтаранд [10,с.36].

Дар дараҷоти нишебӣ, таносуби басомад аз 0-1,36 фарқ мекунад ва дараҷаи максималӣ дар нишебиҳои дорои самти шимолу ғарбӣ рух медиҳад. Дараҷаи дуҷум то харитаи кунчи нишебӣ таносуби дуҷуми баландтарини басомад дорад. Нишебиҳои дорои самти шимолӣ аз рӯи таносуби басомадҳо ҷои сеюмро ишғол мекунанд. Чунин нишондиҳанда таъсири нишебии шимолӣ, аз як тараф, ба нигоҳ доштани намӣ дар хок мусоидат мекунад, ки дар навбати худ як ҷузъи муҳимми растанӣ мебошад ва аз тарафи дигар, бо ҷамъ кардани намии аз ҳад зиёд ба нишеб вазни иловагӣ медиҳад. Аз сабаби номуайян будани робитаи ин омил ва ҳодисаҳои ярҷ натиҷаҳои таҳлил дар ҳама ҷой гуногун шарҳ дода мешаванд. Ба ғайр аз дараҷоти дар боло зикргардидаи нишебиҳо, инчунин бояд самти ҷанубии нишебиҳо, ки таносуби басомади 1,04-ро ташкил медиҳад, қайд кард. Барои дараҷоти дигари ин омил коэффитсиент камтар аз як аст [1,с.215].

Дар асоси натиҷаҳои таҳлили табақабандии баландӣ маълум гардид, ки сангрезаҳо низ аз рӯи дараҷоти ин омил нобаробар тақсим шудаанд. Мувофиқи ин натиҷаҳо таносуби баландтарини басомадҳо дар баландиҳои аз 3500 то 4000 м мушоҳида мешавад. Коэффитсиенти назарраси 1,35 дар таносуби басомад дар синфи пеш аз охири минтақабандии баландӣ низ мушоҳида мешавад. Дар се синфи дигари минтақабандии баландӣ таносуби басомад ба таври зайл тағйир меёбад: синфи якум – 0,37, синфи дуҷум – 0,8 ва синфи панҷум – 0,62. Дар синфҳои баландии нисбатан паст қимати таносуби басомад аз 1 кам буда, ин нишон медиҳад, ки паҳншавии сангрезишҳо дар чунин баландӣ нисбатан маҳдуд аст. Бо афзоиши баландӣ бошад, таъсири омилҳои физикӣ-географӣ бештар шуда, шароити мусоид барои ноустувории ҷинсҳои кӯҳӣ ба вучуд меояд. Аз ҷумла, дар минтақаҳои баландкӯҳ таъсири давраҳои яхбандӣ ва обшавӣ метавонад ба сустшавии сохтори ҷинсҳои кӯҳӣ ва зиёд шудани дараҷаи шикоятҳои онҳо мусоидат намояд.

Ҳамин тариқ, таҳлили таносуби басомад аз рӯи синфҳои баландӣ нишон медиҳад, ки байни баландии мутлақӣ ҳудуд ва эҳтимолияти пайдоиши сангрезишҳо вобастагии муайян вучуд дорад. Натиҷаҳои мазкур дар марҳилаи моделсозии ҳассосияти ҳудуд ба пайдоиши сангрезишҳо аҳамияти муҳим дошта, барои муайян намудани минтақаҳои дорои дараҷаи баланди хавф истифода гардида [2,с.127].

Қаҷравии нишебиҳо шояд омилҳои хурдтарини синфҳо бошад. Дар водии дарёи Ғунт дар нишебиҳои дорои шакли фурурафта, дорои таносуби басомади 1,747 мебошад. Дар нишебиҳое, ки сатҳи ҳамвор доранд, камтарин вобастагии сангрезаҳо мушоҳида мешавад. Коэффитсиенти назарраси басомади 1,327 дар нишебиҳои дорои шакли барҷаста мушоҳида мешавад. Дар муқоиса бо ин ду гурӯҳ, нишебиҳои дорои сатҳи ҳамвор камтарин вобастагии сангрезишҳоро нишон медиҳанд. Эҳтимол меравад, ки дар чунин нишебиҳо шароити мусоид барои ҷамъшавии об ва ташаккули сатҳҳои сустшудаи ҷинсҳои кӯҳӣ нисбатан маҳдуд буда, дар натиҷа эҳтимоли пайдоиши сангрезишҳо камтар мегардад.

Ҳамин тавр, таҳлили қаҷравии нишебиҳо нишон медиҳад, ки шакли релеф дар муайян намудани минтақаҳои эҳтимолии сангрезиш нақши муҳим дорад. Бо вучуди ин, ин омилро бояд дар якҷоягӣ бо дигар омилҳои табиӣ, аз ҷумла кунчи нишебӣ, баландӣ, таркиби литологӣ, фаъолияти тектоникӣ, боришот ва наздикӣ ба шабакаи гидрографӣ таҳлил намуд. Комплекси намудани ин омилҳо имкон медиҳад, ки саҳми ҳар як нишондиҳанда дар ташаккули ҳатари сангрезиш дақиқтар муайян гардида, модели ниҳоии ҳассосияти ҳудуд ба сангрезишҳо таҳия карда шавад.

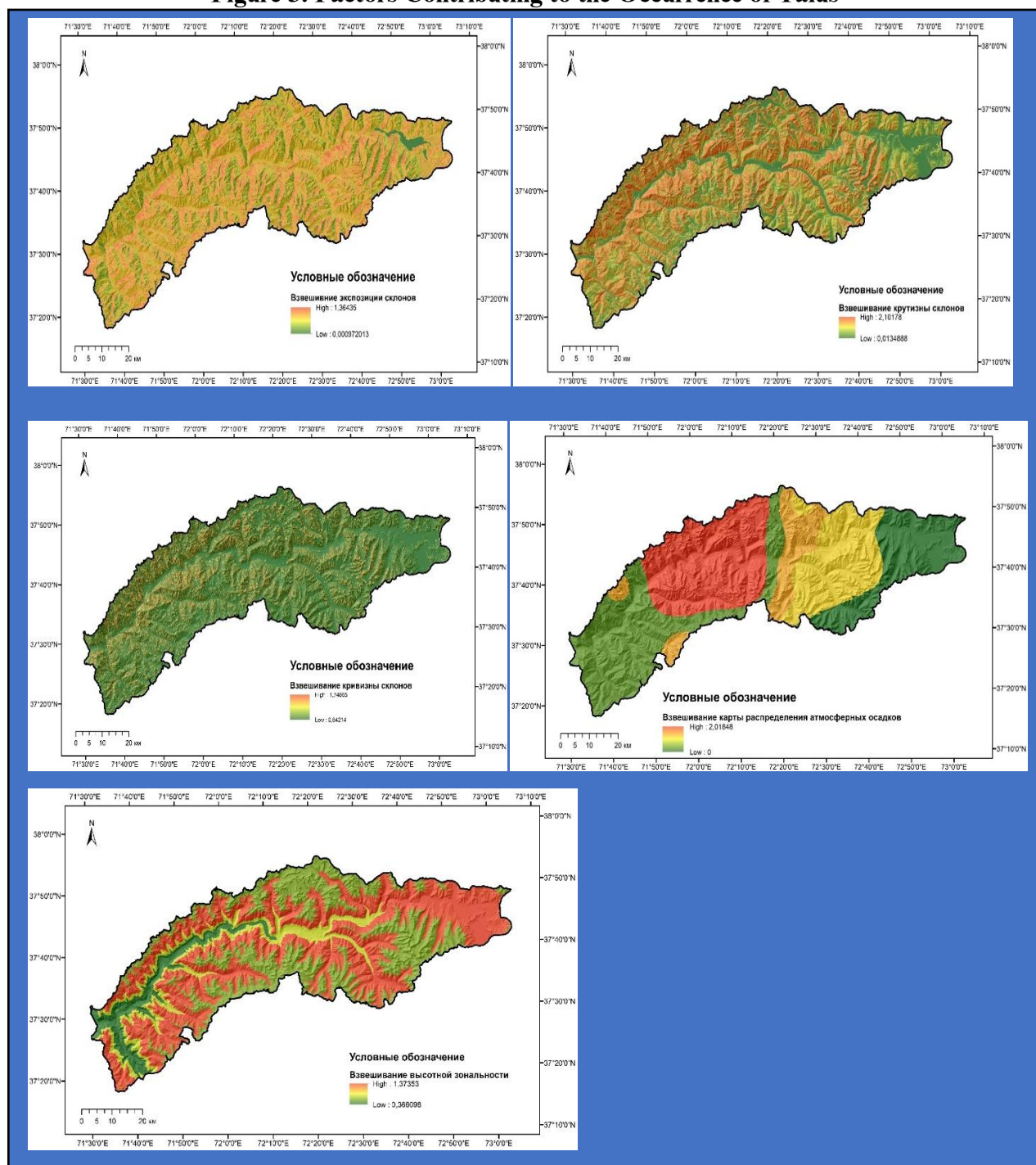
Тақсими боришот дар водии дарёи Ғунт дар як сол аз 289 то 437 мм (мувофиқи харитаи боришоти атмосферӣ) тағйир меёбад. Сарфи назар аз миқдори тақрибан якхелаи боришот, радиобандӣ дар минтақаи омӯзишӣ аз рӯи дараҷот нобаробар инкишоф ёфтааст. Радиҳои охири харитаи боришотро аз рӯи натиҷаҳои таҳлилҳои мо ҳамчун нишондиҳандаи асосии ин омил тавсиф кардан мумкин аст, ки коэффитсиенти басомади он 2,02 мебошад (расми 3). Маҳдуд кардани равандҳои нишебиҳо ба минтақаҳое, ки миқдори зиёди боришот доранд, қайҳо боз пӯшида нест. Аммо дар ин равиши илмӣ

маълумотҳои миқдорӣ оид ба муносибатҳо оварда шудаанд, ки дар шакли қолабҳои фазоӣ тасвир шудаанд, ки яке аз унсурҳои навоарӣ мебошад. Боз ду синфи дигар вучуд доранд, ки аз сабаби таносуби басомади болотар таваҷҷуҳро ба худ ҷалб мекунанд, инҳо синфҳои дуюм ва сеюм мебошанд (ҷадвали 1, расми 3).

Ҷадвали 1. Натиҷаи ҳисоб кардани таносуби басомад
Table 1. Results of the Frequency Ratio Calculation

Афтиши нишебӣ (бо дараҷа)					
Синф	Ncell(Ni)	ΣNcell(Ni)	Ncell(Si)	ΣNcell(Si)	Fri
0-5	326033	0,06	92	0,00	0,01
5-10	422690	0,08	492	0,00	0,06
10-20	1089616	0,20	6145	0,05	0,27
20-30	1427522	0,27	24199	0,22	0,81
30-40	1338109	0,25	50200	0,45	1,79
40-50	585173	0,11	25729	0,23	2,10
>50	174692	0,03	5352	0,05	1,46
Ҷойгиршавии нишебҳои					
Синф	Ncell(Ni)	ΣNcell(Ni)	Ncell(Si)	ΣNcell(Si)	Fri
Рост	49179	0,01	1	0,00	0,00
Шимолӣ	685905	0,13	15886	0,14	1,11
Шимолӣ-Шарқӣ	650060	0,12	10988	0,10	0,81
Шарқӣ	679277	0,13	8952	0,08	0,63
Ҷанубӣ- Шарқӣ	646452	0,12	13352	0,12	0,99
Ҷанубӣ	676628	0,13	14679	0,13	1,04
Ҷанубӣ-Шарқӣ	674980	0,13	14569	0,13	1,03
Ғарбӣ	662526	0,12	15548	0,14	1,12
Шимолӣ-Ғарбӣ	638828	0,12	18233	0,16	1,36
Минтақаҳои баландӣ (м)					
Синф	Ncell(Ni)	ΣNcell(Ni)	Ncell(Si)	ΣNcell(Si)	Fri
2048-3000	370560	0,07	2838	0,03	0,37
3000-3500	554436	0,10	9330	0,08	0,80
3500-4000	1176972	0,22	33819	0,30	1,37
4000-4500	1564166	0,29	44207	0,39	1,35
4500-5785	1697701	0,32	22016	0,20	0,62
Қаҷии нишебӣ					
Синф	Ncell(Ni)	ΣNcell(Ni)	Ncell(Si)	ΣNcell(Si)	Fri
Фурурафта	449730	0,08	16433	0,15	1,747
Рост	4006127	0,75	70578	0,63	0,842
Барҷаста	907976	0,17	25200	0,22	1,327
Боришоти атмосфери мм/сол					
Синф	Ncell(Ni)	ΣNcell(Ni)	Ncell(Si)	ΣNcell(Si)	Fri
289-340	899504	0,17	0	0,00	0,00
340-360	1027746	0,19	25413	0,23	1,20
360-380	539513	0,10	16402	0,15	1,47
380-400	1488934	0,27	8833	0,08	0,29
400-437	1476954	0,27	61593	0,55	2,02

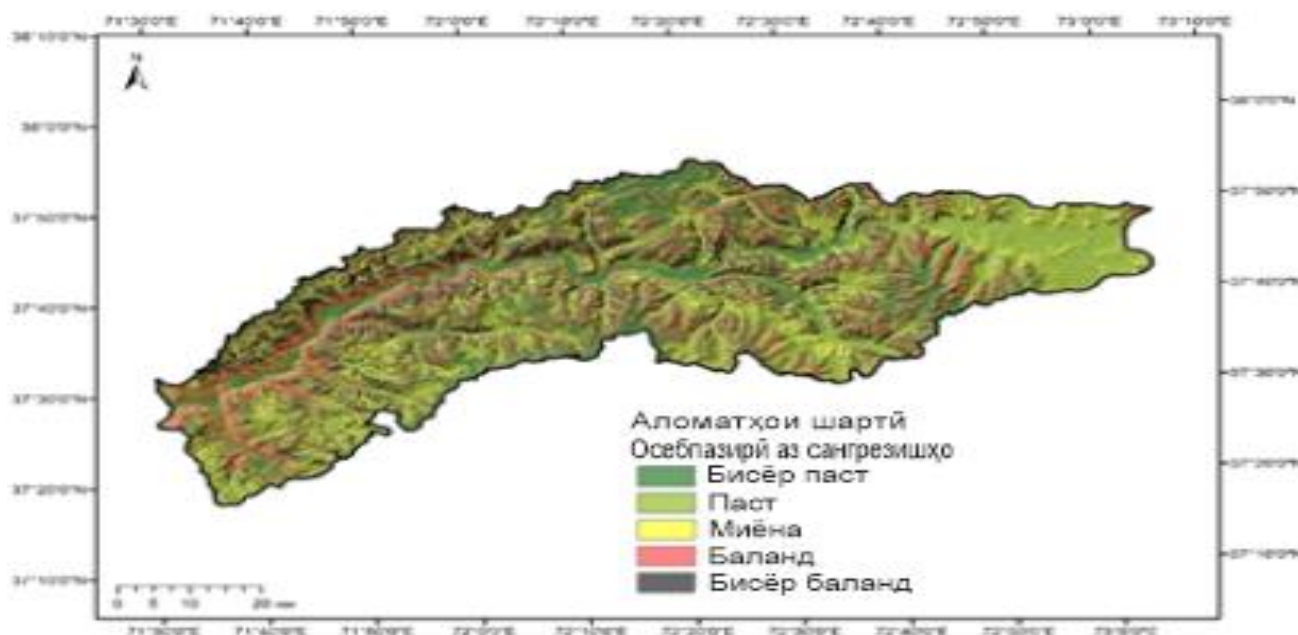
Расми 3. Омилҳои ба вучудории осипҳо
Figure 3. Factors Contributing to the Occurrence of Talus



Марҳилаи ниҳой бо эҷоди харитаи ҳассосият ба пайдоиши сангрзаҳо ишора карда мешавад (расми 4). Моделе, ки мо офаридаем, нишон медиҳад, ки майдонҳое, ки ба пайдоиши сангрзаҳо хеле зиёд тобеъ мебошанд, қисмҳои шимолии нишебихо буда, дар қисмҳои поёнии нишебихо ҳуди маводҳо аллакай ҷамъ шуда истодаанд.

Арзёбии дурустии модел. Пас аз муайян кардани шаклҳои фазои сангрзаҳо ва сохтани модел, ягона саволи ҳалношуда дар бораи дурустии модел боқӣ мемонад. Ин тартиб бо истифода аз таҳлили ROC анҷом дода мешавад, ки пас аз он, ба гуфтаи муаллифони баъзе нашрияҳо, модел барои истифодаи минбаъда дар ҳалли масъалаҳои амалӣ дар ҳолати қобилияти пешгӯии қаноатбахш эътибори ҳуқуқӣ пайдо мекунад ё барои истифодаи минбаъда дар ҳолатҳои қобилияти пешгӯии ғайриқаноатбахш, ки эҳтимолан кофӣ нест [14,с.123; 8,с.138].

Расми 4. Нақшаи тобовар будани водии дарёи Гунд ба пайдоиши сангрезиишҳо
Figure 4. Talus susceptibility map of the Gunt River Valley



Ҷадвали 6. Арзишҳои хусусиятҳои статистикии AUC [12; 13]

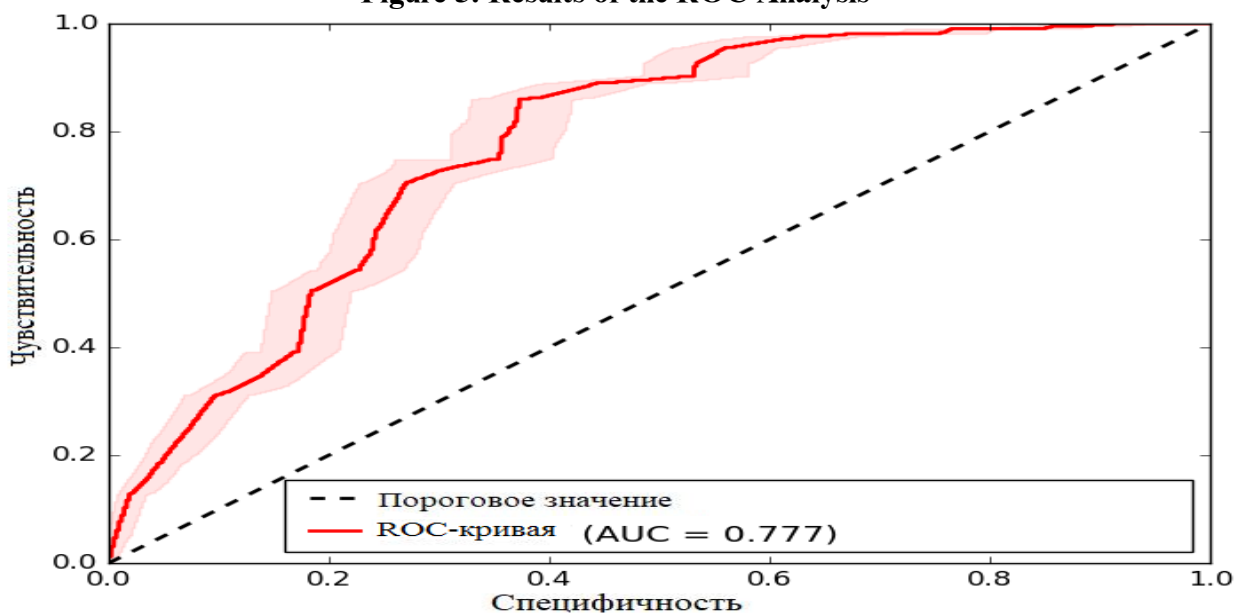
Table 6. Values of the AUC Statistical Characteristics

Фосилаи AUC	Сифати модел
0,9-1,0	Олӣ
0,8-0,9	Бисёр хуб
0,7-0,8	Хуб
0,6-0,7	Миёна
0,5-0,6	Ғайриқабул

Ҷадвали 6 нишон медиҳад, ки натиҷаи таҳлили дурустии модел аз рӯи 5 меёр баҳо дода мешавад [11,с.189]. Модел қобилияти аълои пешгӯиро ба даст меорад, вақте ки зиёда аз 90% ҳодисаҳои сангрезӣ ба минтақаи дорои хассосияти хеле баланд ба пайдоиши сангреза афтодаанд. Аз рӯи таҳлили қорҳои анҷомёфта, ки асосан ба моделсозии пайдоиши ярҷ нигаронида шудаанд, натиҷа одатан дорои қобилияти пешгӯии баланд буда, хеле кам қобилияти мутавассити пешгӯиро соҳиб мешавад. Барои ба даст овардани модели дорои арзиши хеле хуб ё аъло AUC, маълумот барои таҳлили фазой бояд хеле бодикқат омода карда шавад, то ҳангоми баҳодиҳии дурустии модел падидаҳои таҳлилшуда дар минтақаҳои дорои хассосияти хеле паст пешгирӣ карда шаванд, на дар минтақаҳои дорои хассосияти хеле баланд, ки ду ҳатогиҳои асосиро ҳангоми бунёди моделҳо намоёндагӣ мекунанд [3,с.102; 6,с.30].

Натиҷаи таҳлили ROC (расми 5) қобилияти хуби пешгӯии модели офаридашудаи хассосияти ҳудудхоро ба пайдоиши скреперҳо нишон медиҳад. Сифати хуби модел ба мо ҳуқуқ медиҳад, ки бешубҳа, натиҷаҳои қори ҳудро барои истифодаи минбаъдаи амалӣ пешниҳод кунем. Истифодаи натиҷаҳои моделсозӣ дар амал метавонад ба баланд бардоштани самаранокии мониторинги ҳудудҳо, оптимизатсияи тақсими захираҳо ва кам намудани таъсири омилҳои номусоид мусоидат намояд. Ҳамзамон, натиҷаҳои бадастомада метавонанд барои тақмили минбаъдаи модел, бо ҷалби маълумоти нави саҳроӣ ва нишондиҳандаҳои иловагӣ, замина фароҳам созанд. Дар маҷмӯъ, арзёбии ROC самаранокии қаноатбахши модели пешниҳодшударо тасдиқ намуда, имконияти истифодаи онро дар таҳлил ва пешгӯии хассосияти ҳудудҳо ба пайдоиши скреперҳо нишон медиҳад [9,с.90].

Расми 5. Натиҷаи таҳлили ROC
Figure 5. Results of the ROC Analysis



Хулоса. Дар солҳои охир ба омӯхтани иқтидори геологӣ экзогенӣ диққати зиёд дода мешавад. Яке аз равандҳои геологӣ экзогенӣ, ки дар ин бобат хуб омӯхта шудааст, лағзиш аст. Вале ғайр аз омӯхтани ҳодисаҳои ярҷ, таҳқиқи сангрезаҳо низ пураҳаммият мебошад. Омӯзиши шаклҳои фазоии ярҷҳо дар коҳиш додани хатар аз сабаби дар водии дарёи Ғунд васеъ паҳн шудани онҳо нақши муҳим мебозад. Таҳлили омории омилҳо ба мо имкон медиҳад, ки изҳор кунем, ки зухуроти ярҷ дар шароити муайяни морфометрӣ ва иқлимӣ маҳдуд аст. Шароити морфометрии бештар интизоршавандаи пайдоиши сангрезаҳо пастҳамиҳо бо нишебии 40-50°, дорои самти шимолу ғарб ва шакли фурурафта мебошанд. Нишебӣҳо дар минтақаҳои, ки боришоти зиёд доранд, осебпазиртар мешаванд. Нишебӣҳо, ки дар баландии аз 3500 то 4000 метр воқеъ гардидаанд, шароити мусоидтарин доранд, чихати пешгирӣ аз сангрезаҳо.

Мувофиқи харитаи устувории ҳудуди водии дарёи Ғунт ба пайдоиши ярҷ, ки қобилияти пешгӯиро дорад, маълум мегардад, ки раванди резиши чинсҳои кӯҳиро дар ҳама ҷо дар нишебӣҳои минтақаи таҳқиқотӣ интизор шудан мумкин аст. Мувофиқи харитаи таҳияшудаи осебпазирӣ ҳудуди водии дарёи Ғунд нисбат ба пайдоиши сангрезишҳо, ки дорои қобилияти нисбатан баланди пешгӯӣ мебошад, эҳтимолияти ба амал омадани ин раванд дар қисмати зиёди нишебӣҳои минтақа вучуд дорад. Бо вучуди ин, дараҷаи хавф дар тамоми қаламрав яқсон нест. Минтақаҳои дорои хавфи баланд асосан дар ҷойҳои ҷойгир шудаанд, ки омилҳои геоморфологӣ, геологӣ ва иқлимӣ ба ҳам мувофиқат намуда, барои ноустувор гардидани нишебӣҳо шароити мусоид фароҳам меоранд.

Натиҷаҳои таҳқиқот нишон медиҳанд, ки истифодаи усули таносуби басомад дар якҷоягӣ бо технологияҳои низоми иттилоотии ҷуғрофӣ (GIS) имкон медиҳад минтақаҳои эҳтимолии пайдоиши сангрезишҳо бо дараҷаи хуби дақиқӣ муайян карда шаванд. Ин усул имкон медиҳад, ки саҳми ҳар як омилҳои табиӣ дар ташаккули сангрезишҳо ба таври миқдорӣ арзёбӣ гардида, нақши онҳо дар афзоиши хавф муайян карда шавад.

Харитаи ҳосилшуда метавонад ҳамчун воситаи амалии баҳодихии хавфи геологӣ ҳангоми банақшагирии истифодаи замин, интиҳоби қитъаҳо барои сохтмони иншоот, роҳҳои автомобилгард ва дигар инфрасохтори муҳандисӣ истифода шавад. Илова бар ин, натиҷаҳои бадастомада барои ташкил намудани низоми мониторинги минтақаҳои хавфнок ва андешидани чораҳои пешгирикунанда аҳаммияти калон доранд.

Бо дарназардошти он ки тағйирёбии иқлим метавонад ба афзоиши шиддат ва такроршавии боришоти шадид мусоидат намояд, эҳтимоли фаъолшавии равандҳои сангрезишӣ дар оянда низ зиёд мешавад. Аз ин рӯ, тақмили моделҳои баҳодихии хавф,

истифодаи маълумоти нави ҳискунии фосолавӣ ва навсозии мунтазами харитаҳои осебпазирӣ барои баланд бардоштани эҳтимоднокии пешгӯиҳо зарур мебошад.

Ҳамин тариқ, натиҷаҳои таҳқиқоти мазкур нишон медиҳанд, ки баҳодиҳии фазои осебпазирӣ ба сангрезии метавонад ҳамчун асоси илмӣ барои идоракунии хавфҳои геологӣ, ҳифзи аҳоли ва коҳиш додани зарари эҳтимолии офатҳои табиӣ дар водии дарёи Ғунд хизмат намояд. Истифодаи чунин маълумот дар фаъолияти мақомоти соҳавӣ ва ташкилотҳои масъул имконият медиҳад, ки қарорҳои асосноктар қабул гардида, сатҳи беҳатарии аҳоли ва объектҳои ҳоҷагидорӣ баланд бардошта шавад.

Таҳқиқоти мазкур дар доираи фаъолияти лабораторияи баҳодиҳии хатарнокии сейсмикии Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи АМИТ (УДК 550.34:551.78(575.3), № ГР №0116ТJ00576) анҷом дода шудааст.

АДАБИЁТ

1. Байгенов Д.Ф. Влияние крутизны и экспозиции склонов на распространение оползневых явлений долины реки Зеравшан / Д.Ф. Байгенов, Ш.А. Файзуллоев, М.Р. Рахимбекова // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы инженерной геологии, гидрогеологии, гидрологии и разработки месторождений полезных ископаемых Таджикистана и сопредельных территорий», посвящённой 80-летию со дня рождения заслуженного работника Таджикистана, доктора технических наук, профессора, академика инженерной академии Республики Таджикистан Комилова Одины Комиловича. - 25-го февраля 2022. -С.214-219.
2. Моделирование восприимчивости к оползням района каскада ГЭС на реке Вахш с использованием метода анализа иерархий в ГИС-технологий / [Ш.А. Файзуллоев, Д.Ф. Байгенов, Б.А. Аламов и др.] // Известия Академии наук Таджикистана. – 2020. -№4(181). –С.121-128.
3. Оценка восприимчивости к возникновению оползней долины реки Зеравшан методом анализа иерархий / Д.Ф. Байгенов, Ш.А. Файзуллоев, Б.А. Аламов [и др.] // Вестник филиала Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе. Серия естественных наук. – 2024. -Том 1. -№1(37). - С.98-109.
4. Прогноз возникновения неглубоких оползней района каскада ГЭС на реке Вахш / [Ш.А. Файзуллоев, Д.Ф. Байгенов, Б.А. Аламов и др.] // Наука и инновация. Таджикский национальный университет серия геологических и технических наук. - 2020. -№2. -С.38-43.
5. Рахимбекова М.Р. Зонирования территории долины реки Гунт по степени восприимчивости к возникновению оползней / М.Р. Рахимбекова, Ш.А. Файзуллоев // Известия, НАНТ: серия физико-математических, химических, геологических и технических наук. – 2023. -№2(191). -С.64-75.
6. Роль инвентаризации оползневых явлений при моделированиях восприимчивости к оползням / [Ш.А. Файзуллоев, Дж.М. Нарзиев, Д.Ф. Байгенов и др.] // Наука и инновация. Таджикский национальный университет. Серия геологических и технических наук. - 2020. -№4. -С.30-35.
7. Сейсмическая опасность и прогноз возникновения оползней при землетрясениях для горных районов Таджикистана: монография / А.Р. Ишук, А.В. Шварц, Н.Р. Ишук [и др.]. -Душанбе, 2013. -72 с.
8. Степень восприимчивости склонов долины реки Обихингоу к возникновению оползней / [Б.А. Аламов, Ш.А. Файзуллоев, Д.Ф. Байгенов и др.]// Известия, НАНТ: серия физико-математических, химических, геологических и технических наук. – 2023. -№4(193). -С.136-146.
9. Файзуллоев Ш.А. Оползневая восприимчивость территории Таджикистана / Ш.А. Файзуллоев, И.С. Оймухаммадзода // Доклады Национальной академии наук Таджикистана. - 2024. -Том 67. -№1-2. -С.88-94.
10. Файзуллоев Ш.А. Проблема выбора пространственного разрешения цифровой модели рельефа при моделированиях восприимчивости к возникновению оползней / Ш.А. Файзуллоев // Наука и инновация, Таджикский национальный университет серия геологических и технических наук. - 2020. -№3. -С.34-43.
11. Effects of raster resolution on landslide susceptibility mapping: a case study of Shenzhen / Tian Y, Xiao C, Liu Y, Wu L. [et al.] // Sci China Ser E 2008. -51(2). –P.188-198.
12. Gholami, M., Ghachkanlu, E.N., Khosravi, K. Landslide prediction capability by comparison of frequency ratio, fuzzy gamma and landslide index method // J Earth Syst Sci. - 128, 42 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12040-018-1047-8>
13. Mukhammadzoda, S., Shohnavaz, F., Ilhomjon, O. and Zhang, G. Application of Frequency Ratio Method for Landslide Susceptibility Mapping in the Surkhob Valley, Tajikistan // Journal of Geoscience and Environment Protection. – 2021. -№9. –P.168-189. doi: 10.4236/gep.2021.912011
14. Wang, Y., Sun, Deliang W., Haijia, Z., Hong, Z. Comparison of Random Forest Model and Frequency Ratio Model for Landslide Susceptibility Mapping (LSM) in Yunyang County (Chongqing, China) // International Journal of Environmental Research and Public Health. -2020. -№17(12). –P.4206. – doi:10.3390/ijerph17124206
15. What is the effect of LiDAR-derived DEM resolution on large-scale watershed model results? / [Yang P, Ames DP, Fonseca A, Anderson D, Shrestha R, Glenn NF, Cao Y. et al.] // Environ Model Softw. – 2014. -58. -P.48-57.

ТАЪСИРИ ШАРОИТҲОИ МОРФОМЕТРӢ ВА ИҚЛИМӢ БА ПАҲНШАВИИ САНГРЕЗИШҲО ДАР ВОДИИ ДАРӢИ ҒУНД

Дар мақолаи мазкур бо мақсади омӯзиши тартиби паҳншавии сангрезишҳо, таҳлили таносуби басомад гузаронида шудааст. Тавассути натиҷагирии таҳқиқот муайян шудааст, ки паҳншавии сангрезишҳо тааллуқ доранд бар худуди пастхамиҳои муайян, қачии нишебӣҳо, минтақаҳои баланд ва маҳалли микдори боришҳои зиёди атмосферӣ. Таносубҳои ошкоршуда ҳамчун маълумоти аввалиндараҷа ҷиҳати бунёди модели осебпазирӣ ба пайдошавии сангрезишҳо истифода шудаанд. Ҳамчунин, дурустии модели созмонёфта, чун диҳандаи маълумоти дақиқ таҳқиқ шудааст. Натиҷаҳои арзёбии модел нишон доданд, ки он дорои дараҷаи баланди дақиқӣ буда, кодир аст минтақаҳои эҳтимолии ба вучуд омадани сангрезишҳоро бо эҳтимолинокии баланд муайян намояд. Таҳлилҳо собит сохтанд, ки омилҳои морфометрии релеф, аз ҷумла нишебии сатҳ, самти нишебӣ, баландӣ аз сатҳи баҳр ва масофа аз шабакаи дарёҳо, дар якҷоягӣ бо омилҳои иқлимӣ ва геологӣ, дар ташаққули сангрезишҳо нақши муҳим мебозанд. Дар асоси харитаи осебпазирӣ таҳияшуда, қаламрави таҳқиқшаванда ба минтақаҳои дорои ҳавфи хеле паст, паст, миёна, баланд ва хеле баланд ҷудо карда шуд. Ин гурӯҳбандӣ имкон медиҳад, ки минтақаҳои ҳавфнок муайян гардида, барои банақшагирии истифодаи оқилонаи замин, сохтмони инфрасохтор ва татбиқи чораҳои пешгирикунандаи хоҳиш додани ҳатари офатҳои табиӣ истифода бурда шавад. Аз ин рӯ, истифодаи усули таносуби басомад дар якҷоягӣ бо технологияҳои GIS ва маълумоти ҳискунондаи фосилавӣ ҳамчун воситаи самаранок барои арзёбӣ ва харитасозии ҳавфи сангрезишҳо арзёбӣ мегардад. Натиҷаҳои бадастомада метавонанд ҳамчун асоси илмӣ барои таҳияи стратегияҳои идоракунии ҳавф, ҲИФЗИ АҲОЛӢ ВА ИНФРАСОХТОР, инчунин тақмили низоми мониторинг ва пешгӯии равандҳои сангрезишӣ дар минтақаҳои кӯҳӣ хизмат намоянд.

Калидвожаҳо: сангрезишҳо, муназзамии ҳудуд, валидатсия, модели рақамии сатҳи замин, таҳлили ROC, AUC, ГИС, омӯзиши зондкунии дистансионӣ.

ВЛИЯНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ОСЫПИ В ДОЛИНЕ РЕКИ ГУНТ

В настоящей статье с целью изучения закономерностей распространения камнепадов был проведён анализ частотного отношения. В результате исследования установлено, что распространение камнепадов приурочено к определённым диапазонам уклонов, крутизне склонов, участкам с различной высотной отметкой и территориям с повышенным количеством атмосферных осадков. Выявленные закономерности были использованы в качестве исходных данных для построения модели восприимчивости территории к возникновению камнепадов. Также была проведена оценка точности разработанной модели. Результаты валидации модели показали, что она обладает высокой точностью и способна с высокой степенью достоверности определять потенциальные зоны возникновения камнепадов. Анализ подтвердил, что морфометрические факторы рельефа, включая уклон поверхности, экспозицию склонов, высоту над уровнем моря и расстояние от речной сети, в сочетании с климатическими и геологическими факторами играют важную роль в формировании камнепадов. На основе разработанной карты восприимчивости исследуемая территория была разделена на зоны с очень низкой, низкой, средней, высокой и очень высокой степенью опасности. Такая классификация позволяет выявлять опасные участки и использовать полученные результаты для рационального планирования землепользования, строительства инфраструктуры и реализации превентивных мероприятий по снижению риска природных бедствий. Таким образом, применение метода частотного отношения в сочетании с технологиями ГИС и данными дистанционного зондирования рассматривается как эффективный инструмент оценки и картографирования опасности камнепадов. Полученные результаты могут служить научной основой для разработки стратегий управления рисками, защиты населения и инфраструктуры, а также совершенствования системы мониторинга и прогнозирования камнепадных процессов в горных районах.

Ключевые слова: камнепады, пространственная закономерность, валидация, цифровая модель рельефа, анализ ROC, AUC, ГИС, дистанционное зондирование.

INFLUENCE OF MORPHOMETRIC AND CLIMATIC CONDITIONS ON THE DISTRIBUTION OF ROCKFALLS IN THE GUND RIVER VALLEY

In this study, a frequency ratio analysis was conducted to investigate the spatial distribution patterns of rockfalls. The results revealed that rockfall occurrences are associated with specific slope-gradient ranges, slope steepness, elevation zones, and areas characterized by high amounts of atmospheric precipitation. The identified relationships were used as primary input data for developing a susceptibility model of the territory to rockfall occurrence. The accuracy of the developed model was also evaluated. The model validation results demonstrated a high level of accuracy and confirmed its ability to identify potential rockfall-prone areas with a high degree of reliability. The analysis showed that morphometric terrain factors, including slope gradient, slope aspect, elevation above sea level, and distance from the river network, together with climatic and geological factors, play an important role in rockfall formation. Based on the developed susceptibility map, the study area was classified into zones of very low, low, moderate, high, and very high hazard. This classification makes it possible to identify hazardous areas and use the results for rational land-use planning, infrastructure development, and the implementation of preventive measures aimed at reducing the risk of natural hazards. Therefore, the application of the frequency ratio method in combination with GIS technologies and remote sensing data can be considered an effective tool for assessing and mapping rockfall hazards. The obtained results can serve as a scientific basis for developing risk-management strategies, protecting populations and infrastructure, as well as improving systems for monitoring and forecasting rockfall processes in mountainous regions.

Keywords: rockfalls, spatial distribution, validation, digital elevation model, ROC analysis, AUC, GIS, remote sensing.

Маълумот дар бораи муаллиф: *Раҳимзода Манижа Раҳмон* - Институти геология, сохтмони ба заминчунбӣ тобовар ва сейсмологияи АМИТ, ходими илмӣ. **Суроға:** 734063, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи Айни, 267. E-mail: rahimbekova9292@mail.ru. Телефон: (+992) 502-03-64-04

Сведения об авторе: *Раҳимзода Манижа Раҳмон* - Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАН Таджикистана, научный сотрудник. **Адрес:** 734063, г. Душанбе, Республика Таджикистан, улица Айни, 267. E-mail: rahimbekova9292@mail.ru. Телефон: (+992) 502-03-64-04

Information about the author: *Rahimzoda Manizha Rahmon* – Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, researcher. **Address:** 734063, Dushanbe, Republic of Tajikistan, st. Aini, 267. E-mail: rahimbekova9292@mail.ru. Phone: (+992) 502-03-64-04

Мақола ба редакция ворид шуд: 26.05.2026

Аз тақриз баргашт: 24.06.2026

Ба чоп тавсия шуд: 06.10.2026

ЦЕМЕНТЫ ПОВЫШЕННОЙ СТОЙКОСТИ ДЛЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Мирджамолов А., Саидов Х.Х.

Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

Введение. История древнего бетона уходит в глубь тысячелетий. Этот материал использовали строители Египта, Сирии, Рима, Греции и других древних цивилизаций. При этом в качестве вяжущего применяли известково-пуццолановый цемент. Современных исследователей удивляет огромная разница в качестве восстановленных в наше время и первоначальных частей бетонных конструкций древности. Обследование римских сооружений показывает, что если бетон в древности остался невредимым в условиях воздействия проточной воды и соляного морского ветра в течение двух тысячелетий, то современный портландцементный бетон, использованный при реконструкции, оказался существенно поврежденным в этих условиях уже через 10 лет.

В последние годы проблема долговечности бетонов древности привлекает все более пристальное внимание исследователей. Было высказано предположение о том, что на портландцемент отрицательно влияет процесс карбонизации извести, приводящий к объемным изменениям цементной матрицы на 10-11%. Однако в цементах древности высокая степень карбонизации не сказывается отрицательно на прочности бетонов. Некоторые из них выглядят как твердая естественная порода даже через 9000 лет эксплуатации.

Рентгеноструктурный анализ известково – пуццолановых бетонов, использованных много веков назад в Италии, Греции и на Кипре, свидетельствует о том, что структурообразующим связным в них служит кристаллический кальцит, наряду с которым представлены слабокристаллизованные фазы типа анальцита ($\text{Na}_2\text{O} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 4\text{SiO}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$) [6, с.18-25].

Эти исследования показывают, что, как и у портландцемента, вяжущие свойства цемента древности связаны с образованием гидросиликатов кальция (С – S – Н гелей) и коллоидов нестабильного состава. Однако состав этих цемента существенно отличается от состава портландцемента очень высоким содержанием амфотерных (Al_2O_3 ; Fe_2O_3) и кислых (SiO_2) оксидов и присутствием оксидов щелочных металлов (Na_2O ; K_2O). В связи с этим представляется неправомерным утверждение о том, что С – S – Н гель обеспечивает долговечность цемента. Продукты гидратации современных портландцементов, содержащие С – S – Н гель, теряют свои качества в тех условиях, в которых цементы древности остаются невредимыми. Это объясняется тем, что долговечность и прочность последним придают щелочные алюмосиликаты-цеолиты.

Таблица 1. Химический состав древних цемента

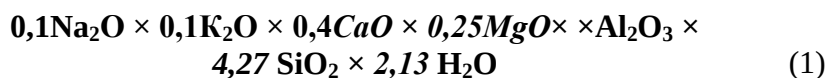
Table 1. Chemical composition of ancient cement

Оксиды	Содержание оксидов в цементах, %			
	Греция 350 лет до н.э.	Тел-Вамад (Сирия) 7000 лет до н.э.	Египет пирамида Хеопса	Рим 160 – 140 лет до н.э.
SiO_2	18	24,6	3,1	42
Al_2O_3	4,3	4,92	0,5	14,4
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	1,44	1,55	0,2	4,2
$\text{CaO} + \text{MgO}$	45,94	41,8	52,6	39,2
CO_2	13,11	25,96	41,4	нет сведений

В известково-пуццолановых римских цементах (см. табл.) щелочи содержались в значительных количествах ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \geq 4\%$) и вводились в составе вулканического пепла. Компонентом, определяющим вяжущие свойства смесей, являлась известь, которая, вступая в катионный обмен пеплом, освобождала едкий натрий, растворяющий кремнезем и тем самым,

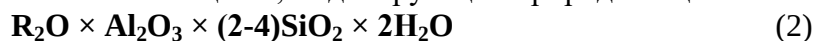
активизирующий процесс синтеза С – S – Н геля и синтезирующий в вяжущей системе щелочной анальцим. Свободная известь карбонизируется. Постепенно карбонизируется и С – S – Н гель. Вечной связкой бетона является анальцим [1,с.72-74].

В известково-пуццолановых цементах Греции и Сирии щелочей содержалось меньше ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \leq 1,6\%$), поэтому в бетоне синтезировались смешанные натриево-калиево-кальциевые цеолиты типа:



Цеолиты обнаружены и в камне египетских пирамид Хеопса и Хефрена. Это позволяет высказать предположение о том, что блоки пирамид были изготовлены путем смешивания известняка из Гизы, некарбонатные составляющие которого на 0,4 – 4% представлены каолином, с известью и содой. Часть извести, вступая в катионный обмен с содой, образовывала едкий натрий. Последний, совместно с известью взаимодействуя каолинитом-пуццолановой составляющей вяжущего - и кремнеземом, формировал в блоках структурную связку в виде цеолитов и С – S – Н геля. Вечной связкой и в бетонах пирамид служит натриевые цеолиты.

Изучение растворов и бетонов древности показало исключительную долговечность этих материалов, а обнаруженные в них в 70 – е годы с помощью рентгеноструктурного анализа цеолитные фазы позволили установить причину этого явления -наличие в составе новообразований синтетических веществ, моделирующих природные цеолиты типа:



В 1957 году это вещество были названы грунтоцементами, а в 70-годы, американские учеными – геополимерами [2,с.50-55].

Бетон настоящего – это материал на основе портландцемента, представленный системой предельно высокоосновных минералов C_3S , C_3A , C_4AF .

Портландцемент относится к числу наиболее массовых и вместе с тем дефицитных технологических продуктов нашего времени. Он обладает многими чудесными свойствами, дающими основание считать его «хлебом строительства». Однако наряду с неоспоримыми достоинствами у портландцемента имеются серьезные недостатки. Это прежде всего высокая энергоемкость, низкая активность (М400 – М600), отсутствие взаимодействия с глинистыми и пылевидными частицами, необходимость применения кондиционных крупных и мелких заполнителей и их обогащения. При этом он отличается низкой коррозионной стойкостью, а, следовательно, и низкой долговечностью. Все эти недостатки определяются тем, что в нем содержится большое количество оксида кальция (63-67%), в результате чего продуктами гидратации наряду с CSH (В) являются химически и физически активные вещества – $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $(3-4)\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3$, $(10-13) \text{H}_2\text{O}$; $(3-4)\text{CaO} \times \text{Fe}_2\text{O}_3 \times (10-13)\text{H}_2\text{O}$; $(1,5-2)\text{CaO} \times \text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$, т. е. минералы, не встречающиеся в естественных горных породах, активно взаимодействующие с окружающей средой и претерпевающие различные физико-химические изменения в процессе эксплуатации.

К бетонам будущего можно отнести, в частности, бетоны на основе щелочных (натриево-калиевых) и щелочно-щелочноземельных (натриево-калиево-кальциевых) гидравлических вяжущих. В первых соединения кальция отсутствуют, в во вторые вводятся в составе низкоосновных кальциевых минералов, при этом высокоосновные кальциевые образования типа C_3S , C_3A и C_4AF либо отсутствуют, либо вводятся в составе портландцемента [4,с.12-13; 5,с.5-6].

При исследовании вяжущих свойства силикатов натрия М. А. Матвеев установил, что гидратированные в стеклообразном состоянии щелочные силикаты являются минеральными вяжущими веществами. Бетоны названы грунтосиликатами, а вяжущие – грунтоцементами. Последние получают затворением тонкоизмельченных горных пород и отходов производства растворами едких щелочей и солей щелочных металлов (натрия и калия). Синтезирующиеся в процессе их твердения новообразования, но вещественному составу близки к минералам земной коры, в том числе цеолитам, слюдам, гидрослюдам, которые в случае попадания в зону высоких температур перекристаллизуются в нефелины, жаденты и полевые шпаты, а по характеру

процессов синтеза моделируют природные процессы минерало - и пороодообразования [5,с.10-11].

В грунтоцементных вяжущих содержатся в значительных количествах ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 3-20%). Компонентом, определяющим их вяжущие свойства, являются едкие щелочи (ROH). Щелочноземельные оксиды в них либо отсутствуют, либо вводятся в составе доменных гранулированных шлаков или известных вяжущих (известь, романцемент, портландцемент или глиноземистый цемент).

Из грунтоцементных вяжущих наиболее изученными являются шлакощелочные цементы. Прочность их на сжатие находится в пределах 40-120 МПа, достигая порой 150 МПа, в то время как максимальная прочность портландцемента составляет 60 МПа. Продуктами их гидратации являются низкоосновные гидросиликаты кальция, кальцит, кремнезем, смешанные щелочно-щелочно-земельные гидросиликаты и гидроалюмосиликаты типа гидронефелина, натролита, анальцима, мусковита, что позволяет отнести их к грунтоцементам.

Марки тяжелых шлакощелочных бетонов, в том числе высокопрочных на основе крупных заполнителей, изменяются от М200 до М1400, грунтосиликатных на основе мелкодисперсных заполнителей – от М200 – М1600, легких – от М80 – М700, ячеистых – от М5 – М100.

Многочисленное обследование конструкций из шлакощелочных бетонов, эксплуатируемых в гидротехнических сооружениях и животноводческих фермах в течение 15-20 лет, показало, что они со временем продолжают набирать прочность. Так, прочность грунтосиликатных бетонных лотков оросительной системы в течение 25 лет возросла с 25-30 до 80-90 МПа. Бетон стал полностью водонепроницаемым, морозостойкость его увеличилась до 600-1000 циклов, ни бетон, ни арматура совершенно не подвержены коррозии.

Цели исследования. Развитие строительства гидротехнических сооружений, требует большого количества высококачественных специальных вяжущих.

Для того чтобы их создавать, необходимо прежде всего иметь четкое представление о различных воздействиях, испытываемых цементом в таких сооружениях, и о том, к каким именно вяжущим веществам может относиться термин «гидротехнический цемент».

К гидротехническим сооружениям относятся массивные и тонкостенные плотины, шлюзы, гидростанции, массивы-гиганты, доски, плиты и др.

Значительное тепловыделение, происходящее при твердении достаточно активных цементов, существенно сказывается на массивных блоках. Поэтому термичность цемента для бетонных массивных плотин привлекает к себе большое внимание. Получение цементов, достаточно быстро и эффективно твердеющих, и выделяющих при этом умеренное количество тепла, является на сегодня неотложной задачей.

В гидротехнических сооружениях имеется немало крупных и ответственных конструкций, для которых нужен бетон на цементе, способном сопротивляться не только выщелачиванию, но также и иным агрессивным механическим и физическим воздействиям.

Например, для сливной части и зоны верхнего бьефа, подвергающихся многократному попеременному действию воды и мороза, а также для зоны стенок шлюзов нужен бетон на цементе, способном весьма длительно сопротивляться названным воздействиям [7,с.112-113].

Бетон водопроводных галлерей гидроэлектрических станций и шлюзов находится под воздействием потока воды, движущегося со скоростью 10-20 м в секунду, причем в воде могут быть во взвешенном состоянии мелкие частицы твердых горных пород.

Не вполне правильно было бы думать, что только при помощи надлежащим образом подобранных инертных добавок бетону можно придать требуемую стойкость по отношению к такого рода физическим воздействиям.

Существующие методы оценки бетона по сопротивляемости истиранию в данном случае недостаточны; нужна другая методология испытаний. Действительно, в образцах из бетона с твердым (гранитным) щебнем, подвергнутых, например, пескоструйному испытанию, износ цементного раствора значительно больше износа твердого щебня, зерна последнего отлетают вследствие происходящего в первую очередь постепенного износа и разрушения связующего вещества. Отсюда видно, что свойства того или иного вяжущего также могут сказываться на сопротивляемости бетона износу.

При пуске турбин гидроэлектростанций наблюдается вибрация бетонных конструкций; устранение или смягчение ее относится к конструктивным мероприятиям; но наряду с этим следует поставить вопрос о получении вяжущего, дающего более эластичный цементный камень [8,с.17-18; 9,с.29-31].

Гидротехнические сооружения, как уже было отмечено, во многих своих частях подвергаются суровым внешним воздействиям среды, в которой они находятся. Следует иметь в виду, что, как правило, эти сооружения рассчитываются на службу в течение длительного времени. Долговечность же их определяется как свойствами инертных материалов, так и цементного камня.

В данный момент методологии, позволяющей оценить важнейшее качество бетона, его долговечность, еще нет. Если и существуют испытания на попеременные циклические увлажнения, замораживание и оттаивание, то они явно недостаточны для оценки долговечности бетона.

Для бетона, не подвергающегося таким циклическим воздействиям, это испытание не нужно, ибо оно не может определить долговечность бетона при отсутствии попеременного увлажнения и замораживания.

Действительно, имеются многие другие факторы, воздействующие или могущие в той или иной степени влиять через длительные сроки на долговечность различных частей гидротехнических сооружений, изготовляемых из бетона или железобетона, например:

1) карбонизация бетона, возникающая под влиянием воздействия небольших количеств углекислоты, находящейся в воздухе или в воде, не обладающей углекислой агрессией;

2) усадочные явления как начальные, так и вызываемые контракцией и высыханием затвердевшей бетонной смеси;

3) «ползучестью» бетона называют рост пластических (неупругих) деформаций под влиянием длительного действия нагрузки. Бетон сохраняет в некоторой мере пластические свойства после затвердевания и может в известной степени как бы течь под действием продолжительно действующей нагрузки. Вот почему названное явление именуют иногда «текучестью».

Каждая из перечисленных групп явления должна рассматриваться как с точки зрения влияния на устойчивую прочность, самой массы бетона, так, если это нужно, и по степени воздействия на арматуру в железобетоне.

Это позволит установить, какой вид цемента следует применять в тех или других частях сооружения для того, чтобы обеспечить максимально возможную длительную прочность бетона или железобетона, обусловливаемую составом и свойствами выбранного цемента. Таким образом, задача конструкторов будет несколько облегчена [10,с.7-8; 11,с.3-4].

Обратимся к главнейшим из нерассмотренных нами свойств цементного камня.

Диффузия углекислоты, содержащейся в сотых долях процента в воздухе и в небольшом количестве в неагрессивной воде (по углекислоте), в глубину плотной массы современного бетона происходит очень медленно. Дополнительная обработка внешней поверхности бетона, позволяющая придать этой поверхности почти полную непроницаемость для такой газовой диффузии, возможна и едва ли представит затруднение. Такая обработка может заключаться в тщательной затирке внешних поверхностей (железнении), покрытии ее после высыхания специальной битумной или органической пленкой и т. п.

Что же касается численного выражения скорости диффузии, углекислоты, то еще нет точных цифровых данных, на которых можно было бы базироваться при оценке скорости карбонизации. Отсутствие такого рода важных для практики исследований, объясняется, по-видимому, тем, что процесс карбонизации идет весьма медленно и практически еще не сказывается в сильно выраженной степени.

Действительно, исследованиями средневековых каменных кладок, толщиной в несколько метров, выполненных на известковых растворах, то есть растворах, гораздо менее плотных, нежели современные бетоны, установлено, что до сих пор в более глубоких частях тех кладок, которые сделаны на известковых растворах (без гидравлической добавки), остается еще

значительное количество свободной влаги и непрореагировавшей (негашеной) извести [12,с.27-28; 13,с.25-26].

Результаты исследования. Реакция между гидратом извести и добавками, а также причины благоприятного действия их на стойкость цемента также достаточно подробно рассматриваются в теории твердения известково - пуццолановых вяжущих.

Один из них сравнение скорости твердения пуццоланового портландцемента и цемента без гидравлических добавок (исходного).

На основании многочисленных лабораторных испытаний трамбованных образцов, то есть образцов жесткой консистенции, пришли к следующему совершенно правильному общему выводу:

1) пуццолановый портландцемент через известный срок твердения по прочности (в трамбованных образцах 1: 3) обгоняет тот исходный цемент, с которым данная гидравлическая добавка была смешана;

2) нарастание прочности в пуццолановых портландцементах в более дальние сроки твердения происходит быстрее, чем у исходного цемента.

Достаточный опыт применения пуццоланового портландцемента в бетоне и результаты систематических испытаний позволяют установить соответствующие закономерности уже не в трамбованных образцах, а в пластичном бетоне, то есть в конечном счете при повышенном по сравнению с трамбованными образцами водоцементном отношении.

Скорость нарастания прочности бетона на пуццолановом цементе в раннем (до 7 дней) возрасте значительно ниже, чем бетона на портландцементе. Только в этом смысле бетон на пуццолановом портландцементе может рассматриваться как медленно твердеющий (в указанном периоде).

В период от 7 дней до 1 месяца прочность бетона на пуццолановом портландцементе нарастает более быстрыми темпами, чем прочность бетона на портландцементе.

Интенсивность прироста прочности на пуццолановом цементе от месячного до трехмесячного возраста не только не выше, чем у бетона на портландцементе, а даже несколько ниже.

Какого-либо имеющего значение устойчивого прироста прочности на пуццолановом портландцементе после трех месяцев твердения вообще не наблюдается [15,с.44-45; 14,с.15-18].

Выводы. Все эти выводы совпадают с отмеченным нами фактом ускорения гидратации зерен клинкера в присутствии активной гидравлической добавки. Эти процессы неизбежно затем влекут за собой стабилизацию системы и замирание реакций гидратации, в особенности при наличии сравнительно высокого, характерного для бетонов водоцементного отношения. Стабилизация системы соответствует также явлению повышения химической устойчивости системы при интересующих нас воздействиях (выщелачивание, воздействие водных растворов некоторых солей).

Уточнения требует также вопрос об отношении растворов на пуццолановом портландцементе к попеременному действию воды, замораживания, оттаивания, высыхания и т. д.

Водо-вяжущее отношение в этом цементе для массы одной и той же пластичности – больше; кроме того, вследствие набухания гидравлической добавки (вводимой часто в избытке) в затвердевшем цементе имеется очень много субмикроскопических пор и капиллярных каналов. Естественно поэтому считать, что вполне «морозостойкий» при стандартных испытаниях пуццолановый портландцемент менее стоек по отношению к многочисленным циклам перечисленных попеременных воздействий в природных условиях. Для работы в таких условиях этот цемент непригоден.

Чтобы уяснить себе физическую картину набухания гидравлических добавок, не вызывающего заметных изменений объема системы, однако уплотняющего микроскопические поры и капилляры в цементных растворах (и в бетоне), можно воспользоваться следующей аналогией. Представим себе массу, состоящую из мельчайших кусочков морской губки, спрессованной в мокром состоянии и высушенной под прессом. Получится довольно плотная,

занимающая небольшой объем масса, способная поглощать воду или водный раствор (например, гидрат извести).

При поглощении воды масса начнет увеличиваться, будет набухать и заполнять значительный объем, физически его уплотняя. Общий объем воды и губки останется прежним.

Процесс набухания гидравлических добавок под влиянием водного раствора гидрата извести подобен описанному. Однако, в то время как набухание спрессованной и высушенной губки под действием поглощаемой воды является процессом физическим, набухание гидравлических добавок под действием раствора гидрата окиси кальция в первые стадии взаимодействия представляет собой процесс сорбционный, постепенно переходящий в объемный, с образованием новой твердой фазы - гидросиликата кальция.

Исследования, проведенные ранее и в настоящее время, свидетельствуют о большой полезности применения пуццоланового портландцемента для бетона, используемого во многих частях гидротехнических, подводных и подземных сооружений. В то же время мы отметили некоторые свойственные ему недостатки.

Данное исследование проведено в соответствии с Перспективным планом Программы научно-исследовательской деятельности кафедры материалы, технология и организация строительства, Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими на 2018-2030 годы под названием «Стратегия Республики Таджикистан в области науки и технологии» (раздел «Строительство и стройиндустрия»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Волжинский А.В. Минеральные вяжущие вещества. Учебник для ВУЗов / А.В. Волжинский. -4-ая изд. перер. и доп. -М.: СИ, 1986. -463 с.
2. Воробьев В.А. Технология полимеров / В.А. Воробьев, Р.А. Андрианов. -М. – В.Ш., 1980. -С.50-55.
3. Гудович Л.А. Труды Гипроцемента, выпуск XII. -М. – Л., 1950. -С.12-13.
4. Гудович Л.А. Труды Гипроцемента, выпуск XIII. -М. – Л., 1950 г. -49 с.
5. Гуревич И.Е. Цемент. – 1938. -№2. -28 с. -С.10-11.
6. Значко-Яворский И.Л. Очерки истории вяжущих веществ от древнейших времен до середины XIX века / И.Л. Значко-Яворский. -М.: Изд-во АН СССР, 1963. -500 с.
7. Канцпольский И.С. Гидравлические цементы на местном сырье / И.С. Канцпольский // Юбилейный сборник, посвященный 25-летию УзССР. - 1950. -С.112-113.
8. Кинд В.А. Специальные цементы / В.А. Кинд. -М., 1932. -С.17-18.
9. Кинд В.В. Известия Научно-исследовательского института гидротехники / В.В. Кинд. – 1946. -№31. -277 с.
10. Кинд В.В. Цемент / В.В. Кинд. – 1951. -№4. -27 с.
11. Коган Л.С. Цемент / Л.С. Коган. – 1949. -№1. -11 с.
12. Коган Л.С. Цементы для гидротехнического строительства / Л.С. Коган, М.Г. Рушук // Труды Гипроцемента. - 1949. -С.27-28.
13. Мощанский Н.А. Плотность и стойкость бетонов / Н.А. Мощанский // Госстройиздат. -М., 1951. -С.25-26.
14. Рояк С.М. Пути получения высокосортного пуццоланового портландцемента / С.М. Рояк // Труды комиссии по добавкам. –Ленинград, 1936. -С.15-18.
15. Рояк С.М. Пуццолановые цементы / С.М. Рояк // Сборник ВНИЦ. - 1936. -С.44-45.

СЕМЕНТҲОИ ТОБОВАРИАШОН БАЛАНД БАРОИ ИНШОТҲОИ ГИДРОТЕХНИКӢ

Дар мақолаи илмӣ таҳқиқот доир ба сементҳои барои иншооти гидротехникӣ пешбинӣ шуда, ки ба таъсири муҳитҳои харобиовар тобоваранд, пешниҳод гардидааст. Дар огози қор масъалаи дарозумрии бетонҳои қадимӣ баррасӣ мешавад. Муаллифон хотиррасон мекунанд, ки таърихи истифодаи бетон ба ҳазорсолаҳо рафта мерасад. Ин маводро сохтмончиёни Миср, Сурия, Руми Қадим, Юнон ва дигар тамаддунҳои бостонӣ васеъ истифода мебарданд. Дар он давра ба ҳайси моддаи часпанда бештар сементи охаку-путсоланӣ истифода карда мешуд. Муҳаққиқони муосир аз фарқияти бузурги сифати байни конструксияҳои бетони барқароршудаи муосир ва қисмҳои аслии сохтмонҳои бетони қадимӣ ба ҳайрат меоянд. Таҳқиқоти сохтмои юнонӣ нишон медиҳад: дар ҳоле ки бетони қадимӣ дар тули ду ҳазорсола зери таъсири оби равон ва шамолҳои шӯри баҳрӣ аслан осеб надидааст, бетони дар асоси портландсементи муосир барои барқарорсозӣ истифодашуда пас аз ҳамагӣ 10 сол дар чунин шароит ба таври назаррас хароб гардидааст. Ҳамчунин, дар мақола масъалаҳои сохтмони иншооти гидротехникӣ мавриди таҳлил қарор гирифтаанд. Тавсифи иншооти гидротехникӣ истифодаи ҳаҷми зиёди моддаҳои часпандаи махсуси баландисфатро талаб менамояд. Барои истеҳсоли истифодаи онҳо, пеш аз ҳама, моҳияти таъсири гуногуни семент дар чунин иншоот ва хусусиятҳои алоқамандкунандаҳое, ки метавонанд «сементи гидротехникӣ» номида шаванд, бояд дақиқ карда шаванд. Ба сохтмонҳои гидротехникӣ, аз ҷумла, сарбандҳои азиму тунукдевор, шлюзҳо, неругоҳҳои барқи обӣ, пластаҳо ва дигар иншооти бузург дохил мешаванд. Дар иншооти гидротехникӣ сохторҳои бисёри бузург ва муҳим вучуд доранд, ки барои онҳо бетони сементи

лозим аст. Ин бетонҳо на танҳо танҳо ба шусташии ишқорӣ, балки ба дигар таъсирҳои манфии механику физикӣ низ тобоварии баланд дошта бошанд.

Калидвожаҳо: сементҳо, гидротехникӣ, дарозумрноқӣ, масолеҳ, иншоот, пайвандкунанда, бетон, конструксия, сохтмон, моддаҳо, оҳак, иловагӣ, портландсементи путтсоланӣ.

ЦЕМЕНТЫ ПОВЫШЕННОЙ СТОЙКОСТИ ДЛЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

В научной статье представлены исследования цемента для гидротехнических сооружений с повышенной стойкостью к агрессивным средам. В начале работы затронута проблема долговечности древних бетонов. Там говорится о том, что история бетона прошлого уходит в глубь тысячелетий. Этот материал использовали строители Египта, Сирии, Рима, Греции и других древних цивилизаций. При этом в качестве вяжущего применяли известково-пуццолановый цемент. Современных исследователей удивляет огромная разница в качестве восстановленных в наше время и первоначальных частей бетонных конструкций древности. Обследование римских сооружений показывает, что если бетон в древности остался невредимым в условиях воздействия проточной воды и соляного морского ветра в течение двух тысячелетий, то современный портландцементный бетон, использованный при реконструкции, оказался существенно поврежденным в этих условиях уже через 10 лет. Так же в данной работе говорится об строительстве гидротехнических сооружений. Развитие строительства гидротехнических сооружений требует большого количества высококачественных специальных вяжущих. Для того чтобы их создавать, необходимо прежде всего иметь четкое представление о различных воздействиях, испытываемых цементом в таких сооружениях, и о том, к каким именно вяжущим веществам может относиться термин «гидротехнический цемент». Например, к гидротехническим сооружениям относятся массивные и тонкостенные плотины, шлюзы, гидростанции, массивы-гиганты, доски, плиты и другие. В гидротехнических сооружениях имеется немало крупных и ответственных конструкций, для которых нужен бетон на цементе, способном сопротивляться не только выщелачиванию, но также и иным агрессивным механическим и физическим воздействиям.

Ключевые слова: цементы, гидротехнический, долговечность, материал, сооружения, вяжущее, бетон, конструкция, строительство, вещества, известь, добавка, пуццолановый портландцемент.

HIGH-RESISTANCE CEMENTS FOR HYDRAULIC STRUCTURES

This scientific article presents research on cements for hydraulic structures with increased resistance to aggressive environments. The paper begins by addressing the durability of ancient concrete. It notes that the history of concrete stretches back thousands of years. This material was used by builders in Egypt, Syria, Rome, Greece, and other ancient civilizations. Lime-pozzolan cement was used as a binder. Modern researchers are surprised by the vast difference in quality between modern-day restored concrete structures and the original parts of ancient concrete structures. A survey of Roman structures shows that while ancient concrete remained undamaged under the influence of running water and salty sea winds for two millennia, modern Portland cement concrete used in reconstruction was significantly damaged by these conditions after just 10 years. This paper also discusses the construction of hydraulic structures. The development of hydraulic structure construction requires a large number of high-quality, specialized binders. To create them, it is first necessary to have a clear understanding of the various impacts cement experiences in such structures and the specific binders that can be referred to as "hydraulic cement." For example, hydraulic structures include massive and thin-walled dams, locks, hydroelectric power stations, giant structures, planks, slabs, and others. Hydraulic structures include many large and critical structures that require cement-based concrete capable of resisting not only leaching but also other aggressive mechanical and physical impacts.

Keywords: cements, hydraulic engineering, durability, material, structures, binder, concrete, structure, construction, substances, lime, additive, pozzolan Portland cement.

Маълумот дар бораи муаллиф: *Мирзамолов Абдуҷалил* – Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ, ассистенти кафедраи масолеҳҳо, технология ва таъкили сохтмон. **Суроға:** 734042, ш.Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи академикҳо Раҷабовҳо, 10. Телефон: (+992) 935-46-11-35. E-mail: mirdzamolov1949@mail.ru

Саидов Хуршед Ҳамидуллоевич – Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ, ассистенти кафедраи масолеҳҳо, технология ва таъкили сохтмон. **Суроға:** 734042, ш.Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи академикҳо Раҷабовҳо, 10. Телефон: (+992) 919-98-01-55. E-mail: said-0785@mail.ru

Сведения об авторах: *Мирджамолов Абдуджалил* – Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, ассистент кафедры материалов, технологий и организации строительства. **Адрес:** 734042, г.Душанбе, Республика Таджикистан, улица академиков Ражабовых, 10. Телефон: (+992) 935-46-11-35. E-mail: mirdzamolov1949@mail.ru

Саидов Хуршед Ҳамидуллоевич – Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими, ассистент кафедры материалов, технологий и организации строительства. **Адрес:** 734042, г.Душанбе, Республика Таджикистан, улица академиков Ражабовых, 10. Телефон: (+992) 919-98-01-55. E-mail: said-0785@mail.ru

Information about the authors: *Mirjamolov Abdujalil* – Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, Associate Professor of the Department of Materials, Technology and Organization of Construction. **Address:**

734042, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Academician Radjabov Street, 10. Phone: **(+992) 935-46-11-35**. E-mail: **mirdzamolov1949@mail.ru**

Saidov Khurshed Khamidulloevich – Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, Assistant Professor, Department of Materials, Technology, and Organization of Construction. **Address:** 734042, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Academician Radjabov Street, 10. Phone: **(+992) 919-98-01-55**. E-mail: **said-0785@mail.ru**

Статья поступила в редакцию: 15.06.2026
Одобрена после рецензирования: 25.08.2026
Принята к публикации: 06.10.2026

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ MYSQL ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ СОГДИЙСКОЙ ОБЛАСТИ

Мирзоджанова М.К., Умарзода (Умаров) М.Ф.

Худжандский государственный университет имени академика Бободжона Гафурова

Введение. Цифровая медицинская система полезна только тогда, когда ее данные отражают реальные процессы оказания помощи и допускают проверку на непротиворечивость. Увеличение числа электронных сервисов само по себе не устраняет расхождений между регистрационными и клиническими сведениями. Международные рекомендации связывают цифровизацию здравоохранения с согласованным развитием технологий, организационных процедур и ответственности пользователей [20].

В медицинском учреждении одновременно возникают сведения о пациенте, график работы врача, записи на прием, факте обращения, диагнозе, назначении и оказанной услуге. Если эти сведения хранятся в одной таблице, появляются повторяющиеся группы и зависимость медицинской истории от текущего состояния профиля. Если они распределены по локальным файлам, невозможно гарантировать общий идентификатор пациента и атомарность операции бронирования. В обоих случаях интерфейс может отображать корректную форму, тогда как данные уже содержат противоречие.

В научной литературе медицинская информационная система рассматривается как социотехническая система, а электронная медицинская карта – как продольное представление клинических событий [8; 19]. Для реляционной реализации это означает необходимость отделить аутентификацию от персонального профиля, запланированный прием от фактического клинического случая, а текущую запись от истории ее исправлений.

Актуальность данной темы обусловлена необходимостью комплексной цифровизации системы здравоохранения региона и повышения эффективности работы медицинских организаций.

Ниже приведены ключевые аспекты, определяющие важность и своевременность данной разработки:

1. Цифровая трансформация здравоохранения (E-Health). В условиях активного внедрения информационных технологий в государственные и частные структуры Таджикистана, сфера здравоохранения требует перехода от устаревшего бумажного документооборота к современным цифровым решениям. Электронные медицинские карты, цифровой учет пациентов и истории болезней минимизируют человеческий фактор и ускоряют обмен информацией.

2. Специфика и масштаб Согдийской области. Согдийская область - один из крупнейших и густонаселенных регионов страны, включающий множество больниц, поликлиник и амбулаторий (в городах Худжанда, Истаравшана, Исфары, Канибадама и др.). Проектирование оптимальной архитектуры реляционной базы данных обеспечивает консолидацию разрозненных информационных потоков в единое структурированное пространство, оптимизируя межведомственное взаимодействие между амбулаторно-поликлиническими учреждениями районного уровня и областными стационарами. В качестве системы управления базами данных оправдано использование СУБД MySQL, что обусловлено ее технологическими характеристиками и финансовой целесообразностью:

3. Экономическая рациональность. Практическая реализация данной системы на базе СУБД MySQL обусловлена ее технико-экономическими преимуществами: отсутствие отчислений за счет модели с открытым исходным кодом (Open Source) снижает финансовую нагрузку на бюджетные учреждения здравоохранения, в то время как механизмы гибкого разграничения прав доступа и оперативная обработка транзакций гарантируют высокую производительность и защиту конфиденциальных медицинских сведений.

4. Надежность и защита информации. Систематизация хранения данных минимизирует дублирование информации и поддерживает референциальную целостность, создавая основу для автоматизации сбора аналитической и статистической отчетности.

Цель исследования заключается в том, чтобы в лечебных учреждениях Согдийской области разработать инфологическую и физическую модель базы данных MySQL, необходимых для ежедневных процессов. Для достижения цели решались задачи выделения сущностей, нормализации отношений, выбора ограничений и индексов, построения ролевой модели и формирования набора контрольных сценариев.

Материалы и методы. Материал исследования составили типовые информационные сценарии медицинского учреждения: регистрация пациента; создание профиля врача; ведение расписания; запись на свободный интервал; фиксация факта приема; внесение диагноза и назначения; учет услуг; просмотр истории и аудит действий. Персональные медицинские данные и результаты лечения конкретных пациентов не использовались. На концептуальном этапе применялось ER-моделирование [9]. Для каждой сущности определялись смысловая граница, устойчивый идентификатор и кардинальность связи. На логическом этапе отношения проверялись на первую, вторую и третью нормальные формы с опорой на общепринятые принципы проектирования реляционных систем [10; 11; 18]. Повторяющиеся группы заменялись дочерними сущностями, а связи «многие ко многим» - таблицами-посредниками.

Физическая модель проектировалась для MySQL 8.4. в качестве механизма хранения выбран InnoDB, поддерживающий транзакции и внешние ключи; для многоязычного текста – utf8mb4 [15; 16; 17]. Для дат рождения использован тип DATE, для моментов событий – DATETIME, для идентификаторов – BIGINT UNSIGNED. Политика удаления выбиралась по классу данных: RESTRICT для медицинской истории и CASCADE только для вспомогательных связующих записей, не содержащих самостоятельного клинического факта.

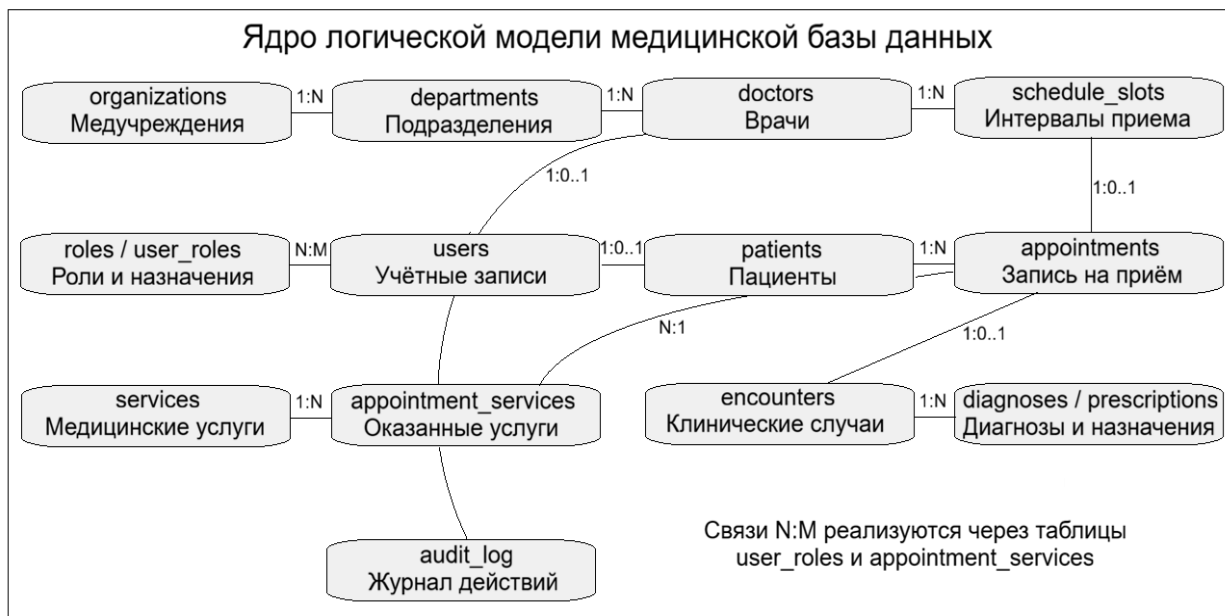
Для проверки надежности системы мы применили метод сценарного контроля инвариантов. Суть подхода заключалась в моделировании конкретных рискованных ситуаций: для каждого сценария мы определяли исходное действие пользователя и задавали ожидаемый отклик базы данных.

В ходе тестирования были проработаны критические кейсы, включая попытки двойного бронирования, обращения к несуществующим записям пациентов, ввод некорректных временных интервалов и попытки несанкционированного удаления истории болезни. Также мы проверили устойчивость системы к частичным сбоям транзакций, попыткам неправомерного доступа к данным, обработке многоязычного ввода и корректности внесения правок в диагнозы. Важно отметить, что на данном этапе нагрузочное тестирование и клиническая апробация не проводились. В связи с этим в текущем документе не приводятся количественные показатели производительности системы и оценки её клинической эффективности.

Результаты. Сформировано ядро из пятнадцати таблиц. Организационный контур представлен organization и departments; контур идентификации – users, roles и user_roles; профили - patients и doctors; планирование – schedule_slots и appointments; клиническая часть - encounters, diagnoses и prescriptions; услуги - services и appointments_services; аудит - audit_log. На рисунке 1 показаны основные связи модели.

Ядром логической модели базы данных медицинского учреждения выступает реляционная структура, определяющая взаимосвязи между ключевыми информационными объектами предметной области.

Рисунок 1. Ядро логической модели базы данных медицинского учреждения
Figure 1. Core of the logical database model for a medical institution



Назначение сущностей и ограничения, имеющие непосредственное значение для целостности данных, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные сущности и проектные ограничения
Table 1. The main essences of the logical model integrity limitatitons

Сущность	Назначение	Ограничение
users, roles, user_roles	Учётные записи и полномочия	Уникальный логин; связь N:M через user_roles
patients, doctors	Профили участников	Профиль не используется как учётная запись
schedule_slots	Интервалы врача	UNIQUE (doctor_id, start_at); end_at > start_at
appointments	Запись пациента	UNIQUE (slot_id); ссылки на пациента и интервал
encounters	Факт оказания помощи	Связь с пациентом и врачом; удаление RESTRICT
diagnoses, prescriptions	Клинические события	Версионирование исправлений; запрет каскадного удаления
services, appointment_services	Справочник и оказанные услуги	Связующая таблица фиксирует данные на дату оказания
audit_log	Журнал действий	Обычные роли не изменяют ранее созданные записи

Представленные в таблице 1 сущности отражают базовые процессы оказания медицинской помощи, в то время как спроектированные ограничения целостности (Integrity Constrains) гарантируют корректность связей типа «первичный-внешний ключ» (Primary Key – Foreing Key), предотвращают появление аномалий модификации и исключают возможность ввода не валидных или противоречивых сведений. Систематизация назначения каждого информационного объекта и декларирование бизнес-правил на уровне схемы базы данных обеспечивают соблюдение декларативной целостности сущностей и ссылочной целостности системы. В таблице 1 детально описаны функциональные роли ключевых компонентов логической модели, а также специфицированы инварианты структуры, критически важные для поддержания постоянной непротиворечивости данных в условиях параллельной обработки запросов.

Связующая таблица фиксирует данные на дату оказания audit_log Журнал действий. Обычные роли не изменяют ранее созданные записи.

Архитектурное построение электронной медицинской карты (ЭМК) в рамках разработанной модели основываются на концепции неизменяемого журнала событий (append-only-ledger), в котором сведения о пациенте формируются динамически путем агрегации связанных записей о приемах, диагнозах, назначениях и медицинских манипуляциях по его идентификатору (patient_id). Отказ от перезаписи полей в пользу фиксации каждого нового клинического события с сохранением метаданных (авторство, метка времени, основания для корректировки) обеспечивает абсолютную аудируемость и юридическую валидность первичной документации. Такая организация данных полностью исключает потерю исторического анамнеза при каскадных обновлениях и предоставляет возможность детерминированной реконструкции состояния карты на любой момент времени в прошлом, что имеет ключевое значение при ретроспективном анализе динамики заболеваний, проведении судебно-медицинских экспертиз и формировании обучающих дата - сетов для систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР) [6; 2].

Для организации подсистемы планирования приема реализовано строгое концептуальное разделение врачебных интервалов и пользовательских заявок, связываемых посредством уникального идентификатора слота (slot_id). Обеспечение корректности параллельной обработки запросов достигается за счет применения механизмов транзакционного контроля и пессимистичной блокировки ресурса на уровне СУБД (конструкция SELECT . . . FOR UPDATE). Алгоритм обработки записи последовательно выполняет изоляцию целевого интервала, программную валидацию его доступности, атомарное создание объекта записи с изменением статуса слота на «Занят» (BOOKED), а также автоматический отказ транзакции (ROLLBACK) к исходному согласованному состоянию при возникновении коллизий.

Листинг 1. Фрагмент ограничения уникальности записи на прием

```
CREATE TABLE appointments (  
Appointment id BIGINT UNSIGNED AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,  
Patient id BIGINT UNSIGNED NOT NULL,  
Slot id BIGINT UNSIGNED NOT NULL,  
Status VARCHAR (16) NOT NULL DEAFULT 'booked',  
CONSTRAINT uq appointment slot UNIQUE (slot_id)  
CONSTRAINT fk app patient FOREIGN KEY (patient_id)  
REFERENCES patients (patient_id) ON DELETE RESTRICT,  
CONSTRAINT fk app slot FOREIGN KEY (slot_id)  
REFERENCES schedule_slots (slot_id) ON DELETE RESTRICT) ENGINE=InnoDB  
DEAFULT CHARSET=utf8mb4;
```

Разграничение прав построено по принципу минимальных полномочий. MySQL- роли задают доступ к объектам базы, а фильтрация строк по конкретному пациенту или врачу выполняется прикладным слоем и контролируруемыми представлениями. Разграничение прав доступа в проектируемой системе построено по принципу минимальных полномочий (last Privilege). На уровне СУБД механизмы ролевого управления доступом (RBAG) MySQL 8.4 задают жесткие ограничения на объекты базы данных (таблицы, процедуры), в то время как фильтрация строк по конкретному пациенту или врачу реализуется на прикладном слое и через контролируемые представления (Views) с использованием переменных сессии. Это обеспечивает выполнение требований ISO/IEC 27001:2022 и статьи 17 Закона РТ «О защите персональных данных» в части защиты специальных категорий персональных данных от несанкционированного доступа [1].

Базовая матрица представлена в таблице 2.

Требования к конфиденциальности дополнены техническими мерами: хранением стойкого хеша - пароля, шифрованием соединения, отдельным доступом к резервным копиям и журналированием просмотра, изменения и экспорта медицинских сведений. Проектирование и эксплуатация современной информационно-коммуникационной инфраструктуры в сфере здравоохранения требует строгого соответствия законодательным нормам Республики

Таджикистан, определяющим нормативно-правовой контур обработки чувствительных данных. Формирование архитектуры системы опирается на Закон Республики Таджикистан «Об информации» (№848 от 03.07.2012) [4], определяющий правовой режим конфиденциальных сведений, а также Семейный и Гражданский кодексы Республики Таджикистан совместно с профильным законодательством об охране здоровья, гарантирующими соблюдение врачебной тайны. Данный регуляторный барьер накладывает жесткие ограничения на трансграничную передачу данных, требуя наличия обязательного письменного согласия пациентов и предписывает обеспечение высокой степени конфиденциальности сведений о фактах обращения за медицинской помощью, диагнозах и состоянии здоровья.

Таблица 2. Матрица ролевого доступа
Table 2. Role-based access matrix

Операция	Пациент	Врач	Регистратор	Администратор	Тех. специалист
Запись на приём	своя	просмотр	создание/ изменение	-	-
Клиническая карта	своя, чтение	в пределах лечения	-	-	-
Диагнозы и назначения	чтение своих	создание/ уточнение	-	-	-
Расписание	просмотр	своё	ведение	настройка	-
Пользователи и роли	-	-	-	ведение	Служебные записи
Удаление клинических данных	-	-	-	-	-
Резервное копирование	-	-	-	контроль	выполнение

Управление операционными рисками и обеспечение непрерывности бизнес-процессов цифровой медицинской инфраструктуры достигается путем интеграции международно-признанных стандартов информационной безопасности. Базовый стандарт ISO/IES 27001:2022 [14] формирует методологический фундамент системы управления информационной безопасностью (СУИБ), определяя порядок идентификации, оценки и нейтрализации угроз для конфиденциальности, целостности и доступности информационных активов организации. В свою очередь, отраслевой стандарт ISO 27799:2025 [13] адаптирует требования ISO/IES 27001 к специфике здравоохранения, устанавливая специализированные меры контроля для защиты персональной информации о здоровье (PHI), учитывающие риски несанкционированного доступа медицинского персонала, сбоев в работе диагностического оборудования и утечек данных из медицинских информационных систем (МИС).

Практическая реализация конвергенции национальных правовых норм и стандартов ISO базируется на концепции многоэшелонированной защиты (Defense in Depth) и непрерывного аудита безопасности. Инфраструктурное решение включает в себя строгое сетевое сегментирование (изоляция серверов баз данных во внутренних технологических зонах), использование устойчивых алгоритмов шифрования при хранении и передаче данных по незащищенным каналам связи, а также внедрение двухфакторной аутентификации и ролевого разграничения доступа. Синергия нормативно-правовых требований Республики Таджикистан и лучшей мировой практики управления рисками ISO позволяет построить отказоустойчивую среду цифрового здравоохранения, обеспечивающую высокий уровень доверия пользователей и юридическую защищенность организации. Организация инфраструктуры должна учитывать законодательство Республики Таджикистан о персональных данных, информации и врачебной тайне [4; 5; 3], а управление рисками – принципы ISO/IEC 27001:2022 и ISO 27799:2025 [13; 14]. Результаты сценарной верификации представлены в таблице 3.

Таблица 3. Проверка инвариантов модели
Table 3. Verification of model invariants

Сценарий	Контрольная операция	Критерий результата
Повторное бронирование	Две заявки на один slot_id	Вторая вставка отклоняется UNIQUE
Неизвестный пациент	Ссылка на отсутствующий patient_id	Вставка отклоняется FOREIGN KEY
Неверное время	end_at ≤ start_at	Запись отклоняется CHECK
Удаление истории	Удаление patient при наличии encounter	Операция отклоняется RESTRICT
Сбой операции	Ошибка до завершения бронирования	Выполняется полный ROLLBACK
Запрещённый просмотр	Регистратор запрашивает diagnoses	Доступ блокируется и журналируется
Многоязычный ввод	ФИО на таджикском и русском	Символы сохраняются без искажения
Исправление диагноза	Уточнение клинической записи	Сохраняются автор, время и предыдущая версия

Модель подтверждает исходную гипотезу на уровне проектных ограничений. Двойное бронирование блокируется независимо от интерфейса; клиническая история не удаляется вместе с учетной записью; профиль пациента не содержит повторяющихся наборов диагнозов; права регистратора не включают клинические таблицы. Часть правил предметной области переносится из описательного регламента в исполняемую структуру базы данных. Сильной стороной модели является различие плана и факта: appointment отражает намерение пациента посетить врача, encounter – состоявшийся клинический контакт. Это облегчает последующую интеграцию, поскольку данным сущностям концептуально соответствуют ресурсы Appointment и Encounter стандарта HL7 FHIR R5 [7; 12]. Соответствие возможно для Patient, Practitioner и Condition. Вместе с тем совпадение названий не обеспечивает семантическую совместимость без профилей.

Закключение. В ходе выполнения данной работы была спроектирована и реализована реляционная база данных для больницы, ориентированная на учет услуг, предоставляемых пациентам. Были разработаны концептуальная, логическая и физическая модели базы данных. Были созданы таблицы, определены ограничения целостности и реализованы запросы SQL для доступа к данным. Разработанная база данных может быть использована для автоматизации процессов учета и анализа данных в больнице, повышения эффективности работы медицинского персонала и улучшения качества обслуживания пациентов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение функциональности базы данных, интеграцию с другими информационными системами и оптимизацию производительности.

Разработано нормализованное ядро базы данных MySQL из пятнадцати таблиц для регистрации пользователей, планирования приема и хранения последовательности клинических событий. Разделение учетной записи, профиля, временного интервала, заявки и клинического случая позволило выразить ключевые правила целостности внешними ключами, уникальными ограничениями и политикой удаления RESTRICT.

Предложены матрица минимальных полномочий и восемь сценариев верификации, охватывающих двойное бронирование, ошибочные ссылки, удаление истории, сбой транзакции и недопустимый доступ. Практическая ценность результата состоит в возможности использовать модель как основу прототипа медицинской информационной системы Согдийской области после нагрузочного испытания, аудита безопасности и адаптации к стандартам обмена данными.

Статья выполнена в рамках научной темы кафедры электроники «Исследование электронного оборудования и средств, внедрение цифровой электроники и искусственного интеллекта», зарегистрированной в установленном порядке (протокол № 4 от 29 ноября 2025 г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гражданский кодекс Республики Таджикистан (Часть первая) № 802 от 30 июня 1999 года.
2. Ёров, М.Р. Татбиқи системаи хизматрасонии оммавӣ дар коркарди дархостҳои онлайнӣ / М.Р. Ёров, Ф.С. Комилиён // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. - 2023. - № 2. - С. 42–53.
3. Кодекс здравоохранения Республики Таджикистан: Кодекс Республики Таджикистан от 30 мая 2017 г. № 1413 // Ахбори Маҷлиси Олии Ҷумҳурии Тоҷикистон. – 2017. – №5, ч. 1. – Ст. 270.
4. О защите персональных данных: Закон Республики Таджикистан от 3 августа 2018 г. № 1537 // Ахбори Маҷлиси Олии Ҷумҳурии Тоҷикистон. – 2018. – № 7–8. – 524 с.
5. О информации: Закон Республики Таджикистан от 10 мая 2002 г. № 55 // Ахбори Маҷлиси Олии Ҷумҳурии Тоҷикистон. – 2002. – №4, ч. 2. –Ст. 320. URL: <https://mmk.tj/search/node/%E2%84%96%201537>.
6. Хамидова, Д.Н. Возможности алгоритмов машинного обучения в диагностике деменции на основе данных МРТ / Д.Н. Хамидова // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - 2023. - № 4. - С. 64–72.
7. Ayaz, M. The Fast Health Interoperability Resources (FHIR) standard: systematic literature review of implementations, applications, challenges and opportunities / M. Ayaz, M.F. Pasha, M.Y. Alzahrani, R. Budiarto, D. Stiawan // JMIR Medical Informatics. – 2021. – Vol. 9, no. 7. – e21929. – DOI: 10.2196/21929.
8. Biomedical Informatics: Computer Applications in Health Care and Biomedicine / edited by E. H. Shortliffe, J. J. Cimino. – 5th ed. – Cham: Springer, 2021. – 1098 p. – DOI: 10.1007/978-3-030-58721-5.
9. Chen, P.P. The entity-relationship model – toward a unified view of data / P.P. Chen // ACM Transactions on Database Systems. – 1976. – Vol. 1, no. 1. – P. 9–36. – DOI: 10.1145/320434.320440.
10. Coronel, C. Database Systems: Design, Implementation, & Management / C. Coronel, S. Morris. – 14th ed. – Boston: Cengage, 2023. – 816 p.
11. Elmasri, R. Fundamentals of Database Systems / R. Elmasri, S. B. Navathe. – 7th ed. -Boston: Pearson, 2016. – 1272 p.
12. HL7 International. FHIR Release 5 (v5.0.0) / HL7 International. – Ann Arbor: HL7 International, 2023. – URL: <https://hl7.org/fhir/R5/> (дата обращения: 19.07.2026).
13. ISO 27799:2025. Health informatics – Information security management in health using ISO/IEC 27002: International Standard. – 3rd ed. – Geneva: ISO, 2025. – 74 p. – URL: <https://www.iso.org/standard/84647.html> (дата обращения: 19.07.2026).
14. ISO/IEC 27001:2022. Information security, cybersecurity and privacy protection – Information security management systems – Requirements: International Standard. – 3rd ed. – Geneva: ISO/IEC, 2022. – 19 p.
15. Oracle Corporation. FOREIGN KEY Constraints // MySQL 8.4 Reference Manual / Oracle Corporation. – URL: <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.4/en/create-table-foreign-keys.html> (дата обращения: 19.07.2026).
16. Oracle Corporation. MySQL 8.4 Reference Manual / Oracle Corporation. – URL: <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.4/en/> (дата обращения: 19.07.2026).
17. Oracle Corporation. The InnoDB Storage Engine // MySQL 8.4 Reference Manual / Oracle Corporation. – URL: <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.4/en/innodb-storage-engine.html> (дата обращения: 19.07.2026).
18. Silberschatz, A. Database System Concepts / A. Silberschatz, H. F. Korth, S. Sudarshan. – 7th ed. – New York: McGraw-Hill Education, 2019. – 1376 p.
19. Winter, A. Health Information Systems: Technological and Management Perspectives / A. Winter, E. Ammenwerth, R. Naux [et al.]. – 2nd ed. – Cham: Springer, 2023. – 301 p. – DOI: 10.1007/978-3-031-12310-8.
20. World Health Organization. Global Strategy on Digital Health 2020–2025 / World Health Organization. – Geneva: WHO, 2021. – 56 p.– ISBN 978-92-4-002092-4. – URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240020924> (дата обращения: 19.07.2026).

ТАРҲРЕЗИИ ПОЙҶОҶИ РЕЛЯТСИОНИИ ДОДАҶО ДАР MYSQL БАРОИ МУАССИСАҶОИ ТИББИИ ВИЛОЯТИ СУҒД

Муассисаҳои тиббӣ маълумоти гуногун оид ба беморон, чадвали корӣ, қабул, таъхис ва хизматрасонӣро истифода мебаранд. Якҷо намудани ҷунин маълумот дар як ҷадвал ё файлҳои ба ҳам нопайваст боиси такроршавӣ, ихтилофи сабтҳо ва мушкилоти назорати дастрасӣ мегардад. Таҳияи модели релятсионии MySQL барои равандҳои асосии иттилоотии муассисаҳои тиббии вилояти Суғд ва муайян кардани маҳдудиятҳои санҷишавандаи тамомияти он мебошад. Ба сифати мавод сенарияҳои маълумии бақайдгирии бемор, банақшагирии қабул, сабти ҳолати клиникӣ, таъини хизматрасонӣ ва тақсимои ваколатҳо истифода шуданд. Усулҳои таҳлили системавӣ, моделсозии ER, табдили робитаҳо ба нақшаи релятсионӣ, нормализатсия то шакли сеюми нормалӣ ва санҷиши лоиҳавӣ бо сенарияҳои мусбат ва манфӣ татбиқ гардиданд. Модели физикӣ ба MySQL 8.4, InnoDB ва utf8mb4 мутобиқ карда шуд. Дар таҳқиқот маълумоти шахсии тиббӣ истифода нашудааст. Ядроӣ иборат аз понздаҳ ҷадвал ташаккул дода шуд, ки ҳисоби корбар, профили бемор ё табиб, фосилаи вақт, сабт ба қабул ва ҳолати клиникиро аз ҳам ҷудо мекунад. Маҳдудиятҳои пешгирии бандкунии такрорӣ, пайдоиши сабти бе объектҳои асосӣ ва ҳазфи силсилавии таърихи тиббӣ муайян гардиданд. Матритсаи дастрасии нақшӣ ва ҳашт сенарияи санҷиш таҳия шуданд. Корти электронии тиббӣ бояд ҳамчун пайдарпаии рӯйдодҳои клиникӣ ташаккул ёбад, на ҳамчун як сатри пайваста азнавнавишташаванда. Модели пешниҳодшуда барои прототипи низомии иттилоотии тиббии минтақавӣ заминаи санҷишавандаи техникӣ фароҳам меорад. Барои татбиқи истеҳсолӣ озмоиши сарборӣ, аудити амнияти иттилоотӣ, нусхабардории эҳтиётӣ ва мувофиқсозии профилҳои мубодилаи маълумоти тиббӣ зарур мебошанд.

Калидвожахо: пойгоҳи додаҳо, MySQL, низоми иттилоотии тиббӣ, корти электрони тиббӣ, тамомияти додаҳо, дастрасии нақшӣ.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ MYSQL ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ СОГДИЙСКОЙ ОБЛАСТИ

Медицинские учреждения используют разнородные сведения о пациентах, расписании, приёмах, диагнозах и услугах, однако объединение этих данных в одной таблице или в наборе несвязанных файлов приводит к дублированию и затрудняет контроль доступа. Разработали реляционную модель MySQL для основных информационных процессов медицинских учреждений Согдийской области и сформулировали проверяемые ограничения её целостности. Материалом послужили типовые сценарии регистрации пациента, планирования приёма, фиксации клинического случая, назначения услуг и разграничения полномочий. Применены системный анализ, ER-моделирование, преобразование связей в реляционную схему, нормализация до третьей нормальной формы и проектная верификация негативными и позитивными сценариями. Физическая модель ориентирована на MySQL 8.4, InnoDB и utf8mb4. Персональные медицинские данные в исследовании не использовались. Сформировано ядро из пятнадцати таблиц, разделяющее учётную запись, профиль пациента или врача, временной интервал, запись на приём и клинический случай. Определены ограничения, запрещающие двойное бронирование, появление записей без родительской сущности и каскадное удаление медицинской истории. Разработаны матрица ролевого доступа и восемь сценариев верификации. Электронная медицинская карта должна формироваться как последовательность клинических событий, а не как многократно перезаписываемая строка. Данная модель создаёт технически проверяемую основу прототипа региональной медицинской информационной системы. Для промышленного применения необходимы нагрузочные испытания, аудит информационной безопасности, резервное копирование и согласование профилей обмена медицинскими данными.

Ключевые слова: база данных, MySQL, медицинская информационная система, электронная медицинская карта, целостность данных, ролевой доступ.

DESIGN OF A MYSQL RELATIONAL DATABASE FOR MEDICAL INSTITUTIONS IN THE SUGHD REGION

Medical institutions use heterogeneous data on patients, schedules, appointments, diagnoses, and services. Combining these data in a single table or keeping them in disconnected files causes duplication, inconsistent records, and weak access control. The study aims to design a MySQL relational model for the core information processes of medical institutions in the Sughd Region and to define verifiable integrity constraints. The source material consisted of typical scenarios for patient registration, appointment planning, clinical encounter recording, service assignment, and privilege separation. The study applied systems analysis, entity-relationship modelling, transformation of relationships into a relational schema, normalization to the third normal form, and design-level verification with positive and negative scenarios. The physical design targets MySQL 8.4, InnoDB, and utf8mb4. No personal health data were used. A fifteen-table core was developed to separate user accounts, patient and physician profiles, schedule slots, appointments, and clinical encounters. Constraints were specified to prevent duplicate booking, orphan records, and cascading deletion of medical history. A role-based access matrix and eight verification scenarios were defined. The results show that an electronic medical record should be assembled as a longitudinal sequence of clinical events rather than maintained as a repeatedly overwritten row. The proposed model provides a technically verifiable foundation for a regional medical information system prototype. Production use requires performance testing, an information-security audit, backup and recovery procedures, and the definition of interoperable healthcare data-exchange profiles.

Keywords: database, MySQL, medical information system, electronic medical record, data integrity, role-based access.

Маълумот дар бораи муаллифон: *Мирзоҷонова Манзурахон Камоловна* - Донишгоҳи давлатии Хучанд ба номи академик Бобочон Гафуров, муаллими кафедраи электроникаи факултети физикаю техника. **Суроға:** 735700, ш. Хучанд, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Мавлонбеков, 1. E-mail: missmmk@bk.ru
Умарзода (Умаров) Мақсуд Файзуло - Донишгоҳи давлатии Хучанд ба номи академик Бобочон Гафуров, доктори илмҳои физика ва математика, профессор. **Суроға:** 735700, ш. Хучанд, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Мавлонбеков, 1. E-mail: umma54@rambler.ru. Телефон: (+992) 111-71-65-62

Сведения об авторах: *Мирзоджанова Манзурахон Камоловна* - Худжандский государственный университет имени академика Бободжона Гафурова, преподаватель кафедры электроники физико-технического факультета. **Адрес:** 735700, г. Худжанд, Республика Таджикистан, проезд Мавлонбекова, 1. E-mail: missmmk@bk.ru
Умарзода (Умаров) Мақсуд Файзуло –Худжандский государственный университет имени академика Бободжона Гафурова, доктор физико-математических наук, профессор. **Адрес:** 735700, г. Худжанд, Республика Таджикистан, проезд Мавлонбекова, 1. E-mail: umma54@rambler.ru. Телефон: (+992) 111-71-65-62

Information about authors: *Mirzodzhanova Manzurakhon Kamolovna* - Khujand State University named after Academician Bobojon Gafurov, Lecturer in the Department of Electronics, Faculty of Physics and Technology,. **Address:** 735700, Khujand, Republic of Tajikistan, Mavlonbekov passage, 1. E-mail: missmmk@bk.ru

Umarzoda (Umarov) Maksud Fayzulo –Khujand State University named after Academician Bobojon Gafurov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor. **Address:** 735700, Khujand, Republic of Tajikistan, Mavlonbekov passage, 1. E-mail: **umma54@rambler.ru**. Phone: (+992) **111-71-65-62**

Статья поступила в редакцию 11.05.2026
Одобрена после рецензирования 17.06.2026
Принята к публикации 06.10.2026

*Норкулов Х.О.***Филиал Национального исследовательского технологического университета Московского института стали и сплавов в г. Душанбе**

Введение. Развитие цифровой экономики изменяет требования к бухгалтерскому учёту. Организациям необходимы не только своевременное отражение хозяйственных операций и составление отчётности, но и возможность быстро проверять большие массивы документов, выявлять расхождения и объяснять причины изменения финансовых показателей [5]. При увеличении объёма операций ручной ввод и последовательная проверка каждого документа становятся ограничением производительности бухгалтерской службы [6]. В этих условиях искусственный интеллект (ИИ) представляет интерес как инструмент совершенствования обработки информации и внутреннего контроля [8].

Традиционная автоматизация выполняет заранее заданные действия, тогда как методы машинного обучения позволяют находить закономерности в исторических данных, классифицировать документы и оценивать необычность операций. Генеративные модели дополняют эти возможности подготовкой текстовых пояснений и поиском информации на естественном языке. Однако вероятностный характер их результатов требует специальной организации проверки: правдоподобный ответ ещё не означает достоверного бухгалтерского вывода [1].

Актуальность темы для Республики Таджикистан связана с развитием цифровой инфраструктуры и компетенций. В декабре 2024 года Всемирный банк объявил об одобрении проекта, направленного на совершенствование цифровых государственных услуг и повышение цифровой грамотности в стране [15]. Этот контекст создаёт предпосылки для модернизации учётных процессов, но сам по себе не доказывает готовность конкретных предприятий к применению ИИ. Такую готовность необходимо оценивать на уровне документов, информационных систем и персонала.

Цель статьи состоит в разработке организационно-технологической модели применения ИИ для повышения качества и эффективности бухгалтерского учёта. Для достижения цели рассматриваются направления интеллектуальной обработки документов, архитектура взаимодействия ИИ с учётной системой, механизмы контроля рисков, показатели эффективности и последовательность внедрения. Объект исследования: система бухгалтерского учёта организации; предмет – методы интеграции интеллектуальных технологий в обработку, проверку и использование учётной информации.

Методология включает анализ открытых первичных источников, функциональное моделирование, сопоставление вариантов организации контроля и сценарный экономический расчёт. Работа имеет концептуальный научно-практический характер: обследование предприятий, экспериментальное обучение моделей и измерение фактического эффекта не проводились. Предлагаемые архитектура, критерии допуска и расчётный сценарий представляют проектные решения, требующие последующей апробации. Практический вклад заключается в объединении качества данных, границ автоматизации и экономической оценки в одной модели внедрения.

1. Теоретические основы интеллектуализации бухгалтерского учёта. Система бухгалтерского учёта объединяет первичные документы, правила признания и оценки, регистры, процедуры контроля и отчётность. Поэтому её совершенствование не сводится к ускорению ввода данных. Технологическое решение должно сохранять связь между хозяйственным событием, подтверждающим документом, учётной записью и итоговым показателем. Если эта связь утрачивается, более быстрая обработка может сопровождаться ухудшением проверяемости информации.

В рамках статьи интеллектуализация учёта понимается как применение моделей распознавания, классификации, прогнозирования и генерации текста внутри управляемого процесса обработки хозяйственных операций. Следует различать три уровня: детерминированную автоматизацию, аналитический ИИ и генеративный ИИ. Первый выполняет точные вычисления и формальные проверки; второй оценивает закономерности и отклонения; третий помогает работать с неструктурированным текстом. Их совместное использование целесообразно при сохранении отдельных критериев качества для каждого уровня.

Например, проверка равенства итоговой суммы сумме строк не требует языковой модели. Определение вероятной категории расхода по описанию операции может опираться на классификатор. Подготовка чернового комментария к изменению расходов может выполняться генеративной моделью, но числовые значения должны поступать из проверенного расчётного модуля. Такое распределение функций позволяет применять ИИ там, где задача содержит неопределённость, и сохранять точные алгоритмы там, где результат однозначно вычисляется.

Дополнительной предпосылкой является структурированность финансовой информации. IFRS Foundation отмечает, что цифровая финансовая отчётность облегчает поиск, извлечение и сравнение раскрываемых показателей [13]. Для рассматриваемой модели из этого следует проектный вывод: единые справочники, идентификаторы и форматы обмена должны предшествовать расширению интеллектуальной аналитики. Машиночитаемый формат облегчает обработку, но не подтверждает правильность исходной классификации или экономического содержания операции.

2. Основные направления применения ИИ в учётных процессах. Первое направление – извлечение реквизитов из счетов, накладных, актов и других документов. Распознавание текста формирует машинное представление изображения, после чего модель выделяет контрагента, дату, номер документа, валюту и суммы. Наиболее существенным результатом является не сам распознанный текст, а возможность сопоставить каждое поле с исходным фрагментом документа и передать сомнительные значения на проверку.

Второе направление – предложение учётной классификации. На основе описания операции, договора и истории подтверждённых записей система может предложить счёт, статью затрат или аналитическое измерение. Рекомендация должна проверяться по действующей учётной политике организации. Одинаковая формулировка назначения платежа не гарантирует одинакового экономического содержания, а исторические записи могут содержать ошибки, которые модель воспроизведёт.

Третье направление – сверка и выявление отклонений. Сопоставление банковских операций, документов поставщика и внутренних регистров помогает выделять неполные соответствия, повторные документы и необычные сочетания признаков. В материалах FRC 2025 года рассматривается применение ИИ при проверке журнальных записей и документирование соответствующих инструментов [11]. В данной статье эта идея используется как ориентир для построения внутреннего контроля; требования британского аудиторского регулирования не трактуются как нормы бухгалтерского учёта Таджикистана.

Таблица 1. Направления применения ИИ и контроль результата
Table 1. Areas of AI application and outcome monitoring

Процесс	Функция ИИ	Обязательная проверка
Первичные документы	Распознавание и извлечение реквизитов	Сверка существенных полей с оригиналом
Классификация операций	Предложение счёта и аналитики	Соответствие экономическому содержанию и учётной политике
Банковская сверка	Поиск вероятных соответствий	Сумма, валюта, контрагент и отсутствие повторного сопоставления
Внутренний контроль	Выделение аномальных записей	Разбор причины сигнала ответственным специалистом
Управленческая аналитика	Прогноз и черновые пояснения	Источники чисел, предпосылки и границы прогноза

Четвёртое направление – аналитическая поддержка. Модели могут формировать прогнозы поступлений и платежей, группировать причины отклонений бюджета и подготавливать пояснения к управленческой отчётности. При этом прогноз движения денежных средств следует отделять от фактических показателей бухгалтерского учёта. Предполагаемое поступление не становится признанной операцией только потому, что модель оценивает его как вероятное.

3. Предлагаемая архитектура интеллектуальной системы учёта. Предлагается модульная архитектура, в которой учётная система остаётся местом хранения утверждённых записей, а ИИ выполняет функции предварительной обработки и поддержки решений. Входной слой получает документы из согласованных источников и регистрирует их происхождение. Для каждого объекта сохраняются уникальный идентификатор, время поступления, версия и контрольная сумма файла. Это позволяет обнаруживать повторную загрузку и устанавливать, какой документ использовался при формировании рекомендации.

Слой подготовки данных проверяет формат, полноту реквизитов и согласованность справочников. Контрагент связывается с подтверждённой карточкой, валюта приводится к установленному обозначению, а числовые значения отделяются от текстовых описаний. Документы с недостаточным качеством изображения возвращаются на повторное сканирование или передаются для ручной обработки. Исправление распознанного поля сохраняется как отдельное действие, а исходный файл остаётся доступным для проверки.

Интеллектуальный слой формирует кандидаты реквизитов, классификаций и соответствий. Каждый результат сопровождается указанием модели и её версии, источником данных и оценкой уверенности, если она доступна и откалибрована. Для языковой модели словесное заявление о высокой уверенности не следует считать статистически достоверной вероятностью. Порог допуска устанавливается на независимой контрольной выборке и пересматривается при изменении состава документов.

Следующий слой реализует формальные правила: наличие обязательных полей, арифметические равенства, допустимость сочетаний аналитики, ограничения периода и поиск дубликатов. Эти правила исполняются программно и имеют управляемые версии. Если ИИ предложил классификацию, противоречащую правилу, операция попадает в очередь исключений. Приоритет формального правила также не освобождает от проверки его актуальности: неверно настроенное правило может систематически исказить учёт.

Слой согласования показывает бухгалтеру исходный документ, извлечённые поля, предложенную запись и причины отклонений. Подтверждение фиксируется с идентификатором пользователя. Передача записи в учётную систему выполняется через контролируемый интерфейс с защитой от повторной отправки. Платёжные действия, изменение реквизитов контрагента и изменение справочников отделяются от подготовки проводок и требуют самостоятельных полномочий.

Для текстовых консультаций предлагается поиск по утверждённым внутренним документам с последующей генерацией ответа на основе найденных фрагментов. Каждый ответ должен содержать ссылку на источник и дату его редакции. Если подтверждающего материала нет, система сообщает о недостаточности основания. Такой механизм уменьшает вероятность неподтверждённых ответов, но не устраняет её полностью и требует проверки применимости найденного положения.

4. Управление качеством данных и оценка моделей. Качество интеллектуальной системы определяется не только выбранным алгоритмом, но и качеством эталонных данных. Для проверки распознавания необходимо подготовить набор документов с реквизитами, подтверждёнными специалистом. В него следует включать различные типы контрагентов, валюты, языки, формы документов и качество сканирования. Если тест содержит только наиболее удобные примеры, его результаты не характеризуют повседневную работу бухгалтерии.

При оценке классификации нужно разделять обучающие и проверочные данные. Документы одной операции, их копии и близкие шаблонные дубликаты не должны одновременно попадать в обучение и независимый тест. Для проверки применимости во

времени полезно обучать модель на более ранних периодах, а оценивать на последующем. Отдельная группа новых контрагентов позволяет установить, насколько система зависит от запоминания уже известных шаблонов.

Единого показателя точности недостаточно. Ошибка в комментарии и ошибка в банковских реквизитах имеют разные последствия. Поэтому предлагается измерять долю верно извлечённых критичных полей, долю исправленных рекомендаций, частоту пропущенных существенных ошибок и трудозатраты на обработку исключений. Сводный показатель рассчитывается только вместе с результатами по типам операций и группам документов.

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP}, \quad \text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}. \quad (1)$$

Здесь **TP** – число подтверждённых нарушений, обнаруженных системой; **FP** – число ложных сигналов; **FN** – число нарушений, которые система пропустила. Для выявления аномалий **Precision** характеризует полезность сформированной очереди проверки, а **Recall** – полноту обнаружения на размеченном наборе. Без независимой проверки части операций, не получивших сигнал, число **FN** неизвестно и заявление о высокой полноте обнаружения необоснованно.

После внедрения необходимо отслеживать изменение распределения входных данных и ухудшение показателей. Новая форма документа, изменение справочника или сезонное смещение операций могут сделать прежний порог неэффективным. Решение об обновлении модели принимается после сравнения новой версии с действующей на одном проверочном наборе. Организация должна иметь возможность вернуть прежнюю версию и продолжить обработку документов при недоступности интеллектуального модуля.

5. Информационная безопасность и внутренний контроль. Интеллектуальная обработка расширяет число компонентов, через которые проходят финансовые и персональные данные. Внешний сервис, журнал запросов, поисковый индекс и набор для обучения становятся дополнительными местами хранения информации. Поэтому состав передаваемых сведений следует ограничивать задачей, а условия хранения, удаления и использования для обучения – проверять до подключения сервиса. Развёртывание внутри организации само по себе также не исключает ошибок настройки и неправомерного доступа.

В качестве методологического ориентира используется NIST AI RMF 1.0, опубликованный в 2023 году: он предназначен для управления рисками на протяжении жизненного цикла ИИ [14]. Профиль NIST для генеративной ИИ 2024 года дополняет эту основу рассмотрением специфических рисков генеративных систем [10]. В предлагаемой модели эти документы используются добровольно как рамка анализа, а не как подтверждение соответствия организации какому-либо обязательному стандарту.

Особое внимание требуется содержимому внешних документов. В счёте или вложении может присутствовать текст, пытающийся изменить поведение языковой модели. Поэтому документ обрабатывается как источник данных и не должен задавать права доступа либо запускать действия. Извлечение реквизитов отделяется от исполнения команд; допустимые поля проверяются по схеме, а действия ограничиваются заранее установленным перечнем.

Внутренний контроль должен учитывать риск чрезмерного доверия автоматической рекомендации. В интерфейсе целесообразно показывать основание предложения и выделять поля, изменённые моделью. Для существенных либо необычных операций устанавливается расширенная проверка. Высокая оценка уверенности не должна отменять контроль операций, последствия ошибки в которых превышают установленный организацией допустимый уровень.

Журнал обработки должен связывать исходный документ, версию модели, результат формальных проверок, исправления и утверждённую запись. Доступ к журналу разграничивается, а его содержание защищается от незаметного изменения. При расследовании ошибки это позволяет определить, возникла ли она на этапе распознавания, настройки правил, человеческого согласования или передачи данных между системами.

Таблица 2. Матрица рисков предлагаемой системы

Table 2. Risk matrix of the proposed system

Риск	Возможное последствие	Мера контроля
Ошибочная классификация	Искажение регистра и последующей отчётности	Проверка политики; согласование существенных операций
Утечка данных	Раскрытие персональной и коммерческой информации	Минимизация данных; разграничение доступа; контроль хранения
Подмена реквизитов	Использование неверного получателя платежа	Отдельное подтверждение изменений; разделение полномочий
Инструкции внутри документа	Нежелательное действие модели	Изоляция входных данных; ограничение инструментов
Дрейф модели	Рост ошибок на новых документах	Мониторинг качества; повторное тестирование; откат версии
Недоступность сервиса	Задержка обработки и закрытия периода	Резервный процесс; очередь заданий; восстановление

6. Модель оценки экономической эффективности. Экономический результат предлагается оценивать относительно исходного процесса с учётом интеграции, подготовки данных, обучения персонала и сопровождения. Сравнение только времени распознавания с временем ручного ввода завышает эффект: после распознавания остаются проверка, обработка исключений и исправление ошибок. Следовательно, расчёт должен охватывать полный цикл от поступления документа до принятия корректной записи.

$$H = N \times (t_0 - t_1) / 60. \quad (2)$$

Здесь H – высвобожденное время за месяц, часов; N – количество документов в месяц; t_0 и t_1 – среднее полное время обработки документа до и после внедрения, минут. В t_1 включаются проверка результатов, исправления и обработка исключений. Если эти операции выполняют разные сотрудники, учитывается суммарное рабочее время всех участников.

$$B = \alpha \times H \times c + L - C; P = I / B, \text{ при } B > 0. \quad (3)$$

Здесь B – оценка чистого месячного эффекта, сомони; c – стоимость рабочего часа; α – доля высвобожденного времени, преобразуемая в измеримый экономический результат; L – подтверждённое снижение потерь за месяц; C – дополнительные ежемесячные расходы; I – первоначальные затраты; P – простой срок окупаемости в месяцах. Коэффициент α отделяет потенциальную стоимость ресурса от реально используемой выгоды. При неизменном фонде оплаты труда высвобождение времени само по себе не означает денежной экономии.

Рассмотрим условную организацию, обрабатывающую 6 000 документов в месяц. Все следующие значения заданы исключительно для демонстрации метода и не являются результатами наблюдения за предприятием Таджикистана. Предположим, что полное время обработки сокращается с 5 до 2 минут, стоимость часа составляет 30 сомони, коэффициент реализации выгоды равен 0,6, сопровождение стоит 3 000 сомони в месяц, а первоначальные затраты – 60 000 сомони. Снижение потерь не учитывается: $L = 0$.

По формуле (2) высвобождается 300 часов в месяц. Потенциальная стоимость этого ресурса составляет 9 000 сомони, реализуемая выгода при $\alpha = 0,6$ – 5 400 сомони. После вычета расходов месячный эффект равен 2 400 сомони, а простой срок окупаемости – 25 месяцев. Такой результат справедлив только при выполнении принятых предпосылок и стабильном объёме обработки.

Таблица 3. Чувствительность условного расчёта к использованию высвобожденного времени

Table 3. Sensitivity of the hypothetical calculation to the use of freed-up time

Коэффициент α	Выгода, сомони/мес.	Чистый эффект, сомони/мес.	Окупаемость
0,3	2 700	300	Не достигается
0,6	5 400	2 400	25 месяцев
1,0	9 000	6 000	10 месяцев

Анализ показывает, что одна и та же технологическая производительность может сопровождаться различными экономическими результатами. При $\alpha = 0,3$ текущие расходы превышают реализуемую выгоду, поэтому расширение проекта без изменения условий не обосновано данным расчётом. Увеличение объёма операций также нельзя считать безусловным преимуществом: оно может потребовать дополнительных лицензий, вычислительных ресурсов и проверяющих сотрудников.

Представленный срок окупаемости является простым, недисконтированным показателем. Для инвестиционного решения на несколько лет следует учитывать денежные потоки по периодам, стоимость капитала, обновление оборудования, сезонность и остаточную стоимость. Расчёт экономической эффективности дополняется ограничением качества: ускорение процесса неприемлемо, если оно сопровождается ростом существенных необнаруженных ошибок.

7. Организационные условия и особенности применения в Таджикистане. Внедрение требует распределения ответственности между бухгалтерской службой, ИТ-подразделением, специалистами по безопасности и руководством. Бухгалтерская служба определяет допустимые классификации, критерии существенности и порядок согласования [2]. ИТ-подразделение отвечает за интеграцию и работоспособность. Специалисты по безопасности оценивают доступ и защиту данных. Руководство утверждает границы применения системы и ресурсы контроля. Эти роли могут совмещаться в небольшой организации, однако совмещение не должно устранять независимую проверку критичных изменений.

Для организаций, работающих с документами на таджикском и русском языках, предлагается самостоятельная оценка качества по каждому языку. В тестовый набор необходимо включить национальные символы, сокращения, смешанные записи и местные наименования. Отдельно проверяются десятичные разделители, формат дат, валютные обозначения и совпадения фамилий или названий. При отсутствии таких проверок средний показатель качества может скрывать ошибки на определённой группе документов.

Выбор между локальным, облачным и гибридным размещением следует выполнять по совокупности требований: чувствительности данных, доступности связи, стоимости сопровождения и компетенциям персонала. Для малого предприятия практичным предметом пилота может быть один поток документов с ограниченным набором реквизитов. Для крупной организации важнее обеспечить согласованность справочников и правил между подразделениями, иначе модель будет получать противоречивые примеры.

До эксплуатации необходимо установить применимые требования законодательства Республики Таджикистан, отраслевого регулирования, договоров и учётной политики к каждому потоку данных [4]. Настоящая статья не подменяет такую проверку и не устанавливает универсальные сроки хранения либо правила трансграничной передачи. Международные рекомендации по ИИ не являются автоматическим основанием для изменения порядка признания хозяйственных операций или составления отчётности.

Изменяется и содержание профессиональной подготовки. Сотруднику необходимо уметь проверять исходные данные, отличать прогноз от факта, понимать смысл ложных срабатываний и фиксировать исправления. Навык формулирования запросов полезен, но не заменяет знания учёта. Международная профессиональная повестка также включает обучение бухгалтеров основам ИИ и этическим аспектам его применения, что отражено в образовательном материале АССА [9].

8. Дорожная карта внедрения и условия апробации. Предлагается начинать с диагностики процесса, а не с выбора модели. Необходимо определить объём документов, фактическое время обработки, причины возвратов и типовые ошибки. Для сравнения фиксируется исходный период, сопоставимый с пилотным по нагрузке и составу операций. Если внедрение совпадает с изменением персонала или учётной политики, эти факторы учитываются отдельно, поскольку они также влияют на результат.

В теневом пилоте документы проходят обычный процесс, а рекомендации ИИ сравниваются с независимо подтверждённым результатом. Это даёт возможность оценить последствия автоматизации до изменения регистров. Контрольная выборка включает как типовые документы, так и заранее выделенные сложные случаи. Размер выборки определяется

требуемой точностью оценки и частотой ошибок; несколько удачных примеров недостаточны для вывода о надёжности.

Таблица 4. Предлагаемая последовательность внедрения
Table 4. Proposed implementation sequence

Этап	Содержание	Условие перехода
Диагностика	Карта процесса и исходные показатели	Согласованы задача и границы пилота
Подготовка	Очистка справочников и разметка выборки	Проверено качество эталонных данных
Теневой пилот	Рекомендации ИИ без влияния на действующий учёт	Измерены ошибки и время полной проверки
Ограниченная эксплуатация	Один поток с утверждением ответственным сотрудником	Достигнуты согласованные качество и эффект
Масштабирование	Подключение новых типов документов	Повторно проверены новые условия
Сопровождение	Мониторинг, обновление и восстановление	Регулярно подтверждается устойчивость результата

Пороговые показатели утверждаются до подведения итогов пилота. В набор критериев предлагается включить отсутствие роста существенных ошибок, снижение полного времени обработки, приемлемую нагрузку на проверяющих и воспроизводимость журнала действий [3]. Универсальный порог точности для всех организаций не задаётся: допустимость результата зависит от характера операций и последствий ошибки. Редкие критичные события проверяются специальными сценариями независимо от общей статистики.

Для генеративных функций отдельно оцениваются подтверждаемость утверждений, корректность ссылок и сохранение числового смысла. В руководстве FRC 2026 года обсуждаются риски генеративного и агентного ИИ для качества аудита и подходы к формированию обоснованной уверенности в результатах [12]. Для предлагаемого пилота практический вывод состоит в проверке результата именно в предполагаемом сценарии использования, а не в переносе общего впечатления о модели на бухгалтерские задачи.

Ограничения исследования связаны с отсутствием эмпирической базы, заданными параметрами экономической модели и неоднородностью организаций. Последующая апробация должна включать несколько типов предприятий, отдельную оценку языков документов и наблюдение за работой системы после обновлений. Необходимо также учитывать изменения нагрузки на сотрудников: уменьшение ручного ввода может сопровождаться ростом сложности оставшихся исключений.

9. Заключение и рекомендации. Применение искусственного интеллекта способно расширить возможности бухгалтерской системы в обработке первичных документов, классификации операций, сверке и аналитической поддержке [4]. Однако ожидаемый эффект определяется сочетанием качества данных, корректно выбранной задачи и проверяемого контроля результата. Сам факт подключения интеллектуального сервиса не означает совершенствования учёта.

В статье предложена модульная модель, связывающая исходный документ, интеллектуальную рекомендацию, формальные проверки, профессиональное согласование и запись в учётной системе. Её ключевое свойство – сохранение прослеживаемости решения. Точные вычисления выполняются детерминированными средствами, вероятностные рекомендации оцениваются на независимой выборке, а существенные операции проходят установленный организацией контроль.

Сценарный расчёт показал зависимость экономического результата от фактического использования высвобожденного времени. При заданных параметрах и коэффициенте реализации выгоды 0,6 простой срок окупаемости составляет 25 месяцев; при коэффициенте 0,3 положительный текущий эффект отсутствует. Эти величины характеризуют только условный сценарий и подтверждают необходимость проверки предпосылок, а не универсальную доходность внедрения ИИ.

Для практического применения рекомендуется начинать с ограниченного потока документов, предварительно упорядочить справочники, провести теневой пилот и установить критерии качества до масштабирования. Для организаций Таджикистана в оценку следует включать качество работы с таджикским и русским языками, условия размещения данных и подготовку кадров. Перспективным направлением дальнейшего исследования является эмпирическая проверка предложенной модели с измерением полной трудоёмкости, существенных ошибок и устойчивости результатов во времени.

Статья подготовлена в рамках научно-исследовательской темы «Программирование на платформе “1С:Предприятие”» кафедры информационных технологий и автоматизации филиала НИТУ МИСИС в г. Душанбе (протокол № 7 от 28 августа 2026 г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Давлетов А.Р. современные методы машинного обучения и технология осг для автоматизации обработки документов // Журнал «Вестник науки» от 29 октября 2023 г. № 10 (67) том 5. С. 676 - 698. 2023 г. ISSN 2712-8849 // Электронный ресурс. URL: <https://www.vestnik-nauki.pf/article/10558> (дата обращения: 15.09.2026 г.)
2. Как найти баланс между недостающими и избыточными данными при составлении отчетности за 2025 год - точка зрения аудитора-методолога. URL: <https://www.audit-it.ru/articles/account/reporting/a2/1122531.html?ysclid=mu6dsohm9v957834525> (дата обращения: 16.09.2026 г.)
3. Норкулов Х.О. Лабораторный практикум по 1С программированию / Х.О. Норкулов. -Душанбе: ДФ НИТУ «МИСИС», 2023. -200 с.
4. Сафаров Ф.Г. Анализ текстовых данных с использованием искусственного интеллекта / Ф.Г. Сафаров // Известия Национальной академии наук Таджикистана. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. – 2024. – № 3(196). – С. 75-85. – EDN FBNRIL.
5. Сафаров Ф.Г. Оптимальная модель алгоритма машинного обучения для анализа больших данных / Ф.Г. Сафаров // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. – 2025. -№1. -С.143-154. – EDN OZMBQI.
6. Сафаров Ф.Г. Ракамикунони иктисодиёт-омили рушд ва тахкими амнияти иттилоотии мамлакат / Ф.Г. Сафаров // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои иҷтимоӣ-иқтисодӣ ва ҷамъиятӣ. – 2024. – No. 8. – P. 323-330. – EDN QRQHPP.
7. Сафаров Ф.Г. Таъмини амнияти иттилоотӣ дар фазои маҷозӣ / Ф.Г. Сафаров // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои иҷтимоӣ-иқтисодӣ ва ҷамъиятӣ. – 2024. – No. 10-2. – P. 307-312. – EDN TQXLXP.
8. Сафаров Ф.Г. Таъмини амнияти иттилоотии системаҳои иртиботӣ барои таъиноти махсус / Ф.Г. Сафаров // Ilm va innovatsia. Бахши илмҳои геологӣ ва техникӣ. – 2024. – No. 4. – P. 188-196. – EDN NTTABW.
9. ACCA. Introduction to AI for accountants. Образовательный материал. URL: <https://www.accaglobal.com/learning-and-events/ai/introduction-to-ai-for-accountants.html> (дата обращения: 04.09.2026).
10. Autio C. et al. Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile. NIST AI 600-1. 2024. DOI: 10.6028/NIST.AI.600-1. URL: <https://www.nist.gov/publications/artificial-intelligence-risk-management-framework-generative-artificial-intelligence> (дата обращения: 22.08.2026).
11. Financial Reporting Council. AI in audit: Illustrative example and documentation guidance. 26 June 2025. URL: <https://www.frc.org.uk/library/standards-codes-policy/audit-assurance-and-ethics/guidance/ai-in-audit/> (дата обращения: 02.08.2026).
12. Financial Reporting Council. Generative and Agentic AI Guidance. March 2026. URL: <https://www.frc.org.uk/library/standards-codes-policy/audit-assurance-and-ethics/guidance/ai-in-audit/> (дата обращения: 06.09.2026).
13. IFRS Foundation. Digital financial reporting. URL: <https://www.ifrs.org/digital-financial-reporting/> (дата обращения: 12.08.2026).
14. Tabassi E. Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0). NIST AI 100-1. 2023. DOI: 10.6028/NIST.AI.100-1. URL: <https://www.nist.gov/publications/artificial-intelligence-risk-management-framework-ai-rmf-10> (дата обращения: 11.08.2026).
15. World Bank. World Bank to Strengthen Digital Public Infrastructure and Digital Skills in Tajikistan. 17 December 2024. URL: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2024/12/17/world-bank-to-strengthen-digital-public-infrastructure-and-digital-skills-in-tajikistan> (дата обращения: 08.08.2026).

ИСТИФОДАИ ЗЕҲНИ СУНЪӢ БАРОИ ТАКМИЛИ НИЗОМИ БАҲИСОБИРИИ МУҲОСИБӢ

Дар мақола имкониятҳои истифодаи зеҳни сунъӣ барои такмили низоми баҳисобгирии муҳосибӣ баррасӣ мешавад. Таҳқиқот хусусияти концептуалӣ ва илмӣ-амалӣ дошта, ба таҳлили манбаъҳои ибтидоӣ, моделсозии функционалӣ ва ҳисобҳои шартӣ иқтисодӣ таъма мекунад. Самтҳои асосӣ шинохти ҳуҷҷатҳои ибтидоӣ, пешниҳоди гурӯҳбандии амалиёт, муқоисаи сабтҳо, ошкор намудани ҳолатҳои ғайримутавозилӣ ва таҳияи тавзеҳоти таҳлилно дар бар мегиранд. Меъморӣ модули пешниҳод шудааст, ки пайванди ҳуҷҷати асли, тавсияи модел, санҷиши қоидаҳо, тасдиқи муҳосиб ва сабти ниҳоиро нигоҳ медорад. Ба сифати додаҳо, амнияти иттилоотӣ, санҷиши мустақили моделҳо ва омодагии қарорҳои диққати махсус дода мешавад.

Ҳисоби шартӣ нишон медиҳад, ки натиҷаи иқтисодӣ ба дараҷаи истифодаи вақти озодшуда вобаста аст. Маълумоти воқеии корхонаҳо истифодаи нашудааст ва натиҷаҳои ҳисоб далели самаранокии татбиқи амалӣ нестанд. Барои ташкилотҳои Тоҷикистон санҷиши ҳуҷҷатҳо ба забонҳои тоҷикӣ ва русӣ, мувофиқсозии маълумотномаҳо ва ҷорӣ намудани марҳилавии низом пешниҳод мегардад.

Калидвожаҳо: зеҳни сунӣ, баҳисобгирӣ муҳосибӣ, омӯзиши мошинӣ, ҳуҷҷатҳои ибтидоӣ, назорати дохилӣ, сифати додаҳо, амнияти иттилоотӣ, самаранокии иқтисодӣ, Тоҷикистон.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЁТА

Рассматриваются возможности применения искусственного интеллекта для совершенствования системы бухгалтерского учёта. Исследование имеет концептуальный научно-практический характер и основано на анализе первичных источников, функциональном моделировании и условном экономическом расчёте. Выделены направления распознавания первичных документов, предложения классификации операций, сверки записей, обнаружения аномалий и подготовки аналитических пояснений. Предложена модульная архитектура, сохраняющая связь между исходным документом, рекомендацией модели, формальными проверками, согласованием бухгалтера и итоговой записью. Особое внимание уделено качеству данных, информационной безопасности, независимой оценке моделей и подготовке персонала. Условный расчёт демонстрирует зависимость экономического результата от использования высвобожденного рабочего времени. Фактические данные предприятий не использованы; расчётные результаты не являются подтверждением эффективности реального внедрения. Для организаций Таджикистана предложены проверка документов на таджикском и русском языках, унификация справочников и поэтапное внедрение системы.

Ключевые слова: искусственный интеллект, бухгалтерский учёт, машинное обучение, первичные документы, внутренний контроль, качество данных, информационная безопасность, экономическая эффективность, Таджикистан.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO IMPROVE THE ACCOUNTING SYSTEM

The article examines the use of artificial intelligence to improve accounting systems. This conceptual, practice-oriented study combines the analysis of primary sources, functional modelling and an illustrative economic calculation. The proposed applications include extracting data from source documents, suggesting transaction classifications, reconciling records, detecting anomalies and drafting analytical explanations. A modular architecture is proposed to preserve the link between the original document, the model recommendation, rule-based checks, accountant approval and the final accounting entry. Particular attention is paid to data quality, information security, independent model evaluation and staff competence. The illustrative calculation demonstrates that economic benefits depend on how released working time is used. No actual enterprise data are used, and the calculated results do not establish the effectiveness of a real implementation. Recommendations for organisations in Tajikistan include evaluating Tajik- and Russian-language documents, standardising reference data and adopting the system in stages.

Keywords: artificial intelligence, accounting, machine learning, source documents, internal control, data quality, information security, economic efficiency, Tajikistan.

Маълумот дар бораи муаллиф: *Норкулов Холтура Олимшоевич* – Филиали Донишгоҳи миллии таҳқиқотии технологияи МИСИС дар Душанбе, ассистенти кафедраи технологияҳои иттилоотӣ ва автоматикунонӣ. **Суроға:** 734042, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи Назаршоев, 7. Телефон: **888 11 22 70**. E-mail: hol_norkulov@inbox.ru

Сведения об авторе: *Норкулов Холтура Олимшоевич* – Филиал Национального исследовательского технологического университета Московского института стали и сплавов в г. Душанбе, ассистент кафедры информационных технологий и автоматизаций. **Адрес:** 734042, г. Душанбе, Республика Таджикистан, улица Назаршоева, 7. Телефон: **888 11 22 70**. E-mail: hol_norkulov@inbox.ru

Information about the author: *Norqulov Kholtura Olimshoevich* – Branch of the National Research Technological University of Moscow Institute of Steel and Alloys in Dushanbe, Assistant of the Department of Information Technology and Automation. **Address:** 734042, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Nazarshoev Street, 7. Phone: **888 11 22 70**. E-mail: hol_norkulov@inbox.ru

Статья поступила в редакцию 17.06.2026
Одобрена после рецензирования 20.08.2026
Принята к публикации 06.10.2026

ДИНАМИКА ВЛАЖНОСТИ КАМЕНИСТО-ЩЕБНИСТЫХ ПОЧВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЗМЕРА ПОЛИВНОЙ СТРУИ

Насруллоев А.Д.

Политехнический институт Таджикского технического университета им. академика М.С. Осими в г. Худжанде

Введение. Согдийская область Республики Таджикистан характеризуется значительными площадями каменистых почв, которые широко распространены в предгорных и равнинных районах. Каменистые почвы, содержащие обломки твердых горных пород различного состава, свойства, происхождения, а также размеров, форм из-за низкого плодородия до недавнего времени считались бросовыми. В последние годы земли с такими почвами стали осваиваться, поэтому к ним повысился научно-практический интерес.

Каменистые почвы широко распространены на значительной части территории республик Средней Азии, юга Казахстана, Армении и Азербайджана. Также почвы в Средней Азии встречаются в Узбекистане – бухарском оазисе, Ферганской долине и в голодной степи, в южном Казахстане – в Караганде, в Киргизии- в виде крупных массивов большей частью в Лейлекском районе, в Ошской области и в Прииссыкуле [16,с.21].

В Таджикистане эти почвы распространены вдоль среднего течения реки Сыр-Дарьи, в том числе в Бободжон Гафуровском, Аштском, Дж. Расуловском и Канибадамском районах Сугдской области (Грабовская, 1956, Леонтьева и Кутеминский, 1966) [11; 12; 9; 15]. Освоение этих земель имеет важное значение для развития сельского хозяйства, однако их использование связано с рядом мелиоративных проблем. Основными особенностями каменистых почв являются низкая влагоёмкость, высокая водопроницаемость и значительные потери оросительной воды при поливах. По данным исследований, значительные массивы таких почв сосредоточены именно на территории Согдийской области, где их площадь достигает десятков тысяч гектаров.

Массивы земель со значительными уклонами расположены в РСФСР, на Украине, в Закавказье, Средней Азии, Молдавии и Казахстане.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что равнинные территории с уклонами до 2° составляют 862,3 тыс. га, или 6,3% общей площади Таджикистана.

Большая часть территории республики представлена землями с уклонами более 30°, которые занимают 28,7 % площади. Склоны, подверженные осыпям, в комплексе с ледниками и снежниками составляют 21,1%. Значительная площадь приходится также на территории с уклонами 20–30°, занимающие около 17% территории республики [16; 17; 21].

В настоящее время освоение и орошение новых земель в Таджикистане осуществляется главным образом за счет предгорных территорий со сложным рельефом и значительными уклонами. На значительной части этих земель распространены каменистые почвы, освоение которых приобретает все большее значение для республики. Площади земель с различными уклонами по районам Таджикской ССР приведены в табл. 1.

Таблица 1. Распределение территории Таджикистана по крутизне скатов, тыс.га (Якутилов и др.,1963)

Table 1. Distribution of the Territory of Tajikistan by Slope Gradient, Thousand Hectares (Yakutilov et al., 1963)

Области Таджикистана	Уклоны в градусах						
	0-2	2-5	5-10	10-15	15-20	20-30	Более 30°
Хатлонская область	484.4	247.6	195.4	364.2	621.1	414.4	7.7
Согдийская область	120.4	343.9	145.9	275.5	182.0	470.0	587.4
ГБАО и Гармская зона	-	768.3	60.4	157.2	157.1	1251.2	-
Районы республиканского подчинения	124.5	11.1	-	24.7	310.5	293.4	332.3
Всего по республике, га	862.3	1370.9	401.9	821.6	1270.7	-	3690.2

%	6.3	9.6	2.7	5.7	8.9	17.0	28.7
---	-----	-----	-----	-----	-----	------	------

Примечание: Ледники и снежники занимают 21,1% от общей площади территории Таджикистана

В таблице 2 приведено распределение площадей по уклонам на землях существующего и перспективного орошения по данным института «Таджикгипроводхоз». В перспективе увеличение площади орошаемых земель намечается в основном за счет освоения земель с уклонами 0,02–0,05 и более.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что рост площадей перспективного орошения предполагается главным образом за счет земель с уклонами 0,02–0,05. По Ленинабадской области к 2000 году их площадь должна была составить около 400 тыс. га, или 47% общей площади орошаемых земель (Якутилов и др., 1983).

Во всех республиках Средней Азии хлопчатник в основном орошается поверхностным способом – по бороздам. Однако на землях со значительными уклонами увеличение размера поливной струи приводит к размыву ложа борозд и значительному поверхностному сбросу воды, достигающему 40–70%. В то же время уменьшение расхода воды вызывает увеличение продолжительности добега струи и времени полива до 5–10 суток, что приводит к неравномерному увлажнению расчетного слоя почвы по длине борозды (Шейнин, 1970) [9; 16; 17; 21].

Таблица 2. Площади по уклонам на землях существующего и перспективного орошения в Таджикистане (районы Гармской зоны и ГБАО)

Table 2. Areas by Slope Classes on Existing and Prospective Irrigated Lands in Tajikistan (Districts of the Garm Zone and the Gorno-Badakhshan Autonomous Region)

Уклоны	1970г		1983 г		2000г	
	тыс га	%	тыс га	%	тыс га	%
До 0.001	7.6	1.57	9.4	1.46	9.4	0.37
0.01- 0.003	115.4	25.75	145.4	22.55	145.4	10.37
0.003 – 0.008	79.0	16.22	94.4	14.64	94.4	6.73
0.008 – 0.02	162.5	33.36	209.8	32.53	209.8	14.96
0.02 – 0.05	80.2	16.47	133.2	20.66	399.8	28.50
0.05 – 0.1	27.8	5.72	46.1	7.15	-	-
Более 0.1	4.4	0.90	6.5	1.01	543.7	38.77
итого	486.9	100	644.8	100	1402.5	100

Некоторые параметры элементов техники полива сельскохозяйственных культур на землях с большими уклонами, сложившиеся в хозяйствах Таджикистана, приведены в таблице 3.

Большое разнообразие технических приемов проведения поливов, как традиционных, так и вновь разработанных, позволяет выбирать наиболее рациональную технологию полива применительно к конкретным природным и хозяйственным условиям.

В последнее время внимание многих ученых направлено на совершенствование дождевания, тогда как поверхностный полив остается на уровне технологий, применявшихся десятилетия назад.

Академик А.Н. Костяков отмечал: «Метод полива не может быть универсальным — он должен соответствовать природным и хозяйственным условиям тех районов, где применяется» (Костяков, 1960).

Выбор способа и техники полива сельскохозяйственных культур определяется водно-физическими свойствами почв, уклоном участка, видом выращиваемой культуры и природно-климатическими особенностями территории (Наумов, 1981).

При дождевании существенное значение имеют потери воды на испарение во время полета дождевых капель. По данным Н.К. Бурматова (1973), а также И.Л. Безуевского, М.Д. Челюканова и В.Н. Шапошникова (1974), испарение составляет в среднем 23,2% от поливной нормы брутто и до 40% от поливной нормы нетто.

Исследования показали, что урожайность хлопчатника при дождевании в первый год была выше на 3,9 ц/га, а во второй год – ниже на 1,1 ц/га по сравнению с бороздковым поливом. Авторы пришли к выводу, что заметной прибавки урожая при дождевании не наблюдается, тогда как дополнительные затраты достигают 234–349 сомони./га [20; 22].

В условиях высокой испаряемости и сильных ветров применение дождевания затруднено вследствие значительных потерь воды на испарение, которые могут достигать 30%.

Практический опыт хозяйств и результаты многочисленных исследований показывают, что наиболее перспективным способом орошения хлопчатника является поверхностный бороздковый полив (Идиалский, 1964; Москвин, 1971; Безуевский и др., 1974; Югай, 1974; Reddy, 1980; Magnat, 1980); Насруллоев А.Д, (1989).

Поверхностные поливы отличаются технической простотой и позволяют поддерживать влажность почвы в заданных пределах. Однако им присущ ряд недостатков: возможность переувлажнения почвы, ухудшение воздушного режима, потери воды на физическое испарение, разрушение структуры верхних горизонтов, вымывание питательных веществ, развитие эрозионных процессов и необходимость проведения послеполивных обработок.

По мнению А.Н. Костякова (1951), основной причиной этих недостатков является неправильный выбор элементов техники полива применительно к конкретным природно-хозяйственным условиям [3; 4; 5].

Несмотря на имеющиеся недостатки, поверхностный полив обладает рядом преимуществ: обеспечивает глубокое промачивание почвы и накопление влаги в активном корнеобитаемом слое, способствует промывке засоленных почв и позволяет распределять воду по полю без дополнительных энергетических затрат.

Анализ данных о распространении различных способов полива в республиках бывшего СССР показывает, что поверхностное орошение характерно прежде всего для районов древнего земледелия.

На бороздковый способ полива приходится около 75% всей орошаемой площади СССР. Его высокий удельный вес как в настоящее время, так и в перспективе подтверждает актуальность исследований по совершенствованию этой технологии как на староорошаемых, так и на вновь осваиваемых землях.

Освоение земель со значительными уклонами до настоящего времени сдерживается сложностью организации территории, недостаточной изученностью элементов техники полива, а также трудностями проектирования и строительства оросительных систем [6; 8; 9].

Вместе с тем именно эти земли являются важнейшим резервом увеличения производства хлопка, винограда и других ценных сельскохозяйственных культур как в Таджикистане, так и в других республиках Средней Азии и Кавказа, поскольку наиболее удобные для орошения земли уже практически исчерпаны.

Объект исследования. Объектом исследования являются новоосваиваемые серо-бурые каменистые почвы Согдийской области Республики Таджикистан. Почвы объекта исследования по критериям ФАО/ЮНЕСКО относятся к аридным, где годовая сумма осадков не превышает 100 – 200 мм.

Нами были изучены новоосваиваемые серо-бурые каменистые почвы Согдийской области Республики Таджикистан. Эти почвы относятся к каменистым (серо-бурые щебнистые и гравийные), где мелкозем представлен в виде песка и супеси.

Цель статьи – выявить оптимальные размеры поливных струй в поливные борозды при нормированном орошении сельскохозяйственных культур на каменистых почвах Согдийской области, которые равномерно увлажняет расчетный слой почвы при наименьшем сбросе поливной воды за пределы поливной карты.

Бороздовой полив хлопчатника на каменистых почвах в первую очередь должен обеспечить равномерное распределение воды по полю и равномерное увлажнение расчетного слоя почвы по длине поливных борозд, но это обеспечение равномерности увлажнения слоя, активного влагооборота почвы по длине борозд должно быть достигнуто при наименьшем сбросе поливной воды, а вместе с ней и мелкоземистой фракции почвы за пределы поливной карты.

Методы. В данном исследовании использованы эффективные методы орошения хлопчатника с соблюдением оптимальных размеров поливной струи в поливные борозды. Здесь, в отличие от традиционных методов полива, экспериментально определены оптимальные элементы техники полива по бороздам (размеры поливных струй, длина поливных борозд) при оптимальном назначении сроков и норм поливов.

Результаты. Особенности динамики влажности каменистых почв. Динамика влажности почвы представляет собой изменение содержания воды в почвенном профиле под воздействием климатических факторов, орошения и водопотребления растений. Для каменистых почв Согдийской области характерны следующие особенности:

1. **Быстрое впитывание воды.** Наличие крупнообломочных включений способствует ускоренному проникновению воды в глубокие горизонты почвы.

2. **Низкая влагоудерживающая способность.** Из-за значительного содержания каменистых фракций уменьшается объём мелкозёма, способного удерживать влагу в корнеобитаемом слое.

3. **Высокие потери на глубинную фильтрацию.** При традиционных способах полива часть воды уходит ниже зоны расположения корней растений. По результатам исследований глубинный сброс может достигать 50–60% от объёма поданной воды.

4. **Неравномерность распределения влаги.** В пределах одного поля участки с различной степенью каменистости обладают разной скоростью впитывания и накопления влаги.

В течение вегетационного периода влажность почвы изменяется под влиянием температуры воздуха, испарения и транспирации растений. В условиях жаркого климата Согдийской области интенсивное испарение приводит к быстрому снижению запасов влаги, что требует более точного регулирования режима орошения.

Степень каменистости оказывает непосредственное влияние на водно-физические свойства почв. С увеличением количества камней снижается общая пористость мелкозёмной части, уменьшается запас продуктивной влаги и сокращается продолжительность её сохранения после полива.

Наиболее благоприятные условия для роста сельскохозяйственных культур создаются при поддержании влажности в пределах 70–80% наименьшей влагоёмкости. При снижении влажности ниже критического уровня ухудшается питание растений и снижается урожайность. Поэтому контроль влажности является важнейшим элементом технологии орошения каменистых земель.

Обычно в практике бороздового орошения хлопчатника на каменистых почвах, равномерность увлажнения почв по длине борозд чаще всего стараются достигнуть за счет увеличения размера поливных струй и продолжительности полива, что приводит к чрезмерному расходу поливной воды на поверхностный и внутрипочвенный сброс и, как следствие этого и снижению урожая хлопка-сырца и ухудшению мелиоративного состояния нижерасположенных карт.

Следовательно, бороздовом поливе хлопчатника, особенно на каменистых почвах, наряду с нормированием орошения, решающим приемом является выбор эффективного размера поливной струи, соответствующей данной категории каменистости почв, который обеспечивает равномерность увлажнения активного слоя почвы по длине борозд при наименьших затратах поливной воды.

Основным показателем, характеризующим равномерность увлажнения почвы по длине поливных борозд, является степень насыщения почвы влагой, выраженная в процентах от величины запаса воды в метровом слое почвы при НВ.

В табл. 3. на примере 5-и вегетационных поливов 2022-2024 годов приведены уровни увлажнения метрового слоя почвы по длине поливных борозд и в зависимости от размера поливных струй, измеренные с помощью ВПП-1 и НИВ-2 на второй день после полива.

Как видно из таблицы средний уровень насыщения метрового слоя почвы после полива в начале поливных борозд одинаковый на всех вариантах размера поливных струй и колеблется в пределах 94-95%, т.е. заметного влияния размера поливных струй на уровень увлажнения в начале поливных борозд не наблюдается.

Таблица 3. Уровень влажности метрового слоя почвы
Table 3. Moisture Content of the One-Meter Soil Layer

Размеры поливных струй, д/сек	Место наблюдения по длине борозды	Номера поливов					M+--m
		1	2	5	7	9	
0,1 -0,3	В начале	99	89	92	97	91	94+2
	В середине	90	96	90	84	89	90+2
	В конце	82	88	81	77	81	82+2
Среднее по длине борозды		90	91	88	86	87	88+1
0,4 -0,6	В начале	94	100	94	93	94	95+2
	В середине	93	90	96	91	98	95+2
	В конце	89	88	89	88	91	89+1
Среднее по длине борозды		92	93	93	91	94	93+1
0,7 – 0,9	В начале	95	95	92	99	92	95+1
	В середине	96	94	97	92	98	95+1
	В конце	91	92	79	85	79	85+3
Среднее по длине борозды		94	94	89	92	90	92+1
1,0 и более	В начале	97	91	96	91	96	94+1
	В середине	91	91	91	86	90	90+1
	В конце	84	84	83	86	83	84+1
Среднее по длине борозды		91	89	90	88	89	89+1

Источник: результаты исследования

При переходе к средней части поливной борозды динамика увлажнения метрового слоя почвы несколько другая, а именно: уровень насыщения почвы после полива на вариантах 0,1-0,3 л/сек и 1,0 и более л/сек, уменьшается на 4%, в то время как в вариантах 0,4-0,6 л/сек и 0,7-0,9 л/сек он еще остается неизменным и составляет 94-95% от НВ. Что же касается концевой части поливных борозд, то картина увлажнения совершенно меняется, т.е. уровень насыщения почвы в конце поливных борозд относительно начальной их части немного ниже и составляет 82,89,85,84% от НВ соответственно размерам поливных струй.

Далее, если рассчитать коэффициент равномерности увлажнения, т.е. отношение уровней насыщения почвы концевой части поливных борозд к таковым уровням в начале поливных борозд, то он для данного опыта составляет: 0,87, 0,94, 0,89, 0,89 соответственно размерам поливных струй, т.е. наибольший коэффициент равномерности увлажнения (0,94) получен в варианте с размерами поливной струи 0,4-0,6 л/сек. Такую же закономерность следует ожидать для каждого полива, поскольку величине отклонения (m) от средней (M) составляет 1-2% [6; 7; 8].

Влияние размера поливных струй на равномерность увлажнения метрового слоя почвы значительное. При прочих оптимальных факторах орошения хлопчатника в условиях каменисто-щебнистой почвы северного Таджикистана массива средней категории каменистости наиболее оптимальным размером поливной струи, обеспечивающей равномерное увлажнение почвы по длине поливных борозд с одновременной экономией поливной воды, является размер поливной струи 0,4-0,6 л/сек.

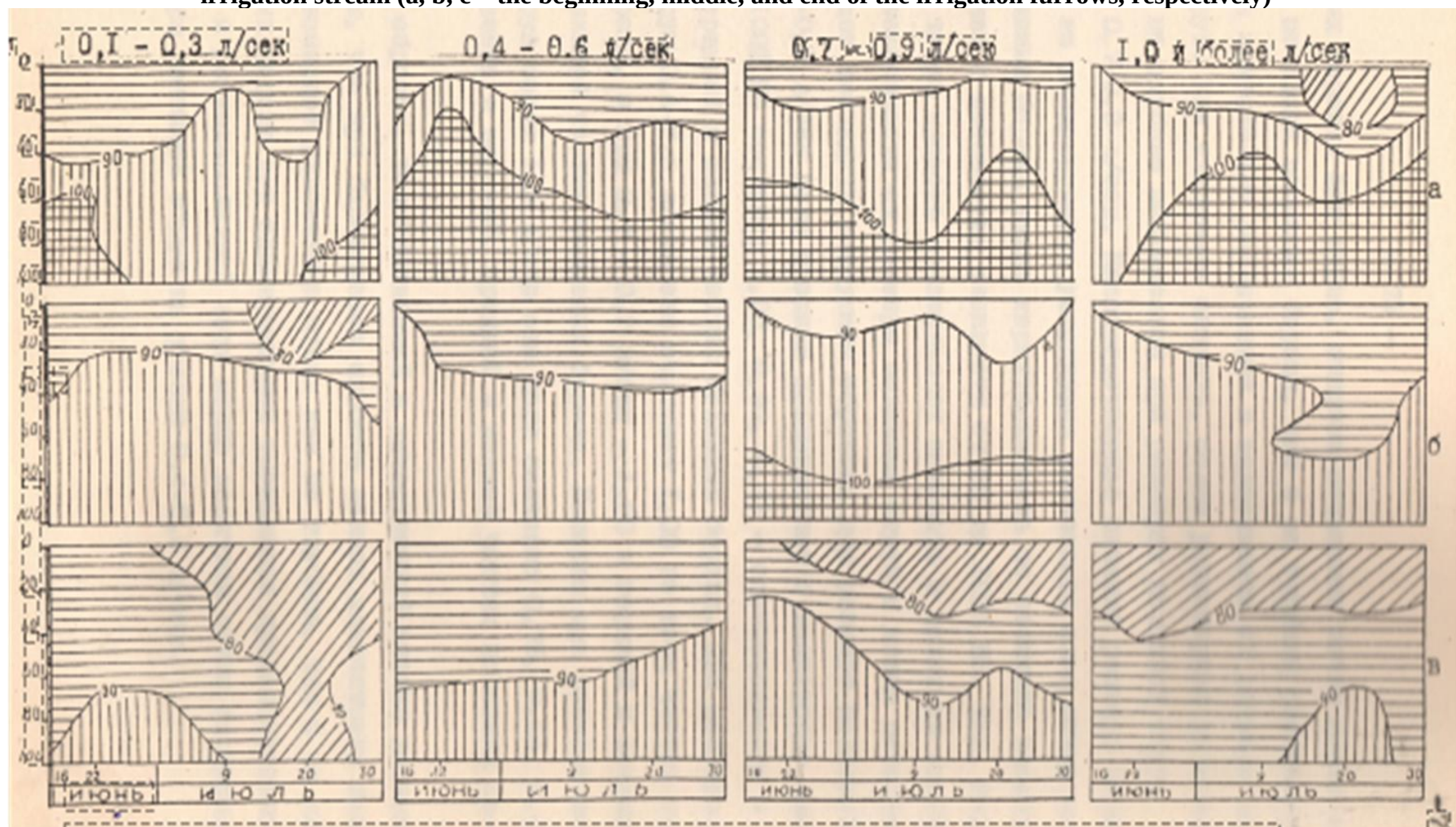
С другой стороны, более полную картину увлажнения расчетного слоя почвы по длине борозды в зависимости от размера поливных струй можно видеть на рис 1.

По данным послойного определения объемной влажности почвы, выраженной в процентах от НВ, на второй день после полива изображены хроноизоплеты влажности почвы по длине поливных борозд.

Как видно, степень насыщения почвы после поливной как по длине поливных борозд, так и по глубине расчетного слоя почвы значительно различается в зависимости от размера

Рис 1. Хроноизоплеты влажности метрового слоя почвы от ППВ в зависимости от размера поливной струи (а, б, в –начало,середина и конец поливных борозд)

Fig. 1. Chronoisopleths of the moisture content of the one-meter soil layer as a percentage of field capacity (FC), depending on the size of the irrigation stream (a, b, c – the beginning, middle, and end of the irrigation furrows, respectively)



поливных струй. Как следовало ожидать, более равномерное увлажнение почвы по глубине наблюдается при размерах поливной струи 0,4-0,6 и 0,7-0,9 л/сек.

Непосредственное влияние размера поливной струи на равномерность увлажнения расчетного слоя почвы по длине поливных борозд можно характеризовать по величине площади хроноизоплант (рис 1) с диапазоном влажности от 80 до 100% НВ. Так, например, если такую площадь хроноизоплант показать в долях от единицы, то она в зависимости от размера поливных струй и длины поливных борозд будет выглядеть следующим образом: при размере поливной струи 0,1-0,3 л/сек доля площади хроноизоплант с диапазоном влажности 80-100% НВ составит 1,00; 0,93; 0,63- соответственно в верхней, средней и нижней частях поливных борозд. При размере поливной струи 0,4-0,6 л/сек она составит 1,00 во всех частях поливных борозд, а при 0,7-0,9 л/сек – 1,00 в верхней и средней и 0,79 в нижней частях поливных борозд. Наконец, при размере поливных струй более 1,0 л/сек эта доля составит 0,75; 0,64; 0,68, соответственно, в верхней, средней и нижней частях поливных борозд [7].

Выводы. Каменистые почвы Согдийской области обладают значительным сельскохозяйственным потенциалом, однако их эффективное использование требует научно обоснованного управления водным режимом. Особенности динамики влажности этих почв обусловлены высокой водопроницаемостью и низкой влагоёмкостью, что приводит к значительным потерям оросительной воды. Совершенствование техники полива, применение водосберегающих технологий и проведение культуртехнических мероприятий позволяют повысить эффективность использования водных ресурсов и обеспечить устойчивое повышение урожайности сельскохозяйственных культур на каменистых землях региона.

Таким образом, количественный и качественный анализ данных показывает, что при бороздковом способе полива хлопчатника наиболее равномерное увлажнение почвы как по глубине, так и по длине поливных борозд при одновременном уменьшении продолжительности полива и расхода поливной воды можно добиться путем поддержания размера поливной струи на уровне 0,4-0,6 л/сек.

Данное исследование проведено в соответствии с научно-исследовательским планом работы кафедры строительства факультета строительства и транспорта Политехнического института Таджикского технического университета им. М. С. Осими в городе Худжанд на 2026-2030 годы под названием «Внедрение принципов «зеленого» строительства для снижения энергозатрат в жилых зданиях», утвержденным постановлением кафедры строительства Политехнического института Таджикского технического университета им. М. С. Осими в городе Худжанд от 26.09.2024 г., № 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдугафуров А.А. Орошаемое земледелие Таджикистана / А.А. Абдугафуров. – Душанбе: Ирфон, 2015. – 320 с.
2. Алиев Б.Г. Техника и технология полива сельскохозяйственных культур / Б.Г. Алиев, М.П. Бабаев. – Москва: Колос, 2012. – 410 с.
3. Ахмедов Х.А. Рациональное использование водных ресурсов в условиях аридной зоны Таджикистана / Х.А. Ахмедов – Душанбе: Дониш, 2018. – 275 с.
4. Беспалов В.И. Бороздковый полив и его эффективность на сложных почвах / В.И. Беспалов. – Ташкент: Фан, 2010. – 198 с.
5. Костяков А.Н. Основы мелиорации / А.Н. Костяков. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 480 с.
6. Джалилов А.Ш. Орошение хлопчатника на каменистых почвах / А.Ш. Джалилов, А.Д. Насруллоев. – Душанбе: ТаджикНИИТИ, 1986. – №1. – С.88-86.
7. Джалилов А.Ш. Диагностика сроков полива хлопчатника на каменистых почвах / А.Ш. Джалилов, О. Вохидов // Сельское хозяйство Таджикистана. – 1980. – №5.
8. Насруллоев А.Д. Водно-физические характеристики каменисто-щебнистых почв Согдийской области Республики Таджикистан / А.Д. Насруллоев // Наука и инновация Таджикского национального университета. Серия геологических и технических наук. - 2026. №1. -31 с.
9. Качинский А.А. Физика почв / А.А. Качинский. -М.: Высшая школа, 1970.
10. Кобилов М.М. Некоторые результаты обработки и анализа физических данных со скоростью впитывания почвы / М.М. Кобилов // Ж-л «Хлопководство». - 1961. – №6.
11. Костенко Н.П. Развитие рельефа горных стран (на примере Средней Азии) / Н.П. Костенко. -М.: Мысль, 1970. –347 с.
12. Кутеминский В.Я. Почвы Таджикистана / В.Я. Кутеминский, Р.С. Леонтьева. -Душанбе: Ирфон, 1966. -223 с.
13. Неуструев С.С. О почвах каменистых пустынь Туркестана / С.С. Неуструев //Почвоведение. - 1913. -№1. -С.1-21.

14. Панов И.М. Физические основы механики почв / И.М. Панов, В.И. Ветохин. -К.: Феникс, 2008. -266 с.
15. Расулов О.Р. Хоки бентонитӣ ва истифодаи он дар соҳаҳои гуногуни саноат ва сохтмон / О.Р. Расулов // Илм ва инноватсияи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон Бахши илмҳои геологӣ ва техникӣ 2026. №1, с 221.
16. Мурадов Ш.М. Особенности полива хлопчатника на каменисто-щебнистых почвах Северного Таджикистана / Ш.М. Мурадов. – Худжанд: Нури маърифат, 2019. – 156 с.
17. Насруллоев А.Д. Водопотребление и урожайность хлопчатника в зависимости от элементов техники полива на маломощных каменистых почвах Аштского массива: автореферат диссертации на соискание ученой степени к.с.х.н. / А.Д. Насруллоев. – Душанбе, 1988. -122 с.
18. Раҳимов, А.А. Усули амсиласозии компютерӣ барои муайян намудани характеристикаҳои лаппиш бо истифодаи муодилаҳои математикӣ / А.А. Раҳимов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. – 2026. - №2. -Р.371-380. – EDN YJPNGQ.
19. Раҳимов, А.А. Машғулияти амалӣ ҳамчун elementi муҳими мустаҳкам намудани донишҳо аз ҷанбаҳои табиӣ-Риёзӣ ва бо усулҳои муосир ташкил намудани онҳо дар донишгоҳҳои олии техникӣ / А.А. Раҳимов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. – 2025. – №. 1. – Р. 314-319. – EDN ZMOFAR.
20. Раҳимов, А.А. Истифодаи амсиласозии компютерӣ ҳангоми гузаштани ҷараён аз ҳама қисмҳои занҷири шоханок дар раванди тайёрии математикӣ донишҷӯёни равияҳои техникӣ / А.А. Раҳимов, Ф. Ҷалилов, У.У. Насулоев // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. – 2025. – №. 10. – Р. 366-375. – EDN LSDMST.
21. Раҳимов, А.А. Истифодаи барномаҳо ва амсиласозии компютерӣ дар раванди тайёрии математикӣ донишҷӯёни равияҳои техникӣ ҳангоми ҳисоб кардани занҷири шоханок / А.А. Раҳимов, Ф. Ҷалилов, А. Атабоев // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. – 2025. – №. 12. – Р. 391-401. – EDN NVZCHY.
22. Раҳимов, А.А. Усулҳои дидактикӣ истифодаи амсиласозии компютерӣ дар раванди тайёрии математикӣ донишҷӯёни мактабҳои олии техникӣ / А.А. Раҳимов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. – 2025. – №. 6. – Р. 296-303. – EDN WGRNJJ.
23. FAO. Irrigation Methods and Water Management in Arid Regions. – Rome: Food and Agriculture Organization, 2017. – 295 p.Food and Agriculture Organization.
24. Michael A.M. Irrigation: Theory and Practice. – New Delhi: Vikas Publishing House, 2008. – 768 p.
25. Walker W.R. Surface Irrigation: Theory and Practice. – Utah State University, 2011. – 385 p.Utah State University
26. Шумаков Б.Б. Эксплуатация оросительных систем. – Москва: Агропромиздат, 1990. – 303 с.

ДИНАМИКА И НАМНОКИИ ХОКҲОИ САНГЛОХУ ШАҒАЛДОР ВОБАСТА БА АНДОЗАИ ҶАРАЁНИ ОБИ ОБЁРӢ

Обёрии пахта тавассути ҷўякҳо дар хокҳои санглоху шағалдор, пеш аз ҳама, бояд тақсимои яхелаи обро дар майдон ва намнокшавии баробари қабати ҳисобии хок дар тули ҷўякҳои обёрӣ таъмин наояд. Ҳамзамон, ин яхелагии намнокшавии қабати ғаёли гардиши намии хок дар тули ҷўякҳо бояд бо ҳадди ақали талафоти оби обёрӣ ва ҳамчунин, бо камтарин баровардани ҳиссаҳои майдон хок (фраксияи майдаҳо) берун аз китъаи обёрӣ ба даст оварда шавад. Нишондиҳандаи асосие, ки дараҷаи яхелагии намнокшавии хокро дар тули ҷўякҳои обёрӣ тавсиф мекунад, дараҷаи сершавии хок аз намай мебошад, ки бо ғоиз нисбат ба захираи об дар қабати ғаёли (якметрии) хок ҳангоми намнокии саҳроӣ (НВ) ифода мегардад. Таъсири андозаи ҷараёни оби обёрӣ ба яхелагии намнокшавии қабати якметрии хок назаррас мебошад. Дар шароити дигари мусоиди обёрии пахта дар хокҳои санглоху шағалдори шимоли Тоҷикистон, андозаи бехтарини ҷараёни оби обёрӣ, ки намнокшавии яхелаи хокро дар тули ҷўякҳои обёрӣ таъмин намуда, ҳамзамон сарфаи оби обёриро низ ба вуҷуд меорад, 0,4–0,6 л/сония мебошад. Дар ин ҳолат намнокии хок ба 94–95% аз намнокии саҳроӣ (НВ) мерасад.

Калидвожаҳо: ҷараёни оби обёрӣ, намнокӣ, хокҳои санглоху шағалдор, захираи намай, обёрии ҷўякӣ, талафоти оби обёрӣ, коэффитсиенти яхелагии намнокшавӣ.

ДИНАМИКА ВЛАЖНОСТИ КАМЕНИСТО-ЩЕБНИСТЫХ ПОЧВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЗМЕРА ПОЛИВНОЙ СТРУИ

Бороздовой полив хлопчатника на каменистых почвах в первую очередь должен обеспечить равномерное распределение воды по полю и равномерное увлажнение расчетного слоя почвы по длине поливных борозд, но это обеспечение равномерности увлажнения слоя активного влагооборота почвы по длине борозд должно быть достигнуто при наименьших сбросах поливной воды, а в вместе с ней и мелкоземистой фракции почвы за пределы поливной карты. Основным показателем, характеризующим равномерность увлажнения почвы по длине поливных борозд, является степень насыщения почвы влагой, выраженная в процентах от величины запаса воды в метровом слое почвы при НВ. Влияние размера поливных струй на равномерность увлажнения метрового слоя почвы значительное. При прочих оптимальных факторах полива хлопчатника в условиях каменисто-щебнистой почвы Северного Таджикистана наиболее оптимальным размером поливной струи, обеспечивающей равномерное увлажнение почвы по длине поливных борозд с одновременной экономией поливной воды, является размер поливной струи 0,4-0,6 л/сек., где влажность составляет 94-95% от НВ.

Ключевые слова: поливная струя, влажность, каменисто-щебнистые почвы, запас влаги, бороздковый полив, сброс поливной воды, коэффициент равномерного увлажнения.

MOISTURE DYNAMICS OF ROCKY-CRUSHED STONE SOILS DEPENDING ON THE SIZE OF THE IRRIGATION STREAM

Furrow irrigation of cotton on stony soils should primarily ensure uniform distribution of water across the field and uniform moistening of the calculated soil layer along the length of the irrigation furrows. At the same time, achieving

uniform moisture distribution within the active soil moisture exchange layer along the furrows must be accomplished with minimal discharge of irrigation water and, together with it, the fine soil fraction beyond the boundaries of the irrigated field. The main indicator characterizing the uniformity of soil moisture along the irrigation furrows is the degree of soil moisture saturation, expressed as a percentage of the water reserve in the one-meter soil layer at field capacity. The influence of irrigation stream size on the uniformity of moistening of the one-meter soil layer is significant. Under other optimal irrigation conditions for cotton cultivation on stony-gravelly soils of Northern Tajikistan, the most optimal irrigation stream size, ensuring uniform soil moistening along the irrigation furrows while simultaneously saving irrigation water, is 0.4–0.6 L/s, where soil moisture reaches 94–95% of field capacity.

Keywords: irrigation stream, moisture, stony-gravelly soils, moisture reserve, furrow irrigation, irrigation water runoff, coefficient of moisture uniformity.

Маълумот дар бораи муаллиф: *Насруллоев Абдулло Домллоевич* – Донишкадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ дар шаҳри Хучанд, номзоди илмҳои кишоварзӣ, и.в. дотсенти кафедраи сохтмон. **Суроға:** 735700, ш. Хучанд, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиббони Исмоили Сомонӣ, 226. E-mail: nasrulloev_abdullo@mail.ru. Телефон: (+992)92-747-27-05

Сведения об авторе: *Насруллоев Абдулло Домуллоевич* – Политехнический институт Таджикского технического университета им. академика М.С. Осими в г. Худжанде, кандидат сельскохозяйственных наук, и.о. доцента кафедры строительства. **Адрес:** 735700, г. Худжанд, Республика Таджикистан, проспект Исмаила Сомони, 226. E-mail: nasrulloev_abdullo@mail.ru. Телефон: (+992)92-747-27-05

Information about the author: *Nasrulloev Abdullo Domulloevich* - Polytechnic Institute of the Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi in Khujand, Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor of the Department of Construction. **Address:** 735700, Khujand, Republic of Tajikistan, Ismail Somoni Avenue, 226. E-mail: nasrulloev_abdullo@mail.ru. Phone: (+992)92-747-27-05

Статья поступила в редакцию 11.05.2026
Одобрена после рецензирования 17.06.2026
Принята к публикации 06.10.2026

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ФАКТОР СОХРАНЕНИЯ ТРАДИЦИОННОЙ ТАДЖИКСКОЙ ЖЕНСКОЙ ОДЕЖДЫ

Иномзода Н.И.

Политехнический институт Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими в городе Худжанде

Введение. В последние десятилетия наблюдается возрождение интереса к национальным традициям и культурной идентичности народов Центральной Азии, в том числе к традиционной таджикской женской одежде. Этот интерес выражается не только в научных исследованиях, но и в возрастании спроса на традиционные элементы костюма в повседневной и торжественной моде. В то же время развитие технологий в сфере лёгкой промышленности и дизайна предоставляет новые возможности для переосмысления и усовершенствования методов пошива, при этом сохраняя этнокультурную самобытность.

Актуальность темы обусловлена необходимостью сочетания двух, на первый взгляд, противоположных направлений - сохранения культурного наследия и внедрения инновационных технологических решений в производственные процессы. В условиях стремительного развития цифровых технологий, автоматизации и глобализации, становится важным не только сохранить традиции, но и обеспечить их адаптацию к современным условиям.

Объектом исследования является процесс пошива традиционной таджикской женской одежды.

Предметом исследования выступают современные технологические решения, применяемые в производстве указанной одежды.

Цель настоящей статьи - проанализировать возможности и практики использования современных технологий в процессе изготовления традиционной таджикской женской одежды, а также выявить их влияние на сохранение аутентичности и развитие национального костюма.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- провести краткий историко-культурный обзор традиционной женской одежды Таджикистана;
- рассмотреть наиболее актуальные современные технологии, применяемые в текстильной и швейной промышленности;
- выявить примеры успешного совмещения технологий и традиционных подходов в таджикской одежде;
- оценить влияние цифровизации и автоматизации на сохранение и трансформацию культурных символов;
- обозначить основные риски и ограничения в процессе интеграции современных решений.

Методы исследования, использованные в работе, включают анализ научной литературы, обзор отраслевых публикаций, изучение практического опыта местных производителей, а также элементы сравнительного и системного анализа.

Результаты. Таким образом, представленная работа направлена на осмысление и систематизацию текущих практик применения современных технологий в сохранении и развитии национального костюма, что представляет интерес как для специалистов в области дизайна, так и для исследователей в сфере культуры и технологии.

1. Историко-культурный обзор традиционной таджикской женской одежды. Традиционная таджикская женская одежда представляет собой богатый пласт материальной культуры, отражающий этническую идентичность, социальный статус, эстетические вкусы и мировоззрение народа. Истоки форм одежды и декоративных элементов уходят в глубь веков - во времена Согдийского государства и даже ранее, когда на территории современного Таджикистана происходило активное взаимодействие с Персией, Китаем и Индией по Великому шёлковому пути [3; 4; 6; 9].

Классическим элементом женского национального костюма является платье-курта - свободного покроя, чаще всего до щиколоток, с длинными рукавами. Курта традиционно шилась из натуральных тканей - хлопка, шелка, бархата - и отличалась яркими цветами и сложным орнаментом. Для более торжественных случаев использовались ткани ручной набойки - адрас, атлас, камолхус, имеющие глубокие цветовые решения и сложные геометрические узоры [3; 4; 6; 14].

Одним из важным компонентом в традиционном женском костюме является штаны свободного покроя (изоры). Изоры надеваются под традиционное платье. Традиционная женская одежда дополняется платком (душогир) - платок, а также тибетейка (тупи - головной убор, украшенный тесьмой и вышивкой). По традиции таджикская женщина в зависимости от местности носила несколько слоёв одежды, особенно в холодных горных регионах, что обеспечивало практичность.

Узоры на одежде имели не только декоративное значение, но и семантическую нагрузку. Например, широко использовались орнаменты, символизирующие защиту от дурного глаза, плодородие, продолжение рода. Цвета также имели сакральное значение: красный символизировал силу и здоровье, зелёный - чистоту и связь с природой, чёрный - защиту.

Особое внимание уделялось вышивке, выполняемой вручную нитками мулине, золотыми и серебряными нитями. В регионах Бадахшана, Гиссара, Худжанда можно найти разнообразные школы вышивального искусства, каждая из которых имеет свой узнаваемый стиль и символику [3; 4; 6; 14].

Анализ традиционной женской одежды показывает, что таджикский костюм – это отличный пример адаптивной трансформации формы одежды под влиянием новых природно-климатических условий. Изучение кроя и технологии пошива позволяет говорить о ряде особенностей, определивших специфику этой одежды, которая выражается в следующем:

- таджикский костюм сложился под влиянием местных природно-климатических условий, ставших определяющим фактором формообразования и их адаптивной трансформации;
- таджикская одежда выполнялась из традиционных материалов (шёлк, хлопок, лён, шкуры домашних животных, пушной мех);
- одежда таджиков была максимально функциональна;
- натуральный материал использовался таджиками рационально, экономично.

Это говорит о том, что традиционная таджикская одежда представляет собой примером народного экологического подхода в создании костюма, сформировавшегося в процессе эволюционного исторического развития этноса под влиянием определенной социально-экологической среды [3; 4; 6; 9; 21].

Традиционная одежда служила не только повседневной или праздничной функцией, но и несла в себе социальный маркер: по качеству ткани, отделке и декоративным элементам можно было определить замужнюю женщину, невесту, женщину в трауре или представительницу уважаемой семьи.

Так, у невесты платье часто украшалось элементами из позолоченных нитей, бисера и монет, а у замужних женщин - более сдержанными, но изысканными элементами. Для пожилых женщин использовались ткани тёмных оттенков с орнаментами, отражающими зрелость и мудрость.

Сегодня традиционная одежда в Таджикистане сохраняет важную роль в культуре. Её носят на свадьбах, государственных торжествах, фестивалях, а также в повседневной жизни, особенно в регионах. Благодаря усилиям мастеров и дизайнеров, а также поддержке со стороны культурных организаций, происходит активное возрождение интереса к национальному костюму [4; 5; 6; 12].

Проекты как Tojik Art, ZARINA, ZEBU Art и Farzaneh демонстрируют, что возможно успешное совмещение традиционной формы и современного дизайна, создавая изделия, востребованные как внутри страны, так и за её пределами.

Исходя из изложенного, традиционная таджикская женская одежда является живым выражением национальной идентичности и богатейшим источником для современного текстильного и модного дизайна.

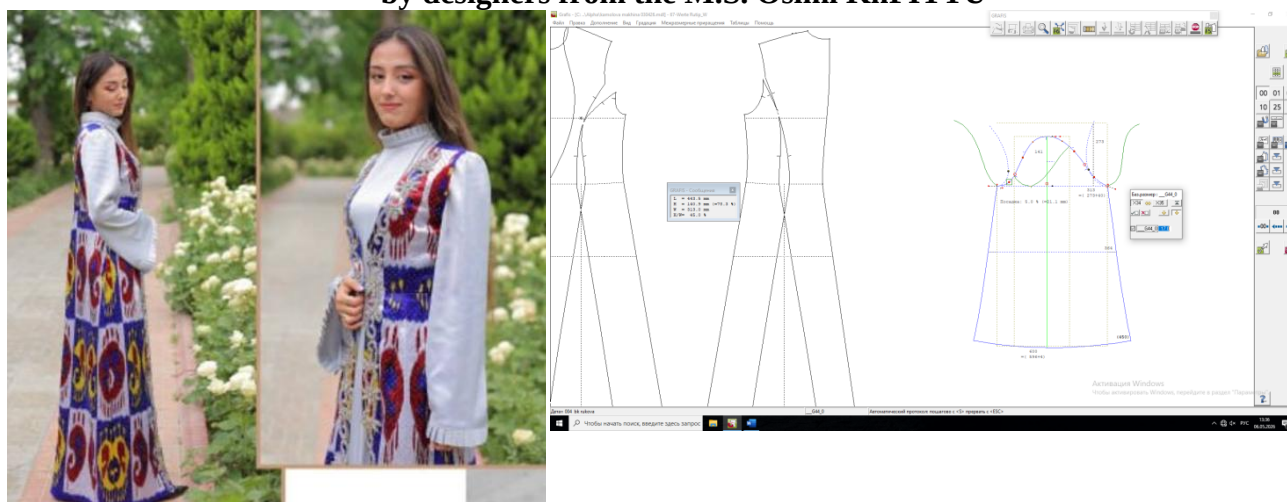
2. Современные технологии в лёгкой промышленности. Развитие лёгкой промышленности в XXI веке тесно связано с внедрением цифровых и автоматизированных технологий, направленных на повышение производительности, улучшение качества продукции и снижение себестоимости. Это имеет непосредственное отношение и к сфере этнической моды, включая пошив традиционной таджикской одежды, которая всё чаще становится объектом не только ручного ремесленного труда, но и предметом высокотехнологичного производства.

Одной из наиболее распространённых технологий является применение CAD/CAM-систем (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing), позволяющих цифровым образом разрабатывать конструкции одежды, моделировать выкройки, производить 3D-визуализацию фасонов, а также напрямую передавать данные на автоматизированные кроильные и швейные установки. Эти системы (например, Gerber, Lectra, Optitex) уже широко используются на крупных фабриках в странах СНГ, в том числе и в Таджикистане.

Использование CAD/CAM-систем обеспечивает **высокую точность** при построении лекал с минимальным количеством ошибок благодаря автоматическим расчетам, **экономии времени** при создании, редактировании и градация лекал, **легкость внесения изменений** и корректировки конструкции, **автоматическую градацию размеров**, снижая расход материала, **удобное хранение данных**, **повышение производительности**, **совместимость с производством**, **улучшение качества изделий** и сокращаются расходы на разработку, исправление ошибок и производство опытных образцов [10; 11; 17; 18; 28].

Рисунок 1. Разработка лекал традиционной женской одежды при помощи САПР-одежды дизайнерами ХПИТТУ имени академика М.С.Осими

Figure 1. Development of patterns for traditional women's clothing using apparel CAD software by designers from the M.S. Osimi KhPITTU



Лазерная резка и термообработка тканей становятся всё более популярными для создания точных, симметричных деталей и узоров. Такие технологии позволяют добиться высокой точности при работе с сложными тканями, например, бархатом или шёлком, что актуально при пошиве праздничной или свадебной таджикской одежды. Автоматизированные машины способны не только вырезать сложные элементы орнамента, но и наносить декоративные насечки, перфорацию и даже имитацию ручной вышивки.

Современные вышивальные машины с числовым программным управлением (ЧПУ) дают возможность воссоздавать традиционные орнаменты с высокой точностью, включая элементы из национальной символики. По средством технологии сканирования образцы старинных вышивок переводятся в цифровую форму и тиражируются на ткани, при этом сохраняется их аутентичность и визуальная выразительность.

При помощи 3D-печати создаются уникальные аксессуары, декоративные элементы и даже тканевые вставки с оригинальной текстурой. В условиях мастерских и дизайнерских

студий такие технологии способствуют индивидуализации моделей и созданию эксклюзивных коллекций.

Самым прогрессивным является использование информационных систем [25; 26; 27; 28] управления производством (ERP и PLM-системы). Данная система позволяет синхронизировать этапы проектирования, закупки материалов, производства и логистики, что важно при массовом производстве элементов одежды на экспорт. Такая система актуальна для небольших фабрик в Таджикистане, где производят традиционную одежду ручным или полуавтоматическим способом [10; 11; 17; 18; 22].

Анализ современных производств в Таджикистане показывает, что современные технологии в лёгкой промышленности трансформируют процесс производства одежды и открывают новые горизонты для сохранения и масштабирования культурного наследия. При правильной интеграции они способны дополнить традиционное искусство, усиливая его ценность в глазах современного потребителя.

3. Интеграция технологий в традиционный пошив: Особой формой культурного синтеза является интеграция современных технологий в процессы пошива традиционной таджикской женской одежды. При синтезе современные производственные средства сочетаются с аутентичными формами и символами. Это особенно актуально в условиях стремительно развивающейся модной индустрии, где внимание к этнической идентичности приобретает всё большее значение.

Создание гибридных моделей производства является из ключевых направлений синтезом современных технологий и пошивом традиционной одежды. При создании гибридных моделей автоматизированный крой и машинная вышивка дополняются ручной отделкой. При таком подходе сокращается время на изготовление базовых элементов одежды, обеспечивается сохранение уникального ручного труда в декоративных частях, как например, при обработке рукавов и подола используется машинная работа, а области груди, плеч или головной убор оформляется ручной вышивкой.

Цифровые технологии, как графических редакторы (Adobe Illustrator, CorelD RAW) и специализированные программы для вышивки (Wilcom, Embrilliance) способствуют воссозданию исторических узоров и орнаментов. По средству цифровых программ мастера и дизайнеры оцифровывают старинные образцы, а затем переносят их на ткань, что особенно важно при восстановлении культурного наследия, утратившегося в результате урбанизации и глобализации [10; 11; 17; 18; 22].

Большую роль в интеграции современных технологий в пошиве традиционной одежды играют интерактивные платформы и технологии дополненной реальности (AR). Благодаря этим технологиям появилось возможность виртуальной примерки национальной одежды и повысился интерес молодёжи к традициям. Данные решения тестируются в рамках образовательных и музейных программ, а также на модных показах и фестивалях национальной культуры.

Процесс интеграции технологий можно наблюдать в деятельности ряда мастерских и брендов. Например бренд одежды **ZARINA** производит платья с ручной вышивкой на бархате и адресе. Или же **Farzaneh Design** в производстве современной женской одежды использует CAD-программу при помощи которой конструкций платьев строятся на базе традиционных фасонов. Студия **NOOR.TJ** при декорировании свадебной женской одежды использует лазерную резку тюля с ручной аппликацией [23; 24].

Не смотря на современные технологии пошива традиционной одежды современные мастера считают важной задачей сохранение ручного труда и традиционных методов пошива и в этой связи делают акцент на «обучение новых мастеров»: проводятся мастер-классы по вышивке, ручному крою, технологии ткачества. Это позволяет обеспечить передачу знаний следующим поколениям, при этом используя технологии как вспомогательный инструмент.

В итоге современные технологии становятся союзником традиционного искусства пошива и их использование позволяет расширить творческие возможности дизайнеров, повысить производственные мощности и популяризировать таджикскую культуру в глобальном пространстве, сохранив её уникальность и историческую значимость.

4. Кейс-анализ: мастерские и дизайнеры Таджикистана: На примере местных производителей и дизайнерских студий, работающих на стыке ремесленного и технологического можно увидеть практическое применения современных технологий в пошиве традиционной таджикской женской одежды.

Компания которая активно использует цифровые инструменты проектирования одежды, в том числе CAD-системы для построения является бренд **ZARINA**, базирующийся в Душанбе. На одежде данного бренда путём ручной отделки изделий акцентируется визуальная эстетика традиционной одежды. В производственном цикле изготовления одежды сочетаются автоматизированная резка ткани и ручная вышивка, выполняемая мастерицами из Согда и Бадахшана. Такой способ изготовления одежды позволяет одновременно поддерживать высокое качество и аутентичность изделий [11; 17; 18; 21].

Ещё один пример успешного синтеза инноваций и традиций в Таджикистане является одежда бренда **NOOR.TJ**. При отделке современной одежды с традиционными элементами использует лазерную резку и термопрессование, а также вышивальные машины с ЧПУ для воссоздания национальных орнаментов. Узоры для данных работ берутся архивными эскизы, затем их адаптируют к современной моде. В процессе адаптации уделяется внимание фасонам под современные предпочтения клиентов, включая молодежную аудиторию [7].

Один из современных брендов специализирующиеся на торжественной и свадебной одежде является Farzaneh Design. В данном бренде одежды особое внимание уделяется построению фасонов, соответствующих историческим прототипам. Одежда кроится с помощью цифровых лекал. В коллекциях бренда **Farzaneh Design** используются ткани с национальными узорами, которые часто печатаются методом сублимационной печати. Важной частью философии бренда является воспитание нового поколения дизайнеров и мастеров, способных работать с современными инструментами и одновременно уважать культурные коды [8].

Бренд работающий по модели креативного кластера является **TojikArt**. В одежде данного бренда сочетаются различные формы ремесел - ткачество, вышивка, валяние - с цифровыми технологиями проектирования. Проект реализует культурные инициативы, в том числе образовательные, и представляет продукцию на международных выставках.

Студия "**Gulduzi**" расположенная в Хороге является примером изготовления гибридных моделей, то есть одежда изготавливается по цифровым лекалам а оформления одежды выполняется ручной вышивкой. В целях поддерживая культурное наследие Памира и создавая уникальные изделия, представляющие интерес как для внутреннего, так и для внешнего рынка, студия сотрудничает с молодыми художниками и дизайнерами [22; 23; 24; 25; 26].

Эти примеры свидетельствуют о возможности создания устойчивой модели развития лёгкой промышленности, основанной на синтезе инноваций и традиций. Кейс-анализ доказывает, что в Таджикистане существует растущий пласт инициатив, направленных на переосмысление национального костюма с использованием технологий.

5. Экономические и культурные эффекты: Производственная эффективность, экономическую устойчивость и культурную самобытность имеют непосредственное зависимость от внедрение современных технологий в процесс пошива традиционной таджикской женской одежды.

Использование автоматизированных систем проектирования и производства (CAD/CAM, ЧПУ-вышивка, лазерная резка и др.), с экономической точки зрения, позволяет существенно снизить издержки, связанные с ручным трудом и браком. Для малых и средних предприятий, функционирующих в условиях ограниченных ресурсов этот процесс особенно актуален. Автоматизации рутинных операций увеличивает производительность труда, что позволяет расширять объёмы выпускаемой продукции без снижения качества.

Автоматизация позволяет избежать физически тяжёлых и монотонных операций, снижает производственные травмы, способствует вовлечению в процесс большего числа молодых специалистов, интересующихся модой, дизайном и цифровыми технологиями, что в конечном счёте способствует повышению технологического уровня и также улучшению условий труда.

Современные технологии пошива изделий швейного производство открывают доступ таджикским производителям к международным рынкам, так как использование стандартов качества, цифровой каталогизации продукции и онлайн-торговли (e-commerce) позволяет

продвигать традиционные изделия за пределами страны. Одежда с традиционными элементами от брендов как ZARINA, NOOR.TJ и других, уже представлена на площадках Etsy, Instagram Shopping, на выставках в Дубае, Москве и Стамбуле.

Внедрение современных цифровых технологий способствуют сохранению традиций и их распространению в новом формате, так как оцифровка орнаментов, создание архивов вышивок, виртуальные музеи и интерактивные платформы позволяют передавать знания будущим поколениям. Это становится особенно актуальным в условиях утраты культурных кодов в городской среде и среди молодёжи.

Современная технологизация ремесленного производства способствует развитию креативной экономики, то есть появляются новые формы занятости, усиливается взаимодействие между мастерами, дизайнерами, программистами, маркетологами. Это стимулирует росту мультидисциплинарных команд и инновационных проектов в области этнической моды [22; 23; 24].

Исходя из выше изложенного, интеграция традиционного пошива и современных цифровых технологий оказывает комплексное воздействие: улучшает экономические показатели производства, обеспечивает сохранение культурного наследия и способствует международной интеграции таджикской модной индустрии.

6. Проблемы и риски: наряду с преимуществами внедрение современных технологий в производство традиционной таджикской одежды существуют и ряд проблем и потенциальных рисков в техническом, в культурном и этическом аспектах. Одним из важных рисков это утрата ремесленного наследия, та как при чрезмерной автоматизации процесса пошива может ослабиться потребность в ручной работе. Ремесленничество на протяжении веков передавалась от поколения к поколению. Многие традиционные национальные элементы, такие как уникальная вышивка, техника драпировки и крой по индивидуальной мерке, могут быть утрачены или сведены к шаблону.

Другой риск - это коммерциализации национального костюма. При коммерциализации аутентичные образы упрощаются или модифицируются в угоду массовому производству и вкусам зарубежного потребителя. Такой подход к производству традиционной одежды может привести к стиранию культурных различий и снижению художественной ценности изделий. Особенно остро встаёт вопрос этичности: допустимо ли адаптировать сакральные символы и орнаменты в рамках модных трендов без должного понимания их значения?

С наряду с вышеуказанными проблемами появится и техническая проблема, то есть высокую стоимость оборудования, нехватка специалистов, умеющих работать с CAD/CAM-системами, вышивальными машинами и цифровыми станками. Во многих регионах Таджикистана из-за отсутствия доступа к надёжной цифровой инфраструктуре, ограничивается возможность локальных мастерских. Ещё один фактор - недостаточная государственная поддержка. На момент подготовки статьи в Таджикистане отсутствует целенаправленная программа по внедрению технологий в традиционные промыслы. Необходима государственная политика, направленная на субсидирование мастерских, обучение персонала, а также создание площадок для сбыта продукции, включая электронную коммерцию.

Существует также риск когда технологии используются механически, без понимания традиционного контекста, то есть «копирования без смысла». При таком подходе создаются визуально схожие, но культурно пустых изделий, что снижает доверие к национальной моде в целом.

Исходя из выше указанного, для успешной интеграции современных цифровых технологий в пошив традиционной таджикской одежды необходимо соблюдать баланс между инновациями и уважением к культурным истокам. Только при осознанном и бережном подходе возможно создание продукции, сочетающей высокое качество, национальный колорит и современные стандарты.

Заключение. На основе проведённого исследования надо отметить, что применение современных цифровых технологии в процессе изготовления традиционной таджикской женской одежды является одним из перспективных направлений развития отечественной лёгкой промышленности и сохранения национального культурного наследия. Современные методы проектирования, крой, отделка одежды вышивкой и управления производственными

процессами говорят о том, что цифровые технологии способны существенно повысить качество изделий, оптимизировать производственные процессы, снизить материальные и временные затраты, а также расширить возможности индивидуализации продукции без утраты её этнокультурной идентичности.

Доказано, что модель которая основанная на рациональном сочетании инновационных технологий с традиционными ремесленными практиками является наиболее эффективной. Систем автоматизированного проектирования (CAD/CAM), цифровое моделирование, лазерная обработка материалов и программируемая машинная вышивка позволяет воспроизводить традиционные конструктивные и декоративные элементы с высокой точностью, обеспечивая их сохранение и адаптацию к современным требованиям рынка. При этом важнейшими составляющими сохранения художественной и культурной ценности национального костюма остаются ручная вышивка, традиционные методы отделки и использование национальных тканей.

Анализ результатов исследования подтверждают, что цифровизация процессов проектирования и производства традиционной таджикской одежды способствует повышению конкурентоспособности отечественной продукции, расширению экспортного потенциала предприятий лёгкой промышленности, развитию креативной индустрии и популяризации традиционной таджикской одежды на международном уровне. На ряду с этим успешная интеграция инновационных технологий требует комплексного подхода, то есть подготовку квалифицированных специалистов, модернизацию производственной инфраструктуры, государственную поддержку предприятий, а также создание цифровых архивов традиционных орнаментов, технологий и элементов национального костюма.

Практическая значимость данного исследования заключается в том, что в полученные результаты можно использовать при разработке современных коллекций национальной таджикской женской одежды, совершенствовании образовательных программ по направлениям дизайна костюма и технологии швейного производства, а также при формировании программ государственной поддержки народных художественных промыслов и предприятий лёгкой промышленности.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой цифровых библиотек национальных орнаментов и конструктивных элементов традиционной одежды, применением технологий трёхмерного моделирования и искусственного интеллекта в проектировании национального костюма, а также с проведением комплексной оценки экономической эффективности внедрения инновационных технологий на предприятиях лёгкой промышленности Республики Таджикистан.

Статья выполнена в рамках научной темы кафедры технология лёгкой промышленности и текстиля «Инновационные технологии в производство изделий легкой промышленности», зарегистрированной в установленном порядке (протокол № 1 от 20 января 2025 г.)

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиева З. Традиционные ремёсла Таджикистана в контексте культурной глобализации. // Вестник гуманитарных наук. – 2019. -№2. -С.123-128.
2. Ахмедова М. Инновационные технологии в дизайне этнической одежды. // Журнал «Текстиль и мода». - 2021. -№5. -С.33-38.
3. Бободжанова Н.И., Хакимова Н. Традиционный костюм и покроем одежды Худжанда XIX-XX веков. - Худжанд, 2011. -103 с.
4. Бободжанова Н.И. История развития портновского дела таджиков в XV – первой половине XX вв. -Худжанд: Меъроҷ, 2016. -240 с.
5. Бободжанова Н.И. Свадебная одежда Бадахшана. (традиции и инновации). // Материалы научно-практической конференции преподавателей, молодых исследователей, докторантов, магистрантов и студентов, посвященной празднованию 20-летия Дня национального единства (Политехнический институт Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими, 25 апреля 2017 г.). -С.231-237.
6. Бободжанова Н.И. Некоторые аспекты историко-культурного развития народной одежды таджиков. (традиции и инновации) // Вестник ТГУПБП. Серия гуманитарных наук №1(70). Научно-теоретический журнал. - Худжанд: 2017. - 270 с. (с.51-60).
7. Бободжанова Н.И. Некоторые аспекты развития современной одежды таджиков (традиции и инновации) // Очерки истории и теории культуры таджикского народа. -Душанбе: Институт истории, археологии и этнографии имени А. Дониша АН РТ, 2017. – 466 ср. (с.389 – 399).

8. Бободжанова Н.И. Инновации в покрое одежды в контексте синтеза традиций // Очерки истории и теории искусств таджикского народа. - Душанбе: Институт истории, археологии и этнографии имени А. Дониша АН РТ, 2018. -324 с. (с.283-296).
9. Бободжанова Н.И., Бобокалонова А.Т. Научные исследования: векторы развития: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 26 апр. 2019 г.). -Чебоксары: Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс», 2019. -С.73-77. – ISBN 978-5-6042714-5-2.
10. Бободжанова Н.И. Внедрения европейских традиций в портновском деле таджиков.// Очерки истории и теории искусств таджикского народа. – Душанбе: Институт истории, археологии и этнографии имени А. Дониша АН РТ, 2021. -324 с. (с.382 - 409).
11. Воронкова Т.Ю. Проектирование швейных предприятий. Технологические процессы пошива одежды на предприятиях сервиса. -М.: Форум, 2022. -128 с.
12. Исаев А.Б. Таджикский костюм в контексте народной художественной культуры. -М., 1992. -С.4.
13. Крючкова Г.А. Технология и материалы швейного производства. -М.: Академия, 2003. -384 с.
14. Майтдинова Г.М. История таджикского костюма. -Душанбе, 2004. - Т.2. Средневековый и традиционный костюм. – С.125-130.
15. Мансуров Ш. Развитие текстильной промышленности в Центральной Азии // Журнал «Лёгкая промышленность», №4, 2020.
16. Махмудова Х.К. Влияние технического прогресса на производительность труда в текстильной промышленности Таджикистана. -Душанбе: Таджик ИНТИ, 1973. -45 с.
17. Насимова Н.Н. Совершенствование техники и технологии швейного производства (диссертация). -Душанбе: Технологический университет Таджикистана, 2023. -180 с.
18. Рахимов, А.А. Машғулияти амалӣ ҳамаҷун элементҳои муҳими мустаҳкам намудани донишҳо аз ҷанбаҳои табиӣ-Риёзӣ ва бо усулҳои муосир таъкид намудани онҳо дар донишгоҳҳои олии тоҷикӣ / А.А. Рахимов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. – 2025. -№.1. -Р.314-319. – EDN ZMOFAR.
19. Рахимов, А.А. Усулҳои гуногуни таҳлили амсиласозии компютерӣ ҳангоми омӯзиши ҷабҳҳои математикаи олии ва иттиҳоби дурусти онҳо дар раёндаи таълим / А.А. Рахимов, С.К. Исмоилова // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. – 2025. -№.10. -Р.358-365. – EDN AFJZST.
20. Серова Т.М., Афанасьева А.И., Илларионова Т.И., Делль Р.А. Современные формы и методы проектирования швейного производства. -М.: МГУДТ, 2004. -240 с.
21. Стельмашенко В.И., Розаренова Т.В. Материалы для изготовления и ремонта одежды. -М.: Высшая школа, 2001. -288 с.
22. Саидова Б.Х. Историческая трансформация национального женского костюма в контексте этногендерных изменений в Таджикистане в XX-XXI веках: диссертация на соискание учёной степени канд. ист. наук. - Душанбе, 2022. - С.8-11.
23. Салимова Ф. Роль САД-систем в швейном производстве. // Технологии и производство. – 2022. -№3. -С.23-26.
24. Рахимов, А.А. Усули амсиласозии компютерӣ барои муайян намудани хосиятҳои лаппиш бо истифодаи муодилаҳои математикӣ / А.А. Рахимов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. – 2026. - №.2. -Р.371-380. – EDN YJPNQG.
25. Рахимов, А.А. Истифодаи амсиласозии компютерӣ ҳангоми гузаштани ҷараён аз ҳама қисмҳои занҷири шоханок дар раёндаи тайёрии математикӣ донишҷӯёни раёндаҳои тоҷикӣ / А.А. Рахимов, Ф. Ҷалилов, У.У. Насуллоев // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. – 2025. -№.10. -Р.366-375. – EDN LSDMST.
26. Рахимов, А.А. Таъкиди раёндаи таълим тариқи сиклӣ дар системаи таҳсилоти кредитӣ / А.А. Рахимов, Г.С. Қодирова // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. – 2025. -№.12. -Р.354-360. – EDN ATJNXH.
27. Рахимов, А.А. Усулҳои гуногуни ҳисоб кардани матритсаи баръақс бо ёрии амсиласозии компютерӣ дар раёндаи таълими математика дар МТОК -ии раёндаҳои тоҷикӣ / А.А. Рахимов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. – 2025. -№.3. -Р.301-310. – EDN XXXCOX.
28. Рахимов, А.А. Усулҳои дидактикии истифодаи амсиласозии компютерӣ дар раёндаи тайёрии математикӣ донишҷӯёни мактабҳои олии тоҷикӣ / А.А. Рахимов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. – 2025. -№.6. -Р.296-303. – EDN WGRNJJ.

ТЕХНОЛОГИЯҲОИ МУОСИР ҲАМАҶУН ОМИЛИ ҲИФЗИ ЛИБОСИ АНЪАНАВИИ ЗАНОНАИ ТОҶИКӢ

Мақола ба таҳқиқи роҳҳои муосири технология бахшида шудааст, ки дар раёндаи дӯхти либоси анъанавии занонаи тоҷикӣ истифода мешаванд ва нақши онҳо дар ҳифзи мероси фарҳангии миллии мавриди таҳлил қарор гирифтааст. Дар мақола хусусиятҳои таърихӣ фарҳангии либоси анъанавии занонаи Тоҷикистон, усулҳои сохторӣ, мавод, нақшу нигор ва аҳамияти рамзии онҳо баррасӣ шудаанд. Таваҷҷуҳи махсус ба технологияҳои муосири саноати сабук, аз ҷумла системаҳои тарҳрезии автоматиконидашуда (CAD/CAM), моделсозии рақамӣ, буриши лазерӣ, гулдӯзии мошинӣ бо идоракунии барномавӣ (CNC), технологияҳои ҷопи 3D ва системаҳои иттилоотии идоракунии истеҳсолот раёндаи гардидааст. Намунаҳои татбиқи технологияҳои инноватсионӣ дар ҷаҳонии тарроҳон ва коргоҳҳои дӯзандагии Тоҷикистон, ки усулҳои муосири истеҳсолро бо ҳунароҳои анъанавии мардумӣ муттаҳид менамоянд, таҳлил шудаанд. Ҳамаҷунин, таъсири иқтисодӣ, фарҳангӣ ва иҷтимоии рақамикунӣ арзёбӣ гардида, ҳафҳои асосии марбут ба аз байн рафтани асолати миллии ва анъанаҳои ҳунаромандӣ муайян карда шудаанд. Дар натиҷа ҳулаша шудааст, ки ҳамаҷирои оқилонаи технологияҳои муосир ба ҳифзи ҳувиати миллии, баланд бардоштани рақобатпазирӣ маҳсулот ва рушди устувори саноати сабуки ватанӣ мусоидат менамояд..

Калидвожаҳо: технология, дӯзандагӣ, анъанаҳо, либоси анъанавӣ, курта, асбоби рақамӣ, буридани лазерӣ, таррохон, технологизатсия, саноати сабук, хунармандӣ, насосҷӣ, гулдӯзӣ, буриш.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ПОШИВЕ ТРАДИЦИОННОЙ ТАДЖИКСКОЙ ЖЕНСКОЙ ОДЕЖДЫ

Статья посвящена исследованию современных технологических решений, применяемых в процессе пошива традиционной таджикской женской одежды, и анализу их роли в сохранении национального культурного наследия. Рассмотрены историко-культурные особенности традиционного женского костюма Таджикистана, его конструктивные элементы, материалы, орнаментальные мотивы и символическое значение. Особое внимание уделено современным технологиям лёгкой промышленности, включая системы автоматизированного проектирования (CAD/CAM), цифровое моделирование, лазерную резку, машинную вышивку с числовым программным управлением, 3D-технологии и информационные системы управления производством. Проанализированы примеры внедрения инновационных решений в деятельности таджикских дизайнеров и мастерских, сочетающих современные методы производства с традиционными ремесленными технологиями. Оценены экономические, культурные и социальные эффекты цифровизации, а также выявлены основные риски, связанные с утратой аутентичности и ремесленных традиций. Сделан вывод о том, что рациональная интеграция современных технологий способствует сохранению национальной идентичности, повышению конкурентоспособности продукции и устойчивому развитию отечественной лёгкой промышленности.

Ключевые слова: технология, пошив, традиции, традиционная одежда, курта, цифровой инструмент, лазерная резка, дизайнеры, технологизация, лёгкой промышленности, ремесло, текстиль, вышивка, крой.

MODERN TECHNOLOGIES AS A FACTOR IN THE PRESERVATION OF TRADITIONAL TAJIK WOMEN'S CLOTHING

This article examines modern technological solutions applied in the production of traditional Tajik women's clothing and analyzes their role in preserving the national cultural heritage. The historical and cultural characteristics of the traditional women's costume of Tajikistan, including its structural elements, materials, ornamental motifs, and symbolic significance, are discussed. Particular attention is paid to advanced technologies used in the light industry, such as Computer-Aided Design and Manufacturing (CAD/CAM) systems, digital modeling, laser cutting, computerized embroidery, 3D technologies, and production management information systems. The study analyzes examples of innovative technologies implemented by Tajik designers and workshops that successfully combine modern manufacturing methods with traditional handicraft techniques. The economic, cultural, and social impacts of digitalization are evaluated, and the major risks associated with the loss of authenticity and traditional craftsmanship are identified. The study concludes that the rational integration of modern technologies contributes to preserving national identity, enhancing the competitiveness of traditional products, and promoting the sustainable development of the domestic light industry.

Keywords: technology, sewing, traditions, traditional clothing, kurta, digital tool, laser cutting, designers, technologization, light industry, craft, textile, embroidery, cutting.

Маълумод дар бораи муаллиф: *Иномзода Назира Иномҷон* – Донишқадаи политехникии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ дар шаҳри Хучанд, номзади илмҳои таърих, омӯзгори калони кафедраи технологияи саноати сабук ва насосҷӣ. **Суроға:** 735700, ш. Хучанд, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Исмоили Сомонӣ, 226. E-mail: naziron74@mail.ru. Телефон: +992927751571

Сведения об авторе: *Иномзода Назира Иномҷон* - Политехнический институт Таджикского технического Университета имени академика М.С. Осими в городе Худжанде, кандидат исторических наук, старший преподаватель кафедры технология лёгкой промышленности и текстиля. **Адрес:** 735700, г. Худжанд, Республика Таджикистан, проспект Исмаила Сомони, 226. E-mail: naziron74@mail.ru. Телефон: +992927751571

Information about the author: *Inomzoda Nazira* - Polytechnic Institute of the Tajik Technical University named after Academician M. S. Osimi in Khujand. Candidate of Historical Sciences (PhD equivalent), Senior Lecturer, Department of Light Industry and Textile Technology. **Address:** 735700, Khujand, Republic of Tajikistan, Ismoil Somoni Avenue, 226. E-mail: naziron74@mail.ru. Phone: +992 92 775 15 71

Статья поступила в редакцию 29.06.2026
Одобрена после рецензирования 18.08.2026
Принята к публикации 06.10.2026

**ТЕХНОЛОГИЯҲОИ ЗЕҲНИ СУНӢ ВА ОМУӢЗИШИ МОШИНӢ ДАР
ИДОРАКУНИИ ЗАХИРАҲОИ ЭКОСИСТЕМАҲОИ РАҚАМӢ**

Ёров М.Р., Комилиён Ф.С.
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Муқаддима. Табдилдиҳиҳои рақамӣ дар вақтҳои охир боиси тағйироти кулӣ дар хусусият, сохтор ва миқёси сарборихое гардид, ки тавассути системаҳои ҳисоббарории тақсимшуда (СХТ) коркард мешаванд. Гузариш аз архитектураҳои монолитӣ ба микросервисӣ, контейнерсозии барномаҳо, инчунин рушди технологияҳои ҳисоббарории абрӣ ва канорӣ ба афзоиши ҳаҷм, шиддатнокӣ ва гуногунии чараёни дархостҳо дар экосистемаҳои рақамии тақсимшуда оварда расонид [1-10].

Дар натиҷа, топологияи СХТ пайваста мураккаб шуда, шумораи сервисҳо, гиреҳо ва захираҳои ҳисоббарории бо ҳам алоқаманд меафзояд. Дар чунин шароит сарбории ҳисоббарорӣ хусусияти ғайристатсионарӣ пайдо карда, бо тағйироти динамикӣ, номуайяни ва ҷаҳишҳои ногаҳонии шиддатнокӣ тавсиф мешавад. Ин омилҳо истифодаи усулҳои анъанавии идоракунии инфрасохторро маҳдуд намуда, зарурати таҳия ва татбиқи усулҳои муосири идоракунии зеҳнӣ ва мутобиқшавандаи захираҳои ҳисоббарориро ба миён меоранд [11-23].

Усулҳои анъанавии идоракунии захираҳои ҳисоббарорӣ, ки асосан ба ҳадҳои статикӣ, қоидаҳои эвристикӣ ва миқёсбандии реактивӣ таъяс мекунанд, дар шароити сарбории ғайристатсионарӣ самаранокии маҳдуд доранд. Механизмҳои миқёсбандии уфуқӣ ва амудӣ, ки одатан пас аз ошкор шудани тағйироти сарборӣ фаъол мешаванд, на ҳамеша воқуниши саривақтии системаро таъмин карда метавонанд. Дар натиҷа, таъхири воқуниш, истифодаи барзиёди захираҳои ҳисоббарорӣ ё паст шудани сифати хизматрасонӣ ба миён омада, иҷрои талаботи сатҳи хизматрасонӣ (SLA) душвор мегардад. Аз ин рӯ, истифодаи усулҳои пешгӯии сарборӣ ва идоракунии мутобиқшавандаи захираҳои ҳисоббарорӣ яке аз самтҳои муҳими рушди системаҳои ҳисоббарории тақсимшуда ба ҳисоб меравад [24-30].

Рушди технологияҳои зеҳни сунӣ (Artificial Intelligence – AI), аз ҷумла усулҳои омӯзиши мошинӣ (Machine Learning – ML), омӯзиши амиқ (Deep Learning – DL) ва омӯзиши тақвиятӣ (Reinforcement Learning – RL), имкониятҳои нави ҳалли масъалаҳои мазкурро фароҳам меоранд. Дар ин замина, татбиқи зеҳни сунӣ дар амалиёти технологияҳои иттилоотӣ (Artificial Intelligence for IT Operations – AIOps) ҳамчун маҷмуи усулҳои муосири автоматикунории амалиёти ТИ, пешгӯии ҳолати системаҳо ва идоракунии инфрасохтори рақамӣ ташаккул ёфтааст. Истифодаи усулҳои зеҳни сунӣ (ЗС) имкон медиҳад, ки тағйироти сарборӣ пешакӣ муайян гардида, захираҳои ҳисоббарорӣ мутобиқи талаботи ҷорӣ ба таври мутобиқшаванда тақсим карда шаванд. Дар натиҷа, системаҳои рақамӣ метавонанд ба тағйирёбии шароити фаъолият мутобиқ шуда, сатҳи устуворӣ, эътимоднокии ва самаранокии истифодаи захираҳои ҳисоббарориро баланд бардоранд [1; 6; 9-22].

Гузориши масъала. Ҳадафи асосии таҳқиқоти мазкур ба таҳияи равиши зеҳнӣ ҷиҳати пешгӯии динамикаи сарборӣ ва идоракунии мутобиқшавандаи захираҳои ҳисоббарорӣ равона шудааст. Равиши пешниҳодшаванда коркарди маълумоти телеметрӣ, муайянсозии қонуниятҳои тағйирёбии сарборӣ ва қабули қарорҳои оптималии идоракуниро дар шароити номуайяни таъмин менамояд. Самаранокии ин равиш дар асоси нишондиҳандаҳои дақиқии пешгӯӣ, сарфакории истифодаи захираҳо, вақти воқуниш ва устувории фаъолияти система арзёбӣ мегардад.

Хусусияти ғайристатсионарии сарбории СХТ ва тағйироти ногаҳонии ҳаҷми дархостҳо интиҳоби модели мувофиқи зеҳни сунӣро тақозо мекунад. Азбаски истифодаи модели ягона на ҳамеша сатҳи зарурии дақиқӣ ва устувории пешгӯиро таъмин месозад, таҳлилу муқоисаи самаранокии моделҳои гуногуни омӯзиши мошинӣ ва омӯзиши амиқ аҳамияти калони илмӣ-амалӣ пайдо мекунанд.

Ҷузъи муҳими таҳқиқотро таҳияи механизми алоқии баръакс дар занҷири «пешгӯӣ-идоракунӣ» ташкил медиҳад. Механизми мазкур дар асоси маълумоти ҷорӣ ва

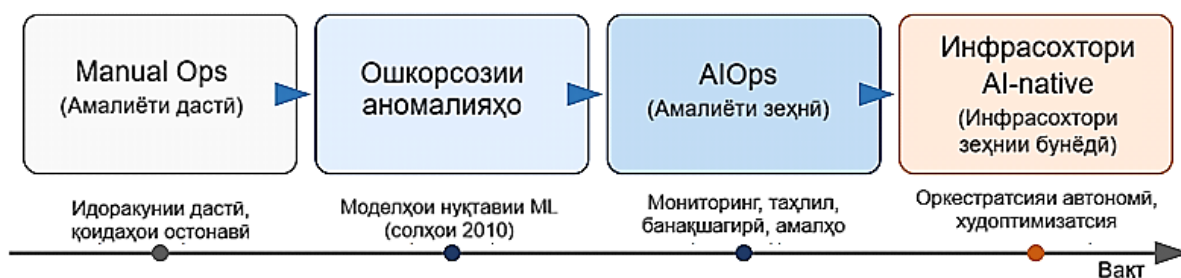
пешгӯишаванда ҳолати захирахоро арзёбӣ намуда, параметрҳои тақсими онҳоро ба таври автоматӣ ба танзим меорад. Ин раванд контури пӯшидаи идоракуниро шакл дода, норасоии захираҳо ва ҷудокунии барзиёди иқтидорҳои ҳисоббарориро пешгирӣ менамояд.

Зехни сунӣ дар идоракунии экосистемаҳои рақамии тақсимшуда. Татбиқи технологияҳои ЗС дар идоракунии СХТ аз ҳалли масъалаҳои алоҳида ба самти мустақили илмӣ ва технологӣ мубаддал гаштааст. Дар марҳилаи аввал, усулҳои омӯзиши мошинӣ асосан барои ошкорсозии аномалияҳо дар сабти рӯйдодҳо ва пешгӯии азкормонии ҷузъҳои система истифода мешуданд. Бо афзоиши миқёси платформаҳои абрӣ ва мураккабшавии архитектураи онҳо, равиши маҷмуии автоматикунонии амалиёти ТИ, яъне AIOps ташаккул ёфт. Дар доираи ин концепсия, афзорҳои омӯзиши мошинӣ, коркарди забони табиӣ ва таҳлили додаҳои калонҳаҷм бо мақсади мониторинг, таҳхис ва идоракунии устувори инфрасохтор татбиқ мегарданд [1-2].

Вазифаҳои калидии AIOps аз ҷамъоварии додаҳои телеметрӣ, ошкорсозии аномалияҳо, пешгӯии азкормонии ҷузъҳо, таҳлили сабабҳои бунёдӣ ва қабули қарорҳои худкор иборатанд. Коркарди додаҳои ретроспективии рӯйдодҳо, дархостҳо ва метрикаҳои инфрасохторӣ имконияти арзёбии пешакии ҳолати система, муайянсозии тағйирёбии сарборӣ ва андешидани чораҳои фаврӣ фароҳам меорад. Дар натиҷа, раванди идоракунии инфрасохтор аз амалиёти дастию реактивӣ ба равишҳои проактивӣ, автоматикунӣ ва зехнӣ мегузарад (расми 1).

Расми 1. Таҳаввули раванди татбиқи зехни сунӣ дар идоракунии экосистемаҳои рақамии тақсимшуда

Figure 1. Evolution of the process of implementing artificial intelligence in the management of distributed digital ecosystems



Дар баробари рушди AIOps, концепсияи экосистемаи рақамии зехнӣ ташаккул ёфта истодааст. Дар чунин экосистемаҳо технологияҳои зехни сунӣ на танҳо барои мониторинг ва таҳхиси ҳолати система, балки барои идоракунии архитектураи абрасос (Cloud-Native), оркестратсияи контейнерҳо, тақсими захираҳои ҳисоббарорӣ, масирбандии трафик ва идоракунии сикли ҳаёти сервисҳо татбиқ мегарданд. Яъне, инфрасохтори тақсимшуда тадриҷан қобилияти таҳлили ҳолат, пешгӯии сарборӣ ва мутобиқсозии захирахоро ба шароити тағйирёбандаи ғайрипайдо менамояд [5; 11-12; 26-30].

Татбиқи омӯзиши тақвиятӣ (RL), аз ҷумла омӯзиши амиқи тақвиятӣ (Deep RL), дар идоракунии платформаҳои контейнерӣ самти муҳими дигари рушди системаҳои рақамии зехиро ташкил медиҳад. Истифодаи чунин усулҳо дар муҳити Kubernetes ва системаҳои микросервисӣ имконияти тақмил додани банақшагирии захираҳо ва гузариш аз алгоритмҳои анъанавии эвристикӣ ба моделҳои омӯзишпазирро фароҳам меорад. Моделҳои мазкур метавонанд вобаста ба тағйирёбии хусусияти сарборӣ қарорҳои идоракуниро мутобиқ намуда, барои миқёсбандӣ ва тақсими самараноки захираҳои ҳисоббарорӣ истифода шаванд [18-20].

Усулҳои омӯзиши мошинӣ дар пешгӯии сарборӣ. Пешгӯии сарборӣ яке аз масъалаҳои асосии таҳлили пешгӯишаванда дар экосистемаҳои рақамии тақсимшуда ба шумор меравад, зеро самаранокии тақсими захираҳои ҳисоббарорӣ аз дақиқии қиматҳои ояндаи сарборӣ, шиддатнокии ҷараёни дархостҳо ва трафики шабакавӣ вобаста мебошад. Дар ин самт усулҳои классикӣ омӯзиши мошинӣ ба таври васеъ истифода мешаванд, ки бо содагии нисбии ҳисоббарорӣ ва имконияти татбиқ дар шароити маҳдуд будани захираҳо фарқ мекунад (расми 2).

Расми 2. Таснифи технологияҳои омӯзиши машинӣ
Figure 2. Classification of machine learning technologies



Моделҳои Linear Regression (регрессияи хаттӣ) ҳамчун модели бунёди бештар бо сабаби содагии ҳисоббарорӣ ва талаботи нисбатан паст ба ҳаҷми додаҳо доштани истифода мешавад. Аммо имконияти он барои моделсозии вобастагҳои ғайрихаттӣ ва сарбории ғайристатсионарӣ маҳдуд мебошад. Моделҳои Decision Tree (дарахти қабули қарорҳо) бошад, имконияти моделсозии вобастагҳои ғайрихаттӣ ва тафсирпазирии натиҷаҳо таъмин менамояд, вале ҳангоми тағйирёбии додаҳо метавонад ба бозомӯзӣ дучор гардад. Моделҳои Random Forest (ҷангали тасодуфӣ) ин маҳдудиятро тавассути истифодаи маҷмуи дарахтони қарор коҳиш дода, устувории бештари пешгӯиро таъмин менамояд. Ин усул барои пешгӯии сарбории захираҳо ва аз кор мондани супоришҳо дар муҳитҳои абрӣ истифода мегардад [26].

Моделҳои Support Vector Machine (SVM – мошини векторҳои тақягоҳӣ) асосан барои таснифбандии ҳолатҳои сарборӣ, дар ҳоле ки Support Vector Regression (SVR – регрессияи векторҳои тақягоҳӣ) барои пешгӯии динамикаи сарборӣ дар уфуқи кӯтоҳмуддат истифода мешавад. Афзалияти ин моделҳо дар қобилияти моделсозии вобастагҳои мураккаби ғайрихаттӣ ифода меёбад. Бо вучуди ин, афзоиши ҳаҷми маҷмуи додаҳои омӯзишӣ боиси зиёд шудани мураккабии ҳисоббарорӣ гардида, самаранокии истифодаи SVM/SVR-ро дар муҳитҳои дорой чараёни бузурги додаҳо маҳдуд менамояд [28].

Гурӯҳи дигари усулҳои самараноки омӯзиши машинӣ алгоритмҳои ансамблии Gradient Boosting (бустинги градиентӣ), аз ҷумла XGBoost, CatBoost ва LightGBM, мебошанд. Бар хилофи Random Forest, ки модели дарахтҳо асосан ба таври мустақил месозад, бустинг моделҳоро пайдарпай ташаккул дода, хатогиҳои моделҳои қаблӣро ислоҳ менамояд. Ин хусусият имконияти ба даст овардани дақиқии баланди пешгӯиро фароҳам меорад. Аз ҷумла, XGBoost бо истифодаи регуляризатсия ва имконияти параллелизатсия барои пешгӯии сарборӣ ва идоракунии захираҳои муҳитҳои абрӣ истифода мешавад [30].

Маълум мешавад, ки интиҳоби усули омӯзиши машинӣ аз хусусияти масъалаи ҳалшаванда ва талаботи система вобастагӣ дорад. Моделҳои Linear Regression ва Decision Tree барои ҳолатҳои мувофиқанд, ки содагӣ ва тафсирпазирии модел аҳамияти аввалиндараҷа дорад. Моделҳои Random Forest барои коркарди додаҳои дорой ихтилофот ва тағйирёбии зиёд устувории бештар нишон медиҳад, дар ҳоле ки усулҳои Gradient Boosting дар сурати мавҷуд будани ҳаҷми кофии додаҳои таърихӣ имконияти ба даст овардани дақиқии баланди пешгӯиро фароҳам меоранд.

Бо вучуди ин, усулҳои классикӣ омӯзиши машинӣ дар моделсозии вобастагҳои дарозмуддати вақтӣ ва қонуниятҳои мураккаби тағйирёбии сарборӣ маҳдудияти муайян доранд [24-25]. Ин маҳдудиятҳо дар шароити сарбории ғайристатсионарӣ, ки бо тағйироти ногаҳонӣ ва қонуниятҳои мавсимӣ тавсиф меёбад, бештар зоҳир мешаванд. Аз ин рӯ, истифодаи архитектураҳои омӯзиши амиқ барои пешгӯии сарборӣ ҳамчун самти минбаъдаи таҳқиқот аҳамияти хоса пайдо мекунад.

Дар ҷадвали 1 таҳлили муқоисавии усулҳои баррасишудаи омӯзиши машинӣ аз рӯи метриқҳои калидӣ, ки ҳангоми интиҳоби модели пешгӯии сарборӣ дар экосистемаҳои рақамии тақсимшуда татбиқ мегарданд, пешниҳод шудааст. Таҳлилҳо нишон медиҳанд, ки барои пешгӯии сарборӣ усули универсалии омӯзиши машинӣ вучуд надорад. Интиҳоби модели мувофиқ ба таносуби байни дақиқии пешгӯӣ, мураккабии ҳисоббарорӣ ва сатҳи

тафсирпазирӣ вобаста мебошад. Дар шароити сарбории ғайристатсионарӣ маҳдудияти усулҳои классикӣ, махсусан дар моделсозии вобастагиҳои вақтии дарозмуддат, зарурати истифодаи архитектураҳои омӯзиши амиқро ба миён меорад, ки имконияти моделсозии шаклҳои мураккаби тағйирёбии сарбориро фароҳам месозанд.

Ҷадвали 1. Таҳлили муқоисавии усулҳои омӯзиши мошинӣ
Table 1. Comparative analysis of machine learning methods

Усул	Принсипи кор	Мураккабии ҳисоббарорӣ	Тафсирпазирӣ	Соҳаи татбиқ
Linear Regression	Аппроксиматсияи хаттии вобастагӣ	Паст	Баланд	Пешгӯии бунёди ва тамоюлҳои сода
Decision Tree	Тақсимкунии рекурсивии фазои аломатҳо	Паст-миёна	Баланд	Таснифи сарборӣ ва қоидаҳои тафсиршаванда
Random Forest	Маҷмуи дарахтҳои қарорҳо	Миёна	Миёна	Пешгӯии сарборӣ, иҷрои супоришҳо ва устуворӣ нисбат ба ҳалалҳо
SVM / SVR	Сохтани гиперҳамвории ҷудокунанда бо фосилаи ҳадди аксар	Миёна-баланд	Паст-миёна	Таснифи аномалияҳо ва пешгӯии кӯтоҳмуддат
Gradient Boosting	Ислоҳи пайдарпайи хатогиҳои моделҳои бунёди	Миёна-баланд	Миёна	Пешгӯӣ ва мувозинатсозии сарбории дархостҳо
XGBoost / CatBoost / LightGBM	Бустинги миқёсшаванда бо регуляризатсия	Миёна, бо имконияти параллелизатсияи баланд	Миёна	Пешгӯии сарборӣ дар системаҳои додаҳои калон

Моделҳои омӯзиши амиқ дар масъалаҳои таҳлили пешгӯишаванда. Маҳдудиятҳои усулҳои классикӣ омӯзиши мошинӣ дар моделсозии вобастагиҳои вақтии дарозмуддат ва мураккабии сарборӣ боиси рушди босуръати архитектураҳои омӯзиши амиқ гардиданд (расми 3).

Масалан, шабакаҳои нейронии сунъӣ (Artificial Neural Networks – ANN) ва шабакаҳои нейронии амиқ (Deep Neural Networks – DNN) имконияти моделсозии вобастагиҳои ғайрихаттиро фароҳам месозанд, ки барои пешгӯии сарбории ғайристатсионарӣ дар экосистемаҳои рақамии тақсимшуда аҳаммияти хосса дорад [2; 6; 16].

Расми 3. Таснифи моделҳои омӯзиши амиқ барои таҳлили дурнамои сарборӣ
Figure 3. Classification of deep learning models for workload forecasting



Шабакаҳои нейронии конволютсионӣ (Convolutional Neural Networks – CNN) бошанд, бештар барои ҷудокунии паттернҳои маҳаллӣ аз қаторҳои вақтии метрикаҳои сарборӣ истифода мешаванд. Дар архитектураҳои гибридӣ CNN аломатҳои муҳимро ҷудо

намуда, онҳоро ба қабатҳои рекуррентӣ барои моделсозии динамикаи вақтӣ интиқол медиҳад. Ин равиш дар моделҳои CNN-LSTM татбиқ гардида, имконияти ҳамзамон ба инобат гирифтани хусусиятҳои маҳаллӣ ва вобастагҳои дарозмуддати сарбориро фароҳам месозад.

Шабакҳои нейронии рекуррентӣ (Recurrent Neural Networks – RNN) ва шаклҳои тағйирёфтаи онҳо – LSTM ва GRU – низ воситаҳои паҳнғаштаи пешгӯии қаторҳои вақтии сарборӣ ба ҳисоб мераванд. Афзалияти LSTM ва GRU дар қобилияти ба инобат гирифтани вобастагҳои вақтии дарозмуддат ифода меёбад. Истифодаи механизми диққат (attention) имконият медиҳад, ки қитъаҳои бештар иттилоотии таърихи сарборӣ интиҳоб гардида, дақиқии пешгӯӣ баланд бардошта шавад [15; 21].

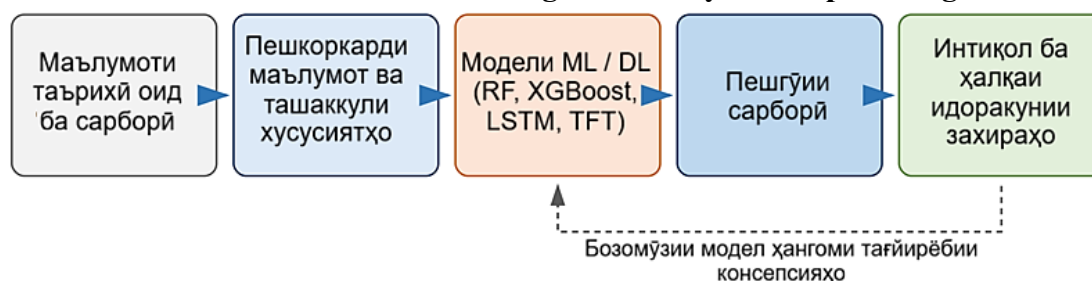
Архитектураи Transformer, ки ба механизми худдиққатдиҳӣ (self-attention) асос ёфтааст, имконияти коркарди параллелии пайдарпайҳои вақтӣ ва ошкор намудани вобастагҳои дарозмуддатро фароҳам меорад. Дар асоси он моделҳои махсусгардонидашудаи Informer ва Autoformer барои таҳлили қаторҳои вақтии дароз ва муайян намудани вобастагҳои мавсимӣ таҳия шудаанд [18-20].

Архитектураи трансформери омезиши вақтӣ (Temporal Fusion Transformer – TFT) механизмҳои моделсозии динамикаи маҳаллӣ ва диққати тафсиршавандаро муттаҳид сохта, имконияти пешгӯии бисёрруфӯӣ ва арзёбии саҳми аломатҳои алоҳидаро фароҳам месозад.

Дар ин радиф, шабакаҳои нейронии графӣ (Graph Neural Networks – GNN) барои системаҳои тақсимшудае мувофиқ мебошанд, ки дар онҳо робитаи байни гиреҳҳо ва сервисҳо ба хусусияти сарборӣ таъсир мерасонад. Ин моделҳо сохтори топологии система ва динамикаи сарбориро ҳамзамон ба инобат гирифта, барои пешгӯии сарборӣ дар муҳитҳои микросервисӣ ва кластерӣ истифода мешаванд. Ҳамин хусусият GNN-ро барои экосистемаҳои рақамии дорои робитаҳои мураккаби байнигиреҳӣ мувофиқ месозад (расми 4).

Расми 4. Нақшаи умумии пешгӯии сарборӣ дар асоси архитектураҳои гибридии омӯзиши амиқ

Figure 4. General scheme for load forecasting based on hybrid deep learning architectures



Дар маҷмӯъ, архитектураҳои омӯзиши амиқ имконияти ба инобат гирифтани мавсимияти бисёрқарата, вобастагҳои вақтии дарозмуддат, ҷаҳишҳои шиддатнокии дархостҳо ва тағйироти сохтори сарбориро фароҳам месозанд. Аз ин ҷиҳат, LSTM ва Transformer барои пешгӯии сарбории муҳитҳои тақсимшуда имкониятҳои васеъ доранд. Бо вучуди ин, истифодаи онҳо бо афзоиши мураккабии ҳисоббарорӣ ва талабот ба ҳаҷми додаҳои омӯзишӣ вобаста мебошад (ҷадвали 2).

Усулҳои омӯзиши тақвиятӣ дар идоракунии мутобикшавандаи захираҳои ҳисоббарорӣ. Агар усулҳои таҳлили пешгӯишаванда барои муайян намудани ҳолати ояндаи сарборӣ истифода шаванд, пас идоракунии мутобикшавандаи захираҳои ҳисоббарорӣ қабули қарорҳои пайдарпайро дар шароити тағйирёбандаи муҳит тақозо менамояд. Дар чунин ҳолатҳо тақсимои захираҳои ҳисоббарорӣ, масирбандии дархостҳо ва миқёсбандии сервисҳо бояд бо дарназардошти ҳолати ҷорӣ ва натиҷаи эҳтимолии қарорҳои қабулшаванда амалӣ гарданд. Аз ин рӯ, истифодаи усулҳои омӯзиши тақвиятӣ (Reinforcement Learning – RL) дар идоракунии мутобикшавандаи инфрасохтори тақсимшуда аҳамияти хосса пайдо менамояд [9].

Ҷадвали 2. Таҳлили муқоисавии архитектураҳои омӯзиши амиқ барои пешгӯии сарборӣ дар экосистемаҳои рақамии тақсимшуда

Table 2. Comparative analysis of deep learning architectures for load prediction in distributed digital ecosystems

Архитектура	Хусусияти коркарди додаҳо	Мураккабии ҳисоббарорӣ	Соҳаи татбиқ	Маҳдудиятҳо
CNN	Чудокунӣ паттернҳои маҳаллии фазоиву вақтӣ	Миёна	Чудокунӣ аломатҳо аз метрикаҳои сарборӣ	Моделсозии маҳдуди вобастагӣҳои дарозмуддат
RNN / LSTM / GRU	Коркарди пайдарпай бо нигоҳдории ҳолати вақтӣ	Миёна-баланд	Пешгӯии кӯтоҳмуддат ва миёнамуддати сарборӣ	Коркарди пайдарпай, мушкилоти омӯзиш дар қаторҳои дароз
Transformer / Informer / Autoformer	Коркарди параллелӣ дар асоси худдиққатдиҳӣ	Баланд	Пешгӯӣ дар уфукҳои дарозмуддат ва қаторҳои бисёраломат	Талаботи баланд ба додаҳо ва захираҳои ҳисоббарорӣ
Temporal Fusion Transformer	Муттаҳидсозии динамикаи маҳаллӣ ва диққати тафсираванда	Баланд	Пешгӯии бисёруфукӣ ва таҳлили саҳми аломатҳо	Мураккабии танзими архитектура
Graph Neural Networks	Моделсозии вобастагӣҳои байни гиреҳҳои топологӣ	Баланд	Пешгӯии сарборӣ дар муҳитҳои микросервиси ва кластерӣ	Зарурати ташаккули дурусти графӣ вобастагӣҳо

Дар усулҳои RL агент тавассути таъсири мутақобила бо муҳит ва гирифтани сигналҳои ҳавасмандкунӣ стратегияи мувофиқи идоракуниро ташаккул медиҳад (расми 5) [5].

Яке аз усулҳои классикии омӯзиши тақвиятӣ – Q-learning – ба арзёбии тақрири арзиши ҷуфти «ҳолат-амал» асос ёфта, барои масъалаҳои мувофиқ аст, ки дар онҳо фазои ҳолатҳо ва амалҳо маҳдуд ва дискретӣ мебошад. Марҳилаи минбаъдаи рушди ин самт бо пайдоиши Deep Q-Network (DQN) алоқаманд аст. Дар ин равиш функсияи арзиш тавассути шабакаи нейронӣ аппроксиматсия шуда, имконияти коркарди додаҳои бисёрченака ва омӯзиши стратегияҳои мураккаби идоракунӣ фароҳам оварда мешавад [24].

Расми 5. Нақшаи умумии идоракунӣ мутақобилшавандаи захираҳои ҳисоббарорӣ дар асоси усулҳои омӯзиши тақвиятӣ

Figure 5. General scheme for adaptive management of computing resources based on reinforcement learning methods



Дар масъалаҳои идоракунии захираҳои ҳисоббарорӣ истифодаи Deep Reinforcement Learning (DRL), аз ҷумла барои банақшагирии супоришҳо, дар муқоиса бо як қатор алгоритмҳои эвристикӣ имкониятҳои васеътар фароҳам меорад [26].

Барои ҳалли масъалаҳое, ки фазои амалҳои бефосила доранд, аз ҷумла барои танзими ҳаҷми захираҳои ҳисоббарорӣ, алгоритмҳои Actor-Critic ва Proximal Policy Optimization (PPO) истифода мешаванд. Ин алгоритмҳо арзёбии ҳолати муҳитро бо оптимизатсияи бевоситаи стратегияи интихоби амалҳо муттаҳид намуда, имконияти идоракунии мутобиқшавандаи захираҳо ва миқёсбандии автоматии онҳоро фароҳам меоранд.

Дар системаҳои калони ҳисоббарории тақсимшуда зарурати ғайримарказизунонии раванди қабули қарорҳо истифодаи Multi-Agent Reinforcement Learning (MARL)-ро тақозо менамояд. Дар ин равиш маҷмуи агентҳои мухтор ҳолати ҷузъҳои алоҳидаи система, аз ҷумла микросервисҳо ва гиреҳҳои кластерро таҳлил намуда, қарорҳои мувофиқи идоракунии мустақилона қабул мекунанд. Ин равиш барои архитектураҳои микросервисӣ аҳамияти хосса дошта, ҳамзамон масъалаҳои ҳамроҳангсозии агентҳо, ғайристатсионарии муҳит ва таъмини устувории умумии системаро ба миён меорад.

Татбиқи алгоритмҳои RL дар идоракунии инфрасохтори тақсимшуда доираи васеи масъалаҳоро дар бар мегирад. Ба онҳо мувозинаткунии сарборӣ байни гиреҳҳои кластер, масирбандии мутобиқшавандаи дархостҳо, миқёсбандии автоматии уфуқӣ ва амудии контейнерҳо, идоракунии ҷойгиршавии подҳо дар Kubernetes ва таъмини сатҳи зарурии SLA/SLO дохил мешаванд. Бар хилофи механизмҳои реактивии миқёсбандӣ, дар ин равиш қарорҳои идоракунӣ на танҳо дар асоси қиматҳои ҷорӣ метрикаҳо, балки бо дарназардошти таърихи ҳолатҳои система ва оқибатҳои эҳтимолии амалҳои интихобшуда қабул карда мешаванд. Равишҳои RL барои миқёсбандии автоматӣ дар муҳити абрӣ ва платформаҳои контейнерӣ дар як қатор таҳқиқоти илмӣ мавриди баррасӣ қарор гирифтаанд [11].

Таҳлили муқоисавии алгоритмҳои баррасишуда (ҷадвали 3) нишон медиҳад, ки интихоби усули RL аз хусусияти фазои ҳолатҳо ва амалҳо, дараҷаи зарурии мутобиқшавӣ ва тарзи ташкили идоракунии система вобаста аст.

Ҷадвали 3. Таҳлили муқоисавии алгоритмҳои омӯзиши тақвиятӣ барои идоракунии мутобиқшавандаи захираҳои ҳисоббарорӣ

Table 3. Comparative analysis of reinforcement learning algorithms for adaptive computing resource management

Алгоритм	Навъи фазои амалҳо	Хусусиятҳои асосӣ	Соҳаи татбиқ
Q-learning	Дискретӣ	Арзёбии ҷадвалии арзиши «ҳолат–амал»	Миқёсбандии сода бо шумораи маҳдуди ҳолатҳо
Deep Q-Network (DQN)	Дискретӣ, бисёрченака	Аппроксиматсияи функцияи арзиш тавассути шабакаи нейронӣ	Банақшагирии супоришҳо ва миқёсбандии автоматӣ
Actor-Critic / PPO	Бефосила	Муттаҳидсозии оптимизатсияи стратегия ва арзёбии арзиш	Танзими ҳаҷми захираҳо ва миқёсбандии амудӣ
Multi-Agent RL	Дискретӣ / бефосила, ғайримарказонидашуда	Таъсири мутақобилаи маҷмуи агентҳои мухтор	Идоракунии архитектураҳои микросервисӣ ва кластерӣ

Алгоритми Q-learning барои сценарияҳои нисбатан сода ва фазои маҳдуди ҳолатҳо, DQN барои фазои ҳолатҳои дискретии бисёрченака, Actor-Critic/PPO барои идоракунии захираҳо дар фазои амалҳои бефосила ва Multi-Agent RL (MARL) барои системаҳои тақсимшуда ва ғайримарказонидашуда бештар мувофиқ мебошанд.

Платформаҳои муосири идоракунии зеҳнии инфрасохтор. Татбиқи амалии усулҳои таҳлили пешгӯишаванда ва идоракунии мутобиқшавандаи захираҳои ҳисоббарорӣ дар платформаҳои муосири оркестратсияи системаҳои тақсимшуда амалӣ карда мешавад. Дар

ин самт, Kubernetes яке аз платформаҳои асосии оркестратсияи контейнерҳо ба шумор рафта, механизмҳои Horizontal Pod Autoscaler (HPA), Vertical Pod Autoscaler (VPA) ва Cluster Autoscaler-ро пешниҳод менамояд. Механизмҳои мазкур асосан ба қоидаҳои ҳадди ва воқуниш ба қиматҳои ҷорӣ метрикаҳо таъяс мекунаанд. Таҳқиқоти муосир нишон медиҳанд, ки чунин равишҳо тадриҷан бо моделҳои омӯзиши мошинӣ, омӯзиши амиқ ва омӯзиши тақвиятӣ тақмил дода шуда, имконияти ҳамгирии усулҳои зехни сунӣ бо сикли банақшагири ва идоракунии Kubernetes-ро фароҳам меоранд (расми 6) [12].

Расми 6. Архитектураи экосистемаи рақамии зехнӣ
Figure 6. Architecture of the intelligent digital ecosystem

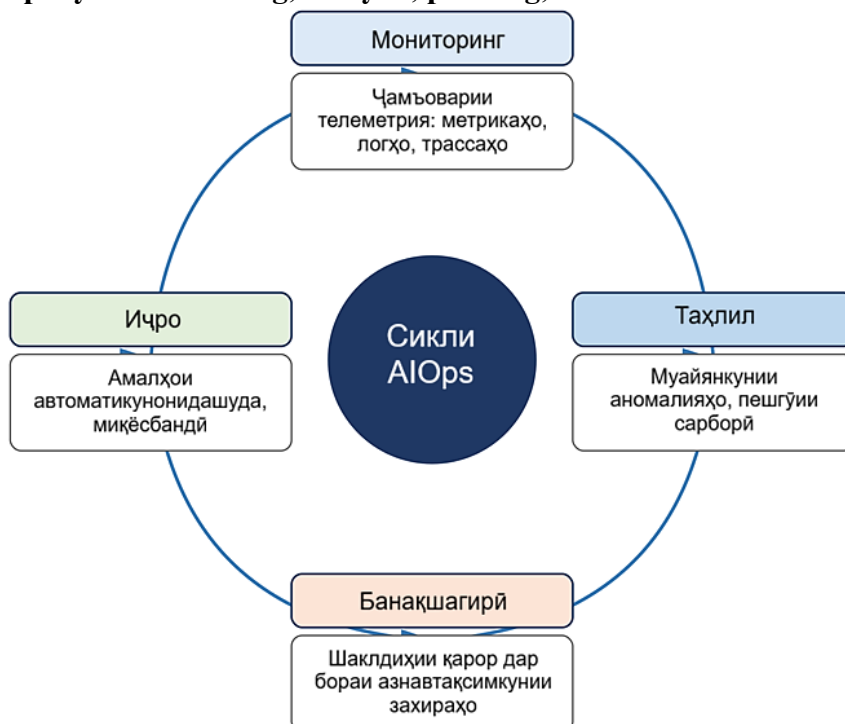


Ҷузъи дигари муҳими инфрасохтор Kubernetes Scheduler мебошад, ки барои ҷойгиркунии подҳо дар гиреҳҳои кластер масъул аст. Зехнӣ гардонидани ин раванд тавассути муттаҳидсозии алгоритмҳои анъанавии ҷойгиркунӣ бо моделҳои пешгӯии ҳолати захираҳои гиреҳҳо амалӣ карда мешавад. Чунин равиш имконияти коҳиш додани эҳтимоли ба вучуд омадани тангноҳои ҳисоббарорӣ ва баланд бардоштани самаранокии истифодаи захираҳои ҳисоббарориро фароҳам меорад. Тамоюли мазкур дар ҷузъҳои Service Mesh ва API Gateway низ мушоҳида мешавад, ки дар онҳо усулҳои омӯзиши мошинӣ барои масирбандии мутобиқшавандаи дархостҳо бо дарназардошти сатҳи сарборӣ ва таъхири хидматҳо истифода мешаванд.

Дар сатҳи провайдерҳои асосии абри, аз ҷумла Amazon Web Services, Microsoft Azure ва Google Cloud Platform, идоракунии захираҳо тавассути механизмҳои миқёсбандии пешгӯишаванда ва оптимизатсияи ҷойгиркунии сарборӣ тақмил дода мешавад. Дар ин раванд, моделҳои таҳлили пешгӯишаванда дар асоси қонуниятҳои таърихии истифодаи захираҳо тағйироти эҳтимолии сарбориро муайян менамоянд.

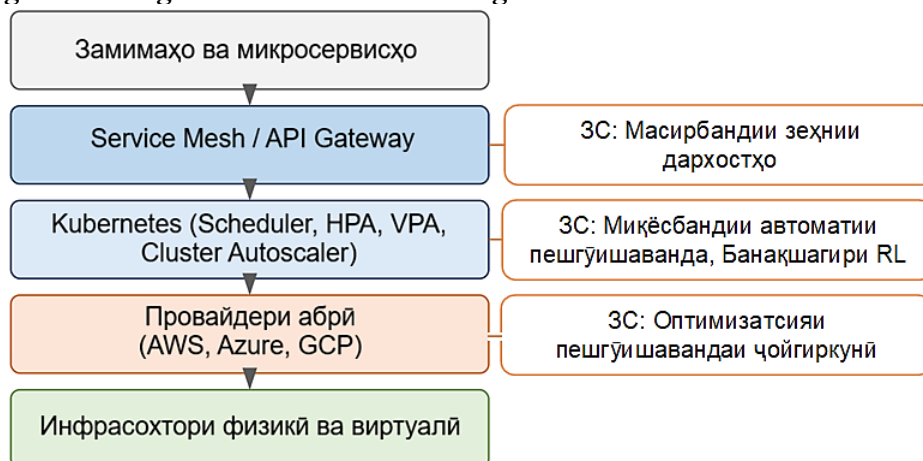
Ҳамгирии чунин механизмҳо бо воситаҳои миқёсбандии автоматӣ дар сатҳи Kubernetes, аз ҷумла воситаҳои монанди Karpenter, имконияти муттаҳид намудани таҳлили пешгӯишаванда бо идоракунии ғаврии инфрасохтори контейнериро фароҳам меорад. Ҷамъбасти тамоюлҳои мазкур нишон медиҳад, ки таҳаввули платформаҳои идоракунии зехнии инфрасохтор аз воситаҳои ҷудогонаи мониторинг ва миқёсбандии реактивӣ ба ташаккули контури ҳамгиросудай «мониторинг-таҳлил-банақшагири-ичро» (Monitor-Analyze-Plan-Execute) равона гардидааст. Ин раванд асоси концептуалии AIOps-ро ташкил медиҳад (расми 7).

Расми 7. Сикли AIOps: мониторинг, таҳлил, банақшагирӣ ва иҷрои қарорҳои идоракунӣ
Figure 7. The AIOps cycle: monitoring, analysis, planning, and execution of management decisions



Дар чунин контур моделҳои таҳлили пешгӯишаванда натиҷаҳои заруриро барои алгоритмҳои идоракунӣ мутобиқшаванда таъмин намуда, қарорҳои идоракунӣ қабулшуда тавассути механизмҳои оркестратсияи инфрасохтор амалӣ карда мешаванд. Робитаи пайдарпайи мониторинг, таҳлил, банақшагирӣ ва иҷро барои ташаккули инфрасохтори худидорашаванда замина фароҳам меорад. Ин равиш ба самти умумии рушди экосистемаҳои рақамӣ мувофиқат намуда, дар онҳо ҳамгироии технологияҳои Cloud-Native, микросервисҳо, таҳлили додаҳо ва технологияҳои зехни сунӣ аҳамияти рӯзафзун пайдо мекунад (расми 8).

Расми 8. Интегратсияи зехни сунӣ дар архитектураи абрии бумӣ (Cloud-native)
Figure 8. Integration of artificial intelligence into cloud-native architecture



Хамин тариқ, таҳлили платформаҳои муосир нишон медиҳад, ки идоракунӣ зехнии инфрасохтор ба самти ҳамгироии технологияҳои зехни сунӣ дар сатҳҳои гуногуни архитектурӣ (аз банақшагирии контейнерҳо то идоракунӣ хидматҳои абри) таҳаввул мекунад. Дар баробари ин, ҳамгироии ҷузъҳои зехнӣ ҳанӯз ба сатҳи ягонаи методологӣ нарасида, дар бисёр ҳолатҳо хусусияти фрагментарӣ дорад. Аз ин рӯ, таҳқиқи маҳдудиятҳои равишҳои мавҷуда ва муайян намудани шартҳои зарурии ташаккули

экосистемаҳои рақамии худидорашаванда ҳамчун самти минбаъдаи таҳқиқот ба миён меояд.

Хулоса. Натиҷаҳои таҳлил нишон медиҳанд, ки татбиқи технологияҳои зехни сунъӣ ва омӯзиши мошинӣ дар идоракунии захираҳои системаҳои ҳисоббарории тақсимшуда аз ҳалли масъалаҳои ҷудогонаи ошкорсозии аномалияҳо ба таҳлили пешгӯишаванда, ташаккули парадигмаи AIOps ва дар ниҳоят ба рушди экосистемаҳои рақамии худмубоқишаванда таҳаввул меёбад. Усулҳои омӯзиши мошинӣ, омӯзиши амиқ ва омӯзиши тақвиятӣ имконияти баланд бардоштани дақиқии пешгӯии сарборӣ, вокуниши пешгирикунада ба тағйироти он ва мубоқиқасозии мухтори захирахоро фароҳам меоранд.

Ҳамзамон, татбиқи усулҳои мазкур бо маҳдудиятҳои марбут ба сифати додаҳо, тафсирпазирии моделҳо, мураккабии ҳисоббарорӣ, микёспазири, интиқолпазири ва дрейфи концепсияҳо маҳдуд мегардад. Натиҷаҳои таҳлил инчунин мавҷудияти фосилаи методологиро байни моделҳои формалии назарияи хизматрасонии оммавӣ ва моделҳои чандири зехни сунъӣ нишон медиҳанд.

Бинобар ин, самти афзалиятноки таҳқиқоти минбаъда таҳияи методологияи ҳамгиросҳудаи моделсозӣ, пешгӯӣ ва идоракунии мубоқиқашавандаи захираҳо мебошад. Методологияи мазкур бояд имкониятҳои назарияи хизматрасонии оммавӣ ва назарияи идоракуниро бо усулҳои муосири зехни сунъӣ муттаҳид намуда, барои ташаккули экосистемаҳои рақамии устувор, худмубоқиқашаванда ва қобияти худидоракунидошта замина фароҳам оварад.

АДАБИЁТ

1. AI for IT Operations (AIOps) on Cloud Platforms: Reviews, Opportunities and Challenges [Electronic resource] // <https://arxiv.org/abs/2304.04661> (Date of the application: 01.06.2026).
2. AI-based Fog and Edge Computing: A Systematic Review, Taxonomy and Future Directions [Electronic resource] // <https://arxiv.org/abs/2212.04645> (Date of the application: 15.05.2026).
3. Brewer, E. CAP Twelve Years Later: How the “Rules” Have Changed [Electronic resource] / E. Brewer // <https://sites.cs.ucsb.edu/~rich/class/cs293b-cloud/papers/brewer-cap.pdf> (Date of the application: 20.05.2026).
4. Gilbert, S. Brewer's Conjecture and the Feasibility of Consistent, Available, Partition-Tolerant Web Services [Text] / S. Gilbert, N. Lynch // ACM SIGACT News. – 2002. – Vol. 33. – No. 2. – P. 51-59.
5. Mell, P. Определение облачных вычислений NIST: пер. с англ. [Электронный ресурс] / P. Mell, T. Grance // <https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/145/final> (Date of the application: 26.05.2026).
6. Rahimi, F. Mathematical Modeling of an Intelligent Document Management System Based on Microservice Architecture and BERT Models [Electronic resource] / F. Rahimi, F.S. Komiliyon, M.F. Rahimov, M.R. Yarov // <https://doi.org/10.11648/j.acm.20261503.11> (Date of the application: 14.05.2026).
7. В чем разница между монолитной архитектурой и микросервисной архитектурой [Электронный ресурс] // <https://aws.amazon.com/ru/compare/the-difference-between-monolithic-and-microservices-architecture/> (дата обращения: 30.05.2026).
8. Комилиён, Ф.С. Микросервисная архитектура: от монолита к гибким распределенным системам [Текст] / Ф.С. Комилиён, М.Ф. Рахимов // Доклады Национальной академии наук Таджикистана. – 2023. – Т. 66. – № 11-12. – С. 659-667. – EDN: LSVHDL.
9. Комилиён, Ф.С. Таҳаввули архитектураи системаҳои ҳисоббарории тақсимшуда: аз технологияҳои абри то экосистемаҳои рақамии зехнии микросервисӣ [Матн] / Ф.С. Комилиён, М.Р. Ёров // Фурӯғи илм. Бахши илмҳои табиӣ-риёзӣ. – 2026. – №2.1(10). – С. 252-261. – DOI: 10.24412/ 3078-395X-2026-2-10-252-261.
10. Рахимов, М.Ф. Анализ характеристик монолитных и микросервисных архитектур [Текст] / М.Ф. Рахимов, Ф.С. Комилиён // Известия Национальной академии наук Таджикистана. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. 2023. № 4 (193). С. 44-54. EDN: GHUYHC.
11. Введение в Cloud Native. Часть 1. Определение и принципы работы [Электронный ресурс] // <https://habr.com/ru/articles/758250/> (дата обращения: 20.05.2026).
12. Задирака, В.К. Облачные технологии: новые возможности вычислительного криптоанализа [Текст] / В.К. Задирака, А.М. Кудин, П.В. Селюх, И.В. Швидченко // Проблемы управления и информатики. – 2016. – № 1. – С. 148-155.
13. Зейналлы, Т.Э. Оценка масштабируемости распределенных систем на основе алгоритмов итерационного выполнения задач с координацией через хранилище ключ-значение [Текст] / Т.Э. Зейналлы, Д.Г. Демидов // Программная инженерия. – 2024. – Т. 15. – № 12. – С. 611-622. – DOI: 10.17587/prin.15.611-622. – EDN: AUPLON.
14. Как событийно-ориентированная архитектура решает проблемы масштабирования [Электронный ресурс] // <https://habr.com/ru/companies/piter/articles/530514/> (дата обращения: 20.05.2026).
15. Клюковка, М.А. Анализ и проектирование нефункциональных требований к распределённым системам [Электронный ресурс] / М.А. Клюковка, М.М. Михайлов // <https://on-tvor.ru/ssl/u/aa/a4d568596d11f09415f307c5406449/-/Клюковкин,%20Михайлов%202021-03.pdf> (дата обращения: 20.05.2026).

16. Комилиён, Ф.С. Алгоритмизация микросервисной модели интеллектуального документооборота в профобразовании на базе BERT [Текст] / Ф.С. Комилиён, М.Ф. Рахимов // Вестник национального университета. Серия естественных наук. – 2026. – № 2. – С. 98-109. – EDN: OSUPXM.
17. Комилиён, Ф.С. Внедрение микросервисной архитектуры для оптимизации распределения информационных ресурсов [Текст] / Ф.С. Комилиён, М.Ф. Рахимов // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. – 2024. – № 2. – С. 71-79. – EDN: UZJNVI.
18. Комилиён, Ф.С. Интеллектуальная система документооборота на основе микросервисной архитектуры и моделей BERT [Текст] / Ф.С. Комилиён, М.Ф. Рахимов // Вестник национального университета. Серия естественных наук. – 2026. – №2. – С. 76-85. – EDN: ROVNVV.
19. Комилиён, Ф.С. Математическое моделирование интеллектуальной системы документооборота на основе микросервисной архитектуры и моделей BERT [Текст] / Ф.С. Комилиён, М.Ф. Рахимов // Вестник Технологического университета Таджикистана. – 2026. – №3(66). – С. 96-106. – EDN: RWEDOQ.
20. Комилиён, Ф.С. Микросервисная архитектура и BERT-модели в интеллектуальном документообороте профобразования [Текст] / Ф.С. Комилиён, М.Ф. Рахимов // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2026. – №2(74). – С. 62-71. – EDN: VJVTAH.
21. Комилиён, Ф.С. Тамоюлҳои рушди муҳитҳои зехнии рақамии таълим ва шарҳи адабиёти илмӣ марбут ба онҳо [Матн] / Ф.С. Комилиён, Ш.Х. Тағоев // Паёми Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон. – 2026. – №4(67). – С. 91-103. – EDN: BJFQSM.
22. Тағоев, Ш.Х. Таҳлили муқоисавии муҳитҳои муосири рақамии таълим [Матн] / Ш.Х. Тағоев // Паёми Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон. – 2026. – №4(67). – С. 121-130. – EDN: FKJQQR.
23. Контейнеризация: подробный обзор этого метода виртуализации [Электронный ресурс] // https://codernet.ru/articles/drugoe/kontejnerizacziya_podrobnyij_obzor_etogo_metoda_virtualizaczii/ (дата обращения: 20.05.2026).
24. Куприяновский, В.П. Периферийные вычисления для современной мобильности [Электронный ресурс] / В.П. Куприяновский, Д.Е. Намиот, О.Н. Покусаев // <https://cyberleninka.ru/article/n/periferiynye-vychisleniya-dlya-sovremennoy-mobilnosti> (дата обращения: 22.05.2026).
25. Резниченко, В.В. Архитектура клиент-серверного программного обеспечения [Электронный ресурс] / В.В. Резниченко // https://masters.donntu.ru/2008/fvti/reznichenko/library/article10_rus.htm (дата обращения: 20.05.2026).
26. Селиванов, И.А. Применение инструментов искусственного интеллекта для оптимизации управления инцидентами и увеличения надежности IT-продукта [Электронный ресурс] / И.А. Селиванов // <https://esj.today/PDF/07FAVN525.pdf> (дата обращения: 20.05.2026).
27. Система массового обслуживания М/М/1 [Электронный ресурс] // <https://docs.exponenta.ru/simevents/ug/m-m-1-queueing-system.html> (дата обращения: 15.05.2026).
28. Технологии Grid [Электронный ресурс] // <http://www.ultimeta.ru/technologies/grid-technologies/> (дата обращения: 12.05.2026).
29. Фундаментальные модели параллельных вычислений [Электронный ресурс] // <https://scilead.ru/article/8108-fundamentalnie-modeli-parallelnikh-vichisleni> (дата обращения: 18.05.2026).
30. Цифровые экосистемы организаций [Электронный ресурс] // <https://pdfs.semanticscholar.org/3cca/947558520f6ead001694608a5c29e9652da.pdf> (дата обращения: 18.05.2026).

ТЕХНОЛОГИЯҲОИ ЗЕҲНИ СУНӢ ВА ОМУӢЗИШИ МОШИНИӢ ДАР ИДОРАКУНИИ ЗАХИРАҲОИ ЭКОСИСТЕМАҲОИ РАҚАМӢ

Мақола ба таҳлили имкониятҳои технологияҳои зехни сунӣ ва омузиши мошинӣ дар пешгуи сарборӣ ва идоракунии мутобиқшавандаи захираҳои ҳисоббарорӣ дар экосистемаҳои рақамии тақсимшуда баҳшида шудааст. Ҳадафи таҳқиқот муайян намудани равишҳои самаранокӣ пешгуи динамикаи сарборӣ ва ташаккули контури зехнии идоракунии захираҳо дар шароити ғайрестатсионарӣ ва номуайяни мебошад. Моделҳои омузиши мошинӣ, омузиши амиқ ва омузиши тақвиятӣ, аз ҷумла моделҳои ансамблӣ, трансформерӣ ва графӣ, инчунин имкониятҳои ҳамгироии онҳо дар доираи парадигмаи AIOrs таҳлил карда шудаанд. Натиҷаҳои таҳлил нишон медиҳанд, ки усулҳои зехнӣ барои вокуниши пешгирикунанда ба тағйироти сарборӣ, истифодаи самаранокӣ захираҳо ва бехтар намудани устуворӣ ва сифати хизматрасонӣ имкониятҳои назаррас фароҳам меоранд. Ҳамзамон, маҳдудиятҳои марбут ба сифати додаҳо, тафсирпазирӣ, мураккабии ҳисоббарорӣ, микёспазирӣ ва дрейфи концепсияҳо муайян карда шудаанд. Дар асоси натиҷаҳои таҳлил зарурати таҳияи методологияи ҳамгирошудаи моделсозӣ, пешгӯӣ ва идоракунии мутобиқшавандаи захираҳо дар экосистемаҳои рақамии тақсимшуда асоснок карда шудааст.

Калидвожаҳо: зехни сунӣ, омузиши мошинӣ, омузиши амиқ, омузиши тақвиятӣ, пешгуи сарборӣ, идоракунии мутобиқшаванда, захираи ҳисоббарорӣ, экосистемаи рақамии тақсимшуда, имконият, маҳдудият, вокуниш, алокаи баръакс, AIOrs.

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В УПРАВЛЕНИИ РЕСУРСАМИ ЦИФРОВЫХ ЭКОСИСТЕМ

Статья посвящена анализу возможностей технологий искусственного интеллекта и машинного обучения для прогнозирования нагрузки и адаптивного управления вычислительными ресурсами в распределённых цифровых экосистемах. Цель исследования заключается в определении эффективных подходов к прогнозированию динамики нагрузки и формированию интеллектуального контура управления ресурсами в условиях нестационарности и неопределённости. Проанализированы модели машинного обучения, глубокого обучения и обучения с

подкреплении, включая ансамблевые, трансформерные и графовые модели, а также возможности их интеграции в рамках парадигмы AIOps. Результаты анализа показывают, что интеллектуальные методы обеспечивают возможности проактивного реагирования на изменения нагрузки, эффективного использования ресурсов, а также повышения устойчивости и качества обслуживания. Одновременно выявлены ограничения, связанные с качеством данных, интерпретируемостью, вычислительной сложностью, масштабируемостью и дрейфом концепций. На основе результатов анализа обоснована необходимость разработки интегрированной методологии моделирования, прогнозирования и адаптивного управления ресурсами в распределённых цифровых экосистемах.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, глубокое обучение, обучение с подкреплением, прогнозирование нагрузки, адаптивное управление, вычислительные ресурсы, распределённая цифровая экосистема, возможности, ограничения, реагирование, обратная связь, AIOps.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING TECHNOLOGIES FOR RESOURCE MANAGEMENT IN DIGITAL ECOSYSTEMS

This paper analyzes the potential of artificial intelligence and machine learning technologies for workload forecasting and adaptive management of computational resources in distributed digital ecosystems. The aim of the study is to identify effective approaches to forecasting workload dynamics and developing an intelligent resource management loop under conditions of non-stationarity and uncertainty. Machine learning, deep learning, and reinforcement learning models, including ensemble, transformer-based, and graph-based models, are analyzed, along with the possibilities of their integration within the AIOps paradigm. The analysis demonstrates that intelligent methods enable proactive responses to workload changes, more efficient resource utilization, and improved system resilience and service quality. At the same time, key limitations related to data quality, interpretability, computational complexity, scalability, and concept drift are identified. Based on the findings, the need for an integrated methodology for modeling, forecasting, and adaptive resource management in distributed digital ecosystems is substantiated.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, deep learning, reinforcement learning, workload forecasting, adaptive management, computational resources, distributed digital ecosystem, capabilities, limitations, response, feedback, AIOps.

Маълумот дар бораи муаллифон: *Ёров Мехрдод Раҳматуллоев* – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, номзади илмҳои техники, муаллими калони кафедраи информатика. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. E-mail: yorov.mehrdod@gmail.com. ORCID ID 0000-0001-8029-9089

Комилиён Файзали Саъдулло – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, доктори илмҳои физикаю математика, профессори кафедраи информатика. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. E-mail: komiliyon.fayzali@gmail.com. ORCID ID 0000-0002-1490-7848

Сведения об авторах: *Ёров Мехрдод Раҳматуллоев* - Таджикский национальный университет, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры информатики. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. E-mail: yorov.mehrdod@gmail.com. ORCID ID 0000-0001-8029-9089

Комилиён Файзали Саъдулло - Таджикский национальный университет, доктор физико-математических наук, профессор кафедры информатики. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. E-mail: komiliyon.fayzali@gmail.com. ORCID ID 0000-0002-1490-7848

Information about authors: *Yorov Mehrdod Rahmatulloevich* - Tajik National University, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Informatics. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. E-mail: yorov.mehrdod@gmail.com. ORCID ID 0000-0001-8029-9089

Komiliyon Fayzali Sa'dullo - Tajik National University, Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor at the Department of Informatics. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. E-mail: komiliyon.fayzali@gmail.com. ORCID ID 0000-0002-1490-7848

Мақола ба редакция ворид шуд: 25.08.2026

Аз тақриз баргашт: 18.09.2026

Ба чоп тавсия шуд: 06.10.2026

НАҚШИ ПОЙГОҲИ МУСТАҚИЛИ МИЛЛИИ ДОДАҲО ДАР ТАЪМИНИ АМНИЯТИ ИТТИЛООТӢ ВА РУШДИ ИҚТИСОДИ РАҚАМӢ

Сафар Ф.Г., Юсупов Ф.С.

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон,

Филиали Донишгоҳи миллии таҳқиқотиҳои технологияи МИСИС дар Душанбе

Муқаддима. Иқтисоди рақамӣ ба марҳилае ворид шудааст, ки дар он иттилоот на танҳо манбаи даромад, балки омили истеҳсолот, воситаи рақобат, сармояи идоракунӣ ва унсури мустақиман таъсиррасон ба амнияти миллии мебошанд. Дар амсилаи анъанавии идоракунӣ қарорҳо асосан ба ҳисоботҳои даврӣ ва маълумоти пароканда таъяс мекарданд; дар модели рақамӣ бошад, давлат ва баҳши хусусӣ ба чараёни доимии додаҳои воқеӣ, ҳамгироии реестрҳо, хидматҳои онлайн ва таҳлили фаврӣ ниёз доранд. Ҳамин тағйирот масъалаи соҳибхитиёрӣ ва мустақилияти додаҳоро ба маркази сиёсати давлатӣ мебарад.

Барномаи миёнамуҳлати рушди иқтисоди рақамӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2021–2025 ва ташаббуси эълон шудани солҳои 2025–2030 ҳамчун солҳои рушди иқтисоди рақамӣ ва инноватсия нишон медиҳанд, ки рақамисозӣ ба самти афзалиятноки сиёсати рушди миллии табдил ёфтааст [5; 1]. Аммо ҳуди рақамисозӣ бе инфрасохтори бозътимоди додаҳо, бе қоидаҳои ягонаи сифат ва бе идоракунии хавфҳои иттилоотӣ наметавонад самараро устувор диҳад. Пойгоҳи мустақили миллии додаҳо маҳз он ҳалқаест, ки хизматрасониҳои давлатӣ, идентификатсияи рақамӣ, пардохтҳо, реестрҳои аҳоли, андоз, гумрук, тандурустӣ, маориф ва бозори хусусиро ба низоми ягонаи эътимод мепайвандад.

Ҳадафи мақола таҳияи асосҳои илмӣ-амалии ташкил, идора ва ҳифзи пойгоҳи мустақили миллии додаҳо мебошад. Барои расидан ба ин ҳадаф вазифаҳои зерин гузошта мешаванд: якум, тавзеҳи мафҳум ва вазифаҳои ПММД; дуюм, муайян кардани робитаи он бо амнияти иттилоотӣ; сеюм, таҳлили таъсири иқтисодии он ба хизматрасониҳои рақамӣ ва сармоягузорӣ; чорум, пешниҳод намудани меъмурии амалӣ, формулаҳои баҳодихӣ ва нишондиҳандаҳои КРІ; панҷум, таҳияи харитаи роҳ барои татбиқи марҳилавӣ.

Объекти таҳқиқот муносибатҳои ташкилӣ, технологӣ ва ҳуқуқии идоракунии додаҳо дар шароити иқтисоди рақамӣ мебошад. Предмети таҳқиқот механизмҳои таъсиси пойгоҳи мустақили миллии додаҳо, ҳифзи махфият, яклухтӣ ва дастрасӣ, инчунин таъсири онҳо ба рушди хизматрасониҳои рақамӣ мебошад. Методология ба таҳлили низомӣ, муқоисаи таҷрибаи байналмилалӣ, усулҳои идоракунии хавф, моделсозии иқтисодӣ ва синтези меъёрҳои ISO/IEC 27001:2022 ва NIST CSF 2.0 таъяс мекунад [9; 11].

Навгонии амалии мақола дар он аст, ки ПММД ҳамчун «объекти ягонаи технология» не, балки ҳамчун экосистемаи идоракунии додаҳо баррасӣ мешавад. Дар ин экосистема маркази додаҳо, қоидаҳои идоракунии метамаълумот, сиёсати ҷойгиркунии маълумоти ҳассос, идоракунии дастрасӣ, журнали аудит, маркази мониторинги кибертаҳдидҳо, платформаи мубодилаи маълумот ва механизми арзёбии самаранокӣ дар як меъмурии муттаҳид кор мекунанд.

Асосҳои назариявӣ: додаҳо ҳамчун дорони миллии. Дар назарияи муосири иқтисоди рақамӣ додаҳо ба қатори доронҳои стратегӣ ворид мешаванд. Агар дар иқтисоди саноатӣ неру, ашёи хом ва логистика омилҳои асосии истеҳсолот ҳисоб мешуданд, дар иқтисоди рақамӣ қобилияти ҷамъоварӣ, нигоҳдорӣ, коркард ва мубодилаи додаҳо бартариҳои рақобатӣ ба вучуд меорад. Ҳисоббаробаркунии электронӣ, хизматрасониҳои давлатӣ, тижорати электронӣ, таҳлили қарзӣ, идоракунии шаҳр, тандурустии фосолавӣ ва зехни сунъӣ ҳама ба дастрасии бозътимод ба додаҳои сифатнок вобаста мебошанд.

Пойгоҳи мустақили миллии додаҳо дар сатҳи мафҳумӣ се унсури асосӣ дорад. Якум, соҳибхитиёрӣ: давлат бояд қоидаҳои ҳуқуқӣ ва техникӣ барои нигоҳдорӣ, ҷойгиркунии, дастрасӣ ва интиқоли додаҳои муҳим дошта бошад. Дуюм, мустақилияти амалиётӣ: ҳатто дар ҳолати қатъ шудани провайдерҳои беруна, таҳрим, садама ё ҳамлаи киберӣ, хизматрасониҳои муҳим бояд фаъол монанд. Сеюм, эътимоди рақамӣ: шаҳрванд, соҳибкор ва сармоягузор бояд итминон дошта бошанд, ки додаҳои онҳо бе асоси қонунӣ истифода намешаванд ва аз дастрасии ғайриқонунӣ ҳифз мегарданд.

Дар адабиёти байналмилалӣ мафҳумҳои «data sovereignty», «digital sovereignty», «data localization» ва «sovereign cloud» фарқ карда мешаванд. Истиқлолияти додаҳо бештар ба назорат, қоидаҳои ҳуқуқӣ ва мақолини нигоҳдорӣ дахл дорад; истиқлолияти рақамӣ бошад доираи васеътар дошта, инфрасохтор, нармафзор, кадрҳо, стандартҳо ва қобилияти давлатро барои қабули қарорҳои мустақили технологӣ дар бар мегирад [2; 7]. Барои Тоҷикистон ин фарқият муҳим аст, зеро танҳо сохтани як маркази физикии додаҳо кофӣ нест; зарур аст, ки меъёрҳои дастрасӣ, ҳамгирӣ, таснифи додаҳо ва маркази салоҳиятҳои киберамният низ ташаккул ёбанд.

ПММД метавонад ҳамчун «қабати бозътимоди додаҳо» амал кунад. Ин қабат миёни манбаъҳои ибтидоии маълумот ва хизматрасониҳои рақамӣ ҷой мегирад. Реестрҳои аҳоли, амвол, андоз, иҷозатномаҳо, суғурта, тандурустӣ ва таълим маълумоти худро аз рӯи стандартҳои ягонаи сифат ва API ба платформаи мубодилаи додаҳо пешниҳод мекунанд. Хизматрасониҳои давлатӣ ва хусусӣ танҳо ба он қисми маълумот дастрасӣ мегиранд, ки қонун ва розигии субъект иҷозат медиҳад. Ҳамин тартиб принципи «як бор пешниҳод кардан» ва кам кардани бюрократияи рақамиро таъмин менамояд.

Аз нигоҳи амнияти иттилоотӣ ПММД бояд ба се принциби классикии CIA таъяс кунад: махфият, яклухтӣ ва дастрасӣ. Махфият маънои онро дорад, ки маълумот танҳо барои шахсони вақолатдор қушода аст. Яклухтӣ маънои онро дорад, ки маълумот бе иҷозат тағйир дода намешавад ва ҳар тағйир сабот мегардад. Дастрасӣ маънои онро дорад, ки система барои хизматрасониҳои муҳим ҳатто дар ҳолати фишори баланд ё ҳамла ғаъол мемонад. Дар сатҳи миллий ин принципҳо бо масъалаҳои идоракунии хавф, ҳифзи инфрасохтори муҳим, мутобиқат ба қонунгузорӣ ва масъулияти операторон пайваст мешаванд.

Ҷадвали 1. Вазифаҳои асосии ПММД ва таъсири онҳо ба амният ва иқтисоди рақамӣ
Table 1. Key functions of the PMMD and their impact on security and the digital economy

Вазифа	Натиҷаи амниятӣ	Натиҷаи иқтисодӣ
Ҷамъоварӣ ва ҷамоҳангсозии реестрҳо	Қоҳиши тақроршавӣ, кам шудани маълумоти нодуруст	Хизматрасонии зуд, камшавии хароҷоти маъмурӣ
Нигоҳдории дохилӣ ё гибридии додаҳои муҳим	Назорати мақон ва дастрасӣ, қоҳиши хавфи вобастагӣ	Баланд шудани эътимоди сармоягузор ва шаҳрванд
Платформаи мубодилаи додаҳо тавассути API	Аудити дастрасӣ, маҳдудсозии ҳуқуқҳо	Ташаккули хизматрасониҳои нав ва бозори додаҳои қонунӣ
Маркази мониторинг ва воқуниш	Муайянкунии саривақтии ҳамла ва ихроҷ	Камшавии зарари бекористӣ ва барқарорсозӣ
Идоракунии сифат ва метамаълумот	Пайгирии манбаъ ва масъулият	Таҳлили беҳтар, сиёсати иқтисодии дақиқ

Заминаи миллий ва зарурати таъсиси ПММД дар Тоҷикистон. Тоҷикистон дар марҳилаи гузариш аз рақамисозии ҷудогона ба табдили рақамии байнисоҳавӣ қарор дорад. Дар солҳои охир платформаҳои пардохт, хизматрасониҳои электронӣ, ҳуҷҷати электронӣ, имзои электронӣ, рушди финтех ва ташаббусҳои инноватсионӣ ғаъол гаштаанд. Ҷамъамон, дар бисёр бахшҳо маълумот дар системаҳои алоҳида, бо форматҳои гуногун ва сатҳи мухталифи ҳифз нигоҳдорӣ мешавад. Ин ҳолат ҳамгирии хизматрасониҳоро душвор мекунанд ва барои кибермуҳофизат нуқтаҳои заъф ба вучуд меорад.

Ҳуҷҷатҳои миллий оид ба рушди иқтисоди рақамӣ зарурати васеъ кардани хизматрасониҳои электронӣ, таъмини киберамният ва баланд бардоштани самаранокии идоракунии таъкид мекунанд [5; 1]. Бонки Ҷаҳонӣ низ дар таҳлилҳои марбут ба табдили рақамӣ барои Тоҷикистон ба масъалаҳои пайвастшавӣ, рақамисозии савдо, хизматрасониҳои электронӣ ва муҳити танзимӣ диққат медиҳад [19]. Аз ин нуқтаи назар, ПММД метавонад инфрасохтори пуштибони тамоми барномаҳои рақамисозӣ бошад: бе он ҳар як вазорат ё ширкат маҷбур мешавад низоми алоҳидаи нигоҳдорӣ, тасдиқ ва мубодилаи додаҳоро созад, ки ҳам гарон ва ҳам хатарнок аст.

Дар баробари ин, афзоиши ҳаҷми додаҳо хавфҳои нав ба бор меорад. Ихроҷи маълумоти шахсӣ метавонад ба қаллобӣ, дуздии ҳувият ва кам шудани эътимод оварда

расонад. Таҳрифи маълумоти реестрҳо метавонад ба ҳуқуқи моликият, андоз, суғурта, кумакҳои иҷтимоӣ ва қарорҳои судӣ таъсир расонад. Дастнорасии системаҳои давлатӣ дар вақти бӯхрон метавонад идоракунии давлатӣ ва фаъолияти иқтисодиро ҳалалдор созад. Аз ин рӯ, ПММД бояд на танҳо лоиҳаи ИТ, балки қисми сиёсати амнияти миллии ҳисобида шавад.

Мушкилоти дигари муҳим вобастагӣ аз платформаҳо ва хидматҳои хориҷӣ мебошад. Истифодаи абрҳои байналмилалӣ метавонад барои сарбории ғайриҳассос самаранок бошад, аммо маълумоти муҳимми давлатӣ, маълумоти шахсӣ ва додаҳои стратегӣ бояд дар доираи модели «абри соҳибхитӣ» ё марказҳои дохилӣ бо назорати ҳуқуқӣ ва техникӣ нигоҳдорӣ шаванд. Модели бехтарин барои шароити иқтисодии кишвар эҳтимол гибридӣ аст: маълумоти критикӣ дар инфрасохтори миллии, хизматрасониҳои микроспазир дар муҳити абрии назоратшаванда, нусхаҳои эҳтиётӣ дар марказҳои чуғрофиёии ҷудогона ва сиёсати қатъии рамзгузорӣ барои интиқоли байниҳамдигарӣ.

Меъморӣи пешниҳодиҳои пойгоҳи мустақили миллии додаҳо. Меъморӣи ПММД бояд аз тарзи сохтмони анъанавии «як базаи азим барои ҳама чиз» фарқ кунад. Дар амал чунин равиш хавфи мутамарказшавии аз ҳад зиёд, мураккабии идоракунии ва нуқтаи ягонаи шикастро ба вуҷуд меорад. Бинобар ин, модели тавсияшаванда «федеративӣ-мутамарказ» мебошад: ҳар реестр соҳиби маълумоти аслии худ мемонад, аммо стандартҳои ягонаи метамеълумот, тасдиқи ҳувият, API, аудит, рамзгузорӣ ва сифати додаҳо тавассути маркази миллии идора мегарданд.

Қабати якум, меъморӣи инфрасохтори физикӣ ва абрӣ мебошад. Ба он марказҳои додаҳо, захираҳои ҳисоббарорӣ, нигоҳдории маълумот, шабакаҳои баландсуръат, механизмҳои нусхабардорӣ ва барқарорсозӣ дохил мешаванд. Барои хизматрасониҳои муҳим бояд ҳадди ақал ду макони чуғрофиёии ҷудогона, захираи барқ, мониторинги муҳити техникӣ ва созишномаи сатҳи хизматрасонӣ пешбинӣ гардад. Нишондиҳандаи дастрасӣ метавонад бо формулаи классикӣ ҳисоб карда шавад:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1)$$

Дар ин ҷо A — дастрасии система, $MTBF$ — вақти миёнаи байни садамаҳо, $MTTR$ — вақти миёнаи барқарорсозӣ, D_{sol} — бекористии солона бо соат мебошад. Агар дастрасӣ 99,9 фоиз бошад, бекористии назариявӣ тақрибан 8,76 соат дар солро ташкил медиҳад; барои хизматрасониҳои критикӣ ҳадаф бояд 99,95 ё 99,99 фоиз бошад. Аммо рақами SLA танҳо дар сурате арзиш дорад, ки бо мониторинг, озмоиши барқарорсозӣ ва шартномаи масъулият дастгирӣ шавад.

Қабати дуюм, платформаи идоракунии додаҳо мебошад. Он луғати ягонаи додаҳо, каталоги метамеълумот, таснифи сатҳи ҳассосият, қоидаҳои нигоҳдорӣ, давраи ҳаёт, сифат ва соҳиби масъули ҳар маҷмуи маълумотро муайян мекунад. Бе чунин каталог муайян кардани он ки кадом маълумот аслии, кадомаш нусха ва кадом сохтор барои хато масъул аст, душвор мешавад. ПММД бояд принсипи «data steward» ё масъули додаҳоро ҷорӣ намояд: дар ҳар ниҳод шахси масъул барои сифат, дастрасӣ ва қонуниятҳои коркарди маълумот таъин мегардад.

Қабати сеюм, идоракунии дастрасӣ мебошад. Дар сатҳи миллии тавсия мешавад, ки моделҳои RBAC, ABAC ва Zero Trust якҷоя истифода шаванд. RBAC ҳуқуқро аз рӯи нақши корбар муайян мекунад; ABAC қарорро аз рӯи атрибутҳо, мисли мақсад, макон, вақти дастрасӣ ва сатҳи махфият, қабул менамояд; Zero Trust бошад, ҳар дархостро новобаста аз ҷойгиршавии шабака санҷиш мекунад. Барои додаҳои ҳассос дастрасӣ бояд бо тасдиқи бисёромила, рамзгузориҳои калидҳои миллии ва журнали тағйирнопазири аудит таъмин гардад.

Қабати чорум, платформаи мубодилаи додаҳо мебошад. Ҳамгироии байни реестрҳо бояд тавассути API-ҳои стандартӣ, паёмрави ҳодисаҳо, имзои электронӣ ва протоколҳои идорашавандаи розигии субъект анҷом ёбад. Дар ин ҷо принсипи ҳадди ақали маълумот муҳим аст: хизматрасонӣ бояд танҳо ҳамон майдонҳои додаҳоро гирад, ки барои иҷрои вазифа заруранд. Масалан, барои тасдиқи синну сол лозим нест, ки тамоми профили шахрванд интиқол ёбад; натиҷаи «синну сол аз 18 боло аст» метавонад кофӣ бошад.

Қабати панҷум, мониторинг ва воқуниш ба ҳодисаҳо мебошад. Барои ПММД бояд SOC миллӣ ё соҳавӣ, SIEM, SOAR, идоракунии осебпазирӣ, санҷиши воридшавӣ, маркази ҳисоботи ҳодисаҳо ва машқҳои киберӣ амал кунад. Мақсад на танҳо пешгирӣ, балки ошкорсозии зуд ва барқарорсозии идорашаванда аст. Дар шароити ҳамлаҳои ransomware, фишинг, сӯиистифодаи инсайдерӣ ва ҳамла ба занҷири таъминот, танҳо девори шабакавӣ кофӣ нест; зарур аст, ки тамоми давраи ҳаёти хавф назорат шавад.

Ҷадвали 2. Таснифи додаҳо ва талаботи ҳифз
Table 2. Data classification and protection requirements

Сатҳ	Намуна	Талаботи асосӣ	Мухлати аудит
Критикӣ	Реестрҳои аҳоли, моликият, андоз, инфрасохтори муҳим	Нигоҳдорӣ дар инфрасохтори миллӣ, рамзгузори хатмӣ, MFA, журналҳои тағйирнопазир	Пайваста / ҳаррӯза
Ҳассос	Маълумоти тиббӣ, молиявӣ, иҷтимоӣ ва таълимӣ	Назорати дастрасӣ аз рӯи мақсад, маскирование, псевдонимсозӣ	Ҳар моҳ
Маъмурӣ	Ҳисобот, маълумоти ташкилӣ, ҳуҷҷатҳои дохилӣ	РВАС, нусхабардорӣ, сиёсати нигоҳдорӣ	Ҳар се моҳ
Кушода	Маълумоти оморӣ ва маҷмуаҳои кушодаи бе шахсияти муайян	Анонимсозӣ, санҷиши сифат, иҷозатномаи истифода	Ҳар нимсола

Амнияти иттилоотӣ: модели идоракунии хавфҳо. ПММД танҳо дар ҳолате ба амнияти миллӣ хизмат мекунад, ки хавфҳои он аз рӯи равиши мунтазам идора шаванд. Идоракунии хавф бояд аз инвентаризатсияи дороиҳо оғоз ёбад: кадом додаҳо, дар кучо, бо кадом формат, аз қониби кӣ ва бо кадом мақсад коркард мешаванд. Пас аз ин таҳдидҳо муайян мегарданд: дастрасии ғайриқонунӣ, ихроҷ, таҳрифи маълумот, нобудшавӣ, ransomware, DDoS, ҳаёти корманд, носозгории API, занҷири таъминот, истифодаи нодурусти абр ва интиқоли бе иҷозат ба хориҷ.

Барои баҳодиҳии амалии хавф формулаи зерин пешниҳод мешавад:

$$R(i) = P(i) \times I(i) \times V(i) \times K(i) \quad (2)$$

Дар формула $R(i)$ — дараҷаи хавфи дорои i , $P(i)$ — эҳтимолияти таҳдид, $I(i)$ — таъсири эҳтимоли ба хизматрасонӣ ва ҳуқуқи субъект, $V(i)$ — осебпазирӣ мавҷуда ва $K(i)$ — коэффитсиенти критикӣ будани дода мебошад. Ҳар параметр метавонад аз 1 то 5 баҳогузорӣ шавад. Агар $R(i)$ аз оstonаи қабулшуда боло бошад, чораҳои паст кардани хавф хатмӣ мешаванд: рамзгузорӣ, сегментатсия, маҳдудкунии дастрасӣ, нусхаи эҳтиётӣ, санҷиши воридшавӣ ё тағйири раванд.

Коэффитсиенти критикӣ бояд хусусияти додаҳоро инъикос кунад. Маълумоти аҳоли, молиявӣ ва тандурустӣ на танҳо аз нигоҳи махфият, балки аз нигоҳи таъсири иҷтимоӣ ва иқтисодӣ арзишманд аст. Барои ҳамин, дар ПММД таснифи додаҳо бояд мустақиман ба сиёсати амниятӣ пайваست шавад: сатҳи баландтар маънои рамзгузори кавитар, аудити зичтар, маҳдудияти интиқол, санҷиши ҳуқуқӣ ва созишномаи қатъии масъулиятро дорад.

Дар модели Zero Trust боварӣ пешакӣ дода намешавад. Ҳар корбар, хизматрасонӣ, API ва дастгоҳ бояд тасдиқ, ваколатдор ва мониторинг шавад. Ин равиш барои ПММД махсусан муҳим аст, зеро дар экосистема ниҳодҳои зиёд, провайдерҳои гуногун ва равандҳои байниидоравӣ иштирок мекунанд. Ҳатто агар як ниҳод осебпазир бошад, он набояд ба тамоми пойгоҳи миллӣ дастрасии беназорат пайдо кунад. Сегментатсия, токенизатсия, маҳдудияти шабакавӣ ва калидҳои ҷудоғонаи рамзгузорӣ ин принципҳои дастгирӣ мекунанд.

Яке аз хавфҳои камбаҳошуда ҳаёти сифатии додаҳост. Маълумоти нодуруст метавонад мисли ҳамлаи техникӣ зарар оварад: шахс метавонад аз хизматрасонӣ маҳрум гардад, соҳибкор иҷозатнома гирифта натавонад, андоз нодуруст ҳисоб шавад ё таҳлили макроиқтисодӣ хато гардад. Аз ин рӯ, амнияти иттилоотӣ бояд бо идоракунии сифат

хамгиро бошад. Барои ҳар маҷмуи додаҳо нишондиҳандаҳои пуррагӣ, дақиқӣ, саривақтӣ, мутобиқат ва пайгирии манбаъ муайян карда мешаванд.

Ҳифзи махфият низ бояд дар марҳилаи тарҳрезӣ ворид карда шавад. Принципи privacy by design талаб мекунад, ки ҷамъовариҳои додаҳо маҳдуд, мақсаднок ва шаффоф бошад. Дар ПММД ин талабот бо розигии рақамӣ, сабти мақсади дастрасӣ, анонимсозии маҷмуаҳои оморӣ ва имконияти дидани таърихи истифодаи маълумоти шахсӣ амалӣ мегардад. Чунин механизмҳо на танҳо талаботи ҳуқуқиро иҷро мекунанд, балки эътимоди иҷтимоиро баланд менамоянд.

Ҷадвали 3. Матритсаи таҳдидҳо ва чораҳои назорат

Table 3. Threats and control measures matrix

Таҳдид	Нуктаи заъф	Чораи назорат	Нишондиҳандаи санҷиш
Ихрочи додаҳои шахсӣ	Дастрасии васеъ, рамзгузориҳои суст	MFA, ABAC, рамзгузориҳои AES-256, DLP	Шумораи ҳодисаҳо, вақти ошкорсозӣ
Ransomware	Нусхаҳои эҳтиётии онлайн, сегментатсияи суст	Backup immutable, EDR, сегментатсия, машқи барқарорсозӣ	RTO/RPO, натиҷаи озмоиш
Тахрифи реестр	Набудани журналҳои тағйирнопазир	Имзои рақамӣ, audit log, назорати дукарата	Ҷои сабтҳои санҷидашуда
DDoS ба портал	Инфрасохтори бетаъмин	CDN, WAF, scrubbing, autoscaling	Дастрасӣ дар вақти ҳамла
Хатои API	Ҳуҷҷатгузориҳои номукаммал	API gateway, rate limit, schema validation	Шумораи хатоҳои интегратсия
Инсайдер	Назорати заифи ваколат	Segregation of duties, UEBA, review-и ҳуқуқҳо	Дастрасии аз меъёр зиёд

Таъсири ПММД ба рушди иқтисоди рақамӣ. Арзиши иқтисодии ПММД аз ду манбаъ пайдо мешавад: коҳиши хароҷот ва афзоиши арзиши нав. Коҳиши хароҷот дар натиҷаи кам шудани такрори ҳуҷҷатҳо, кам шудани мурочиати ҷисмонӣ, кам шудани хатоҳои маъмурӣ, сарфаи вақт ва коҳиши зарари ҳодисаҳои киберӣ ба вуҷуд меояд. Арзиши нав бошад, аз рушди хизматрасониҳои рақамӣ, бозори додаҳои анонимшуда, таҳлили бехтари давлатӣ, финтех, regtech, govtech, стартапҳо ва маҳсулоти зеҳни сунъӣ ба даст меояд.

ПММД метавонад барои соҳибкорон се бартарии амалӣ диҳад. Аввал, тасдиқи зуд ва қонунӣ: ширкат метавонад бо розигии мизоч ҳуҷҷатҳои лозимро аз реестрҳои бозътимод санҷад ва раванди хизматрасониро кӯтоҳ кунад. Дуюм, коҳиши номуайянӣ: вақте маълумоти давлатӣ мутобиқ ва дастрас аст, арзёбии хавфи қарзӣ, иҷозатномадиҳӣ ва шартномаҳо дақиқтар мегардад. Сеюм, имконияти таҳияи маҳсулоти нав: маҷмуаҳои кушода ва анонимшудаи додаҳо барои таҳлили бозор, логистика, кишоварзӣ, туризм ва банақшагирии шаҳр истифода мешаванд.

Самаранокии иқтисодӣ метавонад бо модели содаи арзиши соф ҳисоб карда шавад:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B(t) - C(t)}{(1+r)^t} - I_0 \quad (3)$$

дар ин ҷо $B(t)$ — манфиатҳои солонаи пулӣ ва ғайримустақим, $C(t)$ — хароҷоти амалиётӣ, r — меъёри дисконт, I_0 — сармоягузориҳои ибтидоӣ ва n — давраи таҳлил мебошад.

Барои лоиҳаи миллий бояд на танҳо даромади мустақим, балки сарфаи вақти шаҳрвандон, камшавии хароҷоти ҳуҷҷатгузорӣ, пешгирии зарари киберӣ ва афзоиши шаффофият низ ба ҳисоб гирифта шавад. Барои арзёбии эҳтиёткорона манфиатҳои ғайримустақимро бо коэффитсиенти эътимод кам кардан мумкин аст.

Боз як самти муҳим энергетика ва устувории марказҳои додаҳо мебошад. Маркази додаҳо сарбории барқ ва хунуккунӣ дорад; бинобар ин, нишондиҳандаи PUE бояд дар тарҳрезӣ истифода шавад. Формулаи PUE чунин аст:

$$PUE = \frac{E_{total}}{E_{IT}} \quad (4)$$

дар ин формула E_{total} — тамоми энергияи истеъмолшудаи маркази додаҳо ва E_{IT} — энергияи таҷҳизоти ҳисоббарорӣ мебошад.

Ҳар қадар PUE ба 1 наздик бошад, самаранокии энергетикӣ баландтар аст. Барои Тоҷикистон, ки дорои иқтисодии назарраси гидроэнергетикӣ мебошад, тарҳрезии марказҳои додаҳои каммасраф метавонад бартариии минтақавӣ ба вуҷуд оварад, агар масъалаҳои устувории таъминоти барқ, хунуккунии мувофиқ ва ҷойгиркунии ҷуғрофӣ дуруст ҳал шаванд.

Ҷадвали 4. Нишондиҳандаҳои KPI барои баҳодихии таъсири ПММД

Table 4. KPI indicators for assessing the impact of the PMMD

Самт	KPI	Меъёри тавсияшаванда
Амният	Вақти миёнаи ошкорсозии ҳодиса (MTTD)	Коҳишёбӣ сол ба сол; барои ҳодисаҳои критикӣ < 24 соат
Барқарорсозӣ	RTO/RPO барои реестрҳои критикӣ	RTO < 4 соат, RPO < 30 дақиқа
Сифати додаҳо	Ҷоизаи сабтҳои пурра ва бе ихтилоф	> 95% барои реестрҳои асосӣ
Хизматрасонӣ	Саҳми хизматрасониҳои бо принсипи «як бор пешниҳод кардан»	Афзоиши марҳилавӣ то > 60%
Иқтисод	Вақти миёнаи гирифтани хизматрасонӣ	Коҳиш на кам аз 30–50% дар хизматрасониҳои афзалиятнок
Эътимод	Шумораи дархости шаҳрванд барои таърихи дастрасӣ ба маълумот	Механизми ҷаъол ва ҳисоботҳои даврӣ

Амсилаи ҳисоби афзалиятнокӣ ва интиҳоб. Азбаски захираҳои молиявӣ ва кадрӣ маҳдуданд, ҳамаи реестрҳо ва хизматрасониҳо якбора ба ПММД гузаронида намешаванд. Барои афзалиятнокӣ бояд модели ҳолдихӣ истифода шавад. Ҳар система аз рӯи таъсири иҷтимоӣ, ҳассосияти додаҳо, омодагии техникӣ, арзиши иқтисодӣ ва ҳавфи кунунӣ баҳогузорӣ мегардад. Формулаи пешниҳодӣ чунин аст:

$$S(j) = \alpha \cdot I(j) + \beta \cdot D(j) + \gamma \cdot E(j) + \delta \cdot T(j) + \lambda \cdot R(j) \quad (5)$$

дар ин ҷо $S(j)$ — ҳол барои лоиҳаи j , $I(j)$ — таъсири иҷтимоӣ, $D(j)$ — ҳассосияти додаҳо, $E(j)$ — самарани иқтисодӣ, $T(j)$ — омодагии техникӣ, $R(j)$ — сатҳи ҳавфи мавҷуда мебошад.

Коэффитсиентҳои α , β , γ , δ ва λ аз рӯи сиёсати давлатӣ муайян мешаванд. Агар ҳадафи асосӣ амнияти миллий бошад, вазни D ва R баландтар мегардад; агар ҳадаф рушди хизматрасониҳои оммавӣ бошад, вазни I ва E зиёд мешавад.

Барои интиҳоби макони маркази додаҳо низ модели бисёрмеъёрӣ лозим аст. Меъёрҳо метавонанд устувории барқ, хатҳои наҳи оптикӣ, хатари табиӣ, наздикӣ ба маркази истеъмол, имконияти васеъшавӣ, амнияти физикӣ ва арзиши умумии моликиятро дар бар гиранд. Дар шароити Тоҷикистон масъалаи зилзила, роҳҳои дастрасӣ, иқлим ва таъмини барқ бояд махсусан санҷида шавад. Маркази эҳтиётӣ бояд дар минтақаи ҷуғрофӣ дигар ҷойгир гардад, то ҳодисаи як минтақа тамоми хизматрасониҳоро қатъ накунад.

Арзиши умумии моликият барои ҳар варианти меъморӣ чунин ҳисоб карда мешавад:

$$TCO = CAPEX + \sum_{t=1}^n \frac{OPEX(t)}{(1+r)^t} \quad (6)$$

дар формула $CAPEX$ — хароҷоти сохтмон, таҷҳизот ва иҷозатдихӣ, $OPEX(t)$ — хароҷоти солонаи барқ, хунуккунӣ, иҷора, кадрҳо, нигоҳдорӣ, литсензия ва амният мебошад.

Барои ҳалли миллий танҳо хароҷоти аввалия набояд асос шавад: баъзан варианти арзонтар дар оғоз бо сабаби истеъмоли баланд, вобастагии литсензиявӣ ё норасоии кадрҳо дар давраи панҷсола гаронтар мешавад.

Чадвали 5. Муқоисаи се модели ташкили ПММД
Table 5. Comparison of three models of PMMD organization

Модел	Бартарӣ	Камбудӣ	Мавриди мувофиқ
Маркази пурра миллӣ	Назорати баланд, ҷойгиршавии дохилӣ, мутобиқати қонунӣ	САРЕХ баланд, талаботи кадрӣ ва энергетикӣ	Реестрҳои критикӣ ва маълумоти ҳассос
Абри соҳибхитёр	Микёспазирӣ, автоматизатсия, хизматрасонии зуд	Ниёз ба танзими шартнома ва назорати провайдер	Хизматрасониҳои давлатӣ ва таҳлил бо назорати ҳуқуқӣ
Моделҳои гибридӣ	Тавозуни арзиш, амният ва микёспазирӣ	Мураккабии идоракунии дастрасӣ ва ҳамгироӣ	Беҳтарин вариант барои гузариши марҳилавӣ

Идоракунии ҳуқуқӣ, институтсионалӣ ва этикӣ. ПММД бе тартиби ҳуқуқӣ ва институтсионалӣ метавонад ба анбори техникӣ табдил ёбад, на ба экосистемаи эътимод. Аз ин рӯ, бояд мақоми масъул ё оператори миллӣ бо ваколатҳои равшан таъсис ё таъин шавад. Ин мақом бояд стандартҳои додаҳо, қоидаҳои дастрасӣ, тартиби сертификатсияи системаҳо, талаботи амниятӣ, методологияи тасниф, ҳисоботи ҳодисаҳо ва тартиби нусхабардориро тасдиқ намояд. Ҳамзамон, соҳиби ҳар реестр бояд масъули қонунияти маълумоти худ боқӣ монад.

Масъалаи ҳуқуқ ба маълумот ва махфият бояд тавозун дошта бошад. Барои рушди иқтисоди рақамӣ маълумоти кушода ва мубодилаи байниидоравӣ муҳим аст, аммо ин набояд ба ҷамъоварии беасос ё назорати аз ҳад зиёд оварда расонад. Принсипҳои қонуният, мақсаднокӣ, ҳадди ақали маълумот, маҳдудияти нигоҳдорӣ, шаффофият ва ҳисоботдиҳӣ бояд дар қоидаҳои ПММД ҷойгир шаванд. Шаҳрванд бояд имкони донишмандии онро дошта бошад, ки кадом ниҳод бо кадом мақсад ба маълумоти ӯ дастрасӣ пайдо кардааст.

Дар сатҳи институтсионалӣ зарур аст, ки шурои байниидоравии идоракунии додаҳо амал кунад. Ин шуро бояд намоёндагони киберамният, иқтисод, адлия, молия, телеком, омор, бонкдорӣ, тандурустӣ ва бахши хусусиро дар бар гирад. Вазифаи шуро на идоракунии ҳаррӯзаи техникӣ, балки ҷамоаи созиши стандартҳо ва ҳалли ихтилофҳои сиёсӣ аст: кадом маълумот критикӣ аст, кадом маҷмуа кушода мешавад, кадом API иҷозат мегирад ва кадом лоиҳа афзалият дорад.

Этикаи истифодаи додаҳо махсусан дар шароити зеҳни сунъӣ муҳим мегардад. Агар ПММД барои омӯзиши моделҳои AI истифода шавад, бояд назорати манбаи дода, пешгирии таъйиз, санҷиши дақиқӣ ва маҳдудияти истифодаи маълумоти шахсӣ таъмин гардад. Маълумоти миллӣ набояд бе ризоият ё асоси ҳуқуқӣ барои мақсадҳои тижоратӣ истифода шавад. Ҳар як маҳсулоти аналитикӣ бояд тавзеҳпазирӣ ва масъулияти қарорро дошта бошад, хусусан агар он ба ҳуқуқи шаҳрванд таъсир расонад.

Чадвали 6. Механизми масъулият дар идоракунии ПММД
Table 6. Accountability mechanism in the management of PMMD

Субъект	Масъулият	Натиҷаи интизоршаванда
Оператори миллӣ	Стандартҳо, инфрасохтор, мониторинг, ҷамоаи созиши	Платформаи ягонаи бозътимод
Соҳиби реестр	Дақиқӣ, қонуният, навсозӣ, ҷавобгарӣ барои маълумоти асли	Сифати баланд ва масъулияти равшан
Провайдерҳои техникӣ	SLA, амнияти шабака, захираҳо, барқарорсозӣ	Дастрасӣ ва устувории хизматрасонӣ
Нозири мустақил	Аудити амният, махфият ва мутобиқат	Пешгирии сӯиистифода ва баланд шудани эътимод
Истифодабаранда/ниҳод	Дастрасии мақсаднок ва ҳадди ақал	Коҳиши хавфи дастрасии ғайриқонунӣ

Ҳамкориҳои байналмилалӣ низ зарур аст. Истиқлолияти додаҳо маънои ҷудошавӣ аз ҷаҳонро надорад. Баръакс, кишвар бояд бо стандартҳои байналмилалӣ, созмонҳои минтақавӣ, марказҳои CERT ва шарикони рушд ҳамкорӣ кунад. Масъала дар он аст, ки

қоидаҳои ҳамкорӣ равшан бошанд: кадом маълумот берун меравад, бо кадом асос, дар кадом шакл, бо кадом рамзгузорӣ ва зери кадом масъулият. Ин равиш хавфи фрагментатсияро кам мекунад ва ҳамзамон, манфиатҳои миллӣ ҳифз мешаванд.

Баҳси амалӣ: шартҳои муваффақият ва хавфҳои иҷро. Муҳимтарин шартҳои муваффақияти ПММД роҳбарии сиёсӣ ва ҳамоҳангсозии байниидоравӣ аст. Лоихаҳои додаҳо аксар вақт на аз сабаби техника, балки аз сабаби рақобати ваколатҳо ва набудани масъулияти равшан ба таъхир меафтанд. Ҳар ниҳод метавонад маълумоти худро дорои дохилӣ ҳисобад ва аз мубодила худдорӣ кунад. Барои пешгирии ин ҳолат бояд қонун ва қарорҳои иҷроӣ вазифа, муҳлат, масъул ва шакли ҳисоботро муайян кунанд.

Шарти сеюм, рушди кадрҳо мебошад. Барои идоракунии ПММД на танҳо барномасоз, балки меъмори додаҳо, муҳандиси DevSecOps, мутахассиси cryptography, таҳлилгари SOC, аудитори ISO 27001, ҳуқуқшиноси махфият ва менечери маҳсулоти рақамӣ лозим аст. Барномаҳои донишгоҳӣ ва курсҳои тақмили ихтисос бояд бо ин ниёзҳо пайваست шаванд. Ташкили маркази салоҳияти миллӣ метавонад таҷриба ва стандарти ягонаи касбиро таъмин кунад.

Хулоса ва тавсияҳо. Пойгоҳи мустақили миллии додаҳо яке аз унсурҳои асосии давлатдорӣ рақамӣ ва амнияти иттилоотӣ ба ҳисоб меравад. Он имкон медиҳад, ки маълумоти стратегӣ дар муҳити назоратшаванда нигоҳдорӣ ва қоркард шавад, дастрасии байниидоравӣ бо қоидаҳои равшан амалӣ гардад, хатари ихроҷ ва таҳриф коҳиш ёбад ва хизматрасониҳои рақамӣ бо суръат ва эътимоди бештар пешниҳод шаванд. Дар шароити Тоҷикистон, ки рушди иқтисоди рақамӣ ба ҳадафи сиёсати миллӣ табдил ёфтааст, чунин инфрасохтор метавонад зербинои хизматрасониҳои давлатӣ, баҳши молиявӣ, инноватсия ва таҳлили иқтисодӣ гардад.

Таҳлил нишон медиҳад, ки ПММД бояд ҳамчун экосистемаи федеративӣ-мутамакки тарҳрезӣ шавад. Ин маънои онро дорад, ки реестрҳо соҳиби маълумоти аслии худро нигоҳ медоранд, аммо стандартҳо, тасниф, API, аудит, рамзгузорӣ, дастрасӣ ва мониторинг дар сатҳи миллӣ ҳамоҳанг карда мешаванд. Чунин модел ҳам аз мутамаккишавии аз ҳад зиёд пешгирӣ мекунад ва ҳам имконияти хизматрасонии ягона ва таҳлили байнисоҳавиро таъмин менамояд.

Аз нигоҳи амният, ПММД бояд ба моделҳои ISO/IEC 27001:2022, NIST CSF 2.0, Zero Trust, идоракунии хавф ва privacy by design таъсир кунад. Формулаҳои пешниҳодшуда барои баҳодиҳии хавф, дастрасӣ, арзиши иқтисодӣ ва интихоби афзалиятҳо имконият медиҳанд, ки қарорҳо бо асоси ченшаванда қабул шаванд. Қадвалҳои таснифи додаҳо, матритсаи таҳдидҳо, KPI ва харитаи роҳ метавонанд ҳамчун қолаби ибтидоӣ барои таҳияи барномаи миллӣ истифода шаванд.

Аз нигоҳи иқтисодӣ, ПММД на танҳо хароҷоти амниятӣ, балки сармоягузорӣ ба маҳсулнокии миллӣ мебошад. Он метавонад вақти хизматрасониҳоро коҳиш диҳад, шаффофиятро баланд кунад, хароҷоти маъмуриро кам намояд, ба стартапҳо ва баҳши хусусӣ муҳити эътимоднок диҳад ва барои истифодаи қонунии додаҳои анонимшуда имконият фароҳам оварад. Аммо барои ба даст овардани ин натиҷаҳо, лоиха бояд бо кадр, маблағгузорию устувор, меъёрҳои ҳуқуқӣ ва иштироки ҷомеа дастгирӣ шавад.

Тавсияҳои асосӣ чунинанд: 1) гузаронидани инвентаризатсияи миллии дороиҳои додаҳо; 2) таҳияи стандарти ягонаи тасниф, API ва амният; 3) таъсиси оператори маркази салоҳияти ПММД; 4) татбиқи пилот дар хизматрасониҳои таъсири баланд; 5) ташкили SOC/CSIRT ва механизми нусхаи эҳтиётӣи ҷуғрофӣ; 6) ҷорӣ намудани dashboard-и KPI барои ҳисоботдиҳӣ; 7) таҳияи sandbox барои баҳши хусусӣ ва стартапҳо; 8) таъмини ҳуқуқи шаҳрванд ба шаффофияти дастрасӣ ба маълумоти шахсӣ. Иҷроӣ пайдарпайи ин тавсияҳо метавонад ПММД-ро ба платформаи эътимод, амният ва рушди иқтисоди рақамии Тоҷикистон табдил диҳад.

Мақола дар доираи мавзӯи илмӣ кафедраи иқтисод ва идоракунии МИСИС дар шаҳри Душанбе «Таҳқиқот ва таҳияи усулҳои муносири идоракунии инноватсионии корхонаҳои саноатӣ» таҳия шудааст, ки мувофиқи тартиби муқарраршуда ба қайд гирифта шудааст (протоколи №1 аз 28 августи соли 2025).

АДАБИЁТ

1. Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон. Шарҳ ба Фармони Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон дар бораи эълон гардиани солҳои 2025–2030 «Солҳои рушди иқтисоди рақамӣ ва инноватсия». - 2025.
2. Сафаров Ф.Г. Особенности формирования цифровой экономики в эпоху инновационной трансформации Таджикистана / Ф.Г. Сафаров // Вестник Таджикского национального университета. Серия социально-экономических и общественных наук. – 2025. – № 11. – С. 27-35. – EDN XBENOB.
3. Сафаров Ф.Г. Таъмини истиклолияти иттилоотӣ бо усули инноватсионӣ баҳри рушди устувори иқтисоди рақамӣ дар пойгоҳи миллии додаҳо (Dodaho.TJ) / Ф.Г. Сафаров // 24–25 апреля 2026 года. Часть II. Естественные науки. - 2026. – Р. 52-58. – EDN CLIDDX.
4. Сафаров Ф.Г. Ҷанбаҳои амалии соҳибхӯрии рақамӣ дар системаи инфрасохтори миллии иттилоотӣ иртиботӣ / Ф.Г. Сафаров // 12–13 декабры 2025 года, 2025. – Р. 223-230. – EDN VHIFXO.
5. Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон. Барномаи миёнамуҳлати рушди иқтисоди рақамӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2021–2025. Қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон аз 26 октябры соли 2021, №460.
6. Chen B., Liu Y. Promotion and Advancement of Data Security Governance in -China. Electronics. 2024;13(10):1905. DOI: 10.3390/electronics13101905.
7. Galij S., Pawlak G., Grzyb S. Modeling Data Sovereignty in Public Cloud—A Comparison of Existing Solutions. Applied Sciences. 2024;14(23):10803. DOI: 10.3390/app142310803.
8. International Telecommunication Union. Global Cybersecurity Index 2024. -Geneva: ITU, 2024.
9. ISO/IEC. ISO/IEC 27001:2022 Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security management systems — Requirements. -Geneva: ISO, 2022.
10. Li F., Zhang Z. Addressing the Sustainability Challenges: Digital Economy Information Security Risk Assessment. Sustainability. 2025;17(14):6428. DOI: 10.3390/su17146428.
11. NIST. The NIST Cybersecurity Framework (CSF) 2.0. National Institute of Standards and Technology, 2024. DOI: 10.6028/NIST.CSWP.29.
12. OECD. The Nature, Evolution and Potential Implications of Data Localisation Measures. OECD Trade Policy Papers, No. 278. -Paris: OECD Publishing, 2023.
13. Sun L., Zhang H., Fang C. Data security governance in the era of big data: status, challenges, and prospects. Data Science and Management. 2021;2:41–44. DOI: 10.1016/j.dsm.2021.06.001.
14. Tian Z., Han M., Jiang C. Research on platform data security governance strategy based on three-party evolutionary game. -Heliyon. 2024;10:e36391. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e36391.
15. UNCTAD. Digital Economy Report 2024: Shaping an Environmentally Sustainable and Inclusive Digital Future. - Geneva: United Nations, 2024.
16. UNDP. Digital Development Compass: Tajikistan country profile. 2026.
17. UNDP. UNDP Tajikistan 2023–2024 Biennial Report. -Dushanbe: United Nations Development Programme, 2025.
18. World Bank. Digital Progress and Trends Report 2023. -Washington, DC: World Bank, 2023. DOI: 10.1596/978-1-4648-2049-6.
19. World Bank. Tajikistan Economic Update – Summer 2025: Focusing on Digital Transformation and Trade in Tajikistan. -Washington, DC: World Bank, 2025.
20. Zherlitsyn D., Kolarov K., Rekova N. Digital Transformation in the EU: Bibliometric Analysis and Digital Economy Trends Highlights. Digital. 2025;5(1):1. DOI: 10.3390/digital5010001.

НАҚШИ ПОЙГОҲИ МУСТАҚИЛИ МИЛЛИИ ДОДАҲО ДАР ТАЪМИНИ АМНИЯТИ ИТТИЛООТӢ ВА РУШДИ ИҚТИСОДИ РАҚАМӢ

Дар мақола нақши пойгоҳи мустақили миллии додаҳо ҳамчун зерсохтори калидии давлатдорӣ рақамӣ, амнияти иттилоотӣ ва рушди иқтисоди рақамӣ таҳлил карда мешавад. Мафҳуми «пойгоҳи мустақили миллии додаҳо» дар ин таҳқиқот танҳо як базаи маъмурии сабтҳо нест; он маҷмуи меъёрҳо, марказҳои коркарди додаҳо, платформаҳои мубодилаи бехатар, реестрҳои давлатӣ, механизми идоракунии сифат, сиёсати дастрасӣ ва воситаҳои кибермуҳофизат мебошад. Мақола хусусияти илми амалӣ дорад: дар он меъмурии функционалӣ, матритсаи хатарҳо, формулаҳои баҳодихии хавф ва самаранокӣ, инчунин ҷадвалҳои амалии татбиқ пешниҳод шудаанд. Аҳамияти мавзӯ дар он аст, ки рақамисозии хизматрасониҳои давлатӣ, молия, тандурустӣ, маориф, савдо ва саноат ҳаҷми бузурги додаҳои шахсӣ, тичоратӣ ва стратегиро ба гардиши доимӣ ворид менамояд. Агар ин додаҳо дар муҳити ноустувор, дар платформаҳои пароканда ё дар инфрасохтори пурра вобаста ба субъектҳои хориҷӣ нигоҳдорӣ шаванд, хавфҳои ихроҷ, таҳриф, дастнорасӣ, вобастагии технологӣ ва коҳиши эътимоди шаҳрвандон меафзоянд. Аз ин рӯ, ташкили пойгоҳи мустақили миллии додаҳо метавонад вазифаи дугоноро иҷро намояд: аз як тараф, сатҳи ҳифзи додаҳо ва тобоварии кибернизомро баланд кунад; аз тарафи дигар, барои хизматрасониҳои рақамӣ, таҳлили давлатӣ, зехни сунӣ ва бозори додаҳо заминаи институтсионалӣ фароҳам оварад.

Калидвожаҳо: пойгоҳи миллии додаҳо, истиклолияти додаҳо, амнияти иттилоотӣ, киберамният, маркази додаҳо, иқтисоди рақамӣ, идоракунии додаҳо, махфият, эътимоди рақамӣ, Тоҷикистон.

РОЛЬ НАЦИОНАЛЬНОГО НЕЗАВИСИМОГО ДАТА ЦЕНТРА В ОБЕСПЕЧЕНИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И РАЗВИТИИ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

В статье анализируется роль национальной независимой базы данных как ключевой инфраструктуры цифровой государственности, информационной безопасности и развития цифровой экономики. Понятие «национальная независимая база данных» в данном исследовании — это не просто административная база данных

записей; это набор стандартов, центров обработки данных, защищенных платформ обмена, государственных реестров, механизмов управления качеством, политик доступа и инструментов киберзащиты. Статья носит научно-практический характер: в ней представлена функциональная архитектура, матрица рисков, формулы оценки рисков и эффективности, а также графики практической реализации. Важность темы обусловлена тем, что цифровизация государственных услуг, финансов, здравоохранения, образования, торговли и промышленности приводит к постоянному обороту огромного количества персональных, коммерческих и стратегических данных. Если эти данные хранятся в нестабильной среде, на фрагментированных платформах или в инфраструктуре, полностью зависящей от иностранных субъектов, возрастают риски утечки, искажения, недоступности, технологической зависимости и снижения доверия граждан. Поэтому создание независимой национальной базы данных может выполнять двойную функцию: с одной стороны, оно повышает уровень защиты данных и киберустойчивости; с другой стороны, оно обеспечивает институциональную основу для цифровых услуг, государственной аналитики, искусственного интеллекта и рынка данных.

Ключевые слова: национальная база данных, независимость данных, информационная безопасность, кибербезопасность, центр обработки данных, цифровая экономика, управление данными, конфиденциальность, цифровое доверие, Таджикистан.

THE ROLE OF THE NATIONAL INDEPENDENT DATA CENTER IN ENSURING INFORMATION SECURITY AND DEVELOPING THE DIGITAL ECONOMY

The article analyzes the role of the national independent database as a key infrastructure of digital statehood, information security and development of the digital economy. The concept of “national independent database” in this study is not just an administrative database of records; it is a set of standards, data processing centers, secure exchange platforms, state registries, quality management mechanisms, access policies and cyber protection tools. The article has a scientific and practical nature: it presents a functional architecture, a risk matrix, risk and effectiveness assessment formulas, as well as practical implementation schedules. The importance of the topic stems from the fact that the digitization of government services, finance, healthcare, education, trade and industry brings into constant circulation a huge amount of personal, commercial and strategic data. If this data is stored in an unstable environment, on fragmented platforms or in an infrastructure completely dependent on foreign entities, the risks of leakage, distortion, unavailability, technological dependency and reduced trust of citizens increase. Therefore, the creation of an independent national database can fulfill a dual function: on the one hand, it increases the level of data protection and cyber resilience; on the other hand, it provides an institutional basis for digital services, government analytics, artificial intelligence and the data market.

Keywords: national database, data independence, information security, cybersecurity, data center, digital economy, data governance, privacy, digital trust, Tajikistan.

Маълумот дар бораи муаллиф: *Сафар Файзуллоҷон Гуреззода* – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, номзади илмҳои техника, дотсент, кафедраи технологияҳои иттилоотӣ ва иртиботӣ. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. Телефон: **93 505 67 68**. E-mail: **safarov_f-o@mail.ru**

Юсупов Фирдавс Сидикович – Филиали Донишгоҳи миллии таҳқиқотиҳои технологияи МИСИС дар Душанбе, ассистенти кафедраи иқтисодиёт ва менеҷмент. **Суроға:** 734042, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи Назаршоев 7. Телефон: **98 792 66 11**. E-mail: **firdavs.yusupov.1995@mail.ru**

Сведения об авторах: *Сафар Файзуллоджон Гуреззода* – Таджикский национальный университет, кандидат технических наук, доцент, кафедры информационных и коммуникационных технологий. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. Телефон: **93 505 67 68**. E-mail: **safarov_f-o@mail.ru**

Юсупов Фирдавс Сидикович – Филиал национального научно-технологического университета МИСИС в Душанбе, ассистент кафедры экономики и управления. **Адрес:** 734042, Республика Таджикистан, Душанбе, улица Назаршоева, 7. Телефон: **98 792 66 11**. E-mail: **firdavs.yusupov.1995@mail.ru**

Information about the authors: *Fayzullojon Gurezzoda Safar* – Tajik National University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information and Communication Technologies. **Address** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. Phone: **93 505 67 68**. E-mail: **safarov_f-o@mail.ru**

Yusupov Firdavs Sidikovich – Branch of the National Research Technological University MISIS in Dushanbe, Assistant Professor of the Department of Economics and Management. **Address:** 734042, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Nazarshoev Street, 7. Phone: **98 792 66 11**. E-mail: **firdavs.yusupov.1995@mail.ru**

Мақола ба редакция ворид шуд: 26.05.2026

Аз тақриз баргашт: 24.06.2026

Ба чоп таъсия шуд: 06.10.2026

АЛГОРИТМИ СОХТАНИ КВАДРАТИ СЕҲРНОКИ ДЮРЕР БО ИСТИФОДА АЗ УСУЛИ СИММЕТРӢ

Ашуров Х.М., Одилзода О.О.
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Муқаддима. Квадратҳои сеҳрнок яке аз объектҳои классикии математикаи комбинаторӣ ба ҳисоб мераванд, ки аз давраҳои қадим мавриди омӯзиши олимони қарор гирифтаанд. Онҳо на танҳо дорони хосиятҳои ҷолиби математикӣ мебошанд, балки дар назарияи матритсаҳо, криптография ва алгоритмҳои комбинаторӣ низ истифода мешаванд (расми 1).

Таърифи 1. Квадрати сеҳрнок тартиби 4-ум ин ҷадвал дорони 4 сатру 4 сутун буда, дар он ададҳои аз 1 то 16 тавре ҷойгир карда шудаанд, ки ҷамъи онҳо ба таври диагоналӣ, сатриву сутунӣ ба ҳамон як адад - доимии сеҳрнок баробаранд [1; 2; 3].

Расми 1. Квадрати сеҳрнок тартиби 4
Figure 1. Magic square of the 4th order

13	8	12	1
2	11	7	14
3	10	6	15
16	5	9	4

Масъалаи сохтан ва ифода кардани квадратҳои сеҳрнок диққати математиконро аз давраҳои хело қадим ба худ ҷалб мекард. Аммо то имрӯз масъалаи ифода намудани ҳамаи ҳолатҳои имконпазири ин квадратҳо омӯхта нашудаанд. Квадрати сеҳрнок тартиби 2 ҷой надорад. Дар расми 2 квадрати сеҳрнок тартиби 3 тасвир шудааст. Ҷамъи ададҳои ин квадрат дар ҳар як сатру сутун ва диагонали он ба адади 15 баробар аст. Дигар квадратҳои тартиби 3-ро, дар натиҷаи давр занонидани ин квадрат нисбат ба маркази он ва ё ба таври симметрӣ инъикос намудани он, пайдо намудан мумкин аст [1; 2; 3].

Расми 2. Квадрати сеҳрнок тартиби 3
Figure 2. Magic square of the 3th order

2	9	4
7	5	3
6	1	8

Масалан, дар қорҳои муаллифони Ашуров Х. ва Ашуров М. [4-6] барои сохтани квадратҳои сеҳрнок тартиби тоқ ва табдилдиҳии онҳо чунин квадрати тартиби 5 истифода шудааст (расми 3).

Расми 3. Квадрати сеҳрнок тартиби 5
Figure 3. Magic square of the 5th order

3	16	9	22	15
20	8	21	14	2
7	25	13	1	19
24	12	5	18	6
11	4	7	10	23

Квадратҳои лотинӣ ва ё квадратҳои Эйлер низ аз оилаи квадратҳои сеҳрнок мебошанд (расми 4). Онҳоро ҳамчун яке аз объектҳои классикии математикаи комбинаторӣ ном мебаранд [7]. Масалан, гурӯҳ ва квазигурӯҳро дар комбинаторика ҳамчун квадрати лотинӣ тасвир мекунанд.

Расми 4. Квадрати лотинии тартиби 4
Figure 4. Latin square of order 4

b	a	c	d
a	b	d	c
d	c	a	b
c	d	b	a

Таърифи 2. Квадрати лотинии тартиби 4-ум гуфта чадвалеро меноманд, ки дорои n сатру n сутун мебошад ва дар он n символҳои батартибовардашудаи маҷмуи M чунин ҷойгир карда шудаанд, ки дар ҳар як сатр ва сутуни ҷадвал онҳоро як бор дидан мумкин аст ва ё ба ибораи дигар танҳо як маротиба вохӯрдан мумкин аст (расми 4).

Имрӯзҳо ба сифати маҷмуи M одатан маҷмуи ададҳои натуралӣ аз 1 то n ифода мекунанд. Бо вучуди ин Леонард Эйлер аввалин бор ҳарфҳои лотиниро дар ин гуна ҷадвал ба ҷои рақамҳо истифода бурдааст. Ва ӯ мафҳуми квадратҳои лотиниро дар математика ворид сохтааст [7]. Инчунин аввалин бор Эйлер 56 квадрати 5×5 -и батартибовардашударо кашф намуд.

Қайд карда мешавад, ки миқдори квадратҳои лотинии тартиби 5 аввалин бор аз тарафи Эйлер дастӣ ҳисоб карда шуда буд. Пас аз ин миқдори квадратҳои лотинии тартиби аз 7 то 11 ба воситаи МЭХ ёфта шуданд (солҳои 1990 то 2005).

Умуман то миёнаи асри XX квадратҳои лотинӣ предмети асосӣ барои тадқиқотҳо дар комбинаторика ҳисоб мерафтанд. Ва дар солҳои 30-юми асри XX онҳо ба инкишофи алгебра сабаб шуданд. Аввалин бор квадратҳои лотинӣ дар криптография дар рамзи Тритемий истифода шуда буданд. Баъдтар ин усули рамзгузориро Ҷ.Белазо такмил дода буд [3].

Бозии судоку бозии машҳури мантиқӣ бо ададҳои аз 1 то 9 буда, квадрати лотинии тартиби 9-ум ба ҳисоб меравад ва баъзан онро квадрати сеҳрнок ном мебаранд. Ба забони ҷопонӣ «су» ин «рақам» ва «доку» бошад «дар алоҳидагӣ қарор доштан»-ро ифода мекунад. Ҳалли ин бозии мантиқӣ ба муҳлисонаш руҳи болида ва кайфияте мебахшад. Аз ин сабаб, ин бозии мантиқӣ дар аксари маҷаллаву рӯзномаҳои давлатҳои гуногуни ҷаҳон ва инчунин дар рӯзномаҳои ватании мо низ ба таври васеъ ҷоп мешавад ва ҳаводорони зиёде дорад (расми 5).

Расми 5. Бозии судоку
Figure 5. Sudoku game

5	3			7				
6			1	9	5			
	9	8					6	
8				6				3
4			8		3			1
7				2				6
	6					2	8	
			4	1	9			5
				8			7	9

Дар ИМА бозии судокуро аввалин бор соли 1979 маҷаллаи «Dell Puzzle Magazine» бо номи «Number Place» нашр намуда буд. Солҳои 90-уми асри гузашта, баъд аз ба таври ғаёл дар маҷаллаи «Nikoli» ҷопонӣ нашр шудан, ин бозӣ хело машҳур гашт. Аз соли 2004 дар рӯзномаи британи «Таймс» ва дар рӯзномаи русии «Труд» судокуро аллакай ҷоп мекарданд.

Квадратҳои лотинӣ таърихи хеле қадима дошта, дар фарҳангҳои гуногуни ҷаҳон мавриди омӯзиш қарор гирифтаанд. Яке аз намунаҳои аввалини маъруфи квадрати ҷинии «Ло Шу» мебошад, ки тақрибан ба соли 2000 то милод тааллуқ дорад. Мувофиқи ривоят, ин квадрат дар пушти сангпуште ёфт шудааст, ки аз дарёи Ло пайдо гардида буд. Он квадрати тартиби сеюм буда, дар он суммаи ададҳо дар ҳар як сатр, сутун ва диагонал ба 15 баробар аст [8].

Аз Ҷин квадратҳои сеҳрнок ба Ҳинд (тақрибан дар асри XI) ва сипас ба Ҷопон омада расиданд. Ба Аврупо бошад ин гуна квадратҳо дар асри XV пайдо шуданд. Тибқи маълумоти овардашуда дар асари Ал-Берунӣ «Китоб-ал-Ҳинд» ва «Аҷоиб-ут-табиат ва ғароиб-ус-саноия» ин гуна сохторҳои ададӣ дар таҳқиқоти математикӣ ва астрономӣ мавқеи муҳим доштанд.

Квадратҳои сеҳрнок то имрӯз ҳамчун муаммоҳои зебои математикӣ бо таърихи бой шинохта шуда буданд ва бештар барои омӯзиш ва назария аҳамият доштанд. Аммо аини замон бо ташаккули технологияи иттилоотӣ ва иртиботӣ ин гуна квадратҳои сеҳрнок дар бисёр самтҳо татбиқи амалии ҳудро ёфта истодаанд. Масалан, дар самти кодгузорӣ ва ислоҳи хатогиҳо дар ирсоли маълумот: бо истифода аз принципҳои сохтани квадратҳои сеҳрнок ба додаҳо рақамҳои изофӣ илова карда мешаванд, то аз тарафи қабулкунанда хатогиҳо санҷида ва ислоҳ шаванд, дар технологияҳои рақамӣ ва тасвирсозӣ: дар баъзе таҳқиқотҳо онҳо дар коркарди тасвирҳои рақамӣ ва алгоритмҳои муосири иттилоотӣ истифода бурда мешаванд. Инчунин, квадратҳои сеҳрнок тартиби n -ум ба монанди квадратҳои лотинӣ дар рамзгузорӣ ва хеш-функсияҳо низ татбиқи хешро ёфтаанд [6; 7; 8].

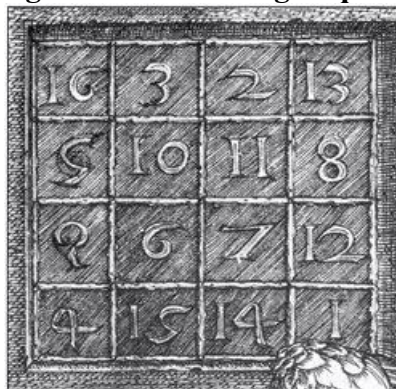
Ёфтани шумораи умумии квадратҳои сеҳрнок тартибҳои гуногун ҳамеша таваҷҷуҳи зиёдро ҷалб мекард. Маълум аст, ки квадрати сеҳрнок тартиби 2×2 вучуд надорад. Барои тартиби 3×3 танҳо як квадрат сеҳрнок вучуд дорад (бо дарназардошти гардиш ва инъикос). Квадратҳои тартиби 4×4 бошанд, 880 адад мебошанд (бо дарназардошти ҳама табдилоти симметрӣ). Аввалин маротиба ҳамаи квадратҳои сеҳрнок тартиби 4×4 -ро риёзидони фаронсавӣ Бернар Френикл де Бесси (1605–1675) сохта ва таҳқиқ кардааст. Ӯ ба омӯзиши хосиятҳо ва таснифи ин квадратҳо кори хеле муҳим анҷом додааст [12].

Бояд қайд кард, ки П.Ферма ва Л. Эйлер хосиятҳои ададҳо ва омешишу умумисозии онҳоро дар масъалаҳои назариявӣ таҳқиқ намуда, мафҳуми квадратҳои лотинӣ ва хосиятҳои комбинаторикаро инкишоф додаанд [13].

Чи тавре қайд кардем, квадрати сеҳрнок яке аз объектҳои классикии математикаи комбинаторӣ мебошад. Дар байни ин гуна квадратҳо мавқеи махсусро квадрати дар кандакорӣ «Меланхолия I»-и расоми олмонӣ Албрехт Дюрер тасвиршуда ишғол мекунад (расми 1). Ин квадрат санъати аврупоии хеле қадима ба ҳисоб меравад. Ду адади дар поён аз байн ҷойгиршуда дар квадрат санаи тасвири онро ифода мекунанд (1514).

Расми 6. Квадрати сеҳрнок Дюрер

Figure 6. Durer's magic square



Суммаи ададҳо дар сатрҳо, сутунҳо ва диагоналҳо ба 34 баробаранд. Инчунин, ин суммаро дар квадратҳои кунҷии 2×2 , квадратҳои байни ва дар квадратҳои аз рӯи гашти асп низ دیدан мумкин аст. Аксарияти симметрияҳои иловагӣ ба он вобастаанд, ки суммаи ҳар ду ададе, ки нисбат ба маркази симметрии ҷойгирбуда, ба 17 баробар аст.

Доимии сеҳрнок бо ёрии чунин формула ҳисоб карда мешавад.

$$S = \frac{n(n^2+1)}{2}. \quad (1)$$

Ин формула аз суммаи ҳамаи ададҳои дар квадрати сеҳрнок истифодашаванда пайдо мешавад. Квадрати сеҳрнокӣ тартиби n ададҳои аз 1 то n^2 -ро дар бар мегирад ва суммаи он ба $\frac{n^2(n^2+1)}{2}$ баробар аст. Азбаски квадрат аз n сатри дорои суммаи якхела иборат аст, пас формулаи (1) пайдо мешавад:

Маълум аст, ки миқдори ададҳои сеҳрнокӣ Дюрер тартиби 4 ҳамагӣ 880 то мебошад [14; 15; 16; 17]. Ин натиҷаҳо дар қорҳои таҳқиқоти математикӣ фаронсавӣ Бернар Френикл де Бесси (соли 1693) дида мешавад. Бояд қайд кард, ки ҳамаи ин квадратҳо гуногуншакл набуда, шакли эквиваленти геометрии яқдигар низ мебошанд. Масалан, дар натиҷаи даврзанонидани квадрат ба 90° , 180° , 270° ва ё дар шакли симетрии овардани он аст (8 шакли симетрии барои квадрати сеҳрнок дида мешавад).

Таърифи 3. Агар дар квадрати Дюрер танҳо суммаи сатру ва сутунҳо ба доимии 34 баробар бошад, пас онро квадрати нопурраи Дюрер меномем.

Расми 7. Квадрати нопурраи сеҳрнок

Figure 7. Incomplete magic square

6	7	9	12
15	14	4	1
3	2	16	13
10	11	5	8

Гузориши масъала ва мақсади қор. Бигзор ҳамаи квадратҳои сеҳрнокӣ тартиби 4-уми Дюрер (880 квадрат) дода шуда бошанд, ки албатта онҳо дорои чунин хосиятҳои мебошанд:

$$\sum_{j=1}^4 a_{ij} = 34, i = 1, \dots, 4,$$

$$\sum_{i=1}^4 a_{ij} = 34, j = 1, \dots, 4,$$

$$\sum_{i=1}^4 a_{ij} = 34, \sum_{i=1}^4 a_{i,5-j} = 34.$$

Квадратҳое, ки хосияти суммаи доимӣ доштани ҷаҳор квадрати кунҷии 2×2 -ро қаноат мекунанд, ёфта шаванд:

$$a_{ij} + a_{i,j+1} + a_{i+1,j} + a_{i+1,j+1} = 34.$$

Навгонии қор. Таҳияи алгоритми қоркарди квадратҳои сеҳрнокӣ Дюрер бо назардошти суммаи горизонталӣ ва вертикалӣ (квадрати нопурра) ва инчунин, суммаи якхелаи зерматритсаҳои 2×2 дида мешавад.

Алгоритми қоркарди квадрати сеҳрнокӣ тартиби 4×4 :

- Кушодани файле, ки (input.txt) дорои ҳамаи квадратҳои сеҳрнокӣ Дюрер аст.
- Хондани квадрати якум.
- Санҷиши зерматритсаҳои 2×2 .

- ҳисобкунии суммаи 4 элемент;
- бо қимати 34 муқоиса намудан;

• Дар ҳолати суммаҳо ба 34 баробар будан, дар файли дигар - output.txt сабт кардани ин квадрат.

• Ба файл дубора дохил шуда, квадрати навбатиро гирифтан.

• Пас аз коркарди ҳамаи квадратҳо аз файл хориҷ шуда, миқдори квадратҳоро низ хориҷ намудан.

Хусусиятҳои алгоритм. Алгоритми пешниҳодшуда ҷустуҷӯи мукаммалӣ ҳамаи интиҳоби рақамҳоро аз 1 то 16 анҷом намедихад, ки ин мураккабии ҳисоббариро ба таври назаррас коҳиш медиҳад. Ба ҷои коркарди квадратҳои сеҳрнок, он аз пойгоҳи додаҳои пешакӣ таҳияшуда аз 880 квадрати Дюрер истифода мебарад, ки сипас бо истифода аз шартӣ иловагии локалӣ тасниф карда мешавад.

Мушкилӣ дар ҳисобкунӣ. Алгоритми навишташуда мушкилии хаттӣ нисбат ба шумораи квадратҳои сеҳрнокӣ таҳқиқшавандаро дорад:

$$O(N),$$

ки дар ин ҷо $N = 880$. Чунки барои ҳар як квадрат шумораи тафтишҳо ба қайд гирифта мешавад.

Дар асоси алгоритми боло дар забони барномасозии Python барнома навишта шудааст.

Навишти матни барнома дар забони Python

```
# Квадрати Дюрер 2x2
def check_2x2(square):
    for i in range(3):
        for j in range(3):
            if (
                square[i][j] +
                square[i][j+1] +
                square[i+1][j] +
                square[i+1][j+1]
            ) != 34:
                return False
            return True
# хондани квадратҳо аз файл
with open("input.txt", "r") as f:
    squares = []
    current = []
    for line in f:
        line = line.strip()
        if line == "":
            if current:
                squares.append(current)
                current = []
        else:
            current.append(list(map(int, line.split())))
    if current:
        squares.append(current)
# ҷудокуни
good = [s for s in squares if check_2x2(s)]
# сабт дар файл
with open("output.txt", "w") as f:
    for sq in good:
        for row in sq:
            f.write(" ".join(map(str, row)) + "\n")
        f.write("\n")
print("Ҳамагӣ:", len(squares))
```

```
print("Квадратҳои Дюрер :", len(good))
```

Оид ба барнома. Барномаи мазкур дар забони Python барои санчиши квадратҳои сеҳрноки тартиби 4 навишта шудааст. Ҳадафи асосии барнома муайян намудани квадратҳои навъи Дюрер мебошад, ки дар онҳо суммаи ҳар як зерквадрати 2×2 ба 34 баробар аст.

Дар қисми аввали барнома функсияи `check_2x2(square)` сохта шудааст. Ин функсия тамоми зер-квадратҳои 2×2 -ро месанҷад. Агар суммаи элементҳои ҳар як зер-квадрат ба 34 баробар бошад, функсия қимати `True` бармегардонад, дар акси ҳол `False`.

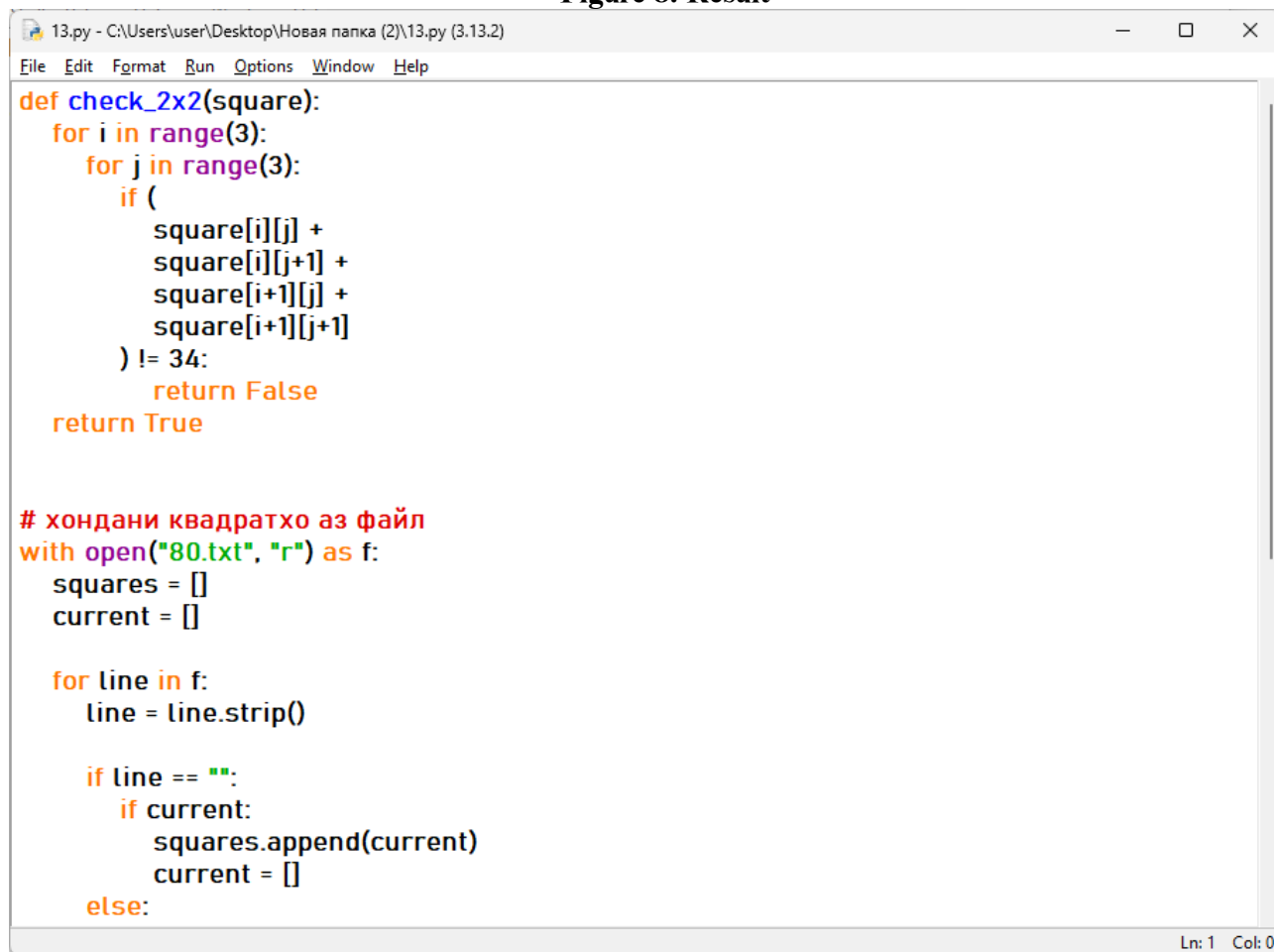
Баъдан барнома квадратҳоро аз файли `input.txt` меҳонад. Ҳар квадрат ҳамчун матритсаи 4×4 қабул карда мешавад. Пас аз хондан, квадратҳо бо ёрии функсияи `check_2x2()` санҷида мешаванд ва танҳо квадратҳои мувофиқ ба рӯйхати `good` дохил карда мешаванд.

Дар охир натиҷаҳо ба файли `output.txt` сабт мегарданд. Инчунин барнома шумораи умумии квадратҳо ва миқдори квадратҳои Дюрерро дар экран нишон медиҳад.

Ин барнома имконият медиҳад, ки квадратҳои сеҳрнок ба таври худкор таҳлил ва интихоб карда шаванд, ки барои тадқиқоти комбинаторӣ ва омӯзиши хосиятҳои квадратҳои Дюрер аҳамияти амалӣ дорад.

Натиҷа аз барнома дар расми 8 ва 9 оварда мешавад:

Расми 8. Натиҷагирӣ
Figure 8. Result



```
13.py - C:\Users\user\Desktop\Новая папка (2)\13.py (3.13.2)
File Edit Format Run Options Window Help

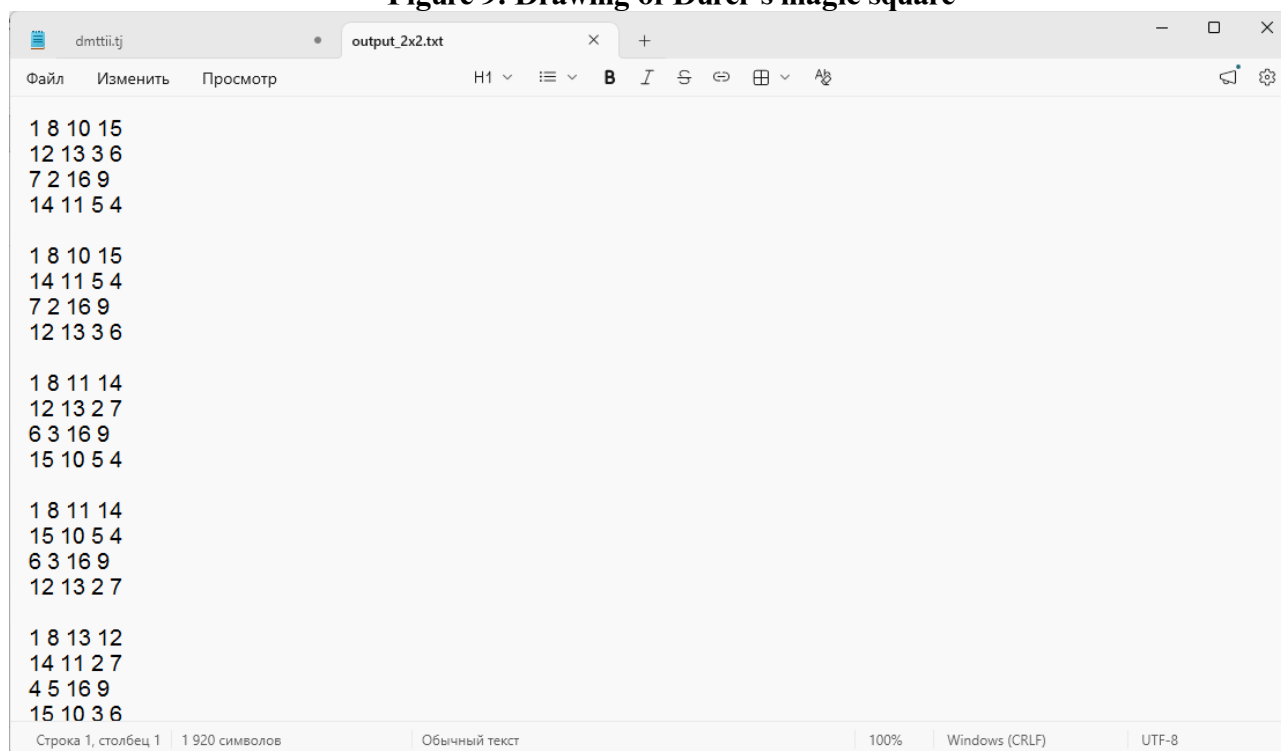
def check_2x2(square):
    for i in range(3):
        for j in range(3):
            if (
                square[i][j] +
                square[i][j+1] +
                square[i+1][j] +
                square[i+1][j+1]
            ) != 34:
                return False
    return True

# хондани квадратҳо аз файл
with open("80.txt", "r") as f:
    squares = []
    current = []

    for line in f:
        line = line.strip()

        if line == "":
            if current:
                squares.append(current)
                current = []
        else:
```

Расми 9. Хориҷкунии квадратҳои сеҳрноки Дюрер
Figure 9. Drawing of Durer's magic square



Натиҷаҳои таҷрибавӣ

Миқдори квадратҳои Дюрер: 880

Миқдори квадратҳои шартӣ: 48

Мисоли квадрати Дюрер бо шартӣ қаноаткунанда (расми 10):

Расми 10. Квадрати Дюрер
Figure 10. Durer's magic square

1	8	10	15
12	13	3	6
7	2	16	9
14	11	5	4

Хулоса. Аз байни 880 квадрати Дюрер, квадратҳое муайян карда шуданд, ки дорои хосияти иловагии квадрати сеҳрноки Дюрер мебошанд. Дар онҳо ҷамъи унсурҳои ҳар як матритсаи дохилии 2×2 ба доимии 34 баробар буда, миқдорашон 48-то мебошад. Ҳамаи ин гуна матритсаҳо дар файли алоҳида бо мақсади омӯзиш сабт карда шуданд.

Тадқиқоти мазкур тибқи нақшаи барномаи дурнамои фаъолияти илмӣ-тадқиқотии кафедраи технологияҳои иттилоотӣ ва иртиботии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон дар мавзӯи «Тадқиқоти ҷанбаҳои тадқиқии технологияҳои иттилоотӣ ва иртиботӣ, алгоритмҳои криптографӣ, омӯзиши мошинию зеҳни сунъӣ дар масъалаҳои устуворӣ, системаҳои динамикӣ ва амнияти иттилоот» барои солҳои 2026-2030 таҳти унвони мониторинги раванди иттилоотсозии системаи маориф, ки ба тадқиқи солҳои 2020-2040 «Бистсолаи рушди омӯзиши ва фанҳои табиатишunosӣ, дақиқ ва риёзӣ» ва солҳои 2025 – 2030 «Солҳои рушди иқтисоди рақамӣ ва инноватсия» пешниҳод шудааст, амалӣ карда шудааст (рақами давлатии бақайдгирифташудаи №0122ТҶ1417).

АДАБИЁТ

1. Успенский Я.В., Избранные математические развлечения / Я.В. Успенский. -Петроград: Сеятель Е.В. Высоцкого, 1924. -262 с.

2. Кордемский Б.А. Математическая смекалка / Б.А. Кордемский. -М.: ГИФМЛ. 1958. -576 с.
3. Чебраков Ю.В. Магические квадраты. Теория чисел, алгебра, комбинаторный анализ / Ю.В. Чебраков. -СПб.: СПб. ГТУ, 1995. -368 с.
4. Ашӯров М. Алгоритми сохтани квадратҳои сеҳроки тартибашон тоқ ва таҳияи барномаҳои онҳо дар C++ / М. Ашӯров, Х. Ашӯров // Маводи конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ бахшида ба ёдбуди Абдуфаттоҳ Хотамов. Оид ба мушкилоти муосири рушди қобилиятҳо ва имкониятҳои иқтисодӣ хонандагон ва хатмкунандагони муассисаҳои таълимии махсусгардонидашуда. –Душанбе, 15-16 майи соли 2022. –С.172-176.
5. Ашӯров М. Масъалаҳои шавқовари математикӣ (қисми 2) / М. Ашӯров. –Душанбе, 2009. -230 с.
6. Ашӯров М. Масъалаҳои шавқовари математикӣ ва мантиқӣ барои ҳозирчавобон (қисми 2) / М. Ашӯров, Х.М. Ашӯров. –Душанбе, 2020. -188 с.
7. Комилов О.О. Квадратҳои лотинӣ / О.О. Комилов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои дақиқ. - 2014. -№1/2(130). –С.64-67.
8. Гарднер М. Путешествие во времени / М. Гарднер. -М.: Мир, 1990. -335 с.
9. Комилов О.О. О применениях квазигрупп в шифре Тритемуса / О.О. Комилов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - 2017. -№1-5. –С.128-133.
10. Комилов О.О. Асосҳои назариявии амнияти иттилоотӣ. Китоби дарсӣ / О.О. Комилов. –Душанбе, 2025. – 160 с.
11. Комилов О.О. Криптографическая хэш-функция на основе простых квазигрупп / О.О.Комилов // Вестник Филиала МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе. Серия естественных и геологических наук. – 2025. -№2(47). -Том 1. –С.16-30.
12. Гуревич Е.Я., Тайна древнего талисмана / Е.Я. Гуревич. –М.: Наука, 1969. –151 с.
13. Тужилин М.Э. Латинские квадраты и их применение в криптографии / М. Э. Тужилин // Прикладная дискретная математика. - 2012. -№3. –С.47-52.
14. Mazur B., Modular curves and the Eisenstein idea / B. Mazur // Publications Mathématiques de l'IHÉS. - 1977. -Vol. 47. –Pp.33–186.
15. Minc H. Permanents / H. Minc // Advances in Mathematics. - 1978. -Vol.27. -No.2. –Pp.117–146.
16. Kenichi Takemura. Algebraic Classification of All 880 Fourth-Order Magic Squares and the Discovery of Complete Alternating Magic Squares. arxiv.org/pdf/2601.06131
17. TrumW. “The880magicsquaresoforder4,”arXivpreprint, 2018. arXiv: 1804. 10565.

АЛГОРИТМИ СОХТАНИ КВАДРАТИ СЕҲРОКИ ДЮРЕР БО ИСТИФОДА АЗ УСУЛИ СИММЕТРӢ

Дар ин мақола алгоритми таҳлили квадратҳои сеҳроки тартиби чорум (квадрати сеҳроки Дюрер) дар асоси 880 квадратҳои пешакӣ ёфташуда баррасӣ мешавад. Идеяи асосии ин усул санҷиши ҳосияти иловагии локалӣ мебошад, ки бо ҷамъи унсурҳои ҳамаи зерматритсаҳои дохилии 2×2 алоқаманд аст. Ҳар як квадрат аз маҷмуи ибтидоӣ аз тартиби филтркунӣ мегузарад, ки ҷамъи унсурҳои чор матритсаи хурди 2×2 -ро ҳисоб мекунад. Квадрат шартӣ иловагиро қонеъкунанда ҳисобида мешавад, агар ҳамаи ҷунин суммаҳои он ба доимии 34 баробар бошанд. Ин мақола аз ҳисобкунии пурраи квадратҳои сеҳроки канорагирӣ мекунад, ки ҳарҷоти ҳисобкуниро ба таври назаррас коҳиш медиҳад. Ба ҷои ин, пойгоҳи додаҳои пешакӣ омодашуда истифода мешавад, ки дар болои он тартиби санҷиши ҳаттӣ амалӣ карда мешавад. Алгоритм дар Python амалӣ карда мешавад, ки кори қулайро бо матритсаҳо ва коркарди маҷмуи додаҳои калон осон мекунад. Натиҷаҳои таҷрибаи ҳисоббарорӣ нишон медиҳад, ки равиши пешниҳодшуда як зермаҷмуи квадратҳоро бо ҳосиятҳои иловагӣ самаранок муайян мекунад. Натиҷаҳои бадастовардашуда метавонанд дар таҳқиқоти минбаъдаи сохтори квадратҳои сеҳроки ва хусусиятҳои локалии онҳо истифода шаванд. Усули пешниҳодшударо барои омӯзиши минбаъдаи ҳосиятҳои комбинатории квадратҳои сеҳроки истифода бурдан мумкин аст.

Калидвожаҳо: квадрати сеҳроки, Дюрер, маҷмуъ, симметрия, комбинаторика, ҷойивазкунӣ, алгоритм, коркард, ҷустуҷӯи баръакс, судоку, забони барномасозии Python, синфи каноникӣ, кодгузорӣ, ҳосияти ассоциативӣ.

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ МАГИЧЕСКИХ КВАДРАТОВ ДЮРЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИММЕТРИЧНОГО МЕТОДА

В данной работе рассматривается алгоритм анализа магических квадратов 4-го порядка (квадратов Дюрера) на основе заранее сформированного множества из 880 вариантов. Основная идея метода заключается в проверке дополнительного локального свойства, связанного с суммами элементов всех внутренних подматриц размера 2×2 . Каждый квадрат из исходного множества проходит процедуру фильтрации, при которой вычисляются суммы элементов четырех малых квадратов 2×2 . Квадрат считается удовлетворяющим дополнительному условию, если все такие суммы равны магической константе 34. В работе не выполняется полный перебор магических квадратов, что позволяет существенно снизить вычислительные затраты. Вместо этого используется предварительно подготовленная база данных, над которой реализуется линейная процедура проверки. Программная реализация алгоритма выполнена на языке Python, который обеспечивает удобную работу с матрицами и обработку больших наборов данных. Результаты вычислительного эксперимента показывают, что предложенный подход эффективно выделяет подмножество квадратов с дополнительными свойствами. Полученные результаты могут быть использованы при дальнейшем исследовании структуры магических квадратов и их локальных характеристик. Предложенный подход может быть использован для дальнейшего изучения комбинаторных свойств магических квадратов.

Ключевые слова: магический квадрат, Дюрер, множество, симметрия, комбинаторика, перестановка, алгоритм, обработка, обратный поиск, sudoku, язык программирования Python, канонический класс, кодирование, ассоциативное свойство.

ALGORITHM FOR CONSTRUCTING DÜRER MAGIC SQUARES USING THE SYMMETRIC METHOD

This paper discusses an algorithm for analyzing fourth-order magic squares (Dürer squares) based on a pre-generated set of 880 variants. The main idea of the method is to test an additional local property associated with the sums of the elements of all internal 2×2 submatrices. Each square from the initial set undergoes a filtering procedure, which calculates the sums of the elements of four smaller 2×2 squares. A square is considered to satisfy the additional condition if all such sums are equal to the magic constant 34. This paper avoids a complete enumeration of magic squares, which significantly reduces computational costs. Instead, a pre-prepared database is used, over which a linear verification procedure is implemented. The algorithm is implemented in Python, which facilitates convenient work with matrices and the processing of large datasets. The results of the computational experiment show that the proposed approach effectively identifies a subset of squares with additional properties. The obtained results can be used in further research into the structure of magic squares and their local characteristics. The proposed approach can be used to further study the combinatorial properties of magic squares.

Keywords: magic square, Durer, set, symmetry, combinatorics, permutation, algorithm, processing, reverse search, Latin square, Sudoku, Python programming language, canonical class, coding, associative property.

Маълумот дар бораи муаллиф: *Ашуров Хуришед Мирумарович* – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, номзади илмҳои иқтисодӣ, дотсенти кафедраи технологияи иттилоотӣ ва иртиботӣ. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. Телефон: **93-412-33-33**. E-mail: **ka.itt@yandex.ru**

Одилзода Оқил Одил – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, номзади илмҳои физика-математика, дотсенти кафедраи технологияҳои иттилоотӣ ва иртиботӣ. **Адрес:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. Телефон: **(+992) 92-828-12-21**. E-mail: **okil.komilov@yandex.ru**

Сведения об авторах: *Ашуров Хуришед Мирумарович* – Таджикский национальный университет, кандидат экономических наук, доцент кафедры информационной и коммуникационной технологии. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. Телефон: **(+992) 93-412-33-33**. E-mail: **ka.itt@yandex.ru**

Одилзода Оқил Одил – Таджикский национальный университет, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информационной и коммуникационной технологий. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. Телефон: **(+992) 92-828-12-21**. E-mail: **okil.komilov@yandex.ru**

Information about authors: *Ashurov Khurshed Mirumarovich* - Tajik National University, candidate of economic sciences, Associate Professor of the Department of Information and Communication Technologies. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. Phone: **(+992) 93-412-33-33**. E-mail: **ka.itt@yandex.ru**

Одилзода Оқил Одил – Tajik State University, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the department of informations and communications technology. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. Phone: **(+992) 92-828-12-21**. E-mail: **okil.komilov@yandex.ru**

Мақола ба редакция ворид шуд: 24.06.2026

Аз тақриз баргашт: 19.08.2026

Ба чоп тавсия шуд: 06.10.2026

Шарифзода З.И.

Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, ИИТ

Мукаддима ва марҳилаҳои криптография. Чи тавре мо медонем, аз замони қадим барои махфӣ равои сохтани иттилооти арзишнок, усулҳои гуногунро истифода мебаранд. Дар замони мо низ масъалаҳои махфикунонӣ ё махфӣ равои намудани иттилооти арзишнок масъалаи кушода буда, мутахассисони соҳаи амнияти компютерӣ ва криптография дар талоши пайдо намудани усулҳои нав ба нав ҳастанд. Яъне, ин масъала, ки ба иттилоот вобаста аст, аз ин рӯ, доимо серталаб ва актуалӣ хоҳад буд. Аз ин рӯ, суоли информатсияи арзишнокро ба нафари дуюм ё сеюм чӣ гуна равои намоем, ки нафари дигар аз он огоҳ нагардад? Суоли ҳамагӯза аст. Одамон аз вақти пайдоиши хат барои ҳалли масъалаи мазкур воситаҳои зиёдеро пешниҳод кардаанд. Умуман, се усули маъмули ҳалли ин масъала вучуд дорад [2; 12; 14; 3; 1; 10]:

- 1) “сохтани канали алоқаи боваринок байни муштариён тавре, ки ба дигарон дастнорас бошад”;
- 2) “истифодаи канали алоқаи умумӣ, вале ба таври махфӣ равои кардани иттилоот”;
- 3) “истифодаи канали алоқаи умумӣ, вале равои кардани иттилооти лозимӣ тавассути он ба сурате, ки танҳо қабулкунандаи асосӣ онро барои хондан барқарор карда тавонаду ҳалос”.

Таърихи криптографияро тақрибан чор ҳазор сола гуфтан мумкин аст. Асоси критерияи давра ба давра ҷудокунии криптографияро хусусиятҳои техникаи усулҳои рамзгузорӣ ташкил медиҳад [12; 1]:

- 1) Аз асри VI-и пеш аз милод оғоз гардидааст. Принципи асосӣ дар ин марҳила иваз намудани як ҳарф бо ҳарфи дигар ва ё ивази ягон рамз ба рамзи дигар мебошад [7; 8]. Мисоли рамзҳои ин давра: рамзи Атбаш, таҷхизоти Скитал (а. V), диск ва ҷадвали Энея (а. IV), квадрати Полибия (а. II), Рами Сезар (I) ва ғайра.

- 2) Аз асри IX мелодӣ оғоз гардида то ибтидои асри XX давом кардааст. Мисоли рамзҳои ин давра: корҳои ал-Фараҳидӣ (718-791), Ал-Киндӣ (801-847), ал-Қалқашандӣ (1355-1412) ва баъдан сар карда аз асри 15 дар Аврупо корҳои Леон Баттист Алберт (1466), Кардано (1550), Блез де Виженер (1585), Плейфер (1854 Англия) ва дигаронро номбар кард.

- 3) Аз ибтидои асри XX сар карда то нимаи он давом кардааст. Дар ин давра воситаҳои электромеханикаии рамзгузорӣ ва рамзкушоӣ пайдо шудаанд. Дар ин давра корҳои Вернам (1917), Энигма (1920), Хилл (1929) ва дигаронро метавон номбар кард.

- 4) Аз миёнаи асри XX оғоз гардида то солҳои 70-уми ин аср давом кардааст. Ин марҳила марҳилаи гузариш ба криптографияи математикӣ ба ҳисоб меравад. Дар корҳои Шеннон мафҳумҳои миқдори иттилоот, интиқоли иттилоот, энтропия, функсияи рамзгузорӣ ва ғайра пайдо шудаанд.

Марҳалаҳои се ва чор марҳилаҳое мебошанд, ки онҳо рамзҳои бисёралифбогӣ ва математикиро дар бар мегиранд. Яъне, дар онҳо элементҳои назарияи ададҳо истифода шудааст. Далелҳо вучуд доранд, ки криптография ҳамчун як усули ҳифзи матн дар баробари пайдошавии хат ба вучуд омадааст ва усулҳои махфӣ намудани он аллакай дар мамолики қадимии Ҳиндустон, Миср ва Байнаннаҳрайн маълум буданд. Дар дарёфтҳои қадимии Ҳиндустон 64 усули тағйир додани матн ном бурда мешавад, ки баъзе аз онҳоро метавон ба криптография тасниф кард [14; 1]. Мутахассисе аз Байнаннаҳрайн, ки зарфҳои сафолиро оро меод, барои пинҳон кардани навиштаҷот аз аломатҳои махсус бо мақсади пинҳон намудани навиштаҷот истифода мекард, яъне ҳарфҳои партофта ба ҷойи номҳои рақамҳои истифода менамуд.

Криптография қалимаи ҷунонӣ буда, маънояш махфӣ менависам. Он илмест, ки методҳои конфиденсиалӣ, якорчагии иттилоот, аутентификасия ва таъмини

имконнопазирии инкор аз муаллифиятро меомӯзад. Чунин усулҳои табдилдиҳии иттилоотро шифр (рамз) меноманд.

Рамзҳои классикии математикӣ аз ибтидои асри XX сарчашма мегиранд [9]. Дар ин аср қисмҳои математика, ки асоси криптографияи математикиро ташкил менамуданд, пайдо шуданд. Мисли алгебраи умумӣ, назарияи ададҳо [6; 5], назарияи эҳтимолият, статистикаи математикӣ.

Марҳилаи калидӣ дар рушди криптография кори барҷастаи Клод Шеннон, назарияи коммуникатсияи системаҳои махфӣ мебошад, ки гузориши махфӣ, ки муаллиф дар соли 1945 пешниҳод кардааст ва аз ҷониби ӯ дар маҷаллаи техникии “Bell System” дар соли 1949 нашр шудааст. Дар ин асар, ба гуфтаи бисёре аз криптографҳои муосир [2; 3; 9], равиш ба криптография дар маҷмӯъ ҳамчун илми риёзӣ бори аввал нишон дода шудааст”. Асосҳои назариявии он мураттаб ва мафҳумҳо пешниҳод карда шуданд, ки бо шарҳи он донишҷӯён имрӯз ба омӯзиши криптография шуруъ мекунанд. Дар солҳои 1960-ум, шифрҳои гуногуни блокӣ пайдо шуданд, ки нисбат ба усулҳои пешина устувортар мебошанд. Бояд қайд намуд, ки пас аз ҷанги якуми ҷаҳон методҳои криптографиро махфӣ нигоҳ медоштанд.

Дар соли 1967 китоби Дэвид Кан бо номи «Взломщики кодов» нашр гардид. Гарчанде он ягон усули нави криптографиро дар бар надошт, аммо усулҳои криптографияи ҳамон давраро ба пуррагӣ шарҳ дода буд ва як қатор маълумотҳое, ки ҳатто ҳукумати ИМА дар ҳамон давра махфӣ нигоҳ медошт, муаллиф дар китобаш нашр гардонид. Китоби мазкур аз ҷиҳати иқтисодӣ даромади хуб дод. Аз ҳамон давра мақолаҳои ҳифзи иттилоот ва усулҳои криптографӣ боз дар нашри озод пешниҳод гардиданд [14].

Тахминан дар ҳамон солҳо Хорст Фейстел аз кори неруҳои ҳавоии ИМА ба лабораторияи ширкати IBM мегузарад. Дар он ҷо номбурда ба таҳияи усулҳои нави криптографӣ машғул шуда, шабакаи Фейстелро таҳия менамояд, ки он минбаъд асоси тамоми усулҳои криптографияи муосир, аз ҷумла рамзи Lucifer, ки шабеҳи рамзи DES-стандартӣ рамзгузори ИМА аз 23-юми ноябри соли 1976 ҳамчун рамзи ошқори рамзгузорӣ пешниҳод гардида буд, ташкил медиҳад.

Дар асоси шабакаи Фейстел дигар усулҳои криптографӣ мисли TEA (1994 сол), Twofish (1998 сол), IDEA (2000 сол) ва инчунин ГОСТ 28147-89, ки стандартӣ рамзгузори Русия аз соли 1989 ба ҳисоб меравад, сохта шудаанд.

Аз солҳои 2000-ум то инҷониб алгоритмҳои зерин аз қабili гузоштани имзо, ҳеш-функсия, аудитентификатсия ва монанди инҳо барои ҳифзи иттилоот истифода мегарданд: RSA, AES, SHA-1/2, ECC, AES-GCM, SHA-3, Kyber, Dilithium, McEliece, Argon2id ва ғайра [4; 13; 15].

Методҳои криптографӣ дар татбиқи масъалаҳои зерин истифода бурда мешаванд:

1. Имзои электронии рақамӣ (ИЭР) - имзои рақамӣ воситаи криптографиест, ки ҳақоният (аутентификатсия), яқпорчагӣ ва рад накардани муаллифияти ҳуҷҷати электрониро тасдиқ мекунад. Он дар асоси алгоритмҳои ассиметрӣ (ба монанди RSA ё ECDSA) сохта шуда, аз ду калид иборат аст: калиди пӯшида барои гузоштани имзо ва калиди кушода барои санҷиши он. Ин технология имкон медиҳад, ки дилхоҳ тағйирот дар матни ҳуҷҷат пас аз имзо кардан ғайриимкон месозад.

2. Маблағҳои электронӣ - дар низомҳои пардохти электронӣ криптография барои пешгирӣ аз қаллобӣ, нусхабардории маблағҳо ва таъмини махфияти транзаксияҳо истифода мешавад.

3. Қуръакашии электронӣ - дар ин ҷо криптография барои таъмини шаффофият истифода мешавад, то ягон тараф натавонад натиҷаро пешакӣ бинад ё онро тағйир диҳад. Иштирокчиён интиҳоби худро дар шакли маълумоти пинҳонкардашуда мефиристанд ва танҳо пас аз ҷамъоварии ҳамаи овозҳо калиди рамзкушоӣ пешниҳод мегардад, ки ин даҳолатро ба натиҷаҳо ғайриимкон месозад.

4. Шартномаҳои гузошташудаи яқвақта - ин методҳо имкон медиҳанд, ки як тараф ба тарафи дигар бидуни он ки ҳуди маълумоти махфиро ифшо намояд, дурустии ягон маълумотро (масалан, доштани маблағи кофӣ ё ҳуқуқи дастрасӣ) исбот кунад. Дар шартномаҳои электронӣ ин усул барои тасдиқи иҷрои шартҳо бе кушодани сирри тичоратӣ ва маълумоти шахсӣ хизмат мекунад.

5. Ҳимояи қоғазҳои қиматнок - дар шакли электронӣ нигоҳ доштани қоғазҳои қиматнок ҳифзи баланди криптографиро талаб мекунад, то аз сохтакории онҳо пешгирӣ

шавад. Методҳои криптографӣ барои тамғагузории вақт ва бақайдгирии катъии моликият истифода мешаванд, ки ҳукуки соҳибмулкоро дар феҳристҳои электронӣ беҳатар мегардонанд.

6. Овоздиҳии электронӣ - ин яке аз мураккабтарин масъалаҳои криптографӣ мебошад, ки бояд ҳамзамон ду шарт ба ҳам муқобилро иҷро кунад: махфияти овоз (касе нафаҳмад, ки кӣ ба кӣ овоз дод) ва шаффофияти ҳисоб (ҳама боварӣ ҳосил кунанд, ки овозҳо дуруст ҳисоб шудаанд). Барои ин протоколҳои гомоморфӣ истифода мешаванд, ки имкон медиҳанд амалиёти математикӣ (ҷамъбасти овозҳо) мустақиман бо додаҳои рамзшуда, бидуни кушодани онҳо иҷро карда шавад.

Тамоми усулҳои дар боло номбаркардашуда на танҳо махфияти иттилоотро кафолат медиҳанд, балки ягонагии додаҳо ва ҳаққонияти ирсолкунандаро низ таъмин месозанд, ки ин барои низомҳои бонкии муосир ва ҳукумати электронӣ хеле муҳим аст. Бо назардошти афзоиши таҳдидҳои киберӣ ва пайдоиши компютерҳои квантӣ, таҳқиқи устувории криптографии алгоритмҳои мавҷуда ва тақмили онҳо аҳамияти хосса пайдо мекунад. Истифодаи васеи рамзҳои симметрӣ ва асимметрӣ дар протоколҳои шабакавии SSL/TLS ва технологияҳои занҷираи блокҳо далели дигари мубрам будани омӯзиши ин соҳа мебошад. Таҳлили ҷанбаҳои назариявӣ ва амалии ин рамзҳо имкон медиҳад, ки моделҳои устувори ҳифзи иттилоот бар зидди ҳамлаҳои муосир сохта шаванд. Ҳамин тариқ, таҳқиқи рамзҳои асимметрӣ барои рушди инфрасохтори амнияти иттилоотии миллий ва байналмилалӣ нақши калидӣ мебозад.

Чи тавре аз гуфтаҳои боло бармеояд, таҳқиқи технологияҳои ҳифзи иттилоот, на танҳо паҳлуи техникий масъала, балки самти афзалиятноки амнияти миллиро фаро мегирад. Дар ин замина, Асосгузори сулҳу ваҳдати миллий - Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон дар Паёми навбатӣ ба Маҷлиси Миллии Маҷлиси Олии Ҷумҳурии Тоҷикистон санаи 16.12.2025 чунин таъкид намудаанд: «Имрӯз моро зарур аст, ки раванди идоракунии давлатиро бо истифода аз технологияҳои рақамӣ ва зеҳни сунӣ ба роҳ монда, таъсири омили инсониро дар тамоми соҳаҳо ва ҳама гуна муносибатҳои молиявӣ коҳиш диҳем».

Дар асри XXI рақамикунонӣ ба унсури асосии пешрафти давлатҳо табдил ёфтааст. Пешвои миллат бо дарки амиқи зарурати ин раванд таъкид менамояд, ки Тоҷикистон бояд ба иқтисоди рақамӣ гузарад ва тамоми соҳаҳои ҳаёти иҷтимоӣ ва иқтисодиро бо технологияҳои навин мутобик созад. Ин раванд на танҳо самаранокӣ истеҳсолот ва хизматрасониро меафзояд, балки шаффофият ва дастрасии шаҳрвандонро ба хизматрасониҳои давлатӣ таъмин мекунад.

Гузориши масъала ва натиҷа. Инсоният кӯшиши онро дорад, ки ахбори навиштаи ӯро на ҳама хонда тавонад. Ахбор имрӯз ба мисли нафту газ эътибор пайдо намудааст. Касе аввал ба ахбор соҳиб мешавад, ӯ бомуваффақият хоҳад буд. Коркарди ахборро бо усулҳои гуногун пешниҳод намудан мумкин аст. Дар доираи ин кор тасмим гирифта шуд, ки ҳифзи иттилоотро бо истифода аз алгоритмҳои мураккабшудаи классикӣ таъмин намоем. Барои он ки нафари ихтисосманд ба пешниҳод намудани усулҳои нави пинҳону равон кардани матн машғул бошад, аввалан ба ӯ зарур аст, ки усулҳои содатарро аз худ намуда, сипас, ба сохтани усулҳои нав машғул гардад. Дар доираи ин кор дар назди ман масъалаи омӯзиши усулҳои классикӣ методҳои криптографӣ бо дарназардошти васеъкунии онҳо гузошта шудааст.

Иттилооте, ки байни иштирокунандагон ҳангоми додугирифт равона карда мешавад, махфӣ карда мешаванд, зеро дар байн нафари бегона аз мазмуни навишташудаи онҳо бохабар нагардад.

Барои сохтани калидҳо методҳои муайяне мавҷуд нест. Аммо бештар вақт ба сифати онҳо ададҳои сода, ададҳои дилхохи натуралӣ, ададҳои тоқ ё ададҳои тасодуфиро аз рӯи ягон қонунияти муайян интихоб менамоянд.

Махфикунонӣ дар ҳифзи иттилоот мавқеи калидиро мебозад. Он имконияти ҳифз аз дастрасии беиҷозат, ҳамлаҳои киберӣ ва гумшавии иттилоотро медиҳад, ки дар замони имрӯзаи рақамӣ муҳим аст. Яке аз усулҳои маъмули рамзгузорӣ - ин рамзи Аффина мебошад [11], ки дар асоси гузоришҳои хаттӣ кор мекунад.

Моделҳои математикии рамзи Аффина чунин аст:

$$E(x) = (ax + b) \bmod m, \quad (1)$$

$$D(x) = a^{-1}(x - b) \bmod m, \quad (2)$$

дар ин ҷо $E(x)$ – рамзи махфикардасида, x - қимати ададии рамзи матни ошкор, m – миқдори ҳарфҳо дар алифбо, a ва b калидҳои махфикунонӣ, $D(x)$ -рамзи ошкоршуда, a^{-1} - қимати мултипликативии баръакси a аз рӯи модули m . Қимати баръакси a^{-1} – ин ададе мебошад, ки шартӣ зеринро қаноат мекунад $(a \cdot a^{-1}) \bmod m \equiv 1$. Барои ёфтани қимати баръакси a^{-1} алгоритми васеъкардасидаи Евклид [6; 5]-ро истифода бурдан мумкин аст. Бояд гуфт, ки ба сифати a қиматҳоеро интиҳоб намудан лозим аст, ки бо қимати m байнан сода бошанд.

Дар кори мазкур рамзи мураккабкардасидаи Аффина барои алифбои забони тоҷикӣ бо истифода аз калидҳои динамикӣ дида баромада шудааст. Калидҳои динамикӣ гуфта, калидҳоеро меноманд, ки вобаста аз шартҳои муайян қимати худро тағйир медиҳад, масалан, аз мавқеи рамз дар матни ошкор, вақт, қиматҳои тасодуфӣ ва дигар параметрҳо. Мақсади истифодаи калидҳои динамикӣ дар мураккаб намудани раванди ошкорсозии иттилооти махфикардасида мебошад. Дар ин замина чунин иттилоот аз ҳамлаҳои киберӣ устувортар мемонад. Зеро ҳар як рамзи матни ошкор бо истифода аз калиди нав махфӣ карда мешавад.

Истифодаи калидҳои динамикӣ дар рамзи Аффина. Дар формулаҳои (1) ва (2) ба ҷойи калидҳои одӣ калидҳои a_i ва b_i -ро интиҳоб мекунем, ки аз мавқеи ҳарфи i -ум дар матн вобаста аст. Барои ҳар як рамзи дар матни ошкор буда, калиди хос сохта мешавад, ки ин усул алгоритми Аффинаро барои аз ҳамлаҳо тобовар шудан устувор мегардонад.

Бигзор ҷадвали рамзҳо барои алифбои забони тоҷикӣ дар намуди зерин дода шуда бошад:

Аа	Бб	Вв	Гг	Ғғ	Дд	Ее	Ёё	Жж	Зз	Ии	Ӣӣ
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ӯӯ	Ққ	Ққ	Лл	Мм	Нн	Оо	Пп	Рр	Сс	Тт	Уу
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Ҳҳ	Фф	Хх	Ҳҳ	Чч	Чч	Шш	Ъъ	Ээ	Юю	Яя	.
24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
,	?	!									
36	37	38									

Ба сифати мисоли матни ошкор ду мисраъ аз эҷодиёти Умари Хайёмро интиҳоб менамоем:

Бар бод макун зи ғам, ки боде бошад,

Ҳар тира ба сароб гӯем, ки тира бошад.

Дар ҳолати мо $m = 39$ ва ба сифати калиди a_i , дар кучо $i = 1, 2, \dots$, то дарозии матн, маҷмуи ададҳоеро интиҳоб менамоем, ки бо m байнан сода ҳастанд. Ба сифати калиди b_i – маҷмуи ададҳои чуфтро интиҳоб менамоем.

Соختани калидҳо: қиматҳои калиди a_i , ки бо m байнан сода мебошанд, интиҳоб мекунем ва барои соختани чунин ададҳо аз алгоритми Евклид [6] оид ба ёфтани калонтарин тақсимкунандаи умумии ду адад (КТУ) истифода мебарем, зеро ададҳои байни ҳам сода ин ададҳо мебошанд, ки $КТУ(a, m) = 1$ аст:

$a_i = \{2, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 14, 16, 17, 19, 20, 22, 23, 25, 28, 29, 31, 32, 34, 35, 37, 38, 40, 41, 43, 44, 46, 47, 49, 50, 53, 55, 56, 58, 59, 61, 62, 64, 67, 68, 70, 71, 73, 74, 76, 77, 79, 80, 82, 83, 85, 86, 88, 89, 92, 94, 95, 97, 98\}$.

Ба сифати калидҳои b_i пайдарпайии ададҳои чуфтро интиҳоб менамоем:

$b_i = \{2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 52, 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 76, 78, 80, 82, 84, 86, 88, 90, 92, 94, 96, 98, 100, 102, 104, 106, 108, 110, 112, 114, 116, 118, 120\}$.

Махфикунонӣ: Дар асоси калидҳои интиҳобкардасида ва формулаи (1) чунин матни махфикардасидаро пайдо намудем (ниг. ба рас.1):

Расми 1. Татбики рамзи Аффина бо истифодабарии калидҳои динамикӣ. Раванди махфикунонии иттилоот

Figure 1. Implementation of the affine cipher using dynamic keys. Encryption process

ғғч о,ш бр.ми са ғ??л юп нҳкч яғачзй
яам фмхй ло чўимб !шуэс нн шяам !каххж

Раванди пайдо намудани матни ошкор: барои пайдо намудани матни ошкор, яъне матни асли барои ҳамаи қимати калидҳои a_i бояд қимати баръакси a_i^{-1} ёфта шавад. Дар ин ҷо қиматҳои баръакси ёфташуда, чунин маҷмуи қиматҳо мебошанд:

$a_i^{-1} = \{20, 10, 8, 28, 5, 4, 32, 14, 22, 23, 37, 2, 16, 17, 25, 7, 35, 34, 11, 31, 29, 19, 38, 1, 20, 10, 8, 28, 5, 4, 32, 14, 22, 23, 37, 2, 16, 17, 25, 7, 35, 34, 11, 31, 29, 19, 38, 1, 20, 10, 8, 28, 5, 4, 32, 14, 22, 23, 37, 2\}$.

Дар асоси a_i^{-1} , b_i ва формулаи (2) матни аслиро ба даст овардем (ниг. ба рас.2):

Расми 2. Татбики рамзи Аффина бо истифодабарии калидҳои динамикӣ. Раванди пайдо намудани иттилооти асли

Figure 1. Implementation of the affine cipher using dynamic keys. Decryption process

Бар бод макун зи ғам, ки боде бошад,
Ҳар тира ба сароб гўем, ки тира бошад.

Дар қадами навбатӣ мо масъаларо каме душвор мекунем. Қимати калиди тасодуфии a_i -ро ба дараҷаи n мебардорем, яъне a_i^n , дар қуло 500 < n < 200000000. Дар ин маврид

мушкилии кор бо ададҳои калон пеш меояд. Чи тавре мо медонем, кор бо ададҳои калон хусусан агар забонҳои барномасозии мисли Delphi, C++ ва C# дар таҳияи барнома истифода бурда шаванд. Барои ҳалли чунин масъала функсияи махсусе бояд сохта шавад ё аз китобхонаҳои махсус истифода барем, ки бо ададҳои калон кор карда тавонад. Дар ин кор функсияе сохта шуд, ки масъалаи ба миён омадаро ҳал мекунад. Формулаҳои (1) ва (2)-ро дар намуди зерин менависем:

$$E(x) = (a_i^n x + b_i) \bmod m, \quad (3)$$

$$D(x) = (a_i^n)^{-1}(x - b_i) \bmod m, \quad (4)$$

Ба сифати дуюм мисол матни зеринро интихоб менамоем “Сухан санчида гӯй то дӯстро душман нагардонӣ!”. Бигзор ҳамаи қиматҳои калиди a_i дар дараҷаи 2500 бошанд, яъне a_i^{1000} . Қимати калиди b_i -ро бошад иваз наменамоем, бигзор ҳамон маҷмуи ададҳои чуфт бошанд. Аз ин ҷо дар асоси формулаи (3) барномаи сохташуда чунин матни махфӣкардашударо пешниҳод менамоем (ниг. ба рас.3): “хгэжх ?мняжнх юхъ лп ёъшйюу ў?.вхк н.ёаи,ўъсп”. Ҳангоми иҷрои амали рамзкушоӣ матни аслиро ба даст меорем (ниг. ба рас.4): “сухан санчида гӯй то дӯстро душман нагардонӣ!”.

Расми 3. Амали рамзгузорӣ ҳангоми a_i^n , $n = 2500$

Figure 3. Encryption process during a_i^n , $n = 2500$

Расми 4. Амали рамзкушоӣ ҳангоми a_i^n , $n = 2500$

Figure 4. Decryption process during a_i^n , $n = 2500$

Мисоли навбатиро меорем, ки дар он ба таври муфасссал интихоби калидҳо дида мешавад. Барои ҳар як рамзи дар матни пешниҳодшуда, калиди ба худ хос сохта шудааст. Интихоби калидҳо одатан махфӣ сурат мегирад ва дар кор он танҳо барои додани маълумот ба хонанда ва дарки сатҳи мураккабии алгоритми васеъкардашудаи Аффина пешбинӣ шудааст. Барои ҳар як қимати интихобкардашуда ва барои ба даст овардани матни асли бояд ададҳои байни ҳам содари ёфт, ки ин амали ёфтани ададҳои баръаксро ба нафари бегона душвор мегардонад. Мисоли навбатиро дида мебароем:

Матни асли: “Мавҷудияти ҳалҳои даврӣ дар муодилаҳои аз параметр вобаста яке аз самтҳои муҳими таҳқиқот дар математикаи амалӣ ва назарияи муодилаҳои дифференсиалӣ мебошад. Ин гуна муодилаҳо дар бисёр соҳаҳои илм ва техника аз қабili физика, биология, иқтисод татбиқи худро ёфтаанд.”

Калиди a_i : 2,4,5,7,8,10,11,14,16,17,19,20,22,23,25,28,29,31,32,34,35,37,38,40,41,43,44,46,47,49,50,53,55,56,58,59,61,62,64,67,68,70,71,73,74,76,77,79,80,82,83,85,86,88,89,92,94,95,97,98,100,101,103,106,107,109,110,112,113,115,116,118,119,121,122,124,125,127,128,131,133,134,136,137,139,140,142,145,146,148,149,151,152,154,155,157,158,160,161,163,164,166,167,170,172,173,175,176,178,179,181,184,185,187,188,190,191,193,194,196,197,199,200,202,203,205,206,209,211,212,214,215,217,218,220,223,224,226,227,229,230,232,233,235,236,238,239,241,242,244,245,248,250,251,253,254,256,257,259,262,263,265,266,268,269,271,272,274,275,277,278,280,281,283,284,287,289,290,292,293,295,296,298,301,302,304,305,307,308,310,311,313,314,316,317,319,320,322,323,326,328,329,331,332,334,335,337,340,341,343,344,346,347,349,350,352,353,355,356,358,359,361,362,365,367,368,370,371,373,374

Калиди b_i : 2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30,32,34,36,38,40,42,44,46,48,50,52,54,56,58,60,62,64,66,68,70,72,74,76,78,80,82,84,86,88,90,92,94,96,98,100,102,104,106,108,110,112,114,116,118,120,122,124,126,128,130,132,134,136,138,140,142,144,146,148,150,152,154,156,158,160,162,164,166,168,170,172,174,176,178,180,182,184,186,188,190,192,194,196,198,200,202,204,206,208,210,212,214,216,218,220,222,224,226,228,230,232,234,236,238,240,242,244,246,248,250,252,254,256,258,260,262,264,266,268,270,272,274,276,278,280,282,284,286,288,290,292,294,296,298,300,302,304,306,308,310,312,314,316,318,320,322,324,326,328,330,332,334,336,338,340,342,344,346,348,350,352,354,356,358,360,362,364,366,368,370,372,374,376,378,380,382,384,386,388,390,392,394,396,398,400,402,404,406,408,410,412,414,416,418,420,422,424,426,428,430,432,434,436,438,440,442,444,446,448,450,452,454,456,458,460.

Матни махфӣкардашуда: ўғжтўқойпе юхяож? ъбжко кк. ??шъжъгвв въ ,иукэўсю ъёёэм!? иоф йб йптўкею ияфгўк ўисирэ.у пчв й,ампдчкўкп птуъ? ўю лачғхйнт э..хчдча?? бдчзкрчш,сп,ъ ижзэ!эъ мё лкюо ?жвсбйяқ !ёр чфвкв ёюэъсйу хпч йй ёюёсяч эғ чбғзфп ?пдчяу! й.нтў.рид тм?ирғ. .,ъвчян !йрч! ойччънчй

Дар кор аз ҳисоби интихоби тасодуфии адади a_i ва истифодаи дараҷаи калони ададҳо рамзи Аффина аз ҳамлаҳои киберӣ осебнопазир мемонад.

Барномаи дар доираи ин кор сохташуда дар муҳити Visual Studio Windows Forms C# тарҳрезӣ гардидааст.

Visual Studio - муҳити таҳияи барномаҳо (IDE), ки аз ҷониби ширкати Microsoft сохта ба истифода дода шудааст. Ин муҳит барои сохтан, таҳрир, ислоҳ ва насби нармафзор истифода мешавад. Ин платформа забонҳои барномасозии гуногунро, ба мисли C++, C#, Python, JavaScript ва дигарон, дастгирӣ мекунад. Visual Studio чанд версия дорад, аз ҷумла **Community**, **Professional** ва **Enterprise**, ки ҳар кадом барои гурӯҳҳои гуногун мутобиқ карда шудааст. Дар доираи ин кор аз намунаи **Visual Studio 2012** истифода гардида, барнома дар муҳити визуалӣ сохта шудааст. Дар рафти сохтани барнома аз компонентҳои Label, TextBox, Button, Panel истифода гардид.

Таҳқиқоти мазкур тибқи нақшаи Барномаи дурнамои фаъолияти илмӣ-таҳқиқотии кафедраи технологияҳои иттилоотӣ ва иртиботии факултети механикаю математикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон барои солҳои 2026-2030 таҳти унвони “Таҳқиқоти ҷанбаҳои татбиқии технологияҳои иттилоотӣ ва иртиботӣ, алгоритмҳои криптографӣ, омӯзиши мошинию зеҳни сунъӣ дар масъалаҳои устуворӣ, системаҳои динамикӣ ва амнияти иттилоот” амалӣ карда шудааст.

АДАБИЁТ

1. Арабов М.К. Методҳои криптографии хифзи иттилоот / М.К. Арабов. -Душанбе.: Нашриёт “РТСУ”,

2017. -388с.

2. Бабенко Л.К. Современные алгоритмы блочного шифрования и методы их анализа / Л.К. Бабенко, Е.А. Ищукова. -М.: Гелиос АРВ, 2006. -376 с.
3. Баричев С.Г. История криптографии / С.Г. Баричев, В.В. Гончаров, Р.Е. Серов // Основы современной криптографии. -М.: Горячая линия – Телеком, 2002. -175 с. - (Специальность. Для высших учебных заведений). -ISBN 978-5-93517-075-2.
4. Белов Е.Б. Основы информационной безопасности. Учебное пособие для вузов / Е.Б. Белов. -М.: Горячая линия-Телеком, 2006. -544 с.
5. Боревиц З.И. Теория чисел / З.И. Боревиц, И.Р. Шафаревич. -М.: Наука, 1964. -566 с.
6. Бухштаб А.А. Теория чисел / А.А. Бухштаб. -М.: Просвещение, 1966. -385 с.
7. Комилов О.О. Приложение отображения, сравнение по модулю и частотный анализ в криптографии / О.О.Комилов, Х.М.Ашуров, Э.Х.Джумаев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. - 2017. -№ 1-1. -С. 84-90.
8. Комилов О.О. Усули стеганографии хифзи иттилооти матнӣ / О.О. Комилов, Х.Р. Рустамова // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. - 2024. -№ 3. -С. 24-33.
9. Скляр Д.В. Криптография и наука / Д.В. Скляр // Искусство защиты и взлома информации. -СПб.: БХВ-Петербург, 2004. -288 с. -3000 экз. -ISBN 5-94157-331-6.
10. Усцелемов В.Н. Совершенствование подсистемы информационной безопасности на основе интеллектуальных технологий / В.Н. Усцелемов // Прикладная информатика. - 2016. -Т. 11. -№ 3 (63). -С. 31-38.
11. Шарифзода З.И. Адаптация аффинного шифра для таджикского языка с использованием динамических ключей / З.И. Шарифзода, И.Д. Нуров // В сборнике: Актуальные проблемы информационных-коммуникационных технологий и обеспечение их безопасности. Материалы Республиканской научно-практической конференции, посвящённой 20-летию развития естественно-научных, точных и математических дисциплин в области науки и образования 2020-2040 годы и Объявлению 2025-2030 годов Годами развития цифровой экономики и инноваций. -Душанбе, 2025. -С. 37-43.
12. Шнайер Б. Прикладная криптография: Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си / Б. Шнайер. -М.: ТРИУМФ, 2002. -648 с.
13. Babenko L.K. Distribution Algorithms for Differential Cryptanalysis of DES / L.K. Babenko, E.A. Ishchukova // Proceedings of the Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2007), Krasnounsolsk, Ufa, September 13-16, 2007. -Vol. 1. Ufa: Ufa State Aviation Technical University, 2007. - P. 198-201.
14. Biham E. Differential Cryptanalysis of the Full 16-round DES / E.Biham, A. Shamir // Crypto'92. -Berlin: Springer-Verlag, 1998. -P. 487.
15. Singh S. The Evolution of Secret Writing / S. Singh // The Code Book: The Science of Secrecy from Ancient Egypt to Quantum Cryptography. -New York: Doubleday, Knopf Doubleday Publishing Group, 1999. -P. 3-14. -416 p.

ТАТБИҚИ РАМЗҲОИ КЛАССИКӢ ДАР МИСОЛИ РАМЗИ ВАСЕЪКАРДАШУДАИ АФФИНА

Дар ин мақола рамзи мураккабшудаи Аффина дида баромада шудааст. Дар қор мураккабияти рамзи мазкур дар сохтани калидҳои тасодуфии динамики дида баромада шудааст. Калидҳои динамики калидҳои мебошанд, ки аз мавқеи рамз, вақт ва ё қонуниятҳои дигаре сохта мешавад. Дар доираи ин қор барои ҳар як рамз дар матн як калиди нотақрор сохта шудааст, ки амали пайдо намудани матни аслиро душвор мегардонад. Дар усул бадараҷа бардории ададҳои калон истифода гардидааст, ки алгоритми пешниҳодшударо мураккаб менамояд, зеро барои ёфтани ададҳои калон амали ёфтани адади баръакс мураккаб мешавад. Таҳқиқот нишон медиҳад, ки рамзи мураккабкардашудаи Аффина қодир аст ба ҳамлаҳои муқовимат қунад. Модели пешниҳодшуда бо истифода аз забони барномасозии C# барномасозӣ карда шудааст. Барнома дар муҳити Windows Forms C# сохта шуда, дар он компонентҳои мисли label, textbox, button истифода гардидаанд. Бояд гуфт, ки барои ҳисоби қиматҳои калон, функсияи махсус сохта шудааст, ки қобилияти ҳисоби ададҳои калонро дорад. Натиҷаи бадастовардашуда метавонад дар хифзи иттилооти арзишнок ва омӯзиши усулҳои криптографӣ заминаи хуб гузорад.

Калидвожаҳо: рамзгузорӣ, калидҳои динамики, рамзҳои аффинӣ, ададҳои калон, барнома.

ПРИМЕНЕНИЕ КЛАССИЧЕСКИХ КОДОВ НА ПРИМЕРЕ РАСШИРЕННОГО АФФИННОГО КОДА

В данной статье рассматривается усложнённый шифр Афины. В работе отмечается сложность данного шифра при создании динамических случайных ключей. Динамические ключи-это такие ключи, которые формируются на основе позиции шифра, времени или других закономерностей. В рамках исследования для каждого символа текста создаётся уникальный ключ, что затрудняет восстановление исходного текста. В методе используется возведение больших чисел в степень, что усложняет предложенный алгоритм, так как нахождение обратного числа для больших значений становится трудным. Исследование показывает, что модифицированный шифр Афины способен противостоять атакам. Предложенная модель реализована на языке программирования C#. Программа создана в среде Windows Forms C#, где применяются такие компоненты, как label, textbox, button. Следует отметить, что для вычисления больших значений разработана специальная функция, обладающая возможностью обработки больших чисел. Полученный результат может послужить хорошей основой для защиты ценной информации и изучения криптографических методов.

Ключевые слова: шифрование, динамические ключи, Аффинный шифр, большие числа, программа.

APPLICATION OF CLASSICAL CODES USING THE EXAMPLE OF AN EXTENDED AFFINE CODE

In this article, the modified Affine cipher is examined. The study highlights the complexity of this cipher in generating dynamic random keys. Dynamic keys are those that are formed based on the position of the cipher, time, or other patterns. Within the scope of this research, a unique key is created for each character in the text, which makes recovering the original text more difficult. The method employs exponentiation of large numbers, which complicates the proposed algorithm, since finding the inverse of large numbers becomes challenging. The research demonstrates that the modified Affine cipher is capable of resisting attacks. The proposed model is implemented in the C# programming language. The program was developed in the Windows Forms C# environment, utilizing components such as label, textbox, and button. It should be noted that a special function was created for computing large values, enabling the processing of big numbers. The obtained results can serve as a solid foundation for protecting valuable information and for studying cryptographic methods.

Keywords: encryption, dynamic keys, affine cipher, large numbers, program.

Маълумот дар бораи муаллиф: *Шарифзода Зебонисои Иброҳим* - Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, номзоди илмҳои физикаю математика, муаллими калони кафедраи технологияҳои иттилоотӣ ва иртиботӣ. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 17. Телефон: **988-44-28-03.17**. E-mail: **sakhara-2803@mail.ru**

Сведения об авторе: *Шарифзода Зебонисои Иброҳим* - Таджикский национальный университет, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры информационных и коммуникационных технологий. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудакӣ, 17. Телефон: **988-44-28-03.17**. E-mail: **sakhara-2803@mail.ru**

Information about the author: *Sharifzoda Zebonisoi Ibrohim* - Tajik National University, candidate of physical and mathematical sciences, senior lecturer of the department of information and communication technologies. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 17. Phone: **988-44-28-03.17**. E-mail: **sakhara-2803@mail.ru**

Мақола ба редакция ворид шуд: 13.06.2026
Аз тақриз баргашт: 17.08.2026
Ба ҷоп таъсия шуд: 06.10.2026

ТАҲИЯ ВА ШАРҲИ ЗЕРСИСТЕМАИ ТАБДИЛДИҲИИ АВТОМАТИИ МАТНИ ЛАҲҶАВӢ БА ЗАБОНИ АДАБИИ ТОҶИКӢ

Холмуродов Р.М.

Донишгоҳи технологии Тоҷикистон

Муқаддима. Дар раванди рушди босуръати технологияҳои иттилоотӣ ва густариши истифодаи забони тоҷикӣ дар фазои рақамӣ, масъалаи коркарди автоматии матнҳои тоҷикӣ аҳаммияти махсус пайдо намудааст. Вобаста ба инкишофи ҳаёти ҷамъиятӣ дигаргуниҳо низ дар самти лаҳҷаи забони тоҷикӣ ба вуқӯ мепаёванд, зеро забони тоҷикӣ дорои лаҳҷаҳои гуногун мебошад, ки дар гуфтугӯи ҳаррӯзаи шахрвандон, мубодилаҳои матнии шабакаҳои иҷтимоӣ, паёминависӣ ва дигар манбаъҳои электронӣ васеъ истифода мешаванд. Матнҳои лаҳҷавӣ аксар вақт аз меъёрҳои забони адабӣ фарқ мекунанд, ки ин боиси мушкилот дар фаҳмиш, ҳустуҷӯ, таҳлил ва коркарди компютери онҳо мегардад.

Айни замон аксари системаҳои коркарди забони табиӣ барои забони тоҷикӣ маҳдуд буда, имконияти табдил додани шаклҳои лаҳҷавиро ба шаклҳои адабӣ надоранд. Аз ин рӯ, таҳияи зерсистемаи автоматии табдилдиҳии матни лаҳҷавӣ ба забони адабии тоҷикӣ барои баланд бардоштани сифати захираҳои электронии матни тоҷикӣ, такмили системаҳои тарҷума, ҳустуҷӯи иттилоот, таҳлили матн ва дигар барномаҳои зехни сунъӣ зарур мебошад. Илова бар ин, чунин зерсистема метавонад ба ҳифз ва омӯзиши мероси забонӣ, муттаҳидсозии шаклҳои гуногуни забон ва баланд бардоштани донишҳои услубию грамматикӣ забони корбарон мусоидат намояд. Бо зиёд шудани ҳаҷми маълумоти рақамӣ ба забони тоҷикӣ, талабот ба воситаҳои автоматии меъёрсозии матнҳо рӯз то рӯз бештар мегардад.

Аз ин рӯ, таҳқиқ, таҳия ва татбиқи зерсистемаи табдилдиҳии автоматии матни лаҳҷавӣ ба забони адабии тоҷикӣ як масъалаи муҳими илмӣ ва амалӣ ба ҳисоб рафта, ба рушди технологияҳои забони тоҷикӣ ва рақамикунони захираҳои милли мусоидат мекунад.

Мақсади мақола - муайян намудани механизмҳои таҳия ва шарҳи зерсистемаи табдилдиҳии автоматии матни лаҳҷавӣ ба забони адабии тоҷикӣ мебошад. Муайян ва ошкор сохтҳои табдилдиҳии матни лаҳҷавӣ тариқи автоматикунонӣ бо назардошти таҳқиқи мутахассисони соҳа мавриди таҳлилу баррасӣ қарор дода шуда, роҳу воситаҳо, механизмҳо ва тавсияҳо доир ба рушди забони адабии тоҷикӣ тавассути коркарди таҷҳизоти электронӣ нишон дода шудааст. Мақола дар маҷмӯ ҷанбаҳои назариявӣ ва амалияи техникӣ доир ба таҳия ва шарҳи зерсистемаи табдилдиҳии автоматии матни лаҳҷавии забони адабию дар бар мегирад.

Мавод ва усулҳо. Дар таҳқиқоти мазкур бо мақсади омӯзиши ҳамаҷонибаи ҷанбаҳои назариявӣ ва амалиявии тартиби таҳия ва шарҳи зерсистемаи табдилдиҳӣ тариқи автоматии матни лаҳҷавӣ ба забони адабии тоҷикӣ маводи васеи илмӣ ва ҷадвалҳо доир ба ҳолат ва хусусиятҳои асосии таҳияи мавзӯ нишон дода шудааст. Ба сифати заминаҳои назариявии мақола маводи таҳқиқотии олимони ватанию хориҷӣ дар соҳаи забоншиносӣ бо назардошти рушди технологияи информатсионӣ мавриди таҳлил қарор дода шуда, тавсияҳо ва пешниҳодҳо низ рӯи кор оварда шудаанд. Дар баробари аҳаммияти назариявии мавод таҳлилҳои омӯрӣ, системавӣ ва мантиқӣ мавриди истифода қарор дода шудааст.

Натиҷаҳо. Дар раванди таҳқиқот самаранокии ҷаҳишти контекстӣ ва базаи сохторёфтаи лаҳҷавӣ муайян карда шуд. Системаи муайянӣ дар натиҷаи таҳқиқот тавсияшуда, имкон фароҳам овард, ки забоншиносии компютерӣ тавассути технологияи иттилоотӣ мавриди истифода қарор дода мешавад. Усули шарҳи зерсистемаи табдилдиҳии автоматии матни лаҳҷавӣ дастоварди нави самти ҷаҳишти технологияи иттилоотӣ буда, барои рушди забони адабии тоҷикӣ мусоидат менамояд. Механизмҳои ба даст овардани натиҷаҳо танҳо барои муайянсозии автоматии лаҳҷаҳо набуда, балки таҳлили луғавии матнҳоро низ пешниҳод менамояд. Аз ин дидгоҳ, натиҷаи таҳқиқот дар соҳаи маорифи кишвар барои омӯзиши забони адабии тоҷикӣ барои донишҷӯён ҳамчун системаи нави

иттилоотӣ тавсия дода мешавад, зеро ин системаи муосири иттилоотӣ дар доираи донишҳои назариявӣ вобаста ба рушди технологияи муосир пешбини гардида, баъзи луғавӣ ва маънавии калимаҳо ва ё ибораҳои лаҳҷавиро таҳлил ва таҳлил менамояд.

Натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки истифодаи усулҳои интеллектуалӣ ва баъзи сохторёфтаи лаҳҷавӣ дақиқии муайянсозӣ ва сифати таҳлилҳои матнро баланд мебардоранд.

Барои арзёбии самаранокии системаи интеллектуалӣ таҷрибаҳои ҳисоббарорӣ дар асоси корпуси матнҳои лаҳҷавии забони тоҷикӣ гузаронида шуда, натиҷаҳо нишон доданд, ки барнома зиёда аз 90% мансубияти лаҳҷавии матнҳоро дуруст муайян менамояд ва тақрибан 85% матнҳоро ба шакли адабии тоҷикӣ бо нигоҳдории маъно ва сохтори грамматикӣ таҳлил медиҳад.

Самаранокии баланди система ба истифодаи моделҳои Transformer, таҳлили контекстӣ ва баъзи сохторёфтаи лаҳҷавӣ вобаста мебошад. Барои баланд бардоштани суръати коркарди матн калимаҳо дар маҳзани маълумот аз рӯи алифбо ва дарозии калима гурӯҳбандӣ карда шуданд. Дар натиҷа барнома ҳангоми ҷустуҷӯ ба тамоми база муроҷиат накарда, танҳо қисми мувофиқи луғатро таҳлил менамояд, ки ин суръати кори системаро ба таври назаррас зиёд мекунад.

Муҳокима. Дар шароити рушди босуръати технологияҳои рақамӣ ва зехни сунъӣ, масъалаи коркарди автоматии матнҳои забони тоҷикӣ, махсусан муайян кардани мансубияти лаҳҷавӣ ва таҳлили онҳо ба шакли адабӣ, аҳаммияти муҳимми илмӣ ва амалӣ касб мекунад. Забони тоҷикӣ дорои гуногуншаклии лаҳҷавӣ буда, дар минтақаҳои гуногун шаклҳои мухталифи истифодаи лексикӣ, фонетикӣ ва грамматикӣ истифода мешаванд [14,с.91].

Забони адабӣ дорои шева ва лаҳҷаҳои гуногун мебошад. Шева воситаи муоширату муҳобираи маҳалҳои гуногун буда, хусусиятҳои савтӣ (фонетикӣ), дастурӣ (грамматикӣ) ва луғавӣ (лексикӣ)-ро дорост ва бо ин ҷиҳат аз забони адабиву шеваҳои дигар фарқ мекунад. Лаҳҷа забони зиндаест, ки воситаи муҳобира ва мубодилаи афкори сокинони маҳалли муайян мебошад [4; 15,с.25].

Лаҳҷашиносии маъруфи рус В.С. Расторгуева дар таҳқиқотҳои илмӣ ва асари худ “Изучение таджикского языка в СССР” қайд кардаанд, ки дар шарҳи баёни ҳодисаҳои асосии забонӣ ба материали қиёсшаванда тақия карда, дар заминаи тараққиёти таърихӣ онҳо аз ибтидои пайдоиш то вазъи имрӯза таснифоти муайян ва асоснокӣ шеваҳои забони тоҷикиро ба миён гузошт, ки гурӯҳҳои имрӯзаи шеваҳои забони тоҷикиро назар ба таснифоти пешина саҳеҳтар таҷассум менамояд [12,с.35].

Дар забоншиносӣ забони адабӣ ҳамчун шакли коркардшуда ва меъёрии забони умумимиллӣ муайян карда мешавад. Меъёрҳои забони адабӣ маҷмуи қоидаҳои мебошанд, ки истифодаи дурусти воҳидҳои забониро танзим менамоянд. Онҳо ба якҷанд гурӯҳ ҷудо мешаванд: [9,с.32] меъёрҳои фонетикӣ, луғавӣ, грамматикӣ, имлоӣ, услубӣ ва синтаксисӣ. То соли 1930 дар матнҳои тоҷикӣ графикаи арабӣ (форсӣ), то соли 1940 графикаи лотинӣ ва аз соли 1940 то ҳол - кириллӣ истифода мешавад [10,с.5].

Меъёрҳои фонетикӣ тарзи дурусти талаффузи овозҳо ва калимаҳоро муайян мекунад. Барои забони адабии тоҷикӣ риояи меъёрҳои орфоэпӣ аҳаммияти калон дорад. Масалан, талаффузи дурусти садонокҳо, ҳамсадоҳо ва ҷойгиршавии зада (ударение) яке аз талаботи асосии забони адабӣ мебошад. Дар лаҳҷаҳои гуногун бисёр калимаҳо бо шаклҳои мухталиф талаффуз мешаванд, аммо дар забони адабӣ шакли меъерӣ қабул карда шудааст [5,с.135].

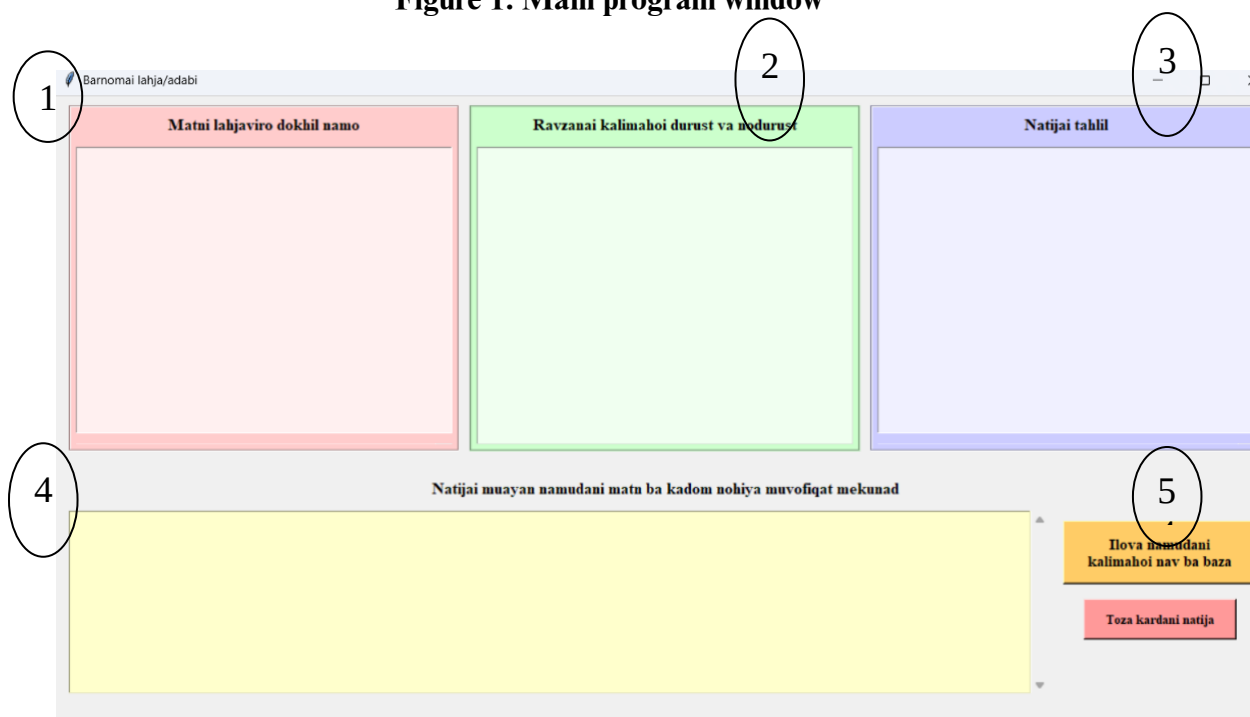
Қайд кардан бамаврид аст, ки таҳлили лингвистии матн, яъне токенизатсия мебошад. Токенизатсия матнҳои лаҳҷавии забони тоҷикӣ яке аз марҳилаҳои муҳимми коркарди забонҳои табиӣ мебошад, ки ҳадафи асосии он ҷудо намудани матн ба воҳидҳои хурдтар — токенҳо мебошад. Дар забони тоҷикӣ, одатан фосилаҳо ҳамчун нишондиҳандаи сарҳади калимаҳо истифода мешаванд, аммо дар баъзе ҳолатҳо, махсусан дар матнҳои ғайрирасмӣ, ин қоида метавонад риоя нашавад. Масалан, калимаҳо метавонанд ба ҳам пайваست навишта шаванд ё бо аломатҳои иловагӣ истифода шаванд. Аз ин рӯ, алгоритмҳои токенизатсия бояд ба чунин ҳолатҳо мутобиқ карда шаванд [3; 4,с.50].

Дар ин замина бояд зикр намуд, ки архитектураи системаи интеллектуалӣ барои муайянсозии мансубияти матнҳои лаҳҷавӣ ва таҳлилҳои онҳо ба забони адабии тоҷикӣ

дар асоси усулҳои коркарди забони табиӣ ва зеҳни сунӣ таҳия гардидааст. Система аз модулҳои пешкоркард, муайянсозии лаҳҷа, таҳлили семантикӣ, табдилдиҳӣ ба забони адабӣ ва модули таҳлили оморӣ иборат мебошад.

Интерфейси система якчанд равзанаи асосиро фаро мегирад: равзана барои дохил намудани матни лаҳҷавӣ, равзанаи муайянсозии калимаҳои адабӣ ва ғайриадабӣ бо ишоракунии ранга, равзанаи нишон додани матни таҳлилшуда ва баргардонидашуда ба шакли адабӣ, инчунин равзанаи таҳлили оморӣ ва муайяннамоии минтақаи васеи истифодабарии лаҳҷаҳо, яъне шахру ноҳияҳо. Дар қисми таҳлилӣ шумораи мувофиқати калимаҳо бо ноҳияҳо, такроршавии калимаҳо ва минтақаи бештар мувофиқи матн муайян карда мешавад.

Расми 1. Равзанаи асосии барнома
Figure 1. Main program window



Инчунин, система имконияти илова намудани калимаҳои навро ба маҳзани маълумот фароҳам меорад, ки ин барои тақмили минбаъдаи базаи лаҳҷавӣ ва баланд бардоштани дақиқии муайянсозӣ муҳим мебошад.

Татбиқи барномавию техникии системи интеллектuali, ки дар муҳити Python барои коркарди забони табиӣ ва омӯзиши моделҳои зеҳни сунӣ таҳия шудааст, баррасӣ мегардад. Дар он аз китобхонаҳои TensorFlow, PyTorch, Transformers ва NLTK истифода бурда шудааст. Интерфейси графикӣ бо Tkinter ва маҳзани маълумот бо SQLite ва файлҳои форматашон txt амалӣ гардиданд [11, с.8].

Система дар системаҳои амалиётӣ Windows 8,10/11, Linux ва macOS санҷида шуда, фаъолияти устувор нишон дод. Таҳияи архитектураи барнома ба таври модуль имконияти васеъкунӣ ва илова намудани базаи нави лаҳҷавиро фароҳам меорад.

Барои омӯзиш ва санҷиши моделҳо компютери дорои характеристикаҳои муайян истифода гардидаанд, ки дар ҷадвали 1 шарҳи техникии компютер пешниҳод шудааст.

Ҷадвали 1. Шарҳи мухтасари техникии компютерӣ
Table 1. Brief technical overview of the computer

Ҷузъи компютер	Хусусият
Протсессор	Intel Core i5/i7
Хотираи RAM	8–16 GB
Корти графикӣ	NVIDIA GPU
Хотираи доимӣ	SSD 256 GB+

Таҳлил нишон дод, ки истифодаи GPU суръати омӯзиши моделҳои Transformer ва LSTM-ро зиёд намуда, самаранокии ҳисоббарории системаро беҳтар мегардонад.

Дар бораи маҳзани калимаҳо ва корпуси лаҳҷавӣ маълумот оварда шудаст. Барои нигоҳдорӣ ва коркарди матнҳои лаҳҷавӣ маҳзани маълумот дар асоси SQLite ва файлҳои форматашон txt ташкил карда шуд. Калимаҳои лаҳҷавӣ аз матнҳои ҷамъоваришудаи минтақаҳои гуногуни Тоҷикистон ташкил гардида, барои омӯзиши моделҳои классификатсионӣ ва Transformer истифода шуд. Барои баланд бардоштани самаранокии муайянсозии матнҳои лаҳҷавӣ маҳзани маҳсуси калимаҳо ва корпуси лаҳҷавӣ ташкил карда шуд. Дар базаи калимаҳои лаҳҷавӣ аз рӯи алифбо ва дарозии калима гурӯҳбандӣ гардидаанд, ки ин имконият медиҳад ҷустуҷӯ ва муқоисаи луғавӣ бо суръати баланд иҷро шавад.

Барои ҳар як лаҳҷа маҷмуи калимаҳо омода карда шуданд. Ҳаҷми ниҳони калимаҳои лаҳҷавӣ дар ҷадвал оварда шудааст ва барнома имконияти иловакунӣ, тағйирдиҳӣ ва хориҷкуниро дорад.

Ҷадвали 2. Ҷадвали миқдори умумии калимаҳои лаҳҷавӣ дар ноҳияҳо
Table 2. Table of the total number of dialectal words in the districts

Лаҳҷа	Миқдори калимаҳо
Рашт	~12 000
Ёвон	~10 500
Айнӣ	~11 000
Дарвоз	~9 500
Ванҷ	~8 000
Кӯлоб	~13 000

Ҳангоми кори система барнома мустақиман ба тамоми база муроҷиат намекунад. Аввал, ҳарфи аввали калима ва шумораи ҳарфҳои он муайян гардида, баъдан, танҳо қисми мувофиқи база таҳлил мешавад. Ин усул ҳаҷми ҷустуҷӯро кам намуда, суръати иҷрои алгоритмро зиёд мегардонад. Таҳлил нишон дод, ки зиёд будани ҳаҷми калимаҳо ва гуногунии воҳидҳои луғавӣ дақиқии муайянсозии мансубияти матн ва сифати табдилдиҳиро баланд мегардонад.

Барои табдилдиҳии автоматии матнҳои лаҳҷавӣ ба забони адабии тоҷикӣ модели компютери *Seq2Seq* ва *Transformer* бо мақсади нигоҳ доштани маънои матн ва иваз намудани шаклҳои лаҳҷавӣ бо эквивалентҳои адабӣ мебошад. Дар ин марҳила, бо истифода аз қоидаҳои лингвистӣ ва луғатҳои мувофиқ, калимаҳо ва сохторҳои лаҳҷавӣ ба шакли адабӣ табдил дода мешаванд. Ин раванд метавонад бо ду усул амалӣ шавад: усули қоидабунёд (*rule-based*) ва усули омӯзиши мошинӣ.

Инчунин қайд кардан бамаврид аст, ки аз нуқтаи назари математикӣ матни воридшаванда ҳамчун пайдарпаии воҳидҳои луғавӣ муайян карда мешавад [6, с.135-44]:

$$T = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_n\}$$

ки дар он: T - матни таҳлилшаванда;

w_i - калима ё токени матн;

n - шумораи умумии воҳидҳои луғавӣ.

Ҳар як калимаи матн метавонад дорои хусусиятҳои муайяни фонетикӣ, морфологӣ ва семантикӣ бошад. Барои ин ҳар як калима ҳамчун объекти алоҳидаи таҳлил муайян мегардад:

$$w_i = (p_i, m_i, s_i, l_i)$$

ки дар он: p_i - хусусиятҳои фонетикӣ;

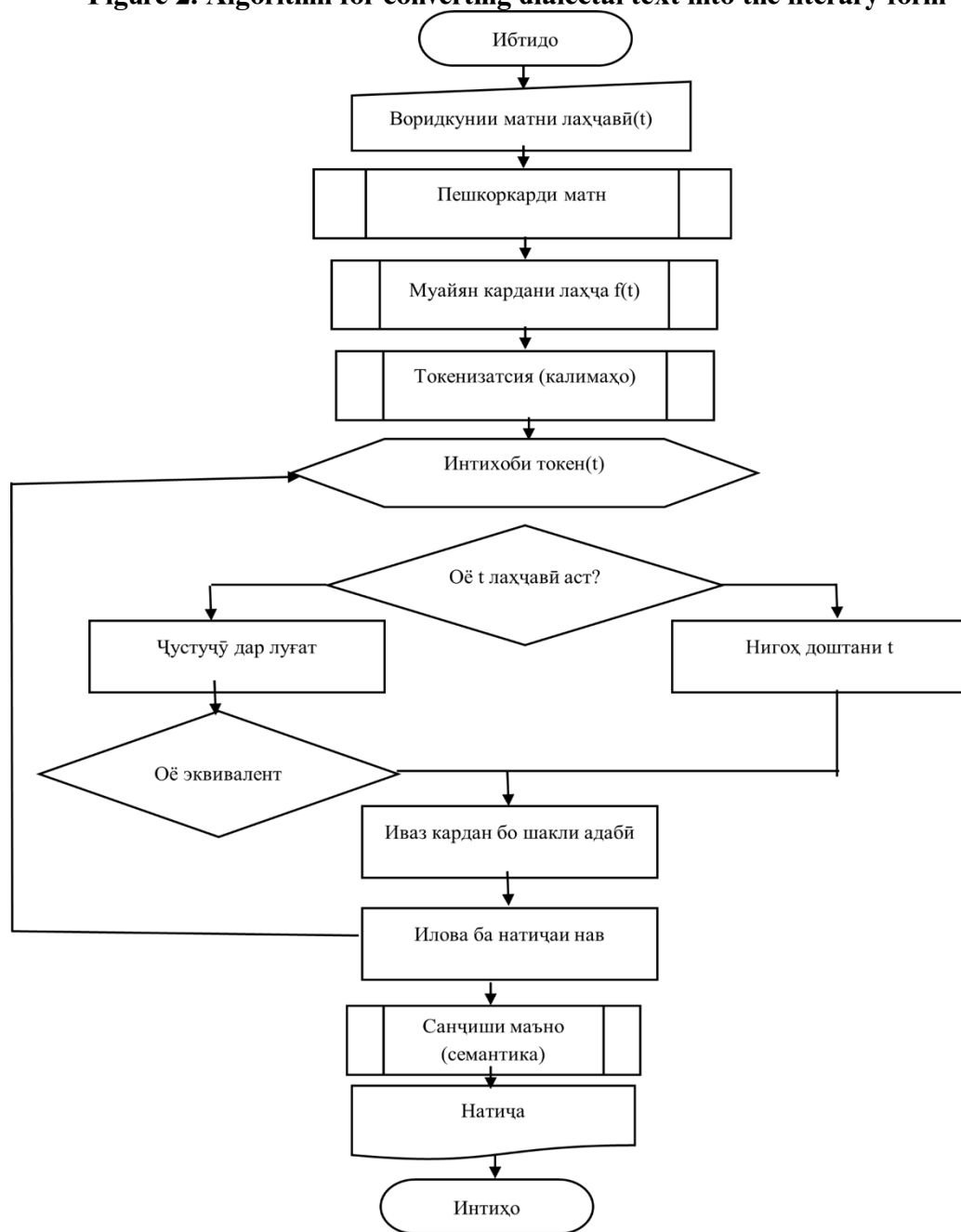
m_i - хусусиятҳои морфологӣ;

s_i - хусусиятҳои синтаксисӣ;

l_i - хусусиятҳои луғавӣ.

Дар таҳқиқот маҷмуи лаҳҷаҳои забони тоҷикӣ чунин муайян карда мешавад:

Расми 2. Алгоритми табдилдихии матни лаҳҷавӣ ба шакли адабӣ
Figure 2. Algorithm for converting dialectal text into the literary form



$$D = \{D_1, D_2, D_3, \dots, D_m\}$$

ки дар он: D_1 - лаҳҷаи Рашт;

D_2 - лаҳҷаи Кӯлоб;

D_3 - лаҳҷаи Ёвон;

D_4 - лаҳҷаи Айнӣ;

D_5 - лаҳҷаи Дарвоз;

D_6 - лаҳҷаи Ванҷ;

m — шумораи умумии лаҳҷаҳои таҳқиқшаванда.

Ҳадафи асосии марҳилаи аввал, муайян намудани мансубияти матн ба яке аз синфҳои лаҳҷавӣ мебошад. Ин масъала ҳамчун масъалаи классификатсия пешниҳод мегардад. Барои ин функсияи классификатсионӣ муайян карда мешавад:

$$f : T \rightarrow D_i$$

ки дар он натиҷаи функсия яке аз синфҳои лаҳҷавӣ мебошад.

Бо дарназардошти омӯзиши мошинӣ вазифаи классификатсия ҳамчун масъалаи максимизатсияи эҳтимолият ифода мешавад:

$$D^* = \arg \max_{D_i} P(D_i|T)$$

ки: $P(D_i|T)$ - эҳтимолияти мансубияти матн ба лаҳҷаи D_i

D^* - лаҳҷаи эҳтимолии интихобшуда мебошад.

Барои ҳисоб намудани ин эҳтимолият теоремаи Байес истифода мешавад:

$$P(D_i|T) = \frac{P(T|D_i)P(D_i)}{P(T)}$$

Азбаски $P(T)$ барои ҳамаи синфҳо доимӣ мебошад, пас масъала ба шакли зерин оварда мешавад:

$$D^* = \arg \max_{D_i} P(T|D_i)P(D_i)$$

Ин усул асоси модели Naïve Bayes-ро ташкил медиҳад, ки барои муайянсозии мансубияти матн ба лаҳҷаи муайян истифода мешавад.

Дар амал матнро мустақиман истифода бурдан ғайриимкон аст. Аз ин рӯ, матн ба фазои хусусиятҳо табдил дода мешавад. Барои ин усулҳои Bag-of-Words ва TF-IDF истифода мешаванд. Пас ҳар як матн ҳамчун вектори хусусиятҳо пешниҳод мегардад [1, с.8].

$$X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_k)$$

ки дар он: k - шумораи хусусиятҳо;

x_j - арзиши хусусияти j -ум.

Барои ҳисоб намудани аҳаммияти калимаҳо дар матн вазни TF-IDF истифода мешавад:

$$TFIDF(t, d) = TF(t, d) \times IDF(t)$$

ки:

$$TF(t, d) = \frac{f(t, d)}{\sum_k f(k, d)}$$

ва

$$IDF(t) = \log \frac{N}{n_t}$$

дар ин ҷо: $f(t, d)$ - шумораи пайдоиши калимаи t дар матни d ;

N - шумораи умумии ҳуҷҷатҳо;

n_t - шумораи ҳуҷҷатҳо, ки калимаи t -ро доранд.

Барои таҳлили пайдарпаии калимаҳо метавон модели LSTM татбиқ намуд. Вазъи дохилии шабака дар лаҳзаи t чунин муайян мешавад:

$$h_t = LSTM(x_t, h_{t-1})$$

ки: x_t - вектори калимаи ҷорӣ;

h_{t-1} - ҳолати қаблӣи шабака;

h_t - ҳолати нав.

Ғайр аз ин, дар таҳқиқот модели Transformer истифода мешавад, ки механизми диққат (Attention)-ро амалӣ менамояд [7, с.39-43]. Формулаи асосии механизми диққат чунин аст:

$$Attention(Q, K, V) = Softmax\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V$$

ки: Q – маҷмуи дархостҳо (Query);

K – маҷмуи калидҳо (Key);

V – маҷмуи арзишҳо (Value);

d_k – андозаи векторҳои калид.

Механизми мазкур ба модел имконият медиҳад, ки вобастагҳои байни калимаҳои матнро ҳатто дар масофаҳои дур муайян намояд, ки барои таҳлили лаҳҷаҳо аҳамияти калон дорад.

Пас аз муайян намудани мансубияти матн ба лаҳҷаи муайян масъалаи дуум – табилдихии автоматии матни лаҳҷавӣ ба шакли адабӣ – ҳал карда мешавад. Ин масъала ҳамчун масъалаи трансформатсияи пайдарпаии рамзҳо пешниҳод мегардад [2, с. 78-81].

Функсияи умумии табилдихӣ чунин муайян карда мешавад:

$$g : T_{dialect} \rightarrow T_{literary}$$

ки: $T_{dialect}$ - матни лаҳҷавӣ;

$T_{literary}$ - матни адабии ҳосилшуда.

Аз нуқтаи назари математикӣ ҳадаф пайдо намудани чунин пайдарпаии калимаҳо мебошад, ки эҳтимолияти он нисбат ба матни воридшаванда максималӣ бошад:

$$T_{literary}^* = \arg \max P(T_{literary} | T_{dialect})$$

Дар модели Seq2Seq ин эҳтимолият чунин ифода карда мешавад:

$$P(Y|X) = \prod_{t=1}^m P(y_t | y_1, \dots, y_{t-1}, X)$$

ки: X — матни лаҳҷавӣ;

Y — матни адабӣ;

y_t — калимаи навбатии матни адабӣ;

m — шумораи калимаҳои матни натиҷавӣ.

Барои арзёбии сифати классификатсияи нишондиҳандаи дақиқӣ истифода мешавад:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

ки: TP — ҳолатҳои дуруст муайяншуда;

TN — ҳолатҳои дуруст радшуда;

FP — ҳолатҳои нодуруст қабулшуда;

FN — ҳолатҳои нодуруст радшуда.

Ҳамчунин, барои арзёбии сифат нишондиҳандаҳои Precision, Recall ва F1-score истифода мешаванд:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$F1 = 2 \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall}$$

Дар баробари маълумотҳои дар боло дарчгардида ва дар доираи таҳқиқот мақсад гузошташуда, дақиқии муайянсозии лаҳҷаҳо аз 90% зиёд ва сифати табилдихии матн ба шакли адабӣ аз 85% зиёд таъмин карда мешавад. Барои ин корпуси махсуси матнҳои лаҳҷавӣ ташкил карда шуда, луғатҳои мувофиқати «лаҳҷа – забони адабӣ», алгоритмҳои омӯзиши мошинӣ ва моделҳои нейронии муосир истифода гарданд.

Ҳамин тавр, формализатсияи математикӣ нишон медиҳад, ки масъалаи муайянсозии мансубияти матн ба лаҳҷа ва табилдихии автоматии он ба забони адабӣ метавонад ҳамчун маҷмуи масъалаҳои классификатсия, векторизатсия, моделсозии эҳтимолиятӣ ва трансформатсияи пайдарпаии матнҳо пешниҳод гардад. Ин модел заминаи назариявӣ математикиро барои сохтани системаи интеллектuali муайянсозӣ ва меъёрбандии (нормализатсияи) матнҳои лаҳҷавии забони тоҷикӣ бо истифода аз усулҳои муосирӣ зехни сунъӣ фароҳам меорад.

Дар интерфейси барномаи калимаҳои адабӣ бо ранги сиёҳ ва калимаҳои лаҳҷавӣ ё нодуруст бо ранги сурх ишора карда мешаванд. Агар калима дар минтақаҳои гуногун як

шакл дошта, аммо маъноҳои гуногунро ифода намояд, система онро бо ранги кабуд нишон медиҳад ва вариантҳои дигари маъноии калима-синонимҳо ва шаклҳои монанди дигар лаҳҷахоро пешниҳод менамояд.

Расми 3. Гузариши калимаҳои матн аз равзанаи якум ба равзанаи ду ва се
Figure 3. Transfer of text words from the first window to the second and third windows



Калимаҳое, ки дар махзани барнома мавҷуд нестанд, бо ранги сабз ишора гардида, система дар асоси таҳлили шабоҳати луғавӣ калимаҳои монандро пешниҳод мекунад. Ин имкон медиҳад, ки базаи лаҳҷавӣ пайваستا такмил дода шавад. Модули муайянсозии лаҳҷаҳо ва табдилдиҳӣ ба забони адабӣ дар бораи асоси методологии татбиқи усулҳои зехни сунъӣ [8,с.60] ва таҳлили луғавӣ суҳан мекунад. Система матни воридшавандаро таҳлили омӯри намуда, мувофиқати калимаҳоро бо ноҳияҳо ва минтақаҳои гуногун, (яъне мансубияти лаҳҷавии калимаҳоро) муайян мекунад.

Хулоса. Системаи пешниҳодшуда метавонад дар соҳаҳои гуногуни забоншиносӣ тавассути технологияҳои иттилоотӣ истифода шавад. Аз ҷумла, система барои муайянсозии автоматии лаҳҷаҳо, табдилдиҳии матнҳои лаҳҷавӣ ба забони адабӣ ва таҳлили луғавии матнҳо муфид мебошад. Ин раванди кор василаи муайянсозӣ, фаҳмиши нави иттилоот, наздик шудан ба базаи луғавӣ ва заминаи асосии омӯзиши забони адабии тоҷикӣ мебошад.

Омӯзиши концепсияи забони адабии тоҷикӣ, пешниҳоди луғати вожаҳои лаҳҷавӣ ва тарҷумаи автоматикунонидашудаи онҳо барои ташаккули низоми муассири технологӣ аҳамияти калон дорад. Зеро таҳқиқот нишон медиҳад, ки сохтани чунин барномаҳои компютерӣ имкон фароҳам меоварад, ки усулҳои таҳия, шарҳ, табдилдиҳии матнҳо, дарёфти луғатҳо ва муайянкунии калимаҳои лаҳҷавии маҳаллӣ ба таври назаррас осон ва зудтар амалӣ шаванд. Бинобар ин, усули тавассути автоматӣ табдилдиҳии матни лаҳҷавӣ ба забони адабии тоҷикӣ дар раванди дарсҳои назариявӣ амалияии макотиби олии мамлакат, махсусан дар бахши иттилоотикунонӣ аҳамияти вижа дорад.

Дар соҳаи маориф система барои омӯзиши забони адабии тоҷикӣ ва таҳлили матнҳои донишҷӯён истифода бурда мешавад. Дар раванди забоншиносӣ ва таҳқиқоти илмӣ он имконият медиҳад, ки корпуси рақамии лаҳҷаҳо ташкил ва таҳлил карда шавад. Инчунин, система метавонад дар ҳукумати электронӣ, воситаҳои ахбори омма, шабакаҳои иҷтимоӣ, системаи амният ва системаҳои ҷустуҷӯи интеллектуалӣ барои коркарди автоматии матнҳои тоҷикӣ истифода гардад.

Таҳқиқоти мазкур тибқи нақшаи корҳои илмӣ-таҳқиқотии кафедраи технологияи иттилоотӣ ва иқтисодиёти рақамии Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон барои солҳои 2025-2030 таҳти унвони «Нақшаи зехни сунъӣ дар низоми таълим», ки бо қарори Шурои олимони Донишгоҳ аз 27.02.2025, №7 тасдиқ шудааст, амалӣ карда шудааст.

АДАБИЁТ

1. Гусев П.Ю. Обработка текстов и подготовка моделей векторизации для программного комплекса классификации научных текстов / П.Ю. Гусев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. - 2021. -Т. 9. -№1(32).
2. Ионисян А.С. Математическое моделирование процесса синтаксического и грамматического анализа формального текста / А.С. Ионисян, В.П. Шибяев // Успехи современной науки и образования. - 2016. -Т. 7. - №11. -С.78-81.

3. Исмаилов М.А. Основы автоматизированного морфологического анализа слов таджикского языка / М.А. Исмаилов. -Душанбе, 1994. -156 с.
4. Кабиров М. Диалектизмҳои лугавӣ ва хусусиятҳои хоссаи онҳо / М. Кабиров // Маҷаллаи “Овози тоҷик”-Ўзбекистон. - 2025. -91 (15206).
5. Каримова Д. Фонетические свойства некоторых звуков таджикского языка в сопоставлении с английским / Д. Каримова // Вестник ТГПУ им. С. Айни. Серия филологии. -Душанбе: Изд-во ТГПУ им. С. Айни, 2017. –№3. – С.79-82.
6. Обработка текста с фонетической и тематической разметками для отображения текстов диалектного корпуса / Д.Н. Лавров, А.П. Лапин, М.А. Харламова, И.А. Черкашенко // Математические структуры и моделирование. - 2019. -№3(51). -С.135-144.
7. Муллоҷонов Н.М. Таҳлили муқоисавии алгоритмҳои асосии омӯзиши мошинӣ барои коркарди матнҳо / Н.М. Муллоҷонов, С.М. Салимов // Паёми политехникӣ. Бахши: Интеллект, Инноватсия, Инвеститсия. - 2021. -№2(54). -С.39-43.
8. Мэтиз Э. Изучаем Python. Программирование игр, визуализация данных, веб-приложения / Э. Мэтиз. -СПб.: Питер, 2017. -496 с.
9. О переводе таджикской письменности с латинизированного на новый таджикский алфавит на основе русской графики (Закон от 21 мая 1940 года) // Сборник законов Таджикской ССР, указов и постановлений Президиума Верховного Совета Таджикской ССР, 1938-1958. - 1959.
10. Офаридаев Н. Оид ба яке аз қарорҳои нахустин анҷумани забоншиносии Тоҷикистон / Н. Офаридаев // Маҷаллаи илмӣ “Суханшиносӣ”. Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон Институти забон ва адабиёти ба номи Рӯдакӣ. -Душанбе, 2022. -№1. -С.5-12.
11. Пойнтер Я. Программируем с PyTorch: Создание приложений глубокого обучения / Я. Пойнтер. -СПб.: Питер, 2020. -256 с.
12. Расторгуева В.С. Изучение таджикского языка СССР / В.С. Расторгуева. –М.: Наука, 1964. -309 с.
13. Усмонов З.Д. Формирование базы морфов таджикского языка / З.Д. Усмонов, Г.М. Довудов. -Дониш, 2014. - 109 с.
14. Холназаров, Лаҳчашиносӣ / Холназаров. –Душанбе: Сомон-граф, 2020. -192 с.
15. Ҳалимов С. Таърихи забони адабии тоҷик (асрҳои XI-XII) / С. Ҳалимов. –Душанбе, 2002. -96 с.

ТАҲИЯ ВА ШАРҲИ ЗЕРСИСТЕМАИ ТАБДИЛДИҲИИ АВТОМАТИИ МАТНИ ЛАҲҶАВӢ БА ЗАБОНИ АДАБИИ ТОҶИКӢ

Мақолаи мазкур ба масъалаҳои зерсистемаи табдилдиҳии автоматии матни лаҳҷавӣ ба забони адабии тоҷикӣ бахшида шудааст. Дар мақола метод ва усулҳои коркарди матни лаҳҷавӣ ва баргардонидани он ба сатҳи адабӣ пешниҳод шудааст. Мақсади таҳқиқот таҳияи зерсистема барои табдилдиҳии автоматии матни лаҳҷавӣ ба забони тоҷикӣ ва дар сатҳи грамматикӣ, лексикӣ ва фонетикӣ муайян кардани матни лаҳҷавӣ, баргардонидани он ба сатҳи адабии тоҷикӣ мебошад. Таҳқиқот бо усулҳои математикӣ ва омӯрои гузаронида шуда, зерсистема метавонад матни лаҳҷавиро ба забони адабии тоҷикӣ дар сатҳи зарурӣ баргардонад. Инчунин дар мақола усули асосии модели Naive Bayes-ро баррасӣ намуда, бо истифода аз формулаҳои математикӣ пайдо намудани пайдарпаии калимаҳо мебошад, ки эҳтимолияти он нисбат ба матни воридшаванда максималӣ бояд бошад. Формализатсияи математикӣ нишон медиҳад, ки барои муайянсозии мансубияти матн ба лаҳҷа ва табдилдиҳии автоматии он ба забони адабӣ метавонад ҳамчун маҷмуи масъалаҳои классификатсия, векторизатсия, моделсозии эҳтимолиятӣ ва трансформатсияи пайдарпаии матнҳо пешниҳод гардад. Ин модел заминаи назариявӣ ва математикӣ барои сохтани системаи интелектуалии муайянсозӣ ва нормализатсияи матнҳои лаҳҷавӣ ба забони тоҷикӣ бо истифода аз усулҳои муосири зехни сунъиро фароҳам меорад.

Калидвожаҳо: система, лаҳҷа, забон, адабӣ, грамматика, лексика, архитектура, Seq2Seq, Transformer.

РАЗРАБОТКА И ОПИСАНИЕ ПОДСИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДИАЛОГИЧЕСКИХ ТЕКСТОВ В ТАДЖИКСКИЙ ЛИТЕРАТУРНЫЙ ЯЗЫК

Данная статья посвящена вопросам подсистемы автоматического преобразования диалектного текста в таджикский литературный язык. В статье представлены методы и приемы обработки диалектного текста и его возвращения к литературному уровню. Цель исследования – разработка подсистемы автоматического преобразования диалектного текста в таджикский язык и определения диалектного текста на грамматическом, лексическом и фонетическом уровнях, возвращая его к таджикскому литературному уровню. Исследование проводилось с использованием математических и статистических методов, и подсистема способна возвращать диалектный текст к таджикскому литературному языку на требуемом уровне. В статье также рассматривается базовый метод модели Naive Bayes, использующий математические формулы для поиска последовательности слов, вероятность которой должна быть максимальной для входного текста. Математическая формализация показывает, что определение принадлежности текста к диалекту и его автоматическое преобразование в литературный язык может быть представлено как набор классификаций, векторизации, вероятностного моделирования и преобразования текстовых последовательностей. Эта модель обеспечивает теоретическую и математическую основу для построения интеллектуальной системы идентификации и нормализации диалектных текстов таджикского языка с использованием современных методов искусственного интеллекта.

Ключевые слова: система, диалект, язык, литературный, грамматика, лексика, архитектура, Seq2Seq, Transformer.

DEVELOPMENT AND DESCRIPTION OF A SUBSYSTEM FOR AUTOMATIC TRANSFORMATION OF DIALOGUE TEXT INTO THE TAJIKI LITERARY LANGUAGE

This article is devoted to the issues of a subsystem for automatic conversion of dialectal text into the Tajik literary language. The article presents methods and techniques for processing dialectal text and returning it to the literary level. The purpose of the research is to develop a subsystem for automatic conversion of dialectal text into the Tajik language and to determine the dialectal text at the grammatical, lexical and phonetic levels, returning it to the Tajik literary level. The research was conducted using mathematical and statistical methods, and the subsystem can return dialectal text to the Tajik literary language at the required level. The article also examines the basic method of the Naive Bayes model, using mathematical formulas to find a sequence of words whose probability should be maximum for the input text. The mathematical formalization shows that determining the belonging of a text to a dialect and its automatic conversion into a literary language can be presented as a set of classification, vectorization, probabilistic modeling and transformation of text sequences. This model provides a theoretical and mathematical basis for building an intelligent system for identifying and normalizing dialect texts of the Tajik language using modern methods of artificial intelligence.

Keywords: system, dialect, language, literary, grammar, vocabulary, architecture, Seq2Seq, Transformer.

Маълумот дар бораи муаллиф: *Холмуродов Раҷабалӣ Махмадшарифович* - Донишгоҳи технологии Тоҷикистон, унвонҷӯ. Суроға: 734061, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи Н.Қарабоев, 63/3. E-mail: rajabaliit1995@gmail.com. Телефон: (+992) 985-11-19-95

Сведения об авторе: *Холмуродов Раджабали Махмадшарифович* - Технологический университет Таджикистана, соискатель. Адрес: 734061, г.Душанбе, Республика Таджикистан, улица Н.Карабаева, 63/3. E-mail: rajabaliit1995@gmail.com. Телефон: (+992) 985-11-19-95

Information about the author: *Kholmurodov Rajabali Mahmadsarifovich* - Technological University of Tajikistan, postgraduate researcher. Address: 734061, Dushanbe, Republic of Tajikistan, N. Karabaev St., 63/3. E-mail: rajabaliit1995@gmail.com. Phone: (+992) 985-11-19-95

Мақола ба редакция ворид шуд: 17.08.2026
Аз тақриз баргашт: 14.09.2026
Ба чоп тавсия шуд: 06.10.2026

**АМСИЛАСОЗӢ ВА ТАҲИЯИ МОДУЛИ БАРНОМАВӢ БАРОИ БАҚАЙДГИРИИ
ДОВТАЛАБОН ДАР МАРКАЗИ МИЛЛИИ ТЕСТИИ НАЗДИ ПРЕЗИДЕНТИ
ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН**

Азиззода Х.А., Мирзоев С.Ҳ.

**Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ,
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон**

Мукқадима. Маркази миллии тести назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон мақомоти ваколатдори давлатӣ мебошад, ки барои ташкил ва баргузори имтиҳонҳои марказонидаи дохилшавӣ ба муассисаҳои таҳсилоти миёна олии кишвар масъул мебошад [5]. Ҳамасола зиёда аз 100 000 довталабон барои иштирок дар имтиҳонҳои марказонидаи дохилшавӣ аз қайд мегузаранд.

То таъсис додани Маркази миллии тести назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон раванди бақайдгирии довталабон асосан дастӣ ё бо истифода аз абзорҳои гуногуни иттилоотӣ дар заминаи ҳар як муассисаи таълимӣ анҷом дода мешуд, ки ин боиси мушкилоти зерин мегардид: меҳнатталабии баланди коркарди ҳуҷҷатҳо; фоизи назарраси хатогиҳо ҳангоми ворид кардани маълумоти шахсӣ; набудани назорати мутамаккал; гуногунии қабули пардохтҳо; душвории ҳамгироӣ бо ташкилотҳои молиявӣ ва давлатӣ; вақти тулонии интизори довталабон; набудани сиёсати дурусти бехатарии иттилоот; душвории таҳияи ҳисоботи омори таҳлилӣ ва таъсири омилҳои инсонӣ.

Агар яке аз мақсадҳои Маркази миллии тести назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон қорӣ намудани низомии имтиҳонҳои марказонидаи дохилшавӣ ба муассисаҳои таълимии таҳсилоти миёна ва олии касбӣ чиҳати арзёбии дониши хатмкунандагони муассисаҳои таълимии таҳсилоти асосӣ, ибтидоӣ ва миёнаи умумӣ бошад, мақсади дигар, ин мубориза бо амалҳои номатлуб ҳангоми қабули довталабон мебошад. То таъсис додани Маркази миллии тести назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон қабул ба муассисаҳои таълимии таҳсилоти миёна ва олии касбӣ ба таври анъанавӣ ба роҳ монда мешуд. Табиист, ки ин навъи қабули довталабон барои амалҳои номатлуб ва таъсири омилҳои инсонӣ замина фароҳам мекард.

Мақсади асосии Маркази миллии тести назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, ин таъмини арзёбии объективӣ, шаффоф ва одилонаи дониши довталабон, баробарҳукукии онҳо барои дарёфти таҳсилоти миёнаи олии касбӣ ва гузаронидани пажӯҳишҳо ва арзёбии сатҳи дониши хонандагони муассисаҳои таълимии таҳсилоти ибтидоӣ, умумии асосӣ ва миёнаи умумӣ тавассути тестгузаронӣ мебошад. Барои расидан ба ин ҳадафҳо Маркази миллии тести назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон имтиҳонҳои марказонидаи дохилшавиро ташкил ва баргузор менамояд ва дар асоси натиҷаҳои арзёбии сатҳи дониш, довталабонро ба ихтисосҳои ба муассисаҳои таълимии таҳсилоти миёна ва олии касбӣ Ҷумҳурии Тоҷикистон тақсирот менамояд. Дар ҳамаи равандҳои имтиҳонҳои марказонидаи дохилшавӣ аз техника ва технологияҳои иттилоотӣ ба таври васеъ истифода бурда мешавад.

Ҳамзамон, бақайдгирии довталабон барои иштирок дар имтиҳонҳои марказонидаи дохилшавӣ ва макони супоридани имтиҳонҳо дар шахру ноҳияҳои мамлакат ба роҳ монда мешавад. Ин имкон медиҳад, ки довталабон дар макони зисти худ аз қайд гузаранд ва имтиҳон супоранд.

Мушкилоти зикргардида зарурати таҳияи модули барномавии махсусро барои автоматикунонии раванди бақайдгирии довталабон дар Маркази миллии тести Тоҷикистон ба миён меорад. Ҳадафи таҳқиқоти мазкур тарҳрезии модели функционалӣ ва таҳияи таъминоти барномавии мувофиқ мебошад.

Методҳо ва методологияи таҳқиқот. Методҳо ва методологияи таҳқиқот аз принципҳои асосии таҳлили системавӣ, амсиласозии математикӣ ва банақшагирии муҳандисии таъминоти барномавӣ асос ёфтаанд. Дар қараёни таҳқиқот раванди бақайдгирии довталабон ҳамчун як низомии мураккаби иттилоотӣ баррасӣ гардида, робитаи байни зернизомиҳо, қараёни маълумот ва механизмҳои коркарди онҳо таҳлил карда шуданд.

Асоси методологии таҳқиқотро усулҳои таҳлили системавӣ, моделсозии равандҳои тичоратӣ, моделсозии математикӣ, омӯзиши назарияи хизматрасонии оммавӣ, методҳои баҳодиҳии самаранокӣ ва технологияҳои банақшагирии муҳандисии таъминоти барномавӣ ташкил медиҳанд. Ин усулҳо имконият фароҳам оварданд, модели илмӣ раванди бақайдгирии довталабон таҳия гардида, дар асоси он модули барномавии самаранок ва эътимоднок барои бақайдгирии довталабон таҳия карда шавад.

Қисми асосӣ. Амсиласозии функционалии бизнес-равандҳо. Раванди бақайдгирии довталабон дар ММТ марҳилаҳои зеринро дар бар мегирад: дархости аввалия ва машварат; пур кардани варақаи муқарраршудаи дархост; пешниҳоди бастаи ҳуҷҷатҳо (шиноснома ва нусхаи он, аттестат ё диплом ё маълумотнома аз муассисаи таълимӣ, ҳуҷҷатҳо оид ба доштани дастовард ё имтиёзҳо, маълумот дар бораи пардохт); тасдиқи ҳуҷҷатҳо аз ҷониби бақайдгиранда; санҷиши маълумот дар бораи пардохти маблағи хизматрасонӣ; ворид намудани маълумоти довталаб; интиҳоб намудани то 12 комбинатсияи ихтисосҳо; гирифтани расм ва изи ангушти довталаб бо истифода аз веб-камера ва сканери изи ангушт; чопи варақаи бақайдгирӣ.

Барои аёнияти раванди бақайдгирии довталабон, методологияи IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling - Муайянкунии ҳамгирой барои амсиласозии функция) истифода гардид [4]. Ин бақайдгирӣ имкон медиҳад, ки равандҳои мураккаб ба таври иерархӣ таҷзия карда шаванд ва робитаҳои байни додаҳои воридшаванда, натиҷаҳои хориҷшаванда, амалҳои идоракунӣ ва механизмҳо ба таври аёнӣ нишон дода шаванд.

Амсилаи функционалиро ба намуди зерин метавон ифода намуд [1]:

$$F : (I, C, M) \rightarrow O, (1)$$

ки дар ин ҷо: I – додаҳои воридшаванда (Input);

C – назорат, амалҳои идоракунӣ (Control);

M – механизмҳо (Mechanism);

O – додаҳои хориҷшаванда (Output).

Амсилаи функционалии модули барномавии бақайдгирии довталабон бошад, намуди зерин дорад [2]:

$$R(P, D, S, T) \rightarrow (CN, DB), \quad (2)$$

ки дар ин ҷо: P – маълумоти шахсии довталаб,

D – ҳуҷҷатҳои довталаб,

S – комбинатсияи ихтисосҳои интиҳобнамудаи довталаб,

T – маълумот дар бораи пардохт,

CN – рақами назоратӣ,

DB – пойгоҳи додаҳо.

Диаграммаи заминавии А-0 раванди бақайдгирии довталабро дар маҷмӯъ ифода намуда, аз бандҳои зерин иборат мебошад. **Додаҳои воридшаванда (Input)** маълумоти шахсии довталаб, ҳуҷҷатҳои дар бораи таҳсилот, дастовард, имтиёз, комбинатсияи ихтисосҳои интиҳобшуда, расм ва изи ангушти довталаб, маълумот дар бораи пардохти маблағи хизматрасониро дар бар мегиранд. Тавассути **Назорат (Control)** ҳуҷҷатҳои танзимкунандаи низоми имтиҳонҳои марказонидаи дохилшавӣ ва санадҳои меъёрию ҳуқуқии марбут амалӣ карда мешавад. **Механизм (Mechanism)** бақайдгирандагон, таҷҳизот ва таҳминоти барномавию дар бар мегирад. **Додаҳои хориҷшаванда (Output)** рақами назоратии довталаб, варақаи бақайдгирӣ ва маълумотеро, ки ба пойгоҳи додаҳо ворид карда шудааст, дар бар мегирад [6].

Диаграммаи таҷзияи сатҳи якум А0 чор қисми асосии функционалиро нишон медиҳад: А1 – Қабули ҳуҷҷатҳо ва санҷиши ибтидоӣ; А2 – Бақайдгирӣ дар системаи модули барномавӣ; А3 – Тасдиқи дурустии пардохт ва коркарди он; А4 – Таҳия ва чопи варақаи бақайдгирӣ. Ҳар як қисм тавассути чараёнҳои иттилоотии мувофиқ ба қисми дигар пайваست карда мешавад, ки иҷрои пайдарпайи раванди бақайдгириро таъмин менамояд.

Қисми А2 «Бақайдгирӣ дар системаи модули барномавӣ» дар диаграммаи сатҳи дуюм ба зербандҳо тақсим мешавад: А21 - тасдиқи маълумот; А22 - санҷиши такрорӣ; А23 - додани рақами назоратӣ; А24 – сабти маълумот дар пойгоҳи додаҳо; А25 – огоҳ намудани довталаб оид ба бақайдгирӣ.

Сохтори модули барномавӣ. Модули барномавии таҳияшуда дар заминаи сохти сесатҳаи муштарӣ-сервер, аз ҷумла сатҳи презентатсия (Presentation Layer), матҳи мантиқи тиҷоратӣ (Business Logic Layer) ва сатҳи дастрасӣ ба маълумот (Data Access Layer) таҳия карда шудааст [16].

Сатҳи презентатсия ҳамчун барнома бо истифода аз имкониятҳои забони барномасозии C# (Winwors Forms) ва DevExpress амалӣ карда мешавад. Равзана (интерфейс) бо дарназардошти талаботи дастрасӣ тарҳрезӣ шудааст ва таҷҳизоти компютери бо андозаҳои гуногуни экранро дастгирӣ мекунад. Равзанаи асосӣ (намуди зоҳирӣ, интерфейс)-и модули барномавии «Бақайдгирии довталабон», ки дар расми 1 оварда шудааст, аз ду қисм иборат аст: қисми идора, ки дар он тугмаҳои «Чоп», «Сабт», «Таҳрир», «Ҳисобот», «Пешномнависӣ» ва «Баромад» ҷой дода шудаанд; қисми корӣ, ки дар он вобаста аз интиҳоби бандҳои «Маълумоти шахсӣ», «Маълумоти иловагӣ», «Интиҳоби ихтисосҳо» ва «Сурат / Изи ангушт» майдонҳои дахлдор барои ворид кардани маълумот пайдо мешаванд (расми 1).

Расми 1. Равзанаи модули барномавии «Бақайдгирии довталабон»
Figure 1. Window of the "Applicant Registration" software module

Баъди бомуваффақият ворид шудан ба модули барномавӣ равзанаи «Маълумоти шахсӣ» кушода мешавад [3]. Инчунин, дар вақти кор дар модули барномавӣ бо мақсади кушодани ин равзана банди «Маълумоти шахсӣ»-ро интиҳоб кардан лозим аст. Маълумот дар майдонҳои равзана бо воситаи тугмадон (клавиатура) ҳуруфчинӣ мешавад ё аз рӯйхати пешниҳодгардидаи маълумот дар майдонҳои дахлдор интиҳоб мегардад.

Равзанаи «Маълумоти иловагӣ» барои ворид кардани маълумоти иловагӣ дар бораи довталаб хизмат мекунад. Аз ҷумла: «Маълумот дар бораи таҳсилот» ва «Дастовардҳо/Имтиёзҳо» (расми 2).

Расми 2. Равзанаи «Маълумоти иловагӣ»
Figure 2. "Additional Information" window

Бақайдгирии довталабон

Чоп Сабт Таҳрир Ҳисобот Пешномнависӣ Баромад

Маълумоти шахсӣ Маълумоти иловагӣ **Интихоби ихтисосҳо** Сурат / Изи ангушт

Маълумот дар бораи таҳсилот

*Муассисаи таълимӣ (мактаб): *Забони таҳсил дар мактаб:

*Намуди ҳуҷҷат: *Силсила ва рақам:

*Мақомот: *Сана: *Соли хатм: 2026

Дастовардҳо/Имтиёзҳо

Фарҳанг ва санъат: Ҳуҷҷат(ҳо)и тасдиқунанда:

Варзиш: Мақомот:

Маъюбӣ: Маълумотномаи тиббӣ:

Ятими кул / ниятим / бепарастор: Силсилаи №:

Ҳуҷҷат(ҳо)и тасдиқунанда:

☐ Хизмати ҳарбӣ:

☐ Фарзанди хизматчи ҳарбии ҳалокшуда:

Равзанаи «Интихоби ихтисосҳо» барои ворид кардани маълумот тариқи интиҳоб аз рӯйхатҳои пешниҳодшаванда оид ба гурӯҳи ихтисосҳо, комбинатсияи ихтисосҳо (ихтисосҳо вобаста ба муассисаи таълимӣ, шакли намуд ва мавҷудияти забони таҳсил дар онҳо), имтиҳон аз фанни забони хориҷӣ, забон ва макони имтиҳонсупорӣ, макони имтиҳонсупорӣ барои қисми В (имтиҳонҳои эҷодӣ ва маҳорати махсус), инчунин макони ирсоли даъватномаи довталаб хизмат мекунад (расми 3).

Расми 3. Равзанаи «Интихоби ихтисосҳо»
Figure 3. "Selection of Specializations" window

Бақайдгирии довталабон

Чоп Сабт Таҳрир Ҳисобот Пешномнависӣ Баромад

Маълумоти шахсӣ Маълумоти иловагӣ **Интихоби ихтисосҳо** Сурат / Изи ангушт

*Гурӯҳи ихтисосҳо: Имтиҳон аз фанни забони хориҷӣ:

Комбинатсияи ихтисос:

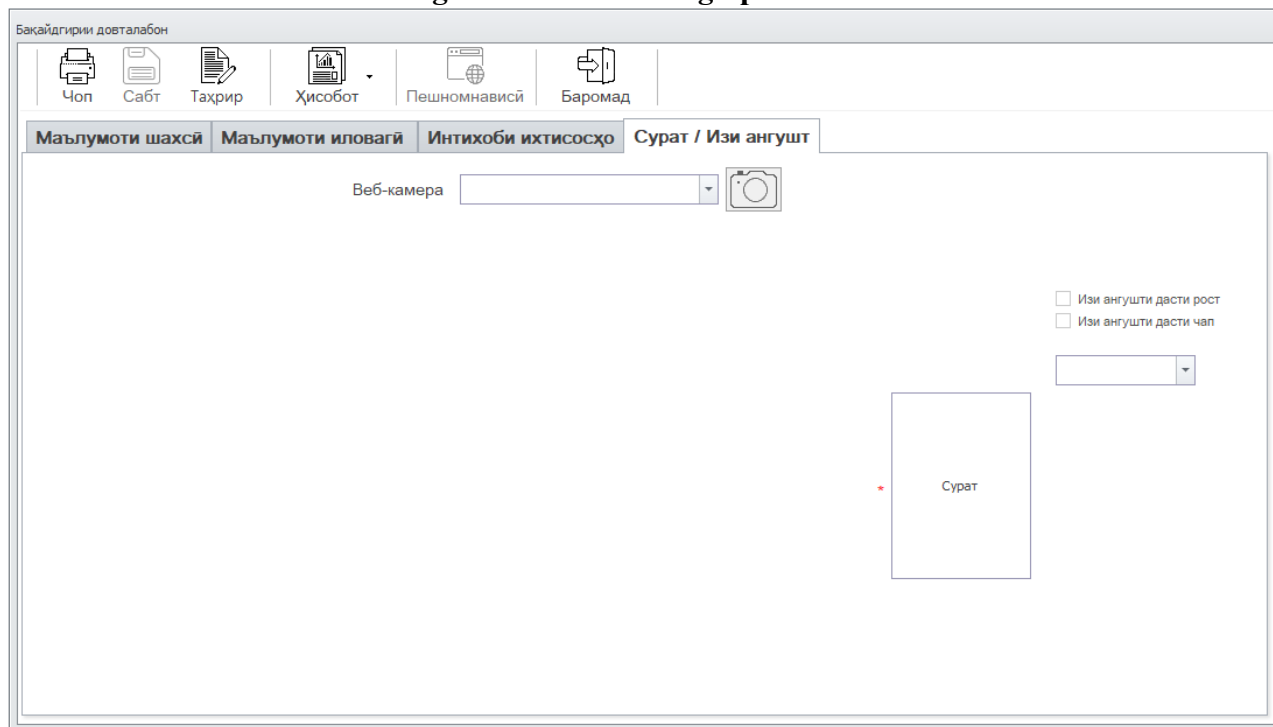
№	Ихтисос	Муассисаи таълимӣ	Шакли таҳсил	Намуди таҳсил	Забони таҳсил

*Забони имтиҳонсупорӣ: *Макони имтиҳонсупорӣ: *Ирсоли даъватнома ба: муассисаи таълимӣ (мактаб)

Макони имтиҳонсупорӣ барои қисми В:

Равзанаи «Сурат / Изи ангушт» (ниг. ба расми 4) барои гирифтани сурати довталаб бо воситаи Web-камера ва изи ангуштони ӯ бо воситаи намогир (сканер)-и изи ангуштон хизмат мекунад (расми 4).

Расми 4. Равзанаи «Сурат / Изи ангушт»
Figure 4. "Photo / Fingerprint" window



Сатҳи мантиқи тиҷоратӣ дар платформаи ASP.NET CORE бо истифода аз чаҳорчӯбаи WEB API амалӣ карда мешавад. Қисми сервер дар заминаи веб-сервери IIS амалӣ карда шуда REST API-ро пешниҳод мекунад, ки гурӯҳҳои зерини нуқтаҳои ниҳоиро (endpoint) дар бар мегирад: /api/auth – аутентификация ва иҷозатдиҳӣ; /api/entrants – идоракунии маълумоти довталаб; /api/payments – ҳамгироии системаи пардохт; /api/reports – таҳияи ҳисобот [8; 14; 15].

Сатҳи дастрасӣ ба маълумот бар асоси пойгоҳи додаҳои релятсионӣ MS SQL SERVER 2019 сохта шудааст. Схемаи пойгоҳи додаҳои меъёрӣ дар шакли сеюми нормалӣ (3NF) таҳия шудааст, ки аз ҷадвалҳои ба ҳам пайваस्तшуда иборатанд. Субъектҳои асосии пойгоҳи додаҳо: entrants (довталабон), applications (дархостҳо), payments (пардохтҳо) ва specialties (ихтисосҳо) мебошанд [11; 10; 13].

Арзёбии самаранокии модули барномавӣ. Арзёбӣ ва асосноккунии самаранокии модули барномавии таҳияшуда яке аз марҳалаҳои асосии лоиҳакашӣ, амсиласозӣ ва ҷорӣ намудани низомҳои нави иттилоотии муосир ба шумор меравад. Вазифаи ин раванд муайян намудани мувофиқати модули барномавӣ ба талаботи техникӣ мебошад.

Самаранокии модули барномавии таҳияшуда ҳамчун категорияи бисёрченака ва нишондиҳандаи интегралӣ амал карда, барои муайян намудани эътимоднокии коркарди захираҳои иттилоотӣ ва самаранокии иқтисодӣ хизмат мекунад.

Таҳқиқот муайян месозад, ки самаранокии функционалии модули барномавиро ба се гурӯҳ тақсим намудан мумкин аст:

- самаранокӣ аз рӯи маҷмуи нишондиҳандаҳои техникӣ;
- самаранокӣ аз рӯи вақт;
- самаранокӣ аз рӯи ташкилӣ.

Эътимоднокии коркарди маълумот. Эътимоднокии коркарди маълумот бо формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$E = \frac{N}{T}, (3)$$

Дар ин ҷо N – шумораи дархостҳои коркардшуда (шумораи довталабони бомуваффақият ба қайд гирифташуда), T – вақти коркард [17].

Таҳлили амсилаи математикӣ нишон медиҳад, ки самаранокии умумии модули барномавӣ E бо тағйирёбандаи афзоиши шумораи дархостҳои коркардшудаи N алоқамандии мустақим дошта, бо вақти сарфшуда T алоқамандии баръакс дорад. Яъне, агар ҳар қадар вақти коркарди як дархост камтар бошад, он гоҳ ҳамон қадар нишондиҳандаи самаранокии интегралӣ низом баландтар мегардад, ки ин аз устуворӣ ва оптимизатсияи амсила шаҳодат медиҳад.

Самаранокии иқтисодӣ. Дар шароити муосири гузариш ба иқтисодиёти рақамӣ, арзёбии самаранокии иқтисодии таъминоти барномавӣ яке аз марҳалаҳои муҳимми асосноккунии илмӣ ва амалии лоиҳаҳои технологияи иттилоотӣ ва коммуникатсионӣ ба шумор меравад.

Таҳлили самаранокии иқтисодии модули барномавӣ нишон медиҳад, ки истифодаи барномаи бақайдгирии довталабон боиси коҳиш ёфтани хароҷоти амалиётӣ, баланд гардидани истеҳсолоти меҳнат ва беҳтар шудани сифати хизматрасонӣ мегардад. Татбиқи модули барномавии бақайдгирии довталабон дар фаъолияти Маркази миллии тести назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон на танҳо вазифаҳои техникӣ коркарди додаҳо ҳал менамояд, балки устувории молиявӣ ташкилии муассисаро низ таъмин месозад.

Таҳлили ҳамаҷонибаи иқтисодӣ дар муассиса нишон медиҳад, ки гузариш аз усулҳои анъанавӣ ба низоми худкор, боиси коҳиш ёфтани хароҷоти амалиётӣ, баланд гардидани маҳсулнокии меҳнати кормандони техникӣ ва ба таври назаррас беҳтар шудани сифати хизматрасонии умумӣ мегардад.

Ҳисобҳои молиявӣ ва таҳлилҳои нишон медиҳанд, ки модули барномавии таҳияшуда дар муҳлати кӯтоҳ хароҷоти аввалияро, ки ба лоиҳакашӣ ва барномасозӣ ҷалб гардидаанд, мепӯшонанд.

Самаранокии молиявии модули барномавӣ ба воситаи формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$E_c = C_1 - C_2, (4)$$

ки дар ин ҷо: C_1 – хароҷот то татбиқи модули барномавӣ ва C_2 – хароҷот баъди татбиқ мебошанд.

Ҳамзамон, коэффитсиенти самаранокии иқтисодӣ бошад аз рӯи формулаи зерин натиҷагирӣ мешавад [7; 9]:

$$K_e = \frac{E_c}{C_2}, (5)$$

дар ин ҷо: K_e — коэффитсиенти самаранокии иқтисодии сармоягузорӣ, E_c — сарфаи солонаи хароҷот ва C_2 — ҳаҷми умумии хароҷот барои харид, лоиҳакашӣ, барномасозӣ ва ҷорӣ намудани модули барномавӣ мебошад.

Дараҷаи худкоргардонии раванд. Дараҷаи худкоргардонии равандҳои бақайдгирии довталабон нишон медиҳад, ки қисми зиёди амалиётҳо дар низоми пешниҳодшуда ба таври худкор иҷро мегарданд, ки ин боиси баланд шудани самаранокӣ, коҳиши хатогиҳо ва беҳтар гардидани сифати хизматрасонӣ мегардад.

Аз таҳлилҳо бармеояд, ки дараҷаи худкоргардонии равандҳои бақайдгирӣ ба сатҳи баланд расида, зиёда аз 75% амалиёт бе иштироки мустақими бақайдгиранда иҷро мешаванд. Ин ҳолат боиси афзоиши истеҳсолнокӣ ва коҳиши вақти хизматрасонӣ мегардад.

Натиҷагирӣ. Натиҷагирӣ шумораи дархостҳои коркардшударо дар як воҳиди вақт нишон медиҳад, ки дар он P – натиҷагирӣ, N – шумораи довталабони бақайдгирифташуда ва t – вақти бақайдгирӣ мебошанд. Мисол, агар дар як рӯзи корӣ, ки иборат аз 8 соат аст, дар як истгоҳи бақайдгирӣ 40 довталаб аз қайд гузаранд, пас натиҷа чунин мешавад [12]:

$$P = \frac{N}{t}, P = 5.$$

Аз натиҷаи ҳисобкунӣ бармеояд, ки дар як истгоҳи бақайдгирӣ дар муддати як соат, 5 довталаб метавонад худро ба қайд гирад.

Хулоса. Дар ин мақолаи илмӣ натиҷаҳои амсиласозӣ ва таҳияи модули барномавӣ барои бақайдгирии довталабон ба Маркази миллии тестии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон пешниҳод карда мешавад. Модули барномавии таҳияшуда дар заминаи сохтори се сатҳаи мизоч-сервер асос ёфтааст ва тамоми давраи расмиёти бақайдгириро дар ҳолати автоматӣ амалӣ мекунад.

Натиҷаҳои таҳқиқот метавонанд барои таҳияи модулҳои шабех барои дигар қисматҳои низоми иттилоотии худкори идоракунии раванди имтиҳонҳои марказонидаи дохилшавӣ татбиқ карда шаванд ва барои истифода дар системаҳои идоракунии таълим дар муассисаҳои таълимии миёна ва олии касбии Ҷумҳурии Тоҷикистон мутобик карда шаванд. Таҳқиқоти минбаъда ба ҳамгирии модули барномавӣ бо системаи иттилоотии муассисаҳои таълимии миёна ва олии касбӣ ва татбиқи усулҳои омӯзиши мошинӣ барои таҳлили интеллектуалии маълумоти довталабон нигаронида шудааст.

Мақола дар доираи мавзӯи рисолаи илмӣ муаллиф таҳти унвони "Моделсозӣ ва таҳияи низоми иттилоотии худкори идоракунии раванди имтиҳонҳои марказонидаи дохилшавӣ (дар мисоли ММТ)", дар заминаи кафедраи "Автоматонии равандҳои технологӣ ва истеҳсолот"-и Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи М. С. Осимӣ, ки бо қарори Шӯрои олимон тасдиқ гардидааст, омода карда шудааст.

АДАБИЁТ

1. Верников Г.Г. Основные методологии обследования организаций. Стандарт IDEF0 / Г.Г. Верников. - М.: КомпьютерПресс, 2000. – 83 с.
2. Волков А.С. Разработка веб-приложений на ASP.NET Core. / А.С. Волков. - М.: ДМК Пресс, 2022. – 138 с.
3. ГОСТ Р 34.11-2012. Криптографическая защита информации. - М., 2013.
4. Қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон дар бораи «Тартиби гузаронидани имтиҳонҳои марказонидаи дохилшавӣ ба муассисаҳои таълимии таҳсилоти миёна ва олии касбии Ҷумҳурии Тоҷикистон» № 188 от 29.04.2023.
5. Қонуни Ҷумҳурии Тоҷикистон «Дар бораи маориф» №1004 от 22.07.2013.
6. Троелсен Э. Язык программирования C# 10 и платформа. NET 6 / Э. Троелсен, Ф. Джепикс. - М.: Вильямс, 2022. – 201 с.
7. Esposito D. Microsoft. NET - Architecting Applications - Microsoft Press / D. Esposito, A. Saltarello. - 2014. – 265 p.
8. Fowler M. Patterns of Enterprise Application Architecture. - Addison-Wesley, 2002. - 560 p.
9. IDEF0. Integration Definition for Function Modeling. FIPS 183. - NIST, 1993.
10. ISO/IEC 27001:2022. Information Security Management Systems. - Geneva: ISO, 2022.
11. ISO/IEC 9126:2001. Software Engineering - Product Quality. - Geneva: ISO, 2001.
12. Kleppmann M. Designing Data-Intensive Applications. - O'Reilly Media, 2017. – 346 p.
13. Lerman J., Miller R. Programming Entity Framework: DbContext. - O'Reilly, 2012. – 466 p.
14. Lock A. ASP.NET Core in Action. 2nd ed. - Manning, 2021. – 675 p.
15. Newman S. Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems. - 2nd ed. - O'Reilly Media, 2021. – 616 p.
16. Price M.J. C# 11 and .NET 7. - Packt Publishing, 2022. – 579 p.
17. Richardson C. Microservices Patterns. - Manning, 2018. – 478 p.

АМСИЛАСОЗӢ ВА ТАӢИЯИ МОДУЛИ БАРНОМАВӢ БАРОИ БАҚАЙДГИРИИ ДОВТАЛАБОН ДАР МАРКАЗИ МИЛЛИИ ТЕСТИИ НАЗДИ ПРЕЗИДЕНТИ ҶУМӢУРИИ ТОӢИКИСТОН

Дар ин мақола моделсозӣ ва таҳияи модули барномавӣ барои бақайдгирии довталабон дар Маркази миллии тестии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон (ММТ) баррасӣ мешавад. Аҳамияти таҳқиқот аз зарурати баланд бардоштани самаранокии имтиҳонҳои марказонидаи дохилшавӣ, афзоиши шумораи довталабон ва зарурати автоматонии коркарди маълумоти бақайдгирӣ бармеояд. Таҳлили ҳолати мавҷудаи бақайдгирӣ гузаронида шуд, ки камбудҳои асосии шакли анъанавӣ, аз ҷумла меҳнатталабии баланд, хароҷоти назарраси вақт ва эҳтимолияти хатогиҳо ҳангоми коркарди маълумот муайян карда шуданд. Барои ҳалли ин масъала, модели математикии раванди бақайдгирӣ дар асоси усулҳои таҳлили системаҳо таҳия карда шуд. Модели функционалии равандҳои тичоратии бақайдгирӣ бо истифода аз нотаи IDEF0 пешниҳод карда мешавад. Модели пешниҳодшуда марҳилаҳои асосии бақайдгириро ба расмият мебарорад, вазъи системаро арзёбӣ мекунад, коршоямии модули барномавиرو пешгӯӣ ва идоракунии самаранокии чараҳои маълумотро таъмин мекунад. Меъморӣи модули барномавӣ ба модели сесатҳаи мизоч-сервер асос ёфта, аз бо истифодаи технологияҳои C#, ASP.NET Core ва Microsoft SQL Server таҳия шудааст. Натиҷаи таҳқиқот нишон дод, ки вақти бақайдгирӣ ва шумораи хатогиҳо кам шудааст, суръати кори система афзоиш ёфта, сифати хизматрасонӣ беҳтар гардидааст.

Калидвожаҳо: Маркази миллии тестӣ, бақайдгирии довталабон, модули барномавӣ, IDEF0, худкоргардонӣ, базаи додаҳо, веб-замима.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ АБИТУРИЕНТОВ В НАЦИОНАЛЬНОМ ЦЕНТРЕ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРИ ПРЕЗИДЕНТА РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

В данной статье рассматривается моделирование и разработка программного модуля для регистрации абитуриентов в Национальном центре тестирования при Президенте Республики Таджикистан (НПТ). Значимость исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности централизованных вступительных экзаменов, увеличением числа абитуриентов и потребностью в автоматизации обработки регистрационных данных. Проведен анализ текущего состояния регистрации, выявивший основные недостатки традиционной формы, включая высокую трудоемкость, значительные временные затраты и возможность ошибок при обработке данных. Для решения этой проблемы разработана математическая модель процесса регистрации на основе методов системного анализа. Функциональная модель бизнес-процессов регистрации представлена с использованием нотации IDEF0. Предложенная модель формализует основные этапы регистрации, оценивает состояние системы, прогнозирует функциональность программного модуля и обеспечивает эффективное управление потоком данных. Архитектура программного модуля основана на трехзвенной клиент-серверной модели и разработана с использованием технологий C#, ASP.NET Core и Microsoft SQL Server. Результаты исследования показали, что время регистрации и количество ошибок сократились, скорость работы системы увеличилась, а качество обслуживания улучшилось.

Ключевые слова: Национальный центр тестирования, регистрация абитуриентов, программный модуль, IDEF0, автоматизация, база данных, веб-приложение.

MODELING AND DEVELOPMENT OF A SOFTWARE MODULE FOR REGISTERING APPLICANTS AT THE NATIONAL TESTING CENTER UNDER THE PRESIDENT OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

This article discusses the modeling and development of a software module for registering applicants at the National Testing Center under the President of the Republic of Tajikistan (NTC). The study is significant due to the need to improve the efficiency of centralized entrance examinations, the increasing number of applicants, and the need to automate registration data processing. An analysis of the current state of registration revealed the main shortcomings of the traditional form, including high labor intensity, significant time costs, and the possibility of errors in data processing. To address this issue, a mathematical model of the registration process was developed based on systems analysis methods. The functional model of the registration business processes is presented using IDEF0 notation. The proposed model formalizes the main stages of registration, assesses the system state, predicts the functionality of the software module, and ensures effective data flow management. The architecture of the software module is based on a three-tier client-server model and is developed using C#, ASP.NET Core, and Microsoft SQL Server technologies. The study results showed that registration times and errors were reduced, system speed increased, and service quality improved.

Keywords: National Testing Center, entrant registration, software module, IDEF0, automation, database, web application.

Маълумот дар бораи муаллифон: *Азиззода Хусрав Азиз* – Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ, унвонҷӯ. **Суроға:** 734042, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи академикҳо Раҷабовҳо, 10. Телефон: (+992) 55-501-44-44. E-mail: khisrav.azizzoda@ntc.tj

Мирзоев Сайъло Ҳабибулоевич – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, доктори илмҳои техники, профессори кафедраи информатика. **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рудаки, 17. Телефон: (+992) 98-507-27-87. E-mail: saidalo.mirzoev.1967@mail.ru

Сведения об авторах: *Азиззода Хусрав Азиз* –Таджикского технического университета имени М.С.Осимӣ, соискатель. **Адрес:** 734042, г. Душанбе, Республика Таджикистан, улица академиков Раҷабовых, 10. Телефон: (+992) 55-501-44-44. E-mail: khisrav.azizzoda@ntc.tj

Мирзоев Сайъло Ҳабибулоевич – Таджикский национальный университет, доктор технических наук, профессор кафедры информатики. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки, 17. Телефон: (+992) 98-507-27-87. E-mail: saidalo.mirzoev.1967@mail.ru

Information about authors: *Azizzoda Khisrav Aziz* –Tajik Technical University named after M.S.Osimi, applicant. **Address:** 734042, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Academician Rajabovych Street, 10. Phone: (+992) 555-01-44-44. E-mail: khisrav.azizzoda@ntc.tj

Mirzoev Saidalo Khabibullovich – Tajik National University, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Informatics. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Ave., 17. **Phone:** (+992) 98-507-27-87. Email: saidalo.mirzoev.1967@mail.ru

Мақола ба редакция ворид шуд: 13.06.2026
Аз тақриз баргашт: 17.08.2026
Ба ҷоп таъсия шуд: 06.10.2026

**АМСИЛАСОЗИИ КОМПЮТЕРИИ ТАҲЛИЛИ СИНТАКСИСИЮ СЕМАНТИКИИ
ЧУМЛАҲОИ СОДАИ ЗАБОНИ ТОЧИКӢ БО ИСТИФОДА АЗ ТЕХНОЛОГИЯҲОИ
МУОСИР**

Сафарзода О.С., Кулулов М.А., Шамсов С.М.

**Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибкорӣ Тоҷикистон,
Маркази рушди инноватсионӣ илм ва технологияҳои нави АМИТ**

Муқаддима. Дар шароити рушди технологияҳои иттилоотӣ ва коммуникатсионӣ масъалаи коркарди автоматии забонҳои милли аҳамияти махсус пайдо кардааст. Яке аз самтҳои муҳимми забоншиносии компютерӣ таҳлили синтаксисии ҷумлаҳо ба ҳисоб меравад. Ҷумла ҳамчун воҳиди асосии сохтори грамматикӣ барои омӯзиши муносибатҳои байни унсурҳои забонӣ нақши муҳим мебозад.

Дар солҳои охир технологияҳои коркарди забони табиӣ (Natural Language Processing – NLP) ва усулҳои зехни сунъӣ имконият фароҳам оварданд, ки сохтори ҷумлаҳо ба таври автоматӣ муайян карда шавад [1]. Барои забони тоҷикӣ чунин таҳқиқот ҳанӯз дар марҳилаи ибтидоӣ қарор дошта, масъалаи таҳияи моделҳои расмӣ ва алгоритмҳои таҳлили синтаксисӣ аҳамияти илмӣ ва амалӣ дорад.

Ҳадафи таҳқиқот аз таҳияи модели компютерӣ таҳлили ҷумлаҳои содаи забони тоҷикӣ ва муайян намудани имкониятҳои истифодаи технологияҳои муосир дар ин самт иборат мебошад [2].

Мавод ва усулҳои таҳқиқот. Асоси таҳқиқотро усулҳои таҳлили синтаксисӣ, моделсозии математикӣ ва технологияҳои коркарди забони табиӣ ташкил медиҳанд. Барои таҳлили ҷумлаҳои содаи тоҷикӣ марҳилаҳои зерин пешниҳод карда мешаванд:

1. Ҷудокунӣ ҷумла ба воҳидҳои алоҳида.
2. Муайян намудани қисми нутқи калимаҳо.
3. Муайян намудани аъзои ҷумла.
4. Барқарор намудани робитаҳои синтаксисӣ.
5. Сохтани модели расмӣ ҷумла.

Масалан, ҷумлаи «донишҷӯ мақоларо менависад» аз се ҷузъи асосӣ иборат мебошад: мубтадо, хабар ва пурқунанда [1].

Аз нуқтаи назари амсиласозӣ ҷумлаи мазкур чунин ифода мегардад:

$$S = \{M, X, P\}$$

ки дар он: М – мубтадо;

Х – хабар;

Р – аъзои пайрав.

Натиҷаҳо ва муҳокима. Таҳлил нишон дод, ки истифодаи алгоритмҳои компютерӣ имконияти муайянсозии сохтори ҷумлаҳоро бо дақиқии баланд фароҳам меорад. Ҳангоми санҷиши модели пешниҳодшуда дар маҷмуи ҷумлаҳои тоҷикӣ натиҷаҳои зерин ба даст омаданд:

- дақиқии муайянсозии мубтадо – 95%;
- дақиқии муайянсозии хабар – 97%;
- дақиқии умумии таҳлили синтаксисӣ – 93%.

Амсилаи компютерӣ таҳлили ҷумлаҳои содаи забони тоҷикӣ. Барои таҳлили автоматии ҷумлаҳои содаи забони тоҷикӣ амсилаи сохтории зерин пешниҳод карда мешавад:

$$J = \{M, X, A\}$$

ки дар он: J – ҷумла;

• М – мубтадо;

• Х – хабар;

• А – аъзои пайрав (пурқунанда, муайянқунанда, ҳол).

Тибқи ин амсила ҳар як ҷумла ҳамчун маҷмуи унсурҳои грамматикӣ тасвир карда мешавад [2].

Масалан, ҷумлаи:

«Донишҷӯ мақолаи илмиро менависад.»

дар шакли амсилави чунин пешниҳод мегардад:

$$J = \{\text{донишҷӯ, менависад, мақолаи илмиро}\}$$

ё

$$J = \{M, X, A\}$$

ки дар он: Донишҷӯ $\rightarrow M$;

• менависад $\rightarrow X$;

• мақолаи илмиро $\rightarrow A$.

Барои татбиқи амсила алгоритми зерин истифода мешавад:

1. Ворид намудани ҷумла.
2. Ҷудо кардани калимаҳо (Tokenization).
3. Муайян намудани қисми нутқи ҳар калима.
4. Ҷустуҷӯи мубтадо.
5. Ҷустуҷӯи хабар.
6. Муайян намудани аъзои пайрав.
7. Сохтани дарахти синтаксисӣ.
8. Пешниҳоди натиҷаи таҳлил.

Намуди умумии алгоритмиро метавон чунин ифода намуд:

$$F(J) = \{M, X, A\}$$

ки дар он F функсияи таҳлили синтаксисӣ буда, ҷумлаи воридшударо ба аъзои таркибии он ҷудо менамояд.

Аз нуқтаи назари компютерӣ ин амсила имкон медиҳад, ки сохтори грамматикӣ ба шакли расмӣ пешниҳод гардида, барои коркарди минбаъдаи мошинӣ истифода шавад. Дар асоси чунин модел метавон таҳлилгарҳои синтаксисӣ, луғатҳои электронӣ ва системаҳои тарҷумаи автоматии забони тоҷикиро таҳия намуд [1].

Самти дигари муҳимми татбиқи технологияҳои муосир ташкили корпусҳои милли мебошад. Корпуси милли маҷмуи матнҳои рақамишудаест, ки ҳамчун манбаи асосии таҳқиқоти забоншиносӣ истифода мешавад. Барои сохтани корпусҳои муосир матнҳо бояд аз ҷиҳати морфологӣ ва синтаксисӣ тамғагузорӣ карда шаванд [4]. Дар ин раванд системаҳои таҳлили автоматии ҷумлаҳо нақши асосӣ мебозанд. Бо ёрии чунин системаҳо муҳаққиқ метавонад сохтори ҷумла, вазифаи калимаҳо ва муносибатҳои байни онҳоро муайян намояд [2].

Корпусҳои милли на танҳо барои забоншиносон, балки барои омӯзгорон, донишҷӯён ва таҳиягарони барномаҳои компютерӣ низ манбаи муҳим ба ҳисоб мераванд. Онҳо имконият медиҳанд, ки қонуниятҳои забонӣ дар асоси маводи воқеии забон таҳқиқ карда шаванд. Аз ин нуқтаи назар, таҳлили синтаксисии автоматӣ ҳамчун заминаи асосии рушди корпусҳои рақамии забони тоҷикӣ хизмат мекунад [3].

Яке аз самтҳои муҳимтарини татбиқи натиҷаҳои таҳлили синтаксисӣ системаҳои тарҷумаи мошинӣ мебошанд. Барои он ки система маъноӣ ҷумла ва робитаҳои байни калимаҳоро дуруст дарк намояд, пеш аз ҳама, сохтори грамматикӣ бояд муайян карда шавад. Ҳангоми таҳлили синтаксисӣ система мубтадо, хабар, пуркунанда ва дигар аъзои ҷумлаҳоро муайян менамояд. Баъд аз ин тарҷума бо дақиқии бештар иҷро мегардад.

Таҷрибаи ҷаҳонӣ нишон медиҳад, ки сифати системаҳои тарҷумаи мошинӣ аз сатҳи таҳлили синтаксисии матн вобастагии зиёд дорад. Агар сохтори ҷумла нодуруст муайян карда шавад, тарҷума низ хатогиҳои ҷиддӣ хоҳад дошт [6]. Аз ин рӯ, таҳияи алгоритмҳои таҳлили синтаксисии ҷумлаҳои тоҷикӣ барои рушди системаҳои тарҷумаи автоматии тоҷикӣ аҳамияти махсус дорад.

Дар солҳои охир усулҳои омӯзиши мошинӣ дар соҳаи коркарди забони табиӣ васеъ истифода мешаванд. Омӯзиши мошинӣ маҷмуи алгоритмҳоест, ки ба компютер имконият медиҳанд аз маълумот қонуниятҳоро омӯзад ва қарор қабул намояд. Дар таҳлили синтаксисӣ чунин алгоритмҳо метавонанд намунаҳои сохтории ҷумлаҳоро аз ҳаҷми калони матнҳо омӯзанд ва баъдан онҳоро барои таҳлили ҷумлаҳои нав истифода баранд [9]. Бартарии асосии омӯзиши мошинӣ дар он аст, ки система танҳо ба қоидаҳои пешакӣ муайяншуда таъяс намекунад. Он метавонад аз таҷрибаи қаблӣ омӯзад ва сатҳи дақиқии худро мунтазам беҳтар намояд. Ин хусусият барои забони тоҷикӣ низ муҳим мебошад, зеро дар амал шаклҳои гуногуни сохтории ҷумлаҳо вучуд доранд ва тавсифи ҳамаи онҳо тавассути қоидаҳои анъанавӣ кори душвор аст [1].

Дар баробари омӯзиши мошинӣ, шабакаҳои нейронӣ низ дар таҳлили забонӣ васеъ истифода мешаванд. Шабакаҳои нейронӣ моделҳои ҳисоббарорие мебошанд, ки фаъолияти онҳоро ба фаъолияти шабакаи асабии инсон монанд медонанд. Онҳо метавонанд робитаҳои мураккаби байни воҳидҳои забониро муайян намуда, сохтори ҷумлаҳоро бо дақиқии баланд таҳлил намоянд. Таҳқиқот нишон медиҳад, ки шабакаҳои нейронӣ дар муайян намудани робитаҳои грамматикӣ байни аъзои ҷумла натиҷаҳои назаррас медиҳанд. Масалан, онҳо метавонанд муайян созанд, ки кадом калима мубтадо мебошад, кадом калима вазифаи хабарро иҷро мекунад ва байни аъзои ҷумла чӣ гуна муносибат вучуд дорад. Ин имконият махсусан ҳангоми таҳлили ҷумлаҳои дорои сохтори мураккаб муҳим мебошад [7].

Яке аз самтҳои наватарини рушди забоншиносии компютерӣ истифодаи моделҳои бузурги забонӣ мебошад. Чунин моделҳо дар асоси миллиардҳо калима омӯзонида шуда, қобилияти фаҳмиши сохторҳои гуногуни забониро доранд. Гарчанде барои забони тоҷикӣ чунин моделҳо ҳанӯз пурра ташаккул наёфтаанд, истифодаи онҳо дар оянда метавонад ба рушди таҳлили автоматии ҷумлаҳо мусоидат намояд. Дар маҷмӯъ, истифодаи технологияҳои муосир барои таҳлили синтаксисии ҷумлаҳои содаи забони тоҷикӣ аҳаммияти назариявӣ ва амалӣ дорад [10]. Он на танҳо имконияти омӯзиши амиқтари сохтори забонро фароҳам меорад, балки барои таҳияи луғатҳои электронӣ, корпусҳои миллий, системаҳои тарҷумани мошинӣ, барномаҳои ҷустуҷӯи интеллектуалӣ ва дигар воситаҳои рақамии коркарди матн заминаи устувори илмӣ муҳайё месозад [2]. Бо рушди минбаъдаи технологияҳои зехни сунъӣ ва афзоиши захираҳои рақамии забони тоҷикӣ имкониятҳои нави таҳқиқот дар ин самт пайдо хоҳанд шуд.

Хулоса, дар натиҷаи таҳқиқот модели компютерии таҳлили ҷумлаҳои содаи забони тоҷикӣ пешниҳод гардид. Натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки истифодаи технологияҳои коркарди забони табиӣ ва зехни сунъӣ метавонад сифати таҳлили автоматии ҷумлаҳоро беҳтар намояд. Модели пешниҳодшуда метавонад барои таҳияи таҳлилгарҳои синтаксисӣ, системаҳои ҷустуҷӯӣ ва дигар воситаҳои рақамии коркарди матн истифода шавад.

Моделсозии сохтории синоним дар ҷумлаҳои содаи забони тоҷикӣ. Дар низомҳои коркарди компютерии забони табиӣ (NLP), синоним ҳамчун яке аз шаклҳои моделсозии робитаҳои маъноӣ байни воҳидҳои луғавӣ баррасӣ мегардад. Модели маъноии синоним ба принсипи мавҷудияти воҳиди асосӣ таъяс мекунад, ки маркази концептуалии майдони маъноиро ташкил медиҳад. Дар атрофи ин марказ маҷмуи воҳидҳои ҳаммаъно ё қатори синонимикӣ ташаккул меёбад [8]. Унсурҳои ин қатор, бо вучуди умумияти маъноӣ, аз ҷиҳати хусусиятҳои услубӣ, прагматикӣ, модалӣ ва эҳсосӣ аз якдигар фарқ мекунанд. Дар ҷумлаҳои содаи забони тоҷикӣ ин воҳидҳо метавонанд дар мавқеъҳои муайяни синтаксисӣ вазифаи тақсимодро иҷро намуда, ҳангоми ивазшавӣ тобишҳои гуногуни маъноӣ ва коммуникативиро ба сохтори синтаксисӣ-маъноии матн ворид намоянд. Аз ин рӯ, амсилаи (моделҳои) синоним дар NLP ҳамчун воситаи ифодаи гуногуншаклии луғавию шаклӣ ва нигоҳдории ҳамарзии нисбии маъно дар раванди таҳлил ва тавлиди матн аҳаммияти назариявӣ ва амалӣ дорад [1].

Амсилаи функционалӣ-семантикии синонимҳо ва таҳлили компютерии он. Дар низомҳои коркарди автоматии забони табиӣ (NLP) амсилаи функционалӣ-семантикии синонимҳо ҳамчун модели формалии майдони лексикӣ-семантикӣ истифода мешавад, ки ҳадафи он коҳиши тавтологияи нутқӣ, нормализатсияи матн ва баланд бардоштани дақиқии намоёндагии иттилооти маъноӣ мебошад [14]. Ин амсила ба принсипи воҳиди доминантии семантикӣ таъяс мекунад, ки ҳамчун маркази прототипии майдони маъноӣ амал намуда, маҷмуи воҳидҳои синонимиро дар шакли калимаи асосӣ муттаҳид месозад [2].

Масалан, дар мавриди лексеаи «хуб» воҳидҳои «нағз», «бех», «олӣ», «маъкул» ва «дилкаш» қатори синонимиро ташкил медиҳанд, ки ҳар яке дараҷаи гуногуни арзёбии мусбатро ифода менамояд [5]. Дар таҳлили компютерӣ ин воҳидҳо хусусияти дистрибутивӣ дошта, дар мавқеъҳои синтаксисии ҳамарзии метавонанд иваз шаванд, вале ивазшавӣ бо тағйироти нозуки семантикӣ ва экспрессивӣ ҳамроҳ мегардад. Аз ин рӯ, ин амсила дар NLP барои таҳлили семантикӣ, тавлиди забон ва коркарди интеллектуалии матн аҳаммияти муҳим дорад [11]. Дар расмисозии фазои лексикӣ-семантикӣ, корпуси

матнӣ ҳамаҷун маҷмуи тартибёфтаи калимаҳои сермаъно баррасӣ мешавад, ки дар он ҳар лексема бо маҷмуи синонимҳои худ дар робитаи семантикии ивазшаванда қарор дорад.

$$D(w) = \{w' \in V_{toj} \mid w' \sim w\},$$

ки дар он: V_{toj} — луғати забони тоҷикӣ ва n — таъвоноии вектори матн мебошад.

Барои инъикоси робитаҳои семантикӣ заминаи лексикографии электронӣ (тезаурус) D ворид карда мешавад, ки функсияи инъикоси калимаро ба қатори синонимиикии он муайян мекунад:

$$T = (w_1, w_2, \dots, w_n), \quad \text{дар ин } w_i \in V_{toj},$$

ки дар ин ҷо $D(w)$ зермаҷмуи ғайрихолии лексемаҳоест, ки дар муносибати эквивалентии семантикӣ (инвариантӣ) бо воҳиди аввалияи w қарор доранд.

Амсилаи ниҳонии оппозитсияҳои синонимикӣ дар матни таҳлилшавандаи T тавассути графӣ муносибатҳои бинарии $R(T)$ ифода меёбад, ки ҷуфтҳои элементҳои эҳтимолан ивазшавандаро ҳамчун меорад:

Тартиб додани амсилаи (моделӣ) антонимӣ дар ҷумлаҳои содаи забони тоҷикӣ. Антонимия ҳамаҷун амсилаи лексикӣ-семантикӣ падидаи зиддият ва муқоиса байни воҳидҳои забонӣ мебошад [4]. Ин амсила дар асоси муносибати маъноҳои муқобил ташаккул ёфта, ҷазои семантикиро ба қутбҳои поляри (муқолиф) ҷудо менамояд. Дар таҳлили компютери забон (NLP), антонимҳо ҳамаҷун ҷуфтҳои бинарии семантикӣ моделсозӣ мешаванд, ки дар як муҳити маъноӣ қарор дошта, вале дорои самтҳои муқобили арзёбӣ ё семантика мебошанд [3].

Намудҳои антонимия:

• **Антонимҳои тадриҷӣ (градуалӣ):**

сард – ширғарм – гарм
(мавҷудияти зинаҳои миёнаи семантикӣ)

• **Антонимҳои мутлақ (комплементарӣ):**

ҳаёт – марг, рост – дурӯғ
(мавҷуд набудани ҳолати миёна) [5].

Аҳаммияти илмӣ: Моделӣ антонимия дар NLP барои формализатсияи муносибатҳои зиддиятӣ, таҳлили мантикии матн, муайянсозии контраст ва тақмили фаҳмиши семантикии ҷумлаҳо истифода мегардад.

Бигузур матни додашуда ҷунин бошад:

$$T = (w_1, w_2, \dots, w_n), \quad w_i \in V$$

ки дар он: V - луғати забонӣ мебошад.

Барои ҳар як воҳиди лексикӣ $w_i \in V$ маҷмуи антонимҳо ҷунин муайян карда мешавад [1]:

$$A(w) = \{u \in V \mid u \sim_{ant} w\}$$

ки дар он: $\sim_{ant}$ муносибати антонимӣ мебошад.

Функсияи антонимӣ:

$$Ant(w_i, w_j) = \begin{cases} 1, & \text{агар } w_j \in A(w_i) \\ 1, & \text{агар } w_i \in A(w_j) \\ 0, & \text{дар ҳолати дигар} \end{cases}$$

Намоиши муносибатҳои антонимӣ дар матн:

$$R(T) = \{(w_i, w_j) \in T \times T \mid i \neq j, \text{Ant}(w_i, w_j) = 1\}$$

Синонимҳо ва антонимҳо ду категорияи асосии муносибатҳои лексикӣ-семантикӣ дар забон мебошанд, ки барои ташкили сохтори маъноии матн аҳамияти муҳим доранд. Синоним муносибати байни воҳидҳои лексикӣ мебошад, ки маънои наздик ё якхеларо ифода мекунанд, вале аз ҷиҳати услубӣ, прагматикӣ ё экспрессивӣ фарқ дошта метавонанд. Антоним муносибати зиддиятии байни воҳидҳои лексикӣ мебошад, ки маъноҳои муқобилро ифода менамоянд [13]. Ин падида барои ташкили муқоиса, таъкид кардани фарқиятҳо ва сохтани мантиқи зиддиятӣ дар матн истифода мешавад. Дар маҷмӯъ, синонимия ва антонимия ҳамчун механизмҳои асосии ташкили майдони лексикӣ-семантикӣ дар NLP ва забоншиносӣ хизмат намуда, дар таҳлили худкори матн, моделсозии маъно ва тавлиди забон нақши калидӣ доранд.

Хулоса. Дар натиҷаи таҳқиқот модели компютери таҳлили синтаксисӣ ва семантикии ҷумлаҳои содаи забони тоҷикӣ пешниҳод гардид. Модели таҳияшуда имкон медиҳад, ки сохтори грамматикӣ ва робитаҳои байни аъзои ҷумла ба таври расмӣ ифода гардида, барои коркарди автоматии матн истифода шаванд. Натиҷаҳои санҷиш нишон доданд, ки истифодаи технологияҳои коркарди забони табиӣ ва усулҳои зеҳни сунъӣ метавонад сатҳи дақиқии муайянсозии аъзои ҷумла ва таҳлили сохтори синтаксисиро ба таври назаррас баланд бардорад.

Таҳқиқот инчунин собит намуд, ки истифодаи амсилаҳои сохторӣ барои моделсозии муносибатҳои синтаксисӣ, семантикӣ, синонимӣ ва антонимӣ имконияти ташкили захираҳои рақамии забони тоҷикиро васеъ менамояд. Дар асоси чунин амсилаҳо метавон луғатҳои электронии интеллектуалӣ, таҳлилгарҳои синтаксисӣ ва семантикӣ, системаҳои ҷустуҷӯи маъноӣ, барномаҳои тарҷумаи мошинӣ ва дигар воситаҳои муосири коркарди забони табииро таҳия намуд.

Аҳамияти амалии таҳқиқот дар он ифода меёбад, ки натиҷаҳои бадастомада метавонанд ҳамчун заминаи илмӣ барои рушди забоншиносии компютери тоҷик, ташкили корпусҳои миллии рақамӣ, таҳияи технологияҳои таълимӣ ва эҷоди маҳсулоти барномавии миллии истифода шаванд. Модели пешниҳодшуда инчунин метавонад барои тақмили системаҳои ҷустуҷӯии интеллектуалӣ, воситаҳои таҳлили автоматии матн ва барномаҳои омӯзиши электронии забони тоҷикӣ хизмат намояд.

Бо рушди минбаъдаи технологияҳои зеҳни сунъӣ ва афзоиши ҳаҷми захираҳои рақамии забони тоҷикӣ имкониятҳои васеи тақмил додани моделҳои таҳлили синтаксисӣ ва семантикӣ ба вучуд меоянд. Дар оянда тақмил додани алгоритмҳои пешниҳодшуда, истифодаи шабакаҳои нейронӣ ва моделҳои бузурги забонӣ, инчунин ташкили корпусҳои васеи тамғагузоришуда метавонанд ба баланд гардидани сифати коркарди автоматии забони тоҷикӣ мусоидат намоянд. Ин самт барои рушди илм, маориф, технологияҳои иттилоотӣ ва татбиқи васеи зеҳни сунъӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон дорои аҳамияти муҳимми назариявӣ ва амалӣ мебошад.

Мақола дар доираи корҳои илмӣ таҳқиқотии кафедраи барномасозӣ ва низомҳои зеҳнии Донишқадаи технологияҳои рақамӣ ва зеҳни сунъӣи Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибкорӣи Тоҷикистон барои солҳои 2026-2030 дар мавзӯи “Рушди зеҳни сунъӣ дар фазои технологияҳои иттилоотӣ”, ки бо суратчаласаи кафедраи мазкур аз 20.05.2025 №5 ба ҷаъм расидааст.

АДАБИЁТ

1. Ализода Н. Таҳлили синтаксисии матнҳои тоҷикӣ / Н. Ализода. – Душанбе: Донишварон, 2020. – 290 с.
2. Аллен Б. Дауни - Think DSP. Цифровая обработка сигналов на Python / Б. Аллен. - Издательство "ДМК Пресс", 2017. -160 с.
3. Арзуманов С. Забони тоҷикӣ / С. Арзуманов. - Душанбе: Маориф, 1986.
4. Арсак Ж. Программирование игр и головоломок / Ж. Арсак: пер. с франц. -М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. -224 с.
5. Бурҳонов А. Забоншиносии умумӣ / А. Бурҳонов. -Душанбе: Ирфон, 2001. – 180 с.
6. Ғаффоров Р. Услубшиносӣ / Р. Ғаффоров, С. Хошимов, Б. Камолиддинов. - Душанбе: Маориф, 1975.
7. Грамматикаи забони адабии ҳозираи тоҷик. - Душанбе: Ирфон, 1987.
8. Исмаилов М.А. Основы автоматизированного морфологического анализа слов таджикского языка / М.А. Исмаилов. -Душанбе, 1994. – 150 с.

9. Каримов У. Забони тоҷикӣ / У. Каримов, С. Абдулазизова. – Душанбе, 2003-2004. - Қ. 1-2.
10. Қосимов А.А. Таҳлили синтаксисии ҷумлаи содаи пахншудаи забони тоҷикӣ дар асоси пурқунанда / А.А. Қосимов, С.М. Шамсов. – Душанбе, 2023. –С.105-108.
11. Миралиев С. Таърихи имло / С. Миралиев. - Душанбе: Маориф, 2009. -С. 90.
12. Назаров С. Асосҳои забоншиносии компютерӣ / С. Назаров. – Душанбе: Маориф, 2021. – 256 с.
13. Раҳматзода С. Таҳаввули луғат. - Душанбе: Маориф, 2014. -С. 150.
14. Саидов Ш. Муаммоҳои синтаксис / Ш. Саидов. - Душанбе: Ирфон, 2005. -С. 130.
15. Сафарзода О.С. Татбиқи моделҳои семантикӣ-сохторӣ дар коркарди автоматикунонидаи ҷумлаҳои содаи тоҷикӣ / О.С. Сафарзода, С.М. Шамсов. - Душанбе, 2026. –С.95-99с.
16. Ҷалилов Х. Адабиёт ва забон / Х. Ҷалилов. - Душанбе: Ирфон, 2017. -190 с.
17. Шарифзода Д. Забоншиносӣ ва ҷомеа / Д. Шарифзода. - Душанбе: Адиб, 2018. -140 с.

АМСИЛАСОЗИИ КОМПЮТЕРИИ ТАҲЛИЛИ СИНТАКСИСИЮ СЕМАНТИКИИ ҶУМЛАҲОИ СОДАИ ЗАБОНИ ТОҶИКӢ БО ИСТИФОДА АЗ ТЕХНОЛОГИЯҲОИ МУОСИР

Мақолаи мазкур ба масъалаи амсиласозии компютерии таҳлили синтаксисии ҷумлаҳои содаи забони тоҷикӣ бахшида шудааст. Дар шароити рушди босуръати технологияҳои иттилоотӣ ва зехни сунъӣ масъалаи коркарди автоматии забонҳои милли аҳамияти махсус пайдо намудааст. Забони тоҷикӣ низ ҳамчун яке аз забонҳои дорои сохтори грамматикӣи ғанӣ ба таҳияи моделҳои компютерии таҳлили синтаксисӣ ниёз дорад. Дар таҳқиқот имкониятҳои истифодаи технологияҳои муосири коркарди забони табиӣ барои муайян намудани сохтори синтаксисии ҷумлаҳои сода баррасӣ гардидаанд. Модели расмӣи ҷумлаи сода пешниҳод шуда, хусусиятҳои таркибӣ ва грамматикӣи он мавриди таҳлил қарор гирифтаанд. Усулҳои муайянсозии мубтадо, хабар, аъзои пайрав ва муносибатҳои байни онҳо аз нуқтаи назари амсиласозии компютерӣ омӯзиш шудаанд. Барои баланд бардоштани дақиқии таҳлил, усулҳои қоидабунёд ва имкониятҳои истифодаи алгоритмҳои зехни сунъӣ муқоиса гардидаанд. Дар мақола нақши захираҳои луғавӣ ва маълумоти грамматикӣ дар таҳлили синтаксисии матнҳои тоҷикӣ нишон дода шудааст. Инчунин, масъалаҳои марҳилаҳои таҳлили синтаксисӣ ва сохтани дарахти вобастагии ҷумла мавриди баррасӣ қарор гирифтаанд. Натиҷаҳои таҳқиқот нишон медиҳанд, ки истифодаи моделҳои компютерӣ метавонад дақиқӣ ва суръати таҳлили автоматии матнҳоро ба таври назаррас баланд намояд. Модели пешниҳодшуда барои рушди низомҳои ҷустуҷӯи иттилоот, тарҷумаи мошинӣ, таҳлили матн ва дигар барномаҳои коркарди забони тоҷикӣ заминаи мусоид фароҳам меорад. Натиҷаҳои бадастомада метавонанд ҳангоми таҳияи луғатҳои электронӣ, корпуҳои забонӣ ва системаҳои интеллектуалии коркарди матн истифода шаванд. Таҳқиқоти мазкур барои рушди забоншиносии компютерӣ тоҷик аҳамияти назариявӣ ва амалӣ дошта, метавонад дар қорҳои минбаъдаи илмӣ оид ба таҳлили автоматии ҷумлаҳои мураккаб ва тақмили моделҳои коркарди забони тоҷикӣ ҳамчун асос хизмат намояд.

Калидвожаҳо: амсиласозӣ, забони тоҷикӣ, ҷумлаи сода, таҳлили синтаксисӣ, коркарди забони табиӣ, зехни сунъӣ, забоншиносии компютерӣ, алгоритм, модели компютерӣ.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНТАКСИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРОСТЫХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ТАДЖИКСКОГО ЯЗЫКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Данная статья посвящена проблеме компьютерного моделирования синтаксического анализа простых предложений в таджикском языке. В условиях стремительного развития информационных технологий и искусственного интеллекта вопрос автоматической обработки национальных языков приобрел особое значение. Таджикский язык, как один из языков с богатой грамматической структурой, также нуждается в разработке компьютерных моделей синтаксического анализа. В исследовании рассматриваются возможности использования современных технологий обработки естественного языка для определения синтаксической структуры простых предложений. Представлена формальная модель простого предложения, проанализированы его композиционные и грамматические особенности. Изучены методы определения предиката, придаточных предложений и взаимосвязей между ними с точки зрения компьютерного моделирования. Для повышения точности анализа проведено сравнение методов, основанных на правилах, и возможностей использования алгоритмов искусственного интеллекта. В статье показана роль лексических ресурсов и грамматической информации в синтаксическом анализе таджикских текстов. Также рассматриваются вопросы этапов синтаксического анализа и построения дерева зависимостей предложений. Результаты исследования показывают, что использование компьютерных моделей может значительно повысить точность и скорость автоматического анализа текста. Предложенная модель обеспечивает благоприятную основу для разработки информационно-поисковых систем, машинного перевода, анализа текста и других программ обработки таджикского языка. Полученные результаты могут быть использованы при разработке электронных словарей, языковых корпусов и интеллектуальных систем обработки текста. Данное исследование имеет теоретическое и практическое значение для развития таджикской вычислительной лингвистики и может служить основой для дальнейшей научной работы по автоматическому анализу сложных предложений и совершенствованию моделей обработки таджикского языка.

Ключевые слова: моделирование, таджикский язык, простое предложение, синтаксический анализ, обработка естественного языка, искусственный интеллект, компьютерная лингвистика, алгоритм, компьютерная модель.

COMPUTER MODELING OF SYNTACTIC ANALYSIS OF SIMPLE SENTENCES IN THE TAJIK LANGUAGE USING MODERN TECHNOLOGIES

This article examines the problem of computer modeling of syntactic analysis of simple sentences in the Tajik language. With the rapid development of information technology and artificial intelligence, the automatic processing of national languages has become particularly important. Tajik, as a language with a rich grammatical structure, also requires the development of computer models of syntactic analysis. This study examines the potential of using modern natural language processing technologies to determine the syntactic structure of simple sentences. A formal model of a simple sentence is presented, and its compositional and grammatical features are analyzed. Methods for identifying predicates, subordinate clauses, and the relationships between them are examined from a computer modeling perspective. To improve the accuracy of analysis, rule-based methods are compared with the potential of using artificial intelligence algorithms. The article demonstrates the role of lexical resources and grammatical information in the syntactic analysis of Tajik texts. The stages of syntactic analysis and the construction of a sentence dependency tree are also discussed. The study's results demonstrate that the use of computer models can significantly improve the accuracy and speed of automatic text analysis. The proposed model provides a favorable foundation for the development of information retrieval systems, machine translation, text analysis, and other Tajik language processing programs. The results can be used in the development of electronic dictionaries, language corpora, and intelligent text processing systems. This study has theoretical and practical significance for the development of Tajik computational linguistics and can serve as a basis for further research on the automatic analysis of complex sentences and the improvement of Tajik language processing models.

Keywords: modeling, Tajik language, simple sentence, syntactic analysis, natural language processing, artificial intelligence, computational linguistics, algorithm, computer model.

Маълумот дар бораи муаллифон: *Сафарзода Обид Сафар* – Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибкорӣ Тоҷикистон, номзоди илмҳои филологӣ, кафедраи барномасозӣ ва низомҳои зехнӣ. **Суроға:** 734055, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Борбад, 48/5. E-mail: oniyozbokiev@gmail.com. Телефон: **985-85-86-89**

Кулӯлов Маҳмадилло Абдуллоевич - Маркази рушди инноватсионӣ илм ва технологияҳои нави АМИТ, ходими калони илмӣ **Суроға:** 734025, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Рӯдакӣ, 33. E-mail: mahmadillokululov@gmail.com. Телефон: **(+992 37) 2272852; 988-85-55-86**

Шамсов Соҳибҷон Мирзомуддинович – Донишгоҳи байналмилалӣ сайёҳӣ ва соҳибкорӣ Тоҷикистон, омӯзгори кафедраи барномасозӣ ва низомҳои зехнӣ. **Суроға:** 734055, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, хиёбони Борбад, 48/5. E-mail: shamsovS@gmail.com. Телефон: **985-50-93-17**

Сведения об авторах: *Сафарзода Обид Сафар* – Международный университет туризма и предпринимательства Таджикистана, кандидат филологических наук, кафедры программирования и интеллектуальных систем. **Адрес:** 734055, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Борбада, 48/5. E-mail: oniyozbokiev@gmail.com. Телефон: **985-85-86-89**

Кулӯлов Маҳмадилло Абдуллоевич - Центр инновационный развития науки и новых технологий НАНТ, старший научный сотрудник. **Адрес:** 734025, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Рудаки 33. E-mail: mahmadillokululov@gmail.com. Телефон: **(+992 37) 2272852, (+992) 988-85-55-86**

Шамсов Соҳибҷон Мирзомуддинович – Международный университет туризма и предпринимательства Таджикистана, преподаватель кафедры программирования и интеллектуальных систем. **Адрес:** 734055, г. Душанбе, Республика Таджикистан, проспект Борбада, 48/5. E-mail: shamsovS@gmail.com. Телефон: **985-50-93-17**

Information about the authors: *Safarzoda Obid Safar* – International University of Tourism and Entrepreneurship of Tajikistan, Candidate of Philological Sciences, Department of Programming and Intelligent Systems. **Address:** 734055, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Borbad Avenue, 48/5. E-mail: oniyozbokiev@gmail.com. Phone: **985-85-86-89**

Kululov Makhmadillo Abdulloevich – Center for Innovative Development of Science and New Technologies (NANT), Senior Researcher. **Address:** 734025, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Rudaki Avenue, 33. E-mail: mahmadillokululov@gmail.com. Phone: **(+992 37) 2272852; 988-85-55-86**

Shamsov Sokhibjon Mirzomuddinovich – International University of Tourism and Entrepreneurship of Tajikistan, Lecturer, Department of Programming and Intelligent Systems. **Address:** 734055, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Borbad Avenue, 48/5. E-mail: shamsovS@gmail.com. Phone: **985-50-93-17**

Мақола ба редакция ворид шуд: 06.08.2026

Аз тақриз баргашт: 05.09.2026

Ба чоп таъсия шуд: 06.10.2026

АРЗЁБИИ САМАРАНОКИИ ТЕХНИКИЮ ИҚТИСОДИИ НЕРУГОҲҲОИ БАРҚИИ ОБИИ ХУРД ДАР ШАРОИТИ ГИДРОЛОГИИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

Абдуллоев Х.В., Исозода Д.Т., Раунов Н.М., Сайвалиев М.М.
Донишқадаи энергетикаи Тоҷикистон

Мукаддима. Тоҷикистон аз лиҳози захираҳои гидроэнергетикӣ яке аз давлатҳои пешсафи Осиёи Марказӣ ба ҳисоб меравад. Мувофиқи маълумоти Вазорати энергетика ва захираҳои об [5,с.22], иқтидори умумии гидроэнергетикаи кишвар беш аз 527 млрд. кВт·соат дар сол тахмин зада мешавад. Аз ин захираи бузург ҳамагӣ 8,3%, ё тахминан 23 млрд. кВт·соат дар сол истифода мегардад. Тибқи маълумотҳои Агентии омор [2,с.56], дар хоки Тоҷикистон зиёда аз 947 дарёча ва кӯлҳо мавҷуданд, ки иқтидори умумии онҳо барои НБО-и хурд беш аз 184 млрд. кВт·соат дар сол мебошад.

Вазъи таъминоти барқи Тоҷикистон, бахусус дар минтақаҳои дурдаст ва деҳоти кӯҳӣ, ҳамоно мушкил мемонад. Шабакаҳои барқи умумӣ аксар вақт ба ин минтақаҳо намерасанд. Дар ин шароит, неругоҳҳои барқи обии хурд (НБО-и хурд - тавоноии то 10 МВт) яке аз самараноктарин ва арзонтарин роҳи таъмини барқи ин минтақаҳо шинохта мешаванд.

Методҳо. Зарурати рушди НБО-и хурд дар Тоҷикистон бо якҷанд омилҳои стратегӣ вобаста аст:

- таъмини устувори барқи деҳоти кӯҳӣ ва минтақаҳои дурдасти аз шабакаҳои умумӣ ҷудошуда;

- коҳиш додани талафоти барқ дар интиқол (то 30–40% дар хатҳои дур);
- рушди иқтисодиёти минтақавӣ ва кушодани корхонаҳои хурду миёна;
- истифодаи нуруи электрикӣ аз ҷиҳати экологӣ тоза нисбати генераторҳои дизелӣ;
- коҳиш додани вобастагӣ аз сӯзишвории воридагӣ.

Мақсади мақолаи мазкур пешниҳод намудани методикаи пурраи асосноккунии техникӣ-иқтисодии НБО-и хурд дар дарёҳои Тоҷикистон бо дарназардошти хусусиятҳои гидрологӣ, геологӣ ва иқтисодии минтақа мебошад. Иншооти таҳқиқот - неругоҳҳои барқи обии хурд бо тавоноии аз 0,1 то 10 МВт, мавзӯи таҳқиқот - нишондиҳандаи техникӣ-иқтисодии онҳо мебошад.

Дарёҳои Тоҷикистон аз рӯи речаи гидрологӣ ва манбаи таъминот ба се гурӯҳи асосӣ ҷудо мешаванд. Ба гурӯҳи аввал дарёҳое дохил мешаванд, ки манбаи таъминоташон омехта аст – ба онҳо Панҷ, Вахш, Кофарниҳон ва Зарафшон (бо дарозии аз 387 то 921 км) тааллуқ доранд. Гурӯҳи дувумро дарёҳои манбаашон пирияхӣ (монанди Гунт, Бартанг) ташкил медиҳанд, ки сарчашмаашон дар баландиҳои зиёда аз 3000 метр ҷойгир буда, сарфи обашон бевосита ба гудозиши пирияхҳо вобаста аст. Гурӯҳи сеюм дарёҳои баҳорӣ ва боронӣ (дарёчаҳои хурди водӣ) дохил мешаванд, ки сарфи обашон хусусияти мавсимӣ доранд [13,с.106].

Ҷадвали 1. Хусусиятҳои гидрологӣ дарёҳои асосии Тоҷикистон
Table 1. Hydrological characteristics of the main rivers of Tajikistan

Номи дарё	Дарозӣ (км)	Майдони хавза (км ²)	Q миё. (м ³ /с)	Q мин. (м ³ /с)	Q мак. (м ³ /с)	Иқтидор (МВт)
Вахш	786	39 100	678	124	1 340	4 100
Панҷ	921	114 000	1 010	210	2 120	5 900
Зарафшон	877	17 700	201	38	430	890
Кофарниҳон	387	11 600	182	29	380	620
Сурхоб	316	9 300	143	18	289	510
Варзоб	124	3 850	67	8	145	240
Гунт	296	12 800	97	12	198	380
Бартанг	215	8 700	84	10	167	310
Исфара	87	2 600	24	4	68	95

Расми 1. Иқтидори гидроэнергетикии дарёҳои асосии Тоҷикистон (МВт)

Figure 1. Hydropower potential of Tajikistan's major rivers (MW)



Манбаъ: Вазорати энергетика ва захираҳои об ҚТ, 2023

Барои НБО-и хурд сарфи оби ҳисобӣ бо зичии муайяни обовардҳо вобастагӣ дорад. Мутобиқи меъёрҳои СП 33-101-2003 [10,с.51] сарфи оби ҳисобӣ бо обовардҳо $P = 75\%, 90\%$ ё 95% аз рӯи чунин ифода ҳисоб мешавад.

$$Q_p = Q_{ort} \times K_p \quad (1)$$

ки дар он: Q_{ort} - сарфи оби миёнаи дарозмуддат (m^3/c); K_p - зариби кам кардани обовардҳо (аз ҷадвалҳои Пирсон гирифта мешавад).

Сарфи оби миёна бо усули гидравликии Шези-Манинг ҳисоб мешавад:

$$Q = F \times V = F \times (1/n) \times R^{(2/3)} \times i^{(1/2)} \quad (2)$$

ки дар он: F - масоҳати дарёи обгузар (m^2); n - зариби нооромии Манинг (0,020–0,045 барои дарёҳои кӯҳӣ); R - радиуси гидравликӣ (m); i – нишебии дарё ба назар гирифта мешавад.

Барои ҳавзаҳои гидрологии омӯхтанашуда усули ратсионалии Дюпюи-Соколовскийро истифода мебаранд:

$$Q = \psi \times q \times F \times 10^{-3} \quad (3)$$

ки дар он: ψ - зариби обгузаронии ҳавза (0,60–0,85 барои кӯҳистон); q -шиддатнокии максималии боришот ($л/с\cdot га$); F - майдони ҳавзаи обҷамъшаванда ($км^2$).

Зариби тағйирпазирии (CV) дар ҳисоби зичии тақсимот истифода бурда мешавад. Мутобиқи усули Алдерманн-Нэштон:

$$Q_p = Q_{ort} \times (1 + CV \times \Phi_p) \quad (4)$$

ки дар он Φ_p - далели Пирсон барои зичии P (аз ҷадвалҳои гидрологӣ гирифта мешавад). Барои $P=75\%$: $\Phi \approx 0,67$; барои $P=90\%$: $\Phi \approx 1,28$; барои $P=95\%$: $\Phi \approx 1,64$.

Ҳаҷми умумии чараёни солонаи об (W) барои ҳисоби истехсоли неруи барқ аз рӯи чунин ифода муайян карда мешавад:

$$W = \sum (Q_i \times t_i \times 86400) [m^3/сол] \quad (5)$$

ки дар он Q_i - сарфи оби моҳ i -ум (m^3/c); t_i - шумораи рӯзҳои моҳ.

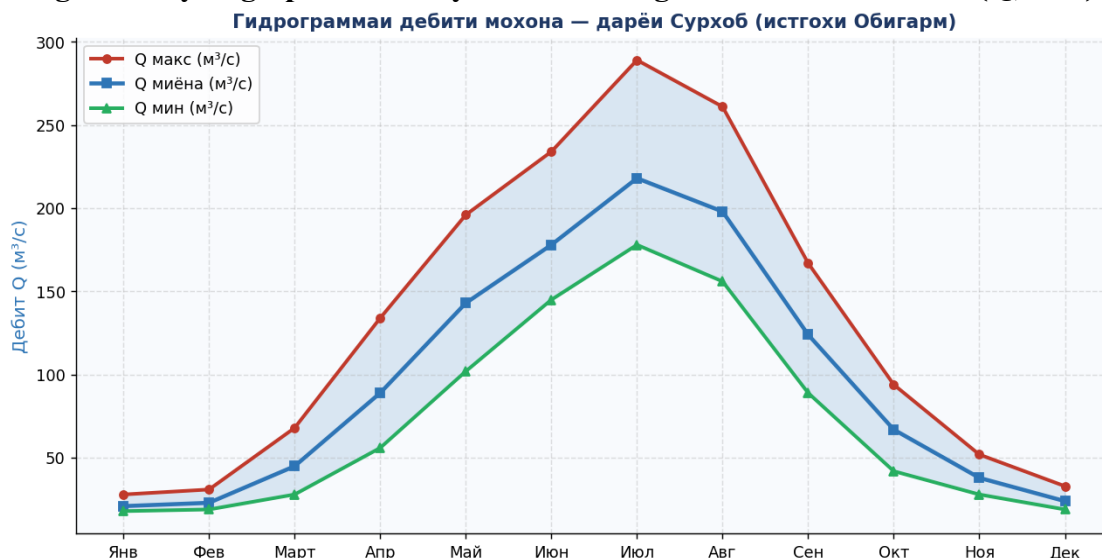
Ҷадвали 2. Зарибҳои гидрологӣ барои дарёҳои Тоҷикистон (мувофиқи СП 33-101-2003)

Table 2. Hydrological coefficients for the rivers of Tajikistan (according to SP 33-101-2003)

Навъи дарё	Cv	Cs/Cv	Kp (P=75%)	Kp (P=90%)	Kp (P=95%)	Мавсими зиёдоб
Омехта (барф+ях, кӯҳӣ)	0,32–0,45	2,0–2,5	0,82	0,68	0,58	IV–IX
Ях (баландкӯҳӣ, >3000 м)	0,45–0,60	2,0–3,0	0,78	0,61	0,52	V–VIII
Борон (водӣ)	0,55–0,80	2,5–3,5	0,70	0,52	0,42	III–V, X–XI
Омехта (водӣ+барф)	0,25–0,38	1,5–2,0	0,85	0,72	0,63	III–VIII

Барои намоиши речаи гидрологии нишондиҳандавӣ дар зер гидрограммаи сарфи оби моҳонаи дарёи Сурхоб (истгоҳи Обигарм, давраи мушоҳида 1960 - 2022) оварда шудааст. Аз гидрограмма равшан аст, ки нуктаи максималии сарфи об дар моҳи июл ($Q_{\text{макс}} = 289 \text{ м}^3/\text{с}$) ва ҳадди минималӣ дар моҳи январ ($Q_{\text{мин}} = 18 \text{ м}^3/\text{с}$) мушоҳида мешавад - таносуби 16:1.

Расми 2. Гидрограммаи сарфи оби моҳонаи дарёи Сурхоб ($Q, \text{м}^3/\text{с}$)
Figure 2. Hydrograph of monthly water discharge of the Surkhob River ($Q, \text{м}^3/\text{с}$)



Манбаъ: Маркази гидрометеорологии ҚТ, 2023. Майдони ҳавза: 9 300 км².

Тавоноии назариявии умумии НБО-и хурд аз қонуни энергетикӣ ва механикӣ чараёни об бармеояд [12,с.47]. Тавоноии мавҷудаи об ($N_{об}$) бо чунин ифода муайян карда мешавад:

$$N_{об} = \rho \times g \times Q \times H = 9,81 \times Q \times H [\text{кВт}] \quad (6)$$

ки дар он: $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ - зичии об; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ - афтиши озоди ҷисм; Q - сарфи оби ҳисобӣ ($\text{м}^3/\text{с}$); H - баландии ҳисобӣ (м).

Тавоноии сели обие, ки ба неруи барқ табдил меёбад (N) дар ин марҳила ба назар гирифтани талафотҳои гидравликӣ зарур аст:

$$N = \eta_{\text{умумӣ}} \times 9,81 \times Q \times H = \eta_t \times \eta_{\text{мех}} \times \eta_g \times 9,81 \times Q \times H [\text{кВт}] \quad (7)$$

ки дар он: $\eta_t = 0,82-0,92$ - ЗКФ-и турбина; $\eta_{\text{мех}} = 0,96-0,99$ - ЗКФ-и ҷуфтаки механикӣ; $\eta_g = 0,92-0,97$ — ЗКФ-и генератор. Барои ҳисоби умумӣ $\eta_{\text{умумӣ}} = 0,82-0,88$.

Истеҳсоли солонаи неруи барқ:

$$E_{\text{сол}} = N \times T_{\text{ис}} [\text{кВт} \cdot \text{соат/сол}] \quad (8)$$

ки дар он $T_{\text{ис}}$ - давомнокии воҳиди вақти кори дар сол (соат/сол). Барои НБО-и хурд дар Тоҷикистон $T_{\text{ис}} = 5\,200 - 6\,800$ соат.

Дурусттарин ҳисоби истеҳсоли неруи барқ ба инобат гирифтани тағйирёбии мавсимии дебит (бо гидрограмма) мебошад.

$$E_{\text{сол}} = \sum (N_i \times \Delta t_i) = 9,81 \times \eta \times \sum (Q_i \times H_i \times \Delta t_i) \quad (9)$$

Баландии умумии брутто ($H_{бр}$) - фарқи нишебҳои обро дар боло ва поёни дарғот нишон медиҳад:

$$H_{бр} = z_{\text{вор}} - z_{\text{хурудӣ}} = H_{\text{пруд}} - H_{\text{поён}} \quad (10)$$

Баландии ҳисобии нетто, ки талафоти гидравликӣ ба назар гирифта мешавад:

$$H_{\text{нетто}} = H_{бр} - \Delta H_{\text{тр}} - \Delta H_{\text{вор}} - \Delta H_{\text{ратк}} \quad (11)$$

ки дар он талафоти гидравликӣ мушаххастар бо формулаи Вейсбах-Дарси ҳисоб мешаванд:

$$\Delta H = \lambda \times (L/d) \times (V^2/2g) + \xi \times (V^2/2g) \quad (12)$$

ки дар он: λ - зариби гидравликии (0,015 - 0,040); L - дарозии лӯлаи фишор (м); d - диаметри лӯла (м); ξ - зариби талафоти маҳаллӣ.

Барои интиҳоби дурусти турбина, зариби суратии мувофиқат (n_s) ҳисоб мешавад:

$$n_s = n \times \sqrt{\frac{N}{H^{5/4}}} \quad (13)$$

ки дар он n - суръати гардиши турбина (об/дак); N - тавоноии (кВт); H - баландии ҳисобӣ (м).

Диаметри чарх (D) мувофиқи диаметри мушаххаси турбина:

$$D = D_{ном} \times \sqrt{H/H_{ном}} \quad (14)$$

Ҷадвали 3. Навъҳои турбинаҳо ва доираи истифодаи онҳо дар НБО-и хурд
Table 3. Types of turbines and their scope of application in small hydropower plants

Навъ	H (м)	Q (м³/с)	n_s	η_{max} (%)	Истифода дар Тоҷ.
Пелтон	50–300	0,1–15	4–30	90–92	Дарёҳои кӯҳӣ, H баланд
Франсис	10–80	1–50	60–300	88–92	Дарёҳои водӣ, H миёна
Каплан	2–15	5–200	300–900	85–90	Дарёҳои тайзики паст доранд
Турго	3–100	0,05–5	30–150	82–87	Мини ва микродарёҳо

Барои намунаи мушаххас ҳисоби тавоноии НБО-хурд дар дарёи Исфара (вилояти Суғд) анҷом дода шуд. Тавсифотҳои асосӣ: $Q_{орт} = 12,4$ м³/с, $H_{бр} = 31,5$ м, $\eta_{умумӣ} = 0,85$, $T_{ис} = 6\,200$ соат.

Ҷадвали 4. Натиҷаҳои ҳисоби тавоноии НБО-и хурд - дарёи Исфара
Table 4. Results of small HPP capacity calculations – Isfara River

Нишондиҳандаҳо	Воҳиди чен	P = 75%	P = 90%	P = 95%
Сарфи оби миён $Q_{орт}$	м³/с	12,4	12,4	12,4
Кр (коэффитсиент)	—	0,82	0,68	0,58
Сарфи оби ҳисобӣ Q_p	м³/с	10,17	8,43	7,19
Баландии брутто $H_{бр}$	м	31,5	31,5	31,5
Зиёни гидравликӣ ΔH	м	1,58	1,35	1,20
Баландии нетто H	м	29,92	30,15	30,30
ЗКФ умумӣ η	—	0,85	0,85	0,85
Тавоноии ҳисобӣ N	кВт	2 548	2 128	1 815
Давомнокии $T_{ис}$	соат/сол	6 200	6 200	6 200
Истеҳсоли солона E	млн. кВт·с	15,80	13,19	11,25
Навъи турбина	—	Пелтон-2А	Пелтон-2А	Пелтон-2А
Коэффитсиент n_s	—	42	38	35

Хароҷоти умумии сармоягузорӣ ($K_{умумӣ}$) ба НБО-и хурд аз якчанд қисмат иборат аст:

$$K_{умумӣ} = K_{град} + K_{механ} + K_{элект} + K_{монтаж} + K_{лоих} + K_{захира} \quad (15)$$

Барои НБО-и хурд дар қӯҳистони Тоҷикистон хароҷоти мушаххас ба 1 кВт тавоноии аз 900 то 2 800 долл. ИМА мебошад [11,с.43]. Ин тафовут аз душвории роҳ, шароити геологӣ ва масофаи интиқол вобаста аст.

Ҷадвали 5. Сохтори хароҷоти сармоягузорӣ барои НБО-и хурд то 5 МВт
Table 5. Investment cost structure for small hydropower plants up to 5 MW

Намуди хароҷот	Ҳисса (%)	Ҳар 1 МВт (млн.сом.)	Ҳар 3 МВт (млн.сом.)	Тавзеҳ
Сохтмони иншооти гидротехникӣ	40–50%	4,8–6,0	14,4–18,0	Бино, плотина, канал
Тақсимои механикӣ	20–25%	2,4–3,0	7,2–9,0	Турбина, дарпушҳо
Тақсимои электрикӣ	15–20%	1,8–2,4	5,4–7,2	Генератор, тарозу
Васл ва санҷиш	5–8%	0,6–0,96	1,8–2,9	Насб ва тасдиқ
Лоихакашӣ	5–7%	0,6–0,84	1,8–2,5	Таҳқиқот + лоиха
Захираи пешбинӣ	3–5%	0,36–0,6	1,1–1,8	Хатарҳои пешбинӣ
Ҳамагӣ	100%	10,6–13,8	31,7–41,4	—

Хароҷоти солонаи истисморӣ ($C_{ис}$) барои ҳисоби самаранокии иқтисодӣ муҳим аст:

$$C_{ис} = \alpha_a \times K_{умумй} + C_{перс} + C_{таъм} + C_{умумй} + C_{суг} \quad (16)$$

ки дар он: α_a - меёри истихроҷи солона (0,04–0,06); $C_{перс}$ - хароҷоти коргарон; $C_{таъм}$ - хароҷоти таъмир (1,5–2,5% $K_{умумй}$); $C_{умумй}$ хароҷоти умумихоҷагӣ; $C_{суг}$ – суғурта (0,3–0,5% $K_{умумй}$).

Нархи 1 кВт·соат барқи истеҳсолшуда:

$$C_{кВт·с} = C_{ис} / E_{сол} [сом/кВт·с] \quad (17)$$

Нишондиҳандаи асосии самаранокии лоиҳа - аризаи арзиши ҳолис (NPV) аст:

$$NPV = \sum [CF_t / (1 + r)^t] - K_{умумй} \quad (18)$$

ки дар он: $CF_t = (E_{сол} \times T_{барқ}) - C_{ис}$ - ҷараёни пулии ҳолис дар соли t ; r - меёри нархсанҷии тахфиф (0,10–0,12); $T_{барқ}$ - тарифи барқ (сом/кВт·с); $n = 25$ сол (давраи хизматрасонӣ).

Шарти қабули лоиҳа: $NPV > 0$.

Меёри дохилии даромад (IRR) - нархи тахфифе, ки дар он $NPV = 0$ мешавад:

$$\sum [CF_t / (1 + IRR)^t] - K_{умумй} = 0 \quad (19)$$

Шарти қабули лоиҳа: $IRR > r_{захира}$ (барои лоиҳаҳои давлатӣ дар Тоҷикистон $IRR > 15\%$).

Нишондиҳандаи иловагии PI (Profitability Index):

$$PI = (NPV + K_{умумй}) / K_{умумй} = \sum [CF_t / (1 + r)^t] / K_{умумй} \quad (20)$$

Шарти қабули лоиҳа: $PI > 1$.

Давраи баргашти сармоя ($T_{барғ}$) - вақте ки маҷмуи даромадҳо ба сармоягузорӣ баробар мешавад:

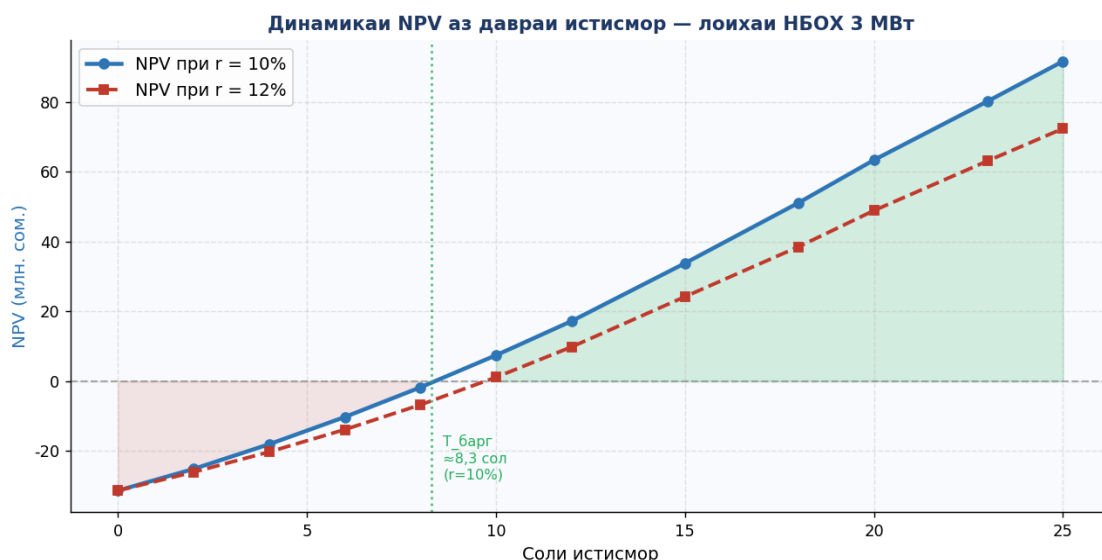
$$T_{барғ} = K_{умумй} / (D_{сол} - C_{ис}) \quad (21)$$

ки дар он $D_{сол} = E_{сол} \times T_{барқ}$ - даромади солона аз фурӯши барқ (млн. сом./сол). Барои НБО-и хурд бо $N = 1\text{--}5$ МВт дар Тоҷикистон $T_{барғ} = 2,7\text{--}4,2$ сол.

Барои арзёбии устувории лоиҳа таҳлили ҳассосият (sensitivity analysis) нисбати тағйири арзиши неруи барқ ва хароҷот гузаронида мешавад. Тағйири NPV нисбати тағйири тавсифот аз рӯи чунин ифода муайян карда мешавад:

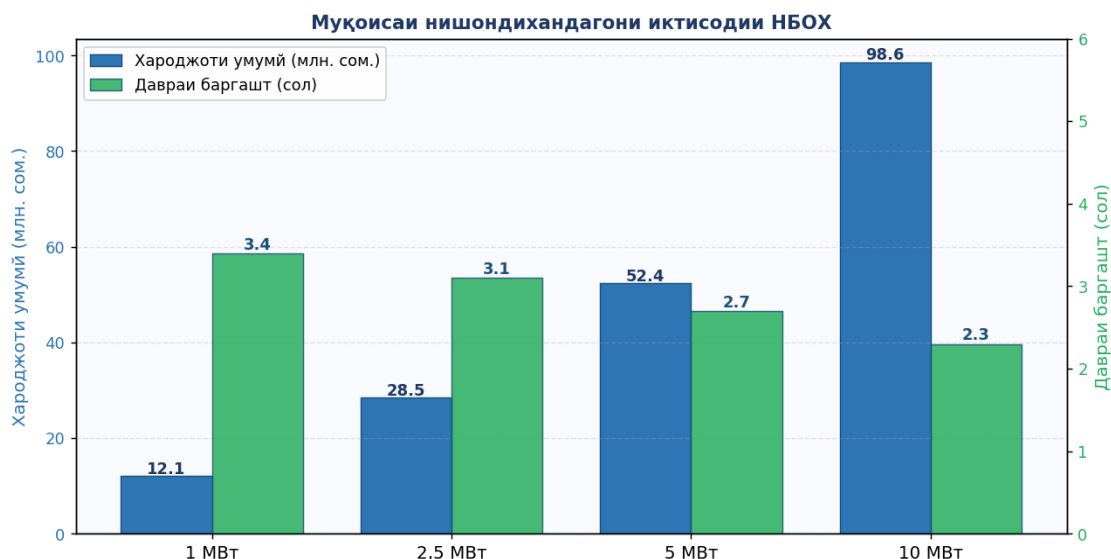
$$\Delta NPV / \Delta X = (\partial_{NPV} / \partial X) \times X / NPV [\%] / \% \quad (22)$$

Расми 3. Динамикаи NPV аз давраи истисмор - лоиҳаи НБО-и хурд 3 МВт
Figure 3. NPV dynamics over the operational period – 3 MW small HPP project



Нуктаи гузариши NPV аз манфӣ ба мусбат нуктаи баргашти сармоя аст

Расми 4. Муқоисаи нишондиҳандаҳои иқтисодӣ барои НБО-и хурд бо тавоноии гуногун
Figure 4. Comparison of economic indicators for small hydropower plants of various capacities



Ҷадвали 6. Натиҷаҳои ҳисоби нишондиҳандаҳои иқтисодӣ (тарифи барқ 0,80 сом/кВт·с)
Table 6. Results of economic indicator calculations (electricity tariff 0.80 som/kWh)

Нишондиҳандаҳо	Воҳид	1 MWt	2,5 MWt	5 MWt	10 MWt
К _{умумӣ} (сармоягузорӣ)	млн. сом.	12,1	28,5	52,4	98,6
Истеҳсоли E (P=75%)	млн.кВт·с	5,72	14,3	28,6	57,2
Даромади D _{сол}	млн. сом.	4,58	11,4	22,9	45,8
Хароҷоти C _{ис}	млн. сом.	1,10	2,59	4,72	8,87
Ҷоидаи холис	млн. сом.	3,48	8,81	18,2	36,9
NPV (r=10%, 25 сол)	млн. сом.	20,4	52,9	109	221
IRR	%	28,4	31,7	34,1	37,2
Давраи баргашт T _{барг}	сол	3,4	3,2	2,9	2,7
PI (индекси ҷоиданокӣ)	—	2,69	2,86	3,08	3,24
Нархи 1 кВт·с	дирам	19,2	18,1	16,5	15,5

Неругоҳҳои барқи обии хурд нисбат ба НБО-и бузург таъсири хеле камтари экологӣ доранд [14,с.16]. Аммо аз лиҳози арзёбии хатарҳо ба инҳо бояд диққат дод: тағйири речаи гидрологии масири поёни обанбор; нигоҳ доштани мавзеи мохидорӣ; воридшавии обовардҳо ба турбинаҳо; ва ғайра.

Барои нигоҳдошти экосистемаи дарё, сарфи санитари ($Q_{экол}$) ҳатман таъмин карда шавад. Мувофиқи меъёрҳои байналмилали ЮНИДО [3]:

$$Q_{экол} \geq 0,15 \times Q_{хисоб} \text{ (барои дарёҳои кӯҳӣ)} \quad (23)$$

$$Q_{экол} \geq 0,20 \times Q_{хисоб} \text{ (барои дарёҳои балогарӣ)} \quad (24)$$

Тавоноии бадастомадаи НБО-и хурд бо назардошти сарфи санитарӣ:

$$N_{нетто} = \eta \times 9,81 \times (Q_{хисоб} - Q_{экол}) \times H \quad (25)$$

Ҷадвали 7. Матритсаи хатарҳои экологии НБО-и хурд ва тадбирҳои дар он
Table 7. Environmental risk matrix for small hydropower plants and associated measures

Навъи хатар	Эҳтимол	Таъсир	Тадбири коҳиш
Тағйири дебит поёни	Баланд	Миёна	Нигоҳдории $Q_{экол} \geq 15\%$
Оварда шудани наносҳо	Миёна	Баланд	Ҳавзи регзудой
Ихтилоли роҳи моҳӣ	Миёна	Паст	Гузаргоҳи моҳӣ
Хатарҳои чилогикӣ	Паст	Баланд	Таҳлили геологӣ + мониторинг
Садои турбина	Баланд	Паст	Изолятсияи садо
Тағйири сатҳи об	Миёна	Миёна	Танзими речаи дарё

Дар асоси таҳлилҳои мукаммали анҷомшуда системаи интегралӣ баҳогузори минтақаҳо барои НБО-и хурд пешниҳод мегардад. Хар меёр аз рӯи вазни (W_i , %) ва балл (B_i , 1-5) арзёбӣ мешавад. Ҳисоби интегралӣ балл:

$$B_{\text{интегр}} = \sum (B_i \times W_i) / 100 \quad (26)$$

Шарти тавсия барои лоиҳакашӣ: $B_{\text{интегр}} \geq 3,5$. Минтақаҳо бо $B_{\text{интегр}} < 2,5$ барои НБО-и хурд мувофиқ нестанд.

Чадвали 8. Системаи интегралӣ баҳогузори минтақаҳо барои НБО-и хурд
Table 8. Integrated regional assessment system for small hydropower plants

Меёр	Вазнинӣ W (%)	Балл 1 (бад)	Балл 3 (миёна)	Балл 5 (аъло)
Баландии ҳисобӣ Н	25	$H < 5$ м	$H = 5-15$ м	$H > 15$ м
Сарфи оби минималӣ $Q_{95\%}$	25	$< 0,5$ м³/с	$0,5-2$ м³/с	> 2 м³/с
Фосилаи шабака (км)	20	> 50 км	$20-50$ км	< 20 км
Дастрасии роҳ	15	Роҳ нест	Роди хокӣ	Автомобилӣ
Устувории геологӣ	10	Хок суст	Чуқурӣ миёна	Санги мустаҳкам
Таъсири экологӣ (EIA)	5	EIA манфӣ	EIA миёна	EIA мусбат

Хулоса. Дар натиҷаи таҳқиқоти мукаммали анҷомшуда, хулосаҳои зеринро баровардан мумкин аст:

1. Тоҷикистон дорои иқтидори гидроэнергетикии беш аз 184 млрд. кВт·соат барои НБО-и худ дорад, аз ин 947 дарёву дарёчаҳо барои ин мақсад мувофиқанд. Аз ин захира ҳамагӣ 1% танҳо адад НБО-и хурд истифода мешавад.

2. Усули ҳисоби гидрологӣ бо таъминнокии $P = 75\%$ барои минтақаҳои дорои $Q < 5$ м³/с ва $P = 90\%$ барои $Q = 5-20$ м³/с тавсия мегардад. Ҳисоби аниқтар бо гидрограмаи моҳона (формулаи 9) 5–8% истеҳсолро медиҳад.

3. Барои дарёҳои кӯҳии Тоҷикистон бо $H = 20-60$ м турбинаи навъи Пелтон ($\eta_{\text{max}} = 90-92\%$) беш аз ҳама мувофиқ аст. Барои $H = 5-20$ м турбинаи Франсис тавсия мешавад.

4. Харочоти мушаххаси сармоягузорӣ ба 1 кВт тавоноии барои НБО-ХУРД дар кӯҳистон аз 900 то 2 800 долл. ИМА. Давраи баргашти сармоя 2,7-4,2 сол мебошад.

5. NPV мусбат (аз 20 то 221 млн. сом барои тавоноҳои 1–10 МВт), $IRR > 28\%$ ва $PI > 2,69$ самаранокӣ баланди иқтисодии ин лоиҳаҳо тасдиқ менамояд.

6. Нишондиҳандаи суди экологӣ $Q_{\text{экол}} \geq 15-20\%$ аз Q - ҳисоб шартӣ ҳатмӣ қабули хар гуна лоиҳаи НБО-и хурд мебошад.

7. Системаи интегралӣ баҳогузори минтақаҳо бо 6 меёр (формулаи 26, чадвали 8) имкон медиҳад, ки минтақаҳо дар сатҳи лоиҳакашии аввала арзёбӣ намоянд.

Натиҷаҳои таҳқиқоти мазкур метавонанд дар марҳилаи таҳияи асосноккунии техникию иқтисодии лоиҳаҳои неруғоҳҳои барқи обии хурд (НБО-и хурд) мавриди истифода қарор гиранд. Маълумоти бадастомада барои пешбурди барномаи давлатии таъминоти неруи барқ дар минтақаҳои дурдасти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва татбиқи ҳадафҳои барнома аҳамияти амалӣ дорад.

АДАБИЁТ

- Абдурасулов А.А. Проблемы устойчивого развития горных территорий Республики Таджикистан / А.А. Абдурасулов, Х.М. Ахмедов, К. Кабутов. - Душанбе, 2002. - С.20-28.
- Агентии омили назди Президенти ҚТ. - Душанбе, 2023.
- Алимов А.К. Малая гидроэнергетика в горных условиях / А.К. Алимов. - Ташкент: Фан, 1987. - 190 с.
- Берг Л.С. Ландшафтно-географические зоны СССР / Л.С. Берг. - Москва: АН СССР, 1952. - 512 с.
- Вазорати энергетика ва захираҳои об ҚТ. Стратегияи энергетикӣ Тоҷикистон то соли 2040. - Душанбе, 2023. - 187 с.
- Геотермальные ресурсы и их использование / К. Кабутов, Х.М. Ахмедов, Х.С. Каримов [и др.] // Изв. АН РТ. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. - 2008. - №2(131). - С.80-84.
- Гидроэнергетика: учебник / Под ред. Алтшуллы А.Д. - Москва: Энергоатомиздат, 1985. - 360 с.
- Иванов В.В. Методы определения расчетного стока / В.В. Иванов. - Ленинград: Гидрометеоздат, 1970. - 224 с.

9. Исследование технико-экономических возможностей использования геотермальной энергии в Республике Таджикистан / Х.В. Абдуллоев, Д.Т. Исозода, Н.М. Раупов, Д. Мустафои // Наука и инновация. Таджикского национального университета. Серия геологических и технических наук. – Душанбе, 2026. №2. – С.113-120.
10. СП 33-101-2003. Правила определения расчётных гидрологических характеристик. - Москва: Госстрой России, 2004. - 76 с.
11. Хасанов А.Х. Использование малых рек Таджикистана для развития малой гидроэнергетики / А.Х. Хасанов, М.А. Ходжаев // Вестник ТПИ. - 2021. - №3. - С. 45–52.
12. Чолов Р.С. Гидрология рек / Р.С. Чолов. - Москва: МГУ, 2008. - 435 с.
13. ЮНИДО (UNIDO). Дастурамали арзёбии гидроэнергетикаи хурд. - Вена: ЮНИДО, 2016. - 248 с.
14. IEC 61116:1992. Electromechanical equipment guide for small hydropower plants. - Geneva: IEC, 1992. - 62 p.
15. IRENA. Renewable Power Generation Costs in 2022. - Abu Dhabi: IRENA, 2023. - 204 p.

АРЗЁБИИ САМАРАНОКИИ ТЕХНИКИЮ ИҚТИСОДИИ НЕРУГОҲҲОИ БАРҚИИ ОБИИ ХУРД ДАР ШАРОИТИ ГИДРОЛОГИИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН

Дар мақолаи мазкур масъалаҳои асосноккунии техники-иқтисодии неруғоҳҳои барқи обии хурд (НБО-и хурд) дар дарёҳои кӯҳии Ҷумҳурии Тоҷикистон баррасӣ шудааст. Тоҷикистон бо иқтидори гидроэнергетикии беш аз 527 млрд. кВт·соат дар сол, яке аз давлатҳое ба ҳисоб меравад, ки 60%-и ин захираҳо дар Осиёи Марказӣ маҳз дар Тоҷикистон тавлид мешавад. Аммо аз ин захира ҳамагӣ 8,3% истифода мегардад. Рушди неруғоҳҳои барқи обии хурд (таъвоноии то 10 МВт) яке аз самараноктарин роҳи таъмини барқи деҳот ва минтақаҳои дурдаст ба ҳисоб меравад. Дар мақолаи мазкур усули комплексии ҳисоби гидрологӣ, интиҳоб намудани агрегатҳо ва арзёбии иқтисодӣ пешниҳод шудааст. Таҳлили натиҷаҳои нишон медиҳад, ки барои НБО-и хурд бо таъвоноии 2 - 5 МВт давраи баргашти сармоя 2,7- 4,2 сол мебошад.

Калидвожаҳо: неруғоҳи барқи обии хурд, гидрология, сарфи обӣ ҳисобӣ, таъвонои неруғоҳ, истеҳсоли энергия, хароҷоти сармоягузорӣ, арзиши софи ҷорӣ, меъёри дохилии даромаднокӣ, давраи бозгашт, самаранокии иқтисодӣ, турбинаи гидравликӣ, Ҷумҳурии Тоҷикистон.

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ГИДРОЛОГИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

В данной статье рассматриваются вопросы технико-экономического обоснования малых гидроэлектростанций (МГЭС) на горных реках Республики Таджикистан. Таджикистан, обладающий гидроэнергетическим потенциалом более 527 миллиардов кВт·ч в год, является одной из стран Центральной Азии, где производится 60% этих ресурсов. Однако используется лишь 8,3% этого ресурса. Развитие малых гидроэлектростанций (мощностью до 10 МВт) считается одним из наиболее эффективных способов обеспечения электроэнергией сельских и отдаленных районов. В данной статье представлен комплексный подход к гидрологическим расчетам, выбору энергоблоков и экономической оценке. Анализ результатов показывает, что для малой гидроэлектростанции мощностью 2-5 МВт срок окупаемости составляет 2,7-4,2 года.

Ключевые слова: малая гидроэлектростанция, гидрология, расчетное водопотребление, мощность электростанции, производство энергии, инвестиционные затраты, чистая приведенная стоимость, внутренняя норма доходности, срок окупаемости, экономическая эффективность, гидравлическая турбина, Республика Таджикистан.

ASSESSMENT OF TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF SMALL HYDROPOWER PLANTS IN THE HYDROLOGICAL CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

This article discusses the issues of technical and economic justification of small hydroelectric power plants (SHPs) on the mountain rivers of the Republic of Tajikistan. Tajikistan, with a hydropower potential of more than 527 billion kWh per year, is one of the countries where 60% of these resources in Central Asia are produced in Tajikistan. This article presents a comprehensive approach to hydrological calculations, unit selection, and economic evaluation. Analysis of the results shows that for a small hydropower plant with a capacity of 2-5 MW, the payback period is 2.7-4.2 years.

Keywords: small hydroelectric power plant, hydrology, calculated water consumption, power plant capacity, energy production, investment costs, net present value, internal rate of return, payback period, economic efficiency, hydraulic turbine, Republic of Tajikistan.

Маълумот дар бораи муаллиф: *Абдуллоев Хайрулло Валиевич* – Донишқадаи энергетикӣ Тоҷикистон, номзади илмҳои техникӣ, муаллими калони кафедраи таъминоти барқ ва бехатарии электрикӣ. **Суроға:** 733036, н. Кушониён, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи Н. Хусрав, 73. E-mail a.kh.v.91@mail.ru. Телефон: **988657470**

Исозода Диловаршоҳ Тарик – Донишқадаи энергетикӣ Тоҷикистон, доктори илмҳои техникӣ, дотсент, ректор. **Суроға:** 733036, н. Кушониён, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи Н. Хусрав, 73. E-mail: isoev-d@mail.ru. Телефон: **550446464**

Раупов Насимҷон Махмадшарипович – Донишқадаи энергетикаи Тоҷикистон, муаллими калони кафедраи манбаҳои альтернативии энергия. **Суроға:** 733036, н. Кушониён, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи Н. Хусрав, 73. Телефон: **+99211112334**. E-mail: raupov.nasim@bk.ru

Сайвалиев Маъруфҷон Музаффарович - Донишқадаи энергетикӣ Тоҷикистон, муаллими калони кафедраи таъминоти барқ ва бехатарии электрикӣ. **Суроға:** 733036, н. Кушониён, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи Н. Хусрав, 73. E-mail: Sayvaliev1990@mail.ru

Сведения об авторах: *Абдуллоев Хайрулло Валиевич* – Институт энергетики Таджикистана, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры электроснабжения и электробезопасности. **Адрес:** 733036, р.Кушониён, Республика Таджикистан, улица Н. Хусрава, 73. E-mail: **a.kh.v.91@mail.ru**. Телефон: **988657470**

Исозода Диловаршоҳ Тарик – Институт энергетики Таджикистана, доктор технических наук, доцент, ректор. **Адрес:** 733036, р.Кушониён, Республика Таджикистан, улица Н. Хусрава, 73. E-mail: **isoev-d@mail.ru**. Телефон: **550446464**

Раупов Насимжон Махмадшарипович - Институт энергетики Таджикистана, старший преподаватель кафедры альтернативных источников энергии. **Адрес:** 733036, р.Кушониён, Республика Таджикистан, улица Н. Хусрава, 73. Телефон: **+99211112334**. E-mail: **raupov.nasim@bk.ru**

Сайвалиев Маруфчон Муззафарович - Институт энергетики Таджикистана, старший преподаватель кафедры электроснабжения и электробезопасности. **Адрес:** 733036, р.Кушониён, Республика Таджикистан, улица Н. Хусрава, 73. E-mail: **Sayvaliev1990@mail.ru**

Information about the authors: *Abdulloev Khayrullo Valievich* – Institute of Energy of Tajikistan, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Power Supply and Electrical Safety. **Address:** 733036, Kushonien district, Republic of Tajikistan, N. Khusrav Street, 73. E-mail: **a.kh.v.91@mail.ru**. Phone: **988657470**

Isozoda Dilovarshoh Tarik – Institute of Energy of Tajikistan, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Rector. **Address:** 733036, Kushonien district, Republic of Tajikistan, N. Khusrav Street, 73. E-mail: **isoev-d@mail.ru**. Phone: **550446464**

Raupov Nasimjon Makhmadsharipovich – Institute of Energy of Tajikistan, Senior Lecturer of the Department of Alternative Energy Sources. **Address:** 733036, Kushonyon district, Republic of Tajikistan, N. Khusrav Street, 73. Phone: **+99211112334**. E-mail: **raupov.nasim@bk.ru**

Sayvaliev Marufchon Muzzafarovich - Institute of Energy of Tajikistan, senior lecturer at the Department of Electrical Supply and Electrical Safety. **Address:** 733036, Kushonyon district, Republic of Tajikistan, N. Khusrav Street, 73. E-mail: **Sayvaliev1990@mail.ru**

Статья поступила в редакцию: 20.04.2026
Одобрена после рецензирования: 18.05.2026
Принята к публикации: 06.10.2026

**АРХИТЕКТУРА ВА АЛГОРИТМҲОИ ЗЕҲНИ СУНӢӢ ӢАМЧУН АМСИЛАИ
МУОСИРИ САНӢИШИ ДОНИШИ ДОНИШӢӢӢ***Бобозода А.А.***Донишгоҳи давлатии ҳуқуқ, бизнес ва сиёсати Тоҷикистон**

Муқаддима. Муассисаҳои таҳсилоти олии дар марҳилаи фаъоли рақамикунонӣ қарор дошта, зеҳни сунӣ ба яке аз унсурҳои калидии идоракунии, назорат ва баҳодихии сатҳи сифати дониши донишҷӯён табдил ёфтааст. Усулҳои анъанавии санҷиш, аз қабili имтиҳонҳои хаттӣ ва шифохӣ ё саволномаҳои тестӣ, на ҳамеша имкони арзёбии воқеъбинонаи салоҳиятҳои донишҷӯёнро фароҳам меоранд. Дар ин замина, низомҳои интеллектуалӣ ҳамчун воситаи муассири таҳлили рафтори таълимӣ, муайянсозии самтҳои инфиродии омӯзиш ва пешгуи натиҷаҳои таҳсил аҳамияти махсус касб менамоянд.

Зеҳни сунӣ соҳаи илми компютери мебошад, ки ба таҳияи низомҳои ҳисоббароре равона шудааст, ки қобилияти тақлиди равандҳои тафаккури инсон, аз ҷумла таҳлили маълумот, фаҳмиши забони табиӣ, омӯзиши худкор ва қабули қарорҳоро доранд [1]. Тафовути асосии зеҳни сунӣ аз дигар низомҳои рақамии санҷиш дар қобилияти омӯзиши мустақил ва мутобиқшавӣ ба вазъияти нав тавассути алгоритмҳои омӯзиши мошинӣ зоҳир мегардад.

Татбиқи босуръати зеҳни сунӣ дар соҳаи маориф омӯзгорон ва муҳаққиқонро водор месозад, ки имкониятҳо, маҳдудиятҳо ва хатарҳои истифодаи онро ҳамаҷониба таҳлил намоянд. Низомҳои автоматикунонидашуда метавонанд баҳодихии донишро дақиқтар ва объективона тар гардонанд, ҳамзамон барои ташаккули роҳҳои инфиродии таълим мусоидат намоянд. Бо вучуди ин, масъалаҳои шаффофияти алгоритмҳо, ҳифзи маълумоти шахсӣ ва таъмини адолати баҳодихӣ ҳамчун мушкилоти муҳим боқӣ мемонанд.

Мақсади таҳқиқот баррасии дурнамои истифодаи зеҳни сунӣ дар баҳодихии дониш ва малакаҳои донишҷӯёни муассисаҳои таҳсилоти олии касбӣ мебошад. Бо назардошти афзоиши ҳаҷми додаҳои таълимӣ ва мураккаб гардидани равандҳои баҳодихии дониш, зарурати таҳияи меъморӣ (архитектураи) муосири низомҳои баҳодихии интеллектуалӣ ба миён меояд. Самаранокии ҷунин низомҳо на танҳо ба мавҷудияти зеҳни сунӣ, балки ба тарҳи дурусти архитектура ва интиҳоби алгоритмҳои мувофиқ вобаста мебошад [1].

Усулҳои тадқиқот. Дар раванди таҳқиқот усулҳои таҳлили назариявӣ ва муқоисавӣ, моделсозии математикӣ, таҳлили алгоритмӣ ва равиши системавӣ истифода шудаанд. Бо мақсади асоснок намудани меъморӣ низомии интеллектуалии санҷиши дониш, сохтори функционалии он ва робитаи байни модулҳои ҷамъоварӣ, коркарди додаҳо, таҳлили зеҳнӣ ва баҳодихии натиҷаҳо баррасӣ гардиданд. Барои моделсозии динамикаи тағйирёбии сатҳи дониши донишҷӯён амсилаи пайгирии байесии дониш (Bayesian Knowledge Tracing - BKT) ва барои асоснок намудани равиши баҳодихии мутобиқшаванда назарияи посух ба бандҳо (Item Response Theory - IRT) мавриди таҳлил қарор дода шуданд. Инчунин, усулҳои таҳлили пайдарпаии ҷавобҳои донишҷӯён ва арзёбии нишондиҳандаҳои баҳодихӣ барои муайян намудани имкониятҳои татбиқи алгоритмҳои зеҳни сунӣ дар низомҳои иттилоотии таълимӣ баррасӣ гардиданд.

Муҳокима. Дар шароити рақамикунонии таҳсилоти олии масъалаи баланд бардоштани дақиқӣ, эътимодноӣ ва мутобиқшавии низомҳои баҳодихии дониши донишҷӯён аҳамияти махсус касб менамояд. Истифодаи зеҳни сунӣ имконият фароҳам меорад, ки раванди санҷиши дониш на танҳо ба муайян намудани дурустӣ ё нодурустии ҷавобҳо, балки ба таҳлили динамикаи донишандӯзӣ, муайян кардани сатҳи азхудкунии маводи таълимӣ ва интиҳоби инфиродии супоришҳо равона карда шавад. Самаранокии ҷунин низомҳо аз меъморӣ дуруст, сифати додаҳои воридшаванда ва интиҳоби алгоритмҳои мувофиқ вобаста мебошад.

Низомии баҳодихии дониши донишҷӯён дар асоси зеҳни сунӣ, одатан, ҳамчун як низомии бисёрмодули тарҳрезӣ мешавад, ки ҳар як модули он вазифаҳои мушаххасро иҷро менамояд. Ҳар як модули дар доираи меъморӣ умумии низом нақши муайян дошта, дар маҷмӯъ ба ташаккули натиҷаи ниҳонии баҳодихии дониш мусоидат мекунад. Ҷунин равиши меъморӣ шаффофият ва идорашавандагии низомро таъмин намуда, ҳамзамон,

имкони васеъсозӣ ва мутобиқсозии онро ба шароити гуногуни таълимӣ фароҳам меорад. Хангоми баррасии афзалиятҳои асосии истифодаи зехни сунъӣ [13] ҳамчун воситаи баҳодихии дониши донишҷӯён бояд таъкид кард, ки татбиқи барномаҳо ва алгоритмҳои махсус имкон медиҳад мушкилоти марбут ба баҳодихии ҳолис (объективӣ), таҳлили натиҷаҳо ва қабули қарорҳо ба таври автоматикунонидашуда ҳал карда шаванд. Дар ин замина, меъморӣ муносири низомии баҳодихии дониши донишҷӯён бо истифода аз зехни сунъӣ як қатор модулҳои функционалиро дар бар мегирад, ки дар зер баррасӣ мегарданд [15].

Дар доираи меъморӣ бисёрмодулии низомии баҳодихии дониши донишҷӯён дар асоси зехни сунъӣ, ҳар як модул вазифаҳои мушаххаси функционалиро иҷро намуда, дар маҷмӯъ фаъолияти самаранокӣ низомро таъмин менамояд [3] ва яке аз унсурҳои асосӣ модули ҷамъоварии додаҳо ба ҳисоб меравад, ки қабули автоматии посухҳои донишҷӯёнро дар шаклҳои гуногун, аз ҷумла матнӣ, аудиоӣ ва видеоӣ таъмин намуда, ҳамзамон, раванди санҷишро сабт мекунад ва бо низомҳои омӯзиши электронӣ (LMS) ҳамгиро мегардад. Ин модул ҳамчун манбаи ибтидоии иттилоот хизмат карда, барои марҳилаҳои минбаъдаи коркарди додаҳо замина фароҳам меорад.

Дар марҳилаи навбатӣ модули коркарди ибтидоии додаҳо фаъол мегардад, ки вазифаи асосӣ он тозакунии додаҳо аз ғалатҳо ва садоҳои иттилоотӣ, аломатгузорӣ ва стандартизатсия, инчунин муътадилнамоӣ ва табдили додаҳо ба шакли мувофиқ барои коркарди ҳисоббарорӣ мебошад. Дар ин марҳила додаҳо ба намуди векторӣ табдил дода мешаванд, ки барои истифодаи минбаъдаи алгоритмҳои омӯзиши мошинӣ ва шабакаҳои нейронӣ аҳамияти калидӣ доранд. Қисмати марказии низомро модули таҳлили зехнӣ, ки ҳамчун амсилаи таҳлилӣ баромад мекунад, ташкил медиҳад. Дар ин модул алгоритмҳои омӯзиши мошинӣ ва шабакаҳои нейронӣ барои иҷрои вазифаҳои гурӯҳбандӣ, шинохти намунаҳо, баҳодихии сатҳи дониш ва пешгӯии натиҷаҳои таълим истифода мешаванд. Маҳз дар ин марҳила таҳлили амиқи додаҳои таълимӣ сурат гирифта, муносибатҳои пинҳонӣ ва қонуниятҳои раванди донишандӯзӣ ошкор мегарданд. Натиҷаҳои бадастомада дар модули тафсир ва қарорگیری мавриди таҳлил қарор мегиранд. Ин модул барои тавлиди ҳисоботҳои аналитикӣ, тафсири натиҷаҳои ҳисоббарорӣ ва пешниҳоди тавсияҳои методӣ ба омӯзгорон пешбинӣ шудааст. Илова бар ин, дар асоси натиҷаҳои таҳлил роҳҳои инфиродии тақмили омӯзиш барои донишҷӯён пешниҳод мегарданд, ки ин ба гузариш аз баҳодихии стандартӣ ба баҳодихии мутобиқшаванда мусоидат менамояд.

Муоширати мустақими корбарон бо низом тавассути модули ҳамкорӣ бо корбар (интерфейси корбар) амалӣ мегардад. Ин модул намоиши визуалии натиҷаҳои баҳодихиро таъмин намуда, имкони гирифтани бозхӯрди интерактивӣ ва ташкили алоқаи дучониба байни омӯзгор ва донишҷӯро фароҳам меорад. Интерфейси корбар ҳамчун унсури пайваस्तкунанда байни қисмати техникӣ ва иштирокчиёни раванди таълим хизмат мекунад. Ҳамгироии алгоритмҳои омӯзиши мошинӣ бо модулҳои ҷамъоварӣ, коркарди додаҳо ва тафсири натиҷаҳо имкон медиҳад, ки баҳодихии дониш на танҳо объективона, балки ба рушди инфиродии донишҷӯён низ равона карда шавад. Алгоритмҳои дар асоси омӯзиши мошинӣ ташкилшуда ба низомии санҷишӣ имкон медиҳанд, ки на танҳо шакли зохирии посухҳо, балки маънии дохилии матн низ бо истифода аз усулҳои фаҳмиши забони табиӣ таҳлил гардад.

Дар қисми амалии мавзуи таҳқиқшаванда муаллиф амсилаи нави низомии санҷиши дониши донишҷӯёнро дар асоси зехни сунъӣ **пешниҳод намудааст, ки дорони сохтори** гибридӣ мебошад. Дар доираи ин амсила истифодаи шабакаҳои нейронии печида барои коркарди додаҳои мураккаб ва шабакаҳои нейронии такроршаванда барои таҳлили пайдарпаии иттилоотӣ пешбинӣ шудааст. Чунин равиш имкон медиҳад ҳам хусусиятҳои сохторӣ ва ҳам динамикаи раванди донишандӯзӣ ба таври муассир инъикос ва баҳогузорӣ карда шаванд.

Системаи баҳодихии дониши донишҷӯён дар асоси зехни сунъӣ мувофиқи алгоритми пайдарпай амал менамояд [7; 3]. Дар марҳилаи аввал, ҷамъоварии маълумот дар бораи таъсири мутақобилаи донишҷӯён бо низомии таҳияшаванда анҷом дода мешавад, ки он фаъолияти донишҷӯро хангоми иҷрои супоришҳо, ҷавоб додан ба саволҳо ва истифодаи унсурҳои интерфейси низом дар бар мегирад. Маълумоти ҷамъоваришуда ҳамчун манбаи ибтидоӣ барои таҳлили минбаъда хизмат мекунад. Дар марҳилаи дуюм, коркарди

ибтидоии маълумот амалӣ мегардад, ки он рамзбандии додаҳо, тозакунии иттилоот ва истихроҷи аломатҳо ё хусусиятҳои муҳимро дар бар мегирад [9]. Ин марҳила барои коҳиш додани ҳаҷми додаҳо ва баланд бардоштани сифат ва мувофиқати онҳо ба коркарди ҳисоббарорӣ аҳамияти калидӣ дорад.

Дар асоси додаҳои коркардшуда, дар марҳилаи сеюм, омӯзонидани амсилаи гурӯҳбандии посухҳо анҷом дода мешавад. Амсилаи омӯзишӣ имкон медиҳад посухҳои донишҷӯён аз рӯи дараҷаи дурустӣ, мураккабӣ ё дигар меъёрҳои пешакӣ муайяншуда гурӯҳбандӣ карда шаванд.

Марҳилаи навбатӣ, ба таҳлили дақиқии амсила бахшида шуда, дар он сифати гурӯҳбандӣ ва эътимоднокии натиҷаҳои бадастомада бо истифода аз меъёрҳои омӯрӣ ва ҳисоббарорӣ арзёбӣ мегардад. Натиҷаҳои ин таҳлил барои такмил ва танзими минбаъдаи амсила истифода мешаванд. Дар марҳилаи ниҳой, баҳодиҳии автоматии дониши донишҷӯён амалӣ гардида, дар асоси натиҷаҳои таҳлил ва гурӯҳбандии посухҳо ҳолгузорӣ, ташаккули ҳулосаҳо ва пешниҳоди натиҷаҳои баҳодиҳӣ анҷом дода мешавад. Чунин алгоритм имкон медиҳад раванди санҷиши дониш ба таври автоматикунонидашуда, объективӣ ва мутобиқ ба хусусиятҳои инфиродии донишҷӯён иҷро гардад.

Натиҷаҳо. Дар натиҷаи таҳқиқот меъмории бисёрмодулявии низоми интеллектуалии санҷиши дониши донишҷӯён таҳия ва сохтори функционалии он муайян карда шуд. Меъмории пешниҳодшуда марҳилаҳои муайянсозии донишҷӯ, ҷамъоварӣ ва коркарди ибтидоии додаҳо, интиҳоби мутобиқшавандаи супоришҳо, таҳлили математикӣ ва ташаккули натиҷаҳои баҳодиҳиро фаро мегирад. Робитаи функционалии модулҳо дар модели концептуалии низом инъикос ёфта, тартиби пайдарпайи иҷрои амалҳои асосии баҳодиҳӣ муайян карда шудааст. Ҳамчун яке аз асосҳои математикӣ барои пайгирии динамикаи дониш амсилаи пайгирии байесии дониш (Bayesian Knowledge Tracing - BKT) баррасӣ гардид. Дар доираи ин амсила ҳолати дониш ҳамчун тағйирёбандаи ниҳонӣ ифода ёфта, эҳтимолияти азхудкунии маҳорат дар асоси пайдарпайи ҷавобҳои мушоҳидашуда арзёбӣ мешавад. Ин равиш имкон медиҳад, ки тағйирёбии эҳтимолии сатҳи дониш дар раванди омӯзиш ба назар гирифта шавад.

Барои арзёбии эътимоднокии натиҷаҳои баҳодиҳии автоматии дониши донишҷӯён, ки дар асоси амсилаҳои омӯзиши мошинӣ бадаст оварда шудаанд, аз нишондиҳандаи дақиқӣ (accuracy) истифода бурда мешавад, ки ба таври зерин муайян мегардад [8]:

$$Q = \frac{T_c}{T_a} \times (1 - E)$$

дар ин ҷо: T_c – шумораи ҷавобҳои дуруст

T_a – шумораи умумии ҷавобҳо

E – коэффитсиенти хатогии амсила

Барои расмӣ кардани раванди баҳодиҳии динамикии сатҳи дониши донишҷӯён, мо аз амсилаи «стохастикӣ Байес» (Bayesian Knowledge Tracing (BKT)) бо ҳолати ниҳониро [15] истифода мебарем. Санҷиши дониш бо усули Байес – ин алгоритмest, ки дар аксарияти низомҳои интеллектуалии таълимӣ, барои моделиронии сатҳи донишҳои азбарнамудаи таълимгирандагон пешбинӣ шудааст. Бигзор L_t – тағйирёбандаи ниҳонӣ бошад, ки сатҳи дониши донишҷӯро дар вақти t тавсиф мекунад ва $obs_{1:t} = \{obs_1, obs_2, \dots, obs_t\}$ пайдарпайии натиҷаҳои мушоҳидашудаи фаъолияти таълимӣ бошад.

Сипас, тақсимои эҳтимолияти пасихамории сатҳи дониш дар қадами t бо истифода аз формулаи зерин ба таври рекурсивӣ ҳисоб карда мешавад.

$$P(L_t | obs_{1:t}) \propto P(obs_t | L_t) \cdot \sum_{L_{t-1}} [P(L_t | L_{t-1})P(L_{t-1} | obs_{1:t-1})]$$

дар ин ҷо: $P(L_t | L_{t-1})$ матритсаи эҳтимолияти гузариш байни сатҳҳои дониш;

• $P(obs_t | L_t)$ функсияи эҳтимолияти мушоҳида бо назардошти ҳолати пинҳонӣ;

• $P(L_{t-1} | obs_{1:t-1})$ тақсимои паси аз таҷрибаи қадами қаблӣ.

Барои ба даст овардани тақсимои нормализатсияшуда, коэффитсиенти нормализатсия истифода мешавад:

$$P(L_t | \text{obs}_{1:t}) = \frac{P(\text{obs}_t | L_t) \cdot \sum_{L_{t-1}} P(L_t | L_{t-1}) P(L_{t-1} | \text{obs}_{1:t-1})}{\sum_{L_t} [P(\text{obs}_t | L_t) \cdot \sum_{L_{t-1}} P(L_t | L_{t-1}) P(L_{t-1} | \text{obs}_{1:t-1})]}$$

Амсилаи пешниҳодшуда қадами “рекурсивии” филтри Байезиро [14; 4] ба истилоҳ такроран амалӣ мекунад ва нчунин як ҳолати махсуси амсилаи ниҳонии Марковро (Hidden Markov Model) [10] низ истифода менамояд, ки барои баҳодиҳии вазифаҳои зехнӣ дар чараёни таълим, мутобиқ карда шуда аст. Пайгирии байесии дониш (Bayesian Knowledge Tracing, *BKT*) [4] яке аз амсилаҳои классикӣ ва васеъ истифодашавандаи баҳодиҳии ҳолати пинҳонии когнитивии донишҷӯён ба ҳисоб меравад, ки дар асоси таҳлили пайдарпаии амалҳои мушоҳидашавандаи онҳо амалӣ мегардад. Дар доираи ин амсила, дониш ҳамчун тағйирёбандаи пинҳонӣ баррасӣ шуда, ҳолати он мустақиман мушоҳида намешавад, балки тавассути ҷавобҳои донишҷӯ супоришҳо ба таври эҳтимоли барқарор карда мешавад.

Дар *BKT* додаҳои мушоҳидашаванда пайдарпаии ҷавобҳои донишҷӯ мебошанд, ки ҳар кадоми онҳо метавонад қимати дурустро ($o_t=1$) ё нодурустро ($o_t=0$) қабул намояд. Ҳар як ҷавоб ба маҳорат ё малакаи муайян s вобаста буда, фарз карда мешавад, ки иҷрои ҳар супориш истифодаи маҳз ҳамин маҳоратро талаб мекунад. Мақсади асосии амсилаи *BKT*, ёфтани эҳтимолияти он аст, ки донишҷӯ дар лаҳзаи вақти t маҳоратро медонад, бо шарт он ки тамоми ҷавобҳои қаблро мушоҳида кардаем, яъне:

$$P(L_t = 1 | O_{1:t})$$

- $L_t \in \{0,1\}$ тағйирёбандаи пинҳонист, ки ҳолати донишро ифода мекунад;
- $L_t = 1$) маънои доштани маҳоратро дорад;
- $L_t = 0$) маънои надоштани маҳоратро ифода менамояд;
- $O_{1:t}$) пайдарпаии ҷавобҳои мушоҳидашуда то лаҳзаи t мебошад

Натиҷа. Дар идомаи таҳқиқот амсилаи математикии *BKT* ба таври муфассал баррасӣ мегардад. Барои ҳар як маҳорат амсила бо чор параметри асосӣ тавсиф мешавад, ки ҳар яке маънои мушаххаси когнитивӣ дорад. Параметри якум, эҳтимолияти дониши ибтидоӣ мебошад:

$$P(L_0 = 1) = p_0, 0 < p_0 < 1$$

Ин параметр эҳтимолияти априории онро ифода мекунад, ки донишҷӯ то оғози раванди омӯзиш аллакай маҳоратро медонад. Параметри дуюм, эҳтимолияти гузариш ё омӯзиш мебошад:

$$P(L_t = 1 | L_{t-1} = 0) = p_T, 0 < p_T < 1$$

Ин параметр эҳтимолияти гузариш аз ҳолати «намедонад» ба ҳолати «медонад»-ро пас аз ҳар як кӯшиши истифодаи маҳорат тавсиф менамояд. Дар амсилаи классикии *BKT* фарз карда мешавад, ки пас аз ба даст овардани дониш фаромӯшшавӣ ба амал намеояд, яъне:

$$P(L_t = 0 | L_{t-1} = 1) = 0$$

Параметри сеюм, эҳтимолияти тахминнамоӣ (guess) мебошад, ки эҳтимолияти додани ҷавоби дурустро дар ҳолате ифода мекунад, ки донишҷӯ воқеан маҳоратро намедонад. Чунин ҳолат метавонад дар натиҷаи бахт омад кардан, интуитсия ё ишораҳои гайримустақим ба амал ояд.

Параметри чорум, эҳтимолияти хато ё безътиборӣ (slip) мебошад:

$$P(o_t = 0 | L_t = 1) = p_S, 0 < p_S < 0.5$$

Параметри мазкур эҳтимолияти ҷавоби нодурустро ҳатто дар ҳолати доштани дониш ифода мекунад, ки метавонад бо сабаби безътиборӣ, шитобкорӣ ё хатои тасодуфӣ рух диҳад. Ҳамин тариқ, маҷмуи параметрҳои амсилаи *BKT* ба таври зерин муайян мегардад:

$$\theta = \{p_0, p_T, p_G, p_S\} \in (0,1)^4$$

бо маҳдудияти иловагӣ:

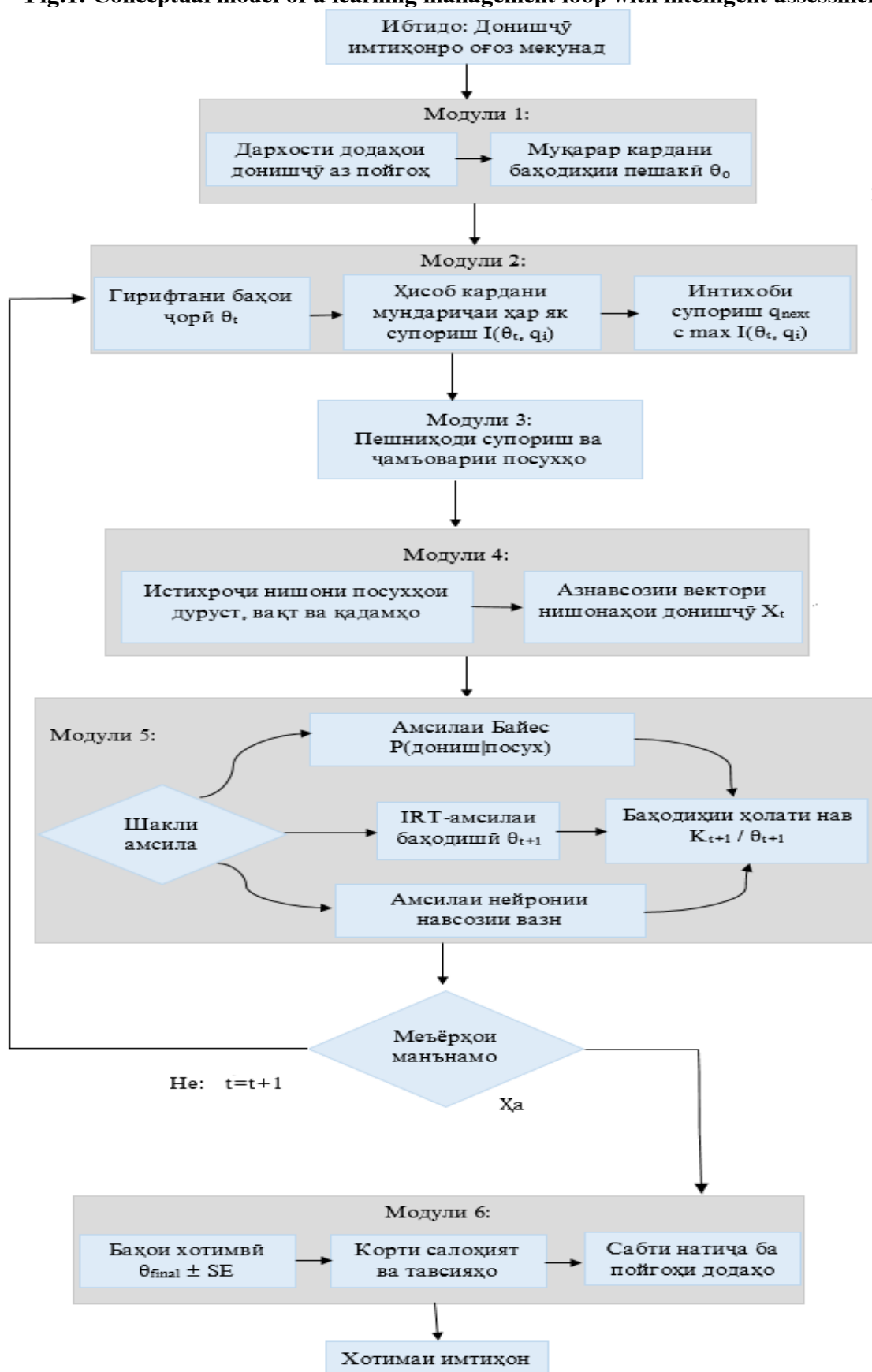
$$p_G + p_S < 1$$

ки барои нигоҳ доштани маънои эҳтимолии амсила ва қобили тафсир будани натиҷаҳо зарур мебошад.

Амсилаи пайгирии байесии дониш имкон медиҳад динамикаи ташаккули дониш ба таври пайдарпай ва эҳтимоли баҳогузорӣ гардида, ҳамчун пояи алгоритмҳои мутобиқшавандаи омӯзиш ва баҳодиҳии автоматии дониш дар системаҳои иттилоотии

таълимӣ истифода шавад. Дар ин замина алгоритми амсилаи барномаи донишазхудкунӣ чунин тартиб дода шуд (расми1).

Расми 1: Амсилаи концептуалии низоми идоракуни таълимӣ бо баҳодиҳии интеллектuali
Fig.1: Conceptual model of a learning management loop with intelligent assessment



Алгоритми пешниҳоди баҳодиҳии мутобиқшавандаи дониши донишҷӯён (расми 1) дар асоси зеҳни сунъӣ аз як қатор модулҳои ба ҳам пайваста иборат мебошад, ки ҳар яке вазифаи муайяни функционалиро иҷро мекунад.

Дар **модули якум**, низоми таҳияшуда шахсияти донишҷӯро муайян намуда, маълумоти марбут ба таърихи таҳсилоти ӯро аз пойгоҳи додаҳо боргирӣ менамояд. Дар ҳамин модул ҳамчунин имкони муқаррар намудани меъёрҳо ва ҳадди минималии ҳолҳо барои муайянкунии сатҳи дониши донишҷӯ пешбинӣ шудааст, ки ин ба стандартсозии равандҳои баҳодиҳӣ мусоидат менамояд.

Модули дуум, яке аз модулҳои калидии низоми таҳияшуда ба ҳисоб меравад, зеро он механизми интиҳоби мутобиқшавандаро амалӣ менамояд. Дар ин марҳила, бо дарназардошти натиҷаҳои қаблӣ ва арзиши параметрҳои ҳолати дониш дар лаҳзаи t (масалан, $\theta(t)$), савол ё супориши минбаъда ба таври динамикӣ интиҳоб ва мутобиқ карда мешавад. Чунин равиш имкон медиҳад раванди санҷиш ба сатҳи воқеии дониш ва хусусиятҳои инфиродии донишҷӯ мутобиқ гардонидани шавад.

Модулҳои сеюм ва чаҳорум, барои ташкили шакли зоҳирии мутобиқшавандаи низом ва ҷамъоварии додаҳо пешбинӣ шудаанд. Ин модулҳо пешниҳоди супоришҳоро ба донишҷӯ, ҷамъоварии посухҳо, пешниҳоди ҷавобҳои дуруст пас аз анҷоми санҷиш, идоракунии вақт ва татбиқи талаботҳои иловагиро таъмин менамоянд. Маълумоти дар ин марҳила ҷамъоваришуда ҳамчун додаи ибтидоӣ барои таҳлили минбаъда истифода мешавад.

Модули панҷум, блоки калидии математикии низом ба ҳисоб меравад. Дар ин қисмат яке аз амсилаҳои муосири баҳодиҳии дониш, аз ҷумла амсилаҳои эҳтимолӣ ё омӯзиши мошинӣ истифода мегардад, ки имкон медиҳад ҳолати дониш ва сатҳи азхудкунии мавод ба таври объективӣ ва миқдорӣ муайян карда шавад. Натиҷаҳои ҳисоббарорӣ дар ин модул асоси қабули қарорҳои минбаъдаи мутобиқшавандаро ташкил медиҳанд.

Дар **модули шашум**, тафсири ҳолати дониш ва нигоҳдории натиҷаҳо амалӣ мегардад [2]. Ин модул барои таҳлили нишондиҳандаҳои натиҷаҳои санҷиш, ташаккули ҳулосаҳо ва сабти натиҷаҳои баҳодиҳии дониш дар пойгоҳи додаҳои низом пешбинӣ шудааст. Маълумоти нигоҳдошташуда метавонад барои мониторинги динамикаи дониш, таҳлили пешрафт ва банақшагирии минбаъдаи раванди омӯзиш истифода шавад.

Ҳулоса. Дар доираи таҳқиқот модели интеллектуалии баҳодиҳии автомати сатҳи донишандӯзии донишҷӯён, ки бар асоси назарияи посух ба бандҳо (Item Response Theory – IRT) [11] ва алгоритмҳои мутобиқшаванда бунёд ёфтааст, таҳия ва ба таври таҷрибавӣ санҷида шудааст. Усули пешниҳодшуда тавассути мутобиқсозии динамикии тестҳо [6] бо дарназардошти хусусиятҳои инфиродии донишҷӯён имкон медиҳад дақиқӣ ва объективи баҳодиҳии дониш баланд бардошта шавад.

Натиҷаҳои бадастомада самаранокии алгоритмҳои таҳияшуда ва имконпазирии татбиқи онҳоро дар системаҳои таълими электронии таҳсилоти олии тасдиқ менамоянд. Мақсади асосии таҳқиқот пешниҳод намудани модели назариявӣ-амалӣ ва маҷмуи алгоритмҳои мебошад, ки барои эҷоди низомҳои миллии санҷиши интеллектуалӣ дар асоси зеҳни сунъӣ мутобиқ ва қобили татбиқ бошанд. Илова бар ин, дар мақола масъалаи интиҳоби навъҳои мувофиқи амсилаҳо ва муайян намудани хусусиятҳои техникийи онҳо, ки барои ҳалли мушкилоти амалии низоми маориф заруранд, мавриди баррасӣ қарор гирифтааст. Ҳамунин мақола барои ба амали воқеӣ табдил додани «Стратегияи рушди зеҳни сунъӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2040» [7], равона шуда аст.

Таҳқиқоти мазкур дар нақшаи корҳои илмӣ-таҳқиқотии кафедраи технологияҳои иттилоотӣ дар иқтисодиёти Муассисаи давлатии таълимии «ДДХ ба номи академик Бобоҷон Ғафуров» ва нақшаи корҳои илмӣ-таҳқиқотии кафедраи технологияҳои иттилоотии коммуникатсионӣ ва барномарезии ДДХБСТ амалӣ карда шуда аст.

АДАБИЁТ

1. Баринова Д.О., Шакаримова А.А. Роль искусственного интеллекта в повышении академической успеваемости студентов // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2024. – № 10. – С. 170–185. [Электронный ресурс]. URL: <https://e-koncept.ru/2024/241162.htm> – DOI:10.24412/2304-120X-2024-11162
2. Гасанова Р.Р. Искусственный интеллект в высшей школе: проблемы, возможности, риски / Р.Р. Гасанова, Е.А. Романова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. – 2024. – Т. 24. – №4. – С. 501–515. DOI: 10.22363/2312-8631-2024-21-4-501-515.

3. Иванова С.В., Азархин А.В. Модель использования искусственного интеллекта в образовательном процессе вузов // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2025. – № 09. – С. 303–317. [Электронный ресурс]. URL: <https://e-koncept.ru/2025/251189.htm> – DOI: 10.24412/2304-120X-2025-11189.
4. Корбут А.А. Байесовское оценивание знаний на основе анализа логов образовательных систем / А.А. Корбут, А.В. Осокин, В.В. Стрижов // Информатизация образования и науки. – 2016. – №3(31). – С.76-85.
5. Рябинова Е.Н. Адаптивная система персонализированной профессиональной подготовки студентов технических вузов: дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.08/ Е.Н. Рябинова. – Самара, 2009. – 410 с.: ил.
6. Рябинова Е.Н. Математическая матричная модель для индивидуализированного профессионального образования / Е.Н. Рябинова // Педагогическая наука и технологии. – 2020. – № 3. – С. 45-58.
7. Стратегияи рушди зехни сунъи дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2040. – Душанбе: Вазорати ИКТ, 2021. – 45 с.
8. Федоров А.А. Диагностика понимания студентами законов термодинамики с помощью компьютерного тестирования / А.А. Федоров, Е.Д. Григорьева // Информатика и образование. – 2022. – №4. – С.45–52. – EDN: CCCCC.
9. Ширинкина Е.В. Механизм применения искусственного интеллекта в обучении / Е.В. Ширинкина // Надежность и качество сложных систем. – 2022. – № 4. – С. 24–30. DOI: 10.21685/2307-4205-2022-4-3.
10. Baum L.E., Petrie T., Soules G., Weiss N. A Maximization Technique Occurring in the Statistical Analysis of Probabilistic Functions of Markov Chains // Annals of Mathematical Statistics. – 1970. – Vol. 41, № 1. – P. 164–171.
11. Gradescope: AI-assisted grading platform [Электронный ресурс]. URL: <https://gradescope.com> (дата обращения: 10.10.2025).
12. Gradescope: AI-assisted grading platform. [Электронный ресурс]. URL: <https://gradescope.com> (дата обращения: 14.10.2025).
13. Smart Sparrow: Adaptive Learning Platform. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.smartsparrow.com> (дата обращения: 08.10.2025).
14. Yudelson M.V., Koedinger K.R., Gordon G.J. Individualized Bayesian Knowledge Tracing Models // Proceedings of the 16th International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED 2013). – 2013. – P.171–180.
15. Zhai, X. Advancing automatic scoring in educational assessment with artificial intelligence // Journal of Educational Technology. – 2021. – Vol. 34, № 2. – P. -112-125.

АРХИТЕКТУРА ВА АЛГОРИТМҲОИ ЗЕҲНИ СУНЪИ ҲАМЧУН АМСИЛАИ МУОСИРИ САНЧИШИ ДОНИШИ ДОНИШЧҶҮЁН

Рақамикунонии таҳсилоти олии зарурати ташаккули низомҳои нави баҳодихии донишро ба миён овардааст. Мақолаи мазкур дурнамои татбиқи зехни сунъиро ҳамчун воситаи муосири санчиши объективӣ ва воқеъбинонаи дониши донишҷӯён бо дар назардошти талаботи замони муосир баррасӣ менамояд. Дар мақола меъмурии бисёрмодулии низом пешниҳод гардидааст, ки дар он ҳар модули вазифаи мушаххасро иҷро менамояд: аз ҷамъоварӣ ва коркарди ибтидоии додаҳо то модули марказии таҳлили зехнӣ бо истифода аз алгоритмҳои омӯзиши мошинӣ ва шабакаҳои нейронӣ. Ҳамчун амсилаи асосии алгоритмӣ барои санчиши динамикӣ, амалиёти пайгирии байесии дониш истифода шудааст, ки ба воситаи амсилаи эҳтимолии таҳлили пайдарпаии амалҳои донишҷӯён ҳолати пинҳонии когнитивиро баҳодихӣ мекунад. Татбиқи меъмурии муосири низомҳои санчиши интеллектуалӣ ва интиҳоби алгоритмҳои мувофиқ метавонанд ба таҳкими объективият, дақиқӣ ва фардӣ гардидани раванди баҳодихӣ дар таҳсилоти олии мусоидат намоянд.

Калидвожаҳо: зехни сунъӣ, ҷараёни таълим, беҳсозии сифати таҳсилот, таҳсилоти мутобикшаванда, баҳодихии дониши донишҷӯён, технологияҳои таълимӣ

АРХИТЕКТУРА И АЛГОРИТМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА КАК СОВРЕМЕННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

Цифровизация высшего образования создала необходимость в разработке новых систем оценки знаний. В данной статье рассматриваются перспективы внедрения искусственного интеллекта как современного инструмента объективной и реалистичной проверки знаний студентов с учетом требований современной эпохи. Представлена многомодульная архитектура системы, в которой каждый модуль выполняет определенную задачу: от сбора и первичной обработки данных до центрального модуля интеллектуального анализа с использованием алгоритмов машинного обучения и нейронных сетей. В качестве основной алгоритмической модели динамического тестирования используется операция байесовского отслеживания знаний, которая оценивает скрытое когнитивное состояние посредством вероятностной модели анализа последовательности действий студентов. Внедрение современной архитектуры систем интеллектуального тестирования и выбор соответствующих алгоритмов могут способствовать повышению объективности, точности и индивидуализации процесса оценки в высшем образовании.

Ключевые слова: искусственный интеллект, образовательный процесс, оптимизация обучения, адаптивное обучение, оценка знаний студентов, образовательные технологии

ARCHITECTURE AND ALGORITHMS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A MODERN MODEL FOR ASSESSING STUDENTS' KNOWLEDGE

The digitalization of higher education has created a need for new knowledge assessment systems. This article examines the prospects for implementing artificial intelligence as a modern tool for objective and realistic assessment of student knowledge, taking into account the demands of the modern era. The article presents a multi-module system

architecture, in which each module performs a specific task: from data collection and initial processing to a central module for intelligent analysis using machine learning algorithms and neural networks. The primary algorithmic model for dynamic testing is Bayesian knowledge tracing, which assesses latent cognitive state through a probabilistic model for analyzing student action sequences. The implementation of a modern intelligent testing system architecture and the selection of appropriate algorithms can contribute to increasing the objectivity, accuracy, and individualization of the assessment process in higher education.

Keywords: artificial intelligence, educational process, learning optimization, adaptive learning, student assessment, educational technologies

Маълумот дар бораи муаллиф: *Бобозода Аълохон Аброрхон* – Донишгоҳи давлатии ҳуқуқ, бизнес ва сиёсати Тоҷикистон, муаллими калони кафедраи технологияҳои иттилоотӣ ва коммуникатсионӣ ва барномарезӣ. **Суроға:** 735700, ш.Хучанд, Ҷумҳурии Тоҷикистон, маҳаллаи 17, бинои 2. Телефон: **(+992) 92-724-25-65**. E-mail: **alokhoni_ba@mail.ru**

Сведения об авторе: *Бобозода Аълохон Аброрхон* – Таджикский государственный университет права, бизнеса и политики, старший преподаватель кафедры информационно-коммуникационных технологий и программирования. **Адрес:** 735700, г.Худжанд, Республика Таджикистан, 17 Микрорайон, дом.1. Телефон: **(+992) 92-724-25-65**. E-mail: **alokhon_ba@mail.ru**

Information about the author: *Bobozoda A'lokhon Abrorkhon* – Tajik State University of Law, Business, and Politics, Senior Lecturer at the Department of Information and Communication Technologies and Programming. **Address:** 735700, Republic of Tajikistan, Khujand, 17mkr.-d., Building 1. Phone: **(+992) 92-724-25-65**. E-mail: **alokhon_ba@mail.ru**

Мақола ба редакция ворид шуд: 04.06.2026

Аз тақриз баргашт: 11.08.2026

Ба чоп таъсия шуд: 06.10.2026

ТАҲЛИЛИ АДАДИИ ИНШООТҲОИ ГУЗАРҒОҲИИ НАҚБҲОИ ГИДРОТЕХНИКӢ (ДАР МИСОЛИ НБО РОҒУН)

Қурбонзода А.Н., Ҳасанзода Н.М., Ахмаджонов М.С.
Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носир Хусрав,
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Муқаддима. Таҳлили ададии иншоотҳои гузаргоҳи бо ёрии усули дученакаи деформатсияи сатҳӣ дар майдонҳои ҳамвор тавассути истифодаи чузъҳои ниҳой амалию иҷро карда мешавад.

Бо мақсади содагардонии амалиёт ва дуруст ба роҳ мондани расмиёти таҳлили ададӣ, Ҳангоми татбиқи деформатсияи сейсмикӣ дар майдонҳои озоди методологияи амалиётӣ бо тартиби зерин қабулшуда таҳия карда мешавад:

-бори қубурҳои обгузарон дар натиҷаи пуркунии сарбанд бо маводҳои сохтмонӣ қувваҳои таъсиркунандаи ин борҳо ба сарбанд ба вучуд омада, онҳо бо роҳи гузаронидани таҳлили дученака дар буриши виртуалии кундалангии самти чараёни дарё ва қорҳои хок хобонӣ анҷом дода шуда, моделсозӣ карда шудааст. Инчунин дар раванди моделсозии конструксия, қубурҳои обгузарон низ ба таркиби ин моделҳо дохил карда шудаанд. Иҷрои қорҳои сохтмонӣ марҳила ба марҳила сураат гирифта, тавассути фаъолсозии андозаҳои қабати уфуқии маводи пуркунандаи сохтмонӣ моделсозӣ карда мешавад. Модели тартибдодашуда таъсири мусбати чинси қўхиро, ки дар чунин шароити маҳдуди макон ба вучуд меояд, ба назар мегирад, вале таъсири назарраси бори сарбандро ба таъғоҳҳо ҳисоб карда наметавонад:

-қувваҳои дар ғиреҳҳои сарҳади байни қубурҳои обгузар ва маводи пуркунандаи атрофи онҳо ҳисоб карда шуда, дар навбати худ ҳамчун борҳои амалкунанда ба назар гирифта мешаванд;

-борҳои ҳосилшуда ба сарҳадҳои берунии қубурҳои обгузарон дар модели хурднамуда ҷой дошта, дар якҷоягӣ бо конструксияҳои воқеӣ, қисмҳои таркибии маводҳои сохтмонии пуркунандаи сарбанд ва асосро дар бар мегирад. Як қисми маводҳои сохтмонии пуркунандаи сарбанди иншоот ҳамчун маводи бемасса моделсозӣ карда шуда, таъсири онҳо танҳо Ҳангоми амалҳои сейсмикии қабатҳои асос фаъол мегарданд;

-фишори буғи об ҳамчун бори гидростатикӣ дониста шуда, вобаста ба нишондоди сатҳи обҳои зеризаминӣ дар қабати болои қубурҳои обгузарон ба ҳисоб гирифта мешавад. Баландшавии нишондоди сатҳи обҳои зеризаминӣ Ҳангоми ченкуниҳои обҳои поёноб тариқи усули дученакаи муқаррарӣ ва андозаи обҳои ҷоришавандаи таркиби асос дар минтақа муайян карда мешавад;

-фишори бори буғи об ва маводҳои сохтмонии пуркунандаҳои сарбанди иншоот ба сарҳади майдони беруна дар якҷоягӣ бо вазни омехтаи бетон дар модели хурдкардашуда оварда мешаванд. Шиддатҳои бадастомада барои арзёбии ҳолати ниҳойи мутлақии конструксия дар ҳолати худудии шароити ороми статикӣ бо нишондоди рақами иҷозатдодашуда санҷида мешаванд;

-ҳолати борбардории сейсмикии конструксия ҳамчун майдони ҷойивазкунии таҳмилшуда дар сарҳадҳои модели хурдкарда шуда, бо фаъолсозии маводи пуркунандаи сохтмонии бемасса татбиқ карда мешавад. Деформатсияи буриши чинси асос тавассути маводи пуркунандаи атроф ба иншоот ва конструксияи гузаргоҳ интиқол ёфта, шиддатҳои бадастомада бо шиддатҳои статикӣ якҷоя карда мешаванд, то ҳолати ниҳойи мутлақ ва ҳолати ниҳойи иҷозатдодашуда дар шароити сейсмикӣ арзёбӣ мегарданд [5,с.28].

Модели пурраи дученакаи сарбанд бо истифода аз рамзи тичоратии SIGMA/W [14; 16] иҷро мегардад. Элементҳои ниҳой барои таҳлили ҳолати чандирӣ - пластикии шиддатҳо ва деформатсияҳо буда, ба маҷмуаи умумии GEOSTUDIO барои ҳалли масъалаҳои геотехникӣ дохил карда шудаанд.

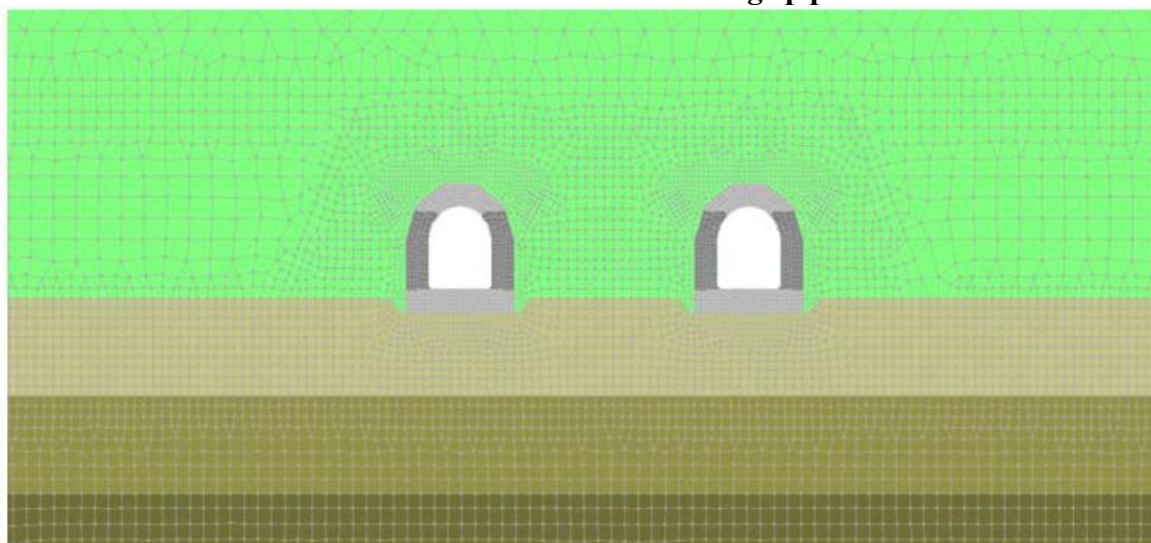
Таҳлили дученакаи муқаррарии полоиш бо истифода аз рамзи тичоратии SEEP/W [14] анҷом дода шуда, ҳамчун воситаи элементҳои ниҳойи GEOSTUDIO барои таҳлили ғайриҳаттии полоиш дар муҳитҳои сероб ва камоб ба ҳисоб гирифта мешавад.

Симтури оҳанин аз арматураҳои ҳисобидашуда дар атрофи кубури обгузарон бо дақиқии зарурии лоиҳавӣ ҷойгир карда мешавад, ки он дар расми 1 нишон дода шудааст. Зичии констрuksияи симтории оҳанубетонӣ ва пайвасти маводи пуркунанда дар иншоот бо назардошти он муайян карда мешавад, ки бори маводи пуркунандаи сарбанд дар сатҳи берунии кубурҳои обпарто то саҳеҳии меъёрӣ арзёбӣ гардида, ҳангоми таҳлили таркиб ба инобат гирифта шавад [5,с.30].

Бояд ҳаминро қайд намуд, ки мақсади ниҳии таҳлил на танҳо арзёбии тамоман дақиқи ҳолати сарбанд, балки ба даст овардани дараҷаи боэътимоди тақсимооти бор дар атрофи кубурҳои обпарто мебошад, ки ин амал дар натиҷаи пуркунии сарбанд бо маводҳои сохтмонӣ ба вучуд меояд [12; 7; 10].

Расми 1. Модели дученакаи сарбанд, ки бо методи элементҳои ниҳӣ иҷро шудааст; симтури оҳанин аз арматураҳои ҳисобида дар атрофи кубурҳои обпарто

Figure 1. Two-dimensional model of the dam created using the finite element method; steel mesh reinforcement around the discharge pipes



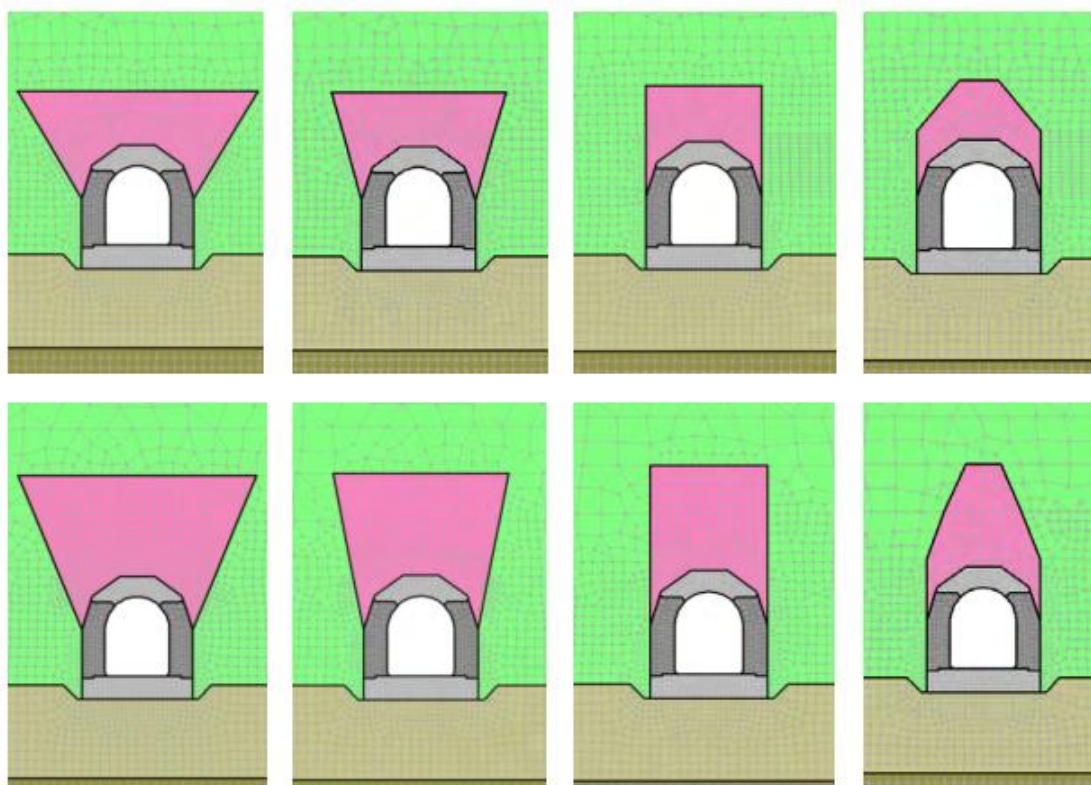
Ҳалли лозима ва қобили қорҳои сохтмонӣ ҳангоми сохтмони кубурҳои обпартои дар умқи сарбанд ҷойдошта, бо мақсади коҳиш додани шиддати амудӣ дар болор ва ҷойгир шудани манотиқи деформатсионӣ дар болои кубури обпарто мебошад. Таҳқиқи хассосияти муфассали констрuksия дар замиаи 2 оварда шудааст [5,с.62]. Таъсири минтақаи деформатшаванда, ки он бевосита дар қисмати болои болор ҷойгир аст, дар ташаккули минтақаи эҳтиётӣ барои минтақаҳои нисбатан нарми паҳлуҳои кубурҳои обпарто ифода меёбад. Илова бар ин, мавҷудияти минтақаи деформатсионӣ каме болотар аз болор метавонад ин ҳолат қисман ҷудошавиро аз таъсири қувваҳо ба вучуд оварад:

- нишасти муқаррарии қабати хоки болои кубурҳои обпарто нисбат ба паҳлуҳо бештар шуда, дар натиҷа шиддатҳои амудии констрuksия кам мегардад. Камшавии шиддат бо афзоиши таносуби модули чандирии маводи пуркунандаи сохтмонӣ нисбат ба модули чандирии минтақаи деформатсионӣ меафзояд. Аз ин рӯ, ҳолати саҳтию геометрияи паҳноӣ ва баландии минтақаи нарми констрuksияи қабати болои кубури обпарторо бояд тариқи лозима таҳқиқ намоем. Бо истифода аз маълумотҳо маълум гардид, ки барои ин минтақа ҳамон маводҳои сохтмоние пешбинӣ мегардад, ки барои пойдоии ядрои сарбанд истифодабарӣ карда мешавад:

- вобаста ба маҳдудияти миқдори маводи истифодашаванда, метавон тавассути ҷудо кардани фраксияҳои калонтари ин маводҳо онҳоро қоркард намуд, то талаботи зарурии саҳти констрuksия таъмин гардад. Геометрияи санҷидашудаи минтақаҳои нарми констрuksияҳо дар расми 2 нишон дода шудааст.

**Расми 2. Модели дученакаи сарбанд, ки бо методи элементҳои ниҳой иҷро шудааст;
таҳқиқи ҳассосияти геометрии минтақаи нарма**

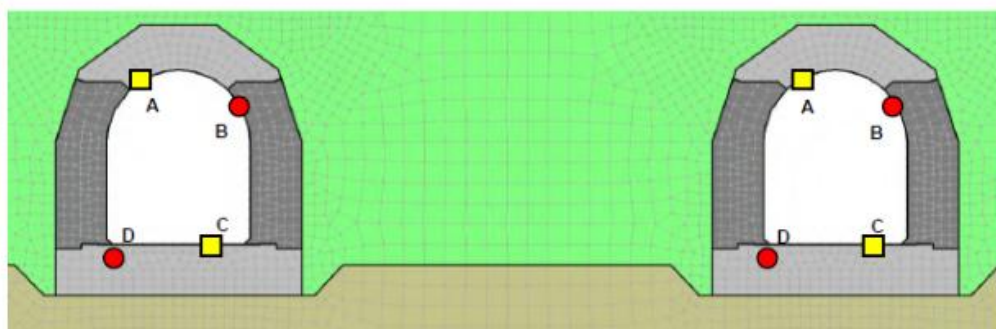
Figure 2. Two-dimensional dam model created using the finite element method; sensitivity analysis of the soft zone geometry



Амалҳои иҷронамудаю санҷидашуда дар якҷоягӣ бо шиддатҳои кашишӣ ва фишорӣ дар якчанд нуқтаи назоратии кубурҳои обпарто муайян карда шудаанд (расми 3).

Расми 3. Модели дученакаи сарбанд бо методи элементҳои ниҳой; таҳқиқи ҳассосияти минтақаи нарма: ҷойгиршавии нуқтаҳои назоратӣ барои муайян намудани шиддати кашишӣ (чоркунҷаи зард) ва шиддати фишорӣ (доираи сурх)

Figure 3. Two-dimensional finite element model of the dam; sensitivity analysis of the soft zone: location of monitoring points for determining tensile stress (yellow square) and compressive stress (red circle)

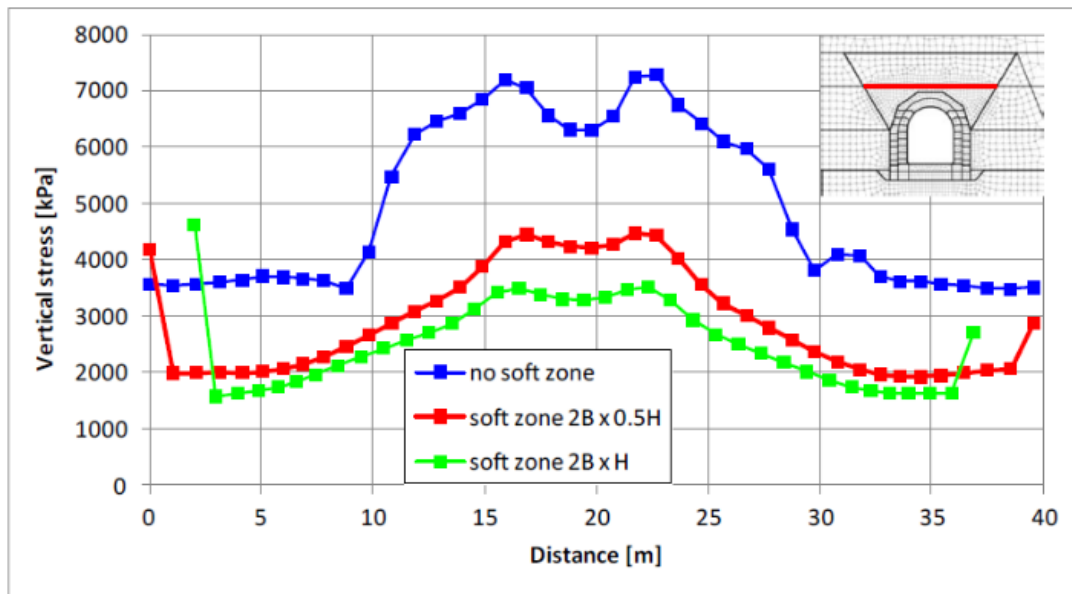


Нақшаҳои шиддатҳо дар якҷоягӣ ба шиддатҳои асосии максималии фишороваранда ва кашишҳои минималии дар конструкция оиди тамоми таҳлилҳои анҷомдодашуда дар замиаи 2 оварда шудаанд [5,с.62]. Дар SIGMA/W амал тарикӣ фишурдашавӣ мусбат ва кашиш манфӣ қабул шудааст.

Инчунин, шиддатҳои фишороварандаю шиддатҳои кашишии конструкция, ки онҳо дар минтақаи нармаи дар қабати болои кубури обпарто ҳисоб нашудаанд, бо нақшаи пешбинишудаи кубурҳои обпарто бо маҳдудиятҳои техникийи истехсоли бетон дар майдонҳои сохтмонӣ мувофиқат намекунанд. Маводи пуркунандаи дурушти қабатҳои болои конструкция шиддатнокии қабатҳоро паст намуда, вале онҳо дар ҳар сурат хеле

нишондиҳандаи баланди шиддатро доранд. Андозаи бори амудӣ, ки аз ҷониби равоқи кубури обпарто ба вуҷуд меояд, ки он аз таъсири шиддати литостатикӣ ба таври назаррас зиёд мегардад, дар расми 4 тариқи равшан нишон дода шудааст.

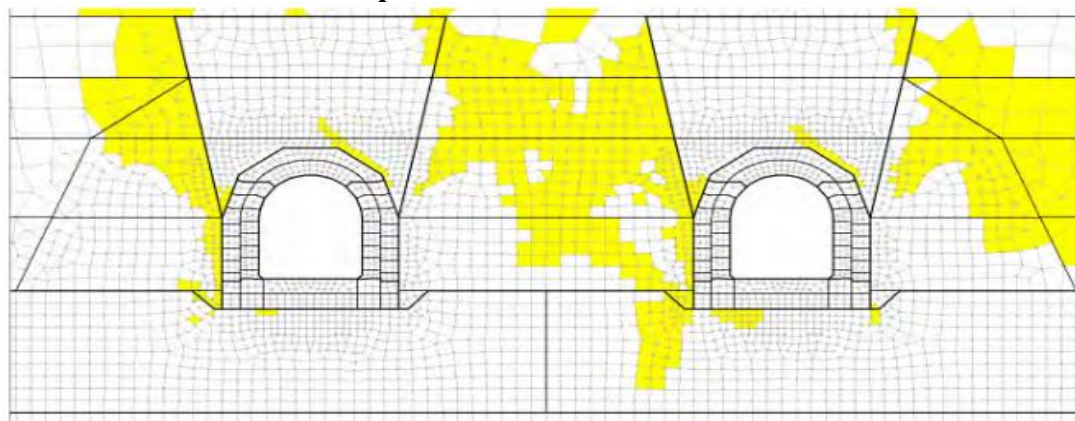
Расми 4. Модели дученакаи сарбанд бо методи элементҳои ниҳой; таҳқиқи хассосияти минтақаи нарма: таъсири минтақаи нарма ба тақсироти шиддати амудӣ дар болои равоқ
Figure 4. Two-dimensional finite element model of the dam; sensitivity analysis of the soft zone: effect of the soft zone on the vertical stress distribution above the arch



Мавод ва усулҳои таҳқиқот. Қобилияти борбардории асоси конструксияи таҳризишаванда, мутобиқ ба нишондодҳои модели пешниҳодгардида бо дарназардошти талаботи лоиҳавӣ арзёбӣ карда мешавад [2; 3; 13].

Дар раванди санҷиш ва доираи таҳлили ҳолати чандирӣ-пластикий кабатҳои хоки асос ва конструксияҳои истифодашаванда бо методи элементҳои ниҳой ҳудудӣ, мутобиқати асоси иншооти обпарто бо шиддатҳои интиқолёбанда тавассути санҷиш арзёбӣ гардада, оиди минтақаҳои пластикий деформатсияшаванда механизми вайроншавии конструксияро маълум менамоям. Дар расми 5 минтақаҳои пластикий деформатсияшаванда аз маводи пуркунадаи сохтмонӣ, ки он асоси иншооти сохташавандаро дар умум бо иншоотҳои обпарто ҳамҷавор менамояд нишон дода шудаанд [5, с.35].

Расми 5. Модели дученакаи МКЭ-и сарбанд; арзёбии қобилияти борбардории асос: минтақаҳои пластикий-деформатсионӣ
Figure 5. 2D FEM model of the dam; assessment of foundation load-bearing capacity: zones of plastic deformation



Унсурҳои пластикии деформатсияшаванда ба асоси иншооти тахрезишаванда, ҳолати механизмҳои кинематикиро ба вуҷуд намеоваранд, локин тамоюли воридшавии сохтори амудиро ба конструкция доранд. Натиҷагирҳои маълумоти зерин оқибати ба вуҷуд омадани шиддати баландро дар асос аз таъсири фишори чинсҳои кӯҳӣ меоварад.

Андозаи сатҳи обҳои зеризаминӣ дар болои иншооти обгузарони туннели гидротехникии СТ-2 каме болотар аз нишондоди 1'020 м аз сатҳи баҳр ҷойгир аст, ин нишондод ҳамзамон бо нишондоди болоии минтақаи нарми конструкция мувофиқ буда, локин ин конструкция мисли ядрои сарбанд обногузар мебошад. Яке аз нуқсонҳои наҷандон калони минтақаҳои нарми конструкция дар қабати болои қубурҳои обпарто васеъшавии онҳо ба ҳисоб рафта, метавонад ба хосияти обногузарӣ ва нишондихандаи полоишӣ (филтратсия) монеа эҷод кунад. Ин нуқсонро дар нақшаи воқеии сеченакаи сарбанд метавон бо роҳи дуруст пешбинӣ намудани равандҳои корӣ бартараф кард, яъне дар минтақаҳои миёнии маводи донакалони дурушт ва ё минтақаҳои нарми васеънашудаи тақиягоҳҳо, ки дар он ҷойҳо таъсири сеченака бештар буда, бори ба иншоот таъсиркунанда қимати ҳадди ақалро дорост [8; 11; 9].

Ҷузъҳои таркибии бастаҳои конструксияи арматураҳо аз унсурҳои зерин иборат мебошанд:

-27106 деформатсияи ҳамвори элементҳои хаттии шакли чоркунҷаи конструкция барои моделсозии он ва маводи пуркунандаи сарбанду асос;

-508 элементҳои хаттии интерфейсӣ (минтақаи алоқаи якҷанд гиреҳҳои аз ҳам ҷудоии як объекти сохтмонӣ) оиди моделсозии сатҳҳои тамоси бетонҳои хобонида, чинсҳои кӯҳӣ ва маводҳои пуркунандаи он;

-154 элементҳои хаттии болор оиди моделсозии сохтори пайвасти саҳти болорҳо бо сутунҳо қад – қади тарафҳои паҳлуи беефи боло ва беефи поёноб моделсозии иловагӣ карда мешавад. Ин элементҳо танҳо дар раванди комбинатсияҳои борҳои сейсмикӣ фаъол мегарданд, то он ки деформатсияи майдони озод ба модел таҳмил ё худ гузошта шавад. Татбиқи тафсилоти деформатсияи майдони озод оиди иҷрои масъалаи модели умумии нақб ва элементҳои ниҳой дар ҳуҷҷатҳои дахлдори [1; 15; 4] номбаршуда муфассал шарҳ дода шудааст.

Натиҷаҳо ва муҳокима. Дар модели элементҳои ниҳой борҳои зикршуда бо се усул татбиқ карда шудаанд:

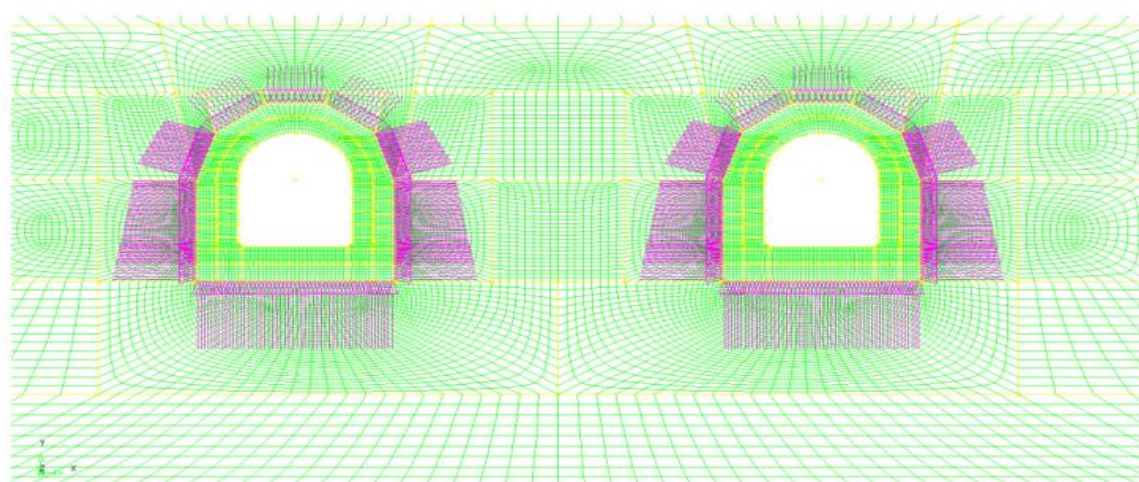
-вазни хоси бетон ва хоки асос ба сифати бори болои ҷисм ҳисобида мешавад;

-фишори буғи об ва фишори маводи пуркунандаи сарбанд ҳамчун борҳои сатҳи болоӣ ҳисобида мешаванд (ниг. расмҳои 6 ва 7);

-деформатсияи сейсмикӣ ҳамчун лағжиши болоии таҳмилшуда дар сарҳадҳои паҳлуии конструкция ҳисобида мешавад.

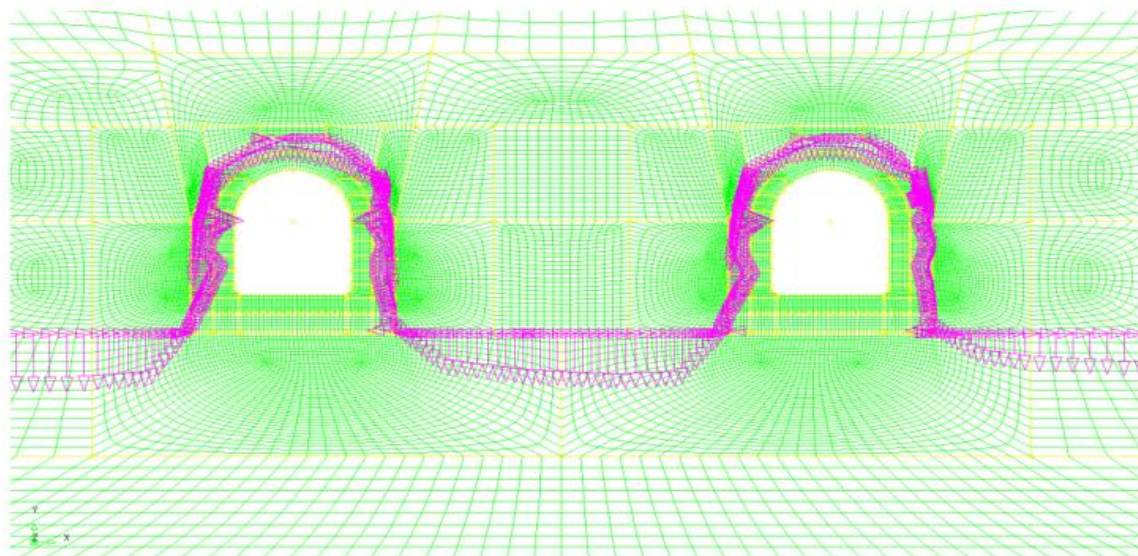
Расми 6. Модели дученакаи хурдкардашуда барои таҳлили сохторӣ, ҳолати бор 2 - фишори буғи об

Figure 6. Scaled-down two-dimensional model for structural analysis, load case 2 – water vapor pressure



Расми 7. Модели дученакаи хурдкардашуда барои таҳлили сохторӣ, ҳолати бор 3 - бори маводи пуркунандаи сарбанд

Figure 7. Scaled-down two-dimensional model for structural analysis, load case 3 – dam fill material load



Натиҷаҳои маълумотҳои асосии таҳлил бо усули элементҳои ниҳой харитаҳои топографии шиддатҳо ба шумор рафта, онҳо барои санҷиши қоршоямии синфи бетон ва лоиҳагирии миқдори зарурии арматура дар конструксия истифодабарӣ мешаванд.

Ҳамаи ҷузъҳои таркибии асосии харитаҳои топографӣ ва векторҳои шиддатҳо дар пешниҳод оварда мешаванд:

-шиддати асосии S1 - шиддати максималӣ ба ҳисоб рафта, ба қувваи максималии кашишӣ дар барномаи DIANA нишондода мувофиқат менамояд, ин қувваи кашиш мусбат қабул карда мешавад. Ин шиддат метавонад дар ҳамворӣ ё тариқи пурра ба таври нормалӣ ба самти ҳамвории буриш равона гардад;

-шиддати асосии S3 - шиддати минималӣ ҳисобида шуда, он ба фишурдашавии максималӣ, ки дар барномаи DIANA нишон дода шудааст мувофиқат мекунад, ки ин қувваи фишурдашавӣ манфӣ қабул шуда, он танҳо амалан ба ҳамвории буриш равона мегардад;

-шиддати асосии S2 шиддати мутаваситӣ ё ин ки мобайнӣ ба ҳисоб рафта, асосан дар ҳолати шиддати фишори пешакӣ муаррифӣ шуда, дар баъзе минтақаҳои кашишшаванда низ пайдоишашон имконпазир аст; самти ҳаракати он асосан ба сохтори буриши кӯндаланг нормалӣ дуруст доништа мешавад. Шиддати асосии мутаваситии S2 яққоя бо S1 барои санҷиши мутобиқати шиддати фишори лозима зарур аст, ҳангоми шиддати максималии фишори S3 аз нишондоди ҳисобии меъёри зиёд мегардад, ки дар навбати худ (санҷиши ҳолати фазоии маҳдудшудшаванда ба ҳисоб меравад).

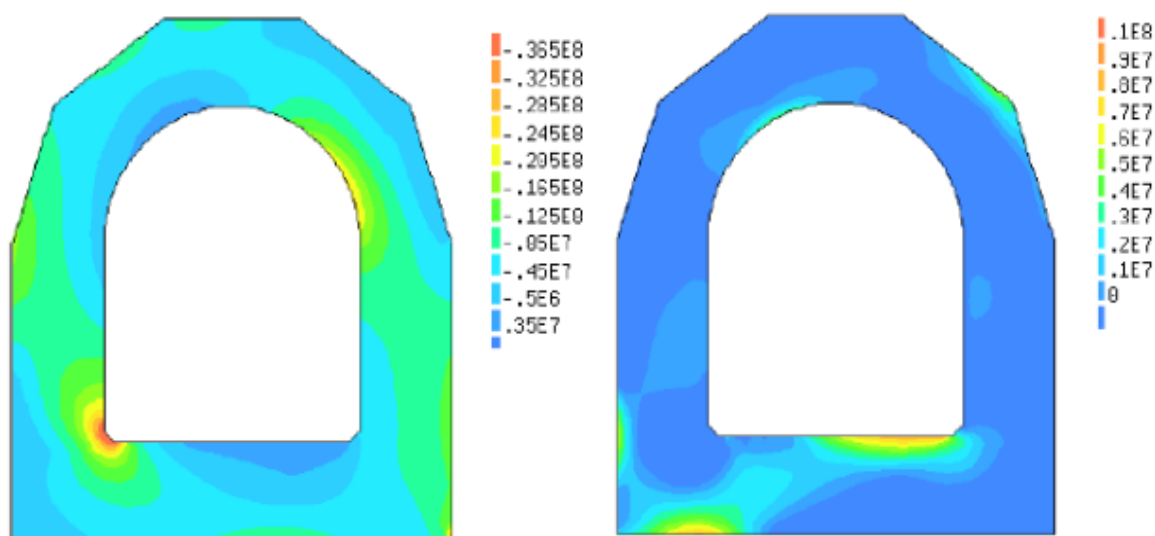
Харитаҳои топографии сарҳадҳои фишурдашавӣ ва кашиши максималии конструксия дар расми 8 оварда шудаанд.

Харитаҳои топографии сарҳадҳо дар шароити сейсмикӣ аз рӯи деформатсияи хассосияти конструксия дар самти бйефҳои болооб ва поёноб ба даст оварда шудаанд. Аз ин рӯ, комбинатсияи борҳои статикӣ ва сейсмикӣ аз ҷиҳати муҳандисӣ эҳтимолӣ ҳисобида мешавад, зеро ҳам бори сейсмикӣ ва ҳам маводи пуркунандаи сарбанд лағжиши иншооти гузариши нақби гидротехниро ба самти бйефи поёноб ба вучуд меоранд.

Вобаста ба маълумотҳои омада ва дар асоси харитаҳои сарҳадҳои контруксия метавон қайд намуд, ки деформатсияи сейсмикӣ дар яққоягӣ бо борҳои статикӣ майдони таъсири шиддатро ба миқдори назаррас зиёд наменамояд. Аз ин рӯ, ҳисобида мешавад, ки таъсири заминларзаи ҳисобӣ ба комбинатсияи борҳои статикӣ татбиқ шаванда амалан ночиз мебошад [5; 6].

Расми 8. Шарити истифодаи муқаррарӣ. Шиддати максималии фишорӣ бо Паскал (аз чап) ва кашиш (аз рост)

Figure 8. Normal operating conditions. Maximum compressive stress in Pascals (left) and tensile stress (right)



Хулоса

1. Аз маълумотҳои дар боло зикр гардида бармеояд, ки профили буриши конструкция дар умум ба талаботи меъёрии шиддатҳои баланд ҷавобгӯ мебошад. Минтақаҳои маҳдуди шиддатнокӣ аз ҳад зиёд дар қунҷи болоии пайвасти девори паҳлӯӣ бо қарр ва дар қисмати поёноби тоқ, дар наздикии сатҳи дохилии кулверт ба вучуд меоянд.

2. Дар ҳолати агар мустаҳкамҳои бетон тариқи семехвара ба инобат гирифта шавад, он гоҳ дар минтақаҳои иҷрои қорҳои оҳанубетонӣ барои баланд бардоштани қобилияти фишортобоварии конструкцияҳо ба қабати онҳо арматураҳои иловагӣ лозим дониста намешавад. Бар замми ин, ҳама маълумотҳои бадастомада ва амалӣ намудани иҷрои қорҳои муҳандисӣ ва ҳолати шиддатнокӣ думехвара дар конструкция, таҳлилҳои конструктивӣ қабулу гузаронида шудааст. Дар ин ҳолат эҳтимоли зиёдшавии шиддат пешбинӣ гардида он гоҳ истифодаи арматураҳои иловагии тулонӣ ва кундалангӣ дар конструкция зарур дониста мешавад.

Таҳқиқоти мазкур тибқи нақшаи қорҳои илмӣ-таҳқиқотии кафедраи сохтмон факултети техникӣ ва технологияи Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав, ки бо қарори Шурои олимони Донишгоҳ аз 23 апрели 2026 сол, №9 тасдиқ гардидааст, амалӣ карда шудааст.

АДАБИЁТ

1. Гаспари, Г.М., Кваглио, Г., Флория, В. «Проектирование и строительство туннелей в условиях Северного сейсмика. Случай линии метро Кадиной-Картал в Истанбуле », Rivista Italiana di Geotecnica, том 2. - 2001.
2. Еврокод 7, «Геотехническое проектирование», EN1997-1.
3. Еврокод 8, «Проектирование сооружений для сопротивления землетрясениям», EN1998.
4. Мехрубонов, М.Х. Временные рекомендации по конструкции концевого сооружения ст-3 Рогунской ГЭС / М.Х. Мехрубонов, Н.М. Хасанов, Ш.Ш. Зардаков // Наука и инновация. – 2024. – № 3. – С. 110-117. – EDN HQAPYB.
5. Отчет строительные туннели СТ1-СТ2. Участки перехода. - 2017. -123с.
6. Саидов, М.Х. Анализ типов крепи породы на участке разветвления ст-4 с методом конечно-элементного моделирования / М.Х. Саидов, Н.М. Хасанов, Д.К. Давронов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2024. – № 2(66). – С. 149-154. – EDN AMITYN.
7. Укрепительная цементация оснований плотин в гидротехнических сооружениях / А.Д. Ятимов, Н.М. Хасанов, Ф.А. Холов, М.Н. Хасанов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – № 1(61). – С. 176-182. – EDN LDLVEE.
8. Хасанов, Н.М. Воздействие сейсмических усилий на гидротехнические сооружения / Н.М. Хасанов, М.Х. Саидов, М.Р. Джуракулов // Водные ресурсы, энергетика и экология. – 2023. – Т. 3, № 3. – С. 137-144. – EDN ZWGCXE.

9. Хасанов, Н.М. Выбор конструкции обделки ст-3 Рогунской ГЭС в зоне пересечения Ионахшского разлома / Н.М. Хасанов, М.Х. Мехрубонов, М.Р. Джуракулов // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. – 2024. – № 1. – С. 49-58. – EDN QBFVVB.
10. Хасанов, Н.М. Сейсмические критерии проектирования водосбросного сооружения правого берега Рогунской ГЭС / Н.М. Хасанов, М.Х. Саидов, М.А. Сулаймонова // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. – 2024. – № 2. – С. 86-90. – EDN EXAMLL.
11. Хасанов, Н.М. Способы проходки гидротехнических сооружений в зонах тектонических разрывов Рогунской ГЭС / Н.М. Хасанов, М.Х. Саидов, М.Х. Мехрубонов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2023. – № 4(64). – С. 103-110. – EDN BGBTAV.
12. Хасанов, Н.М. Укрепительные оснований плотин гидротехнических сооружений способом цементации / Н.М. Хасанов, М.Х. Саидов, М.Р. Джуракулов // Водные ресурсы, энергетика и экология. – 2023. – Т. 3. -№ 3. – С. 101-108. – EDN INIXMC.
13. Frank, R., Bauduin, C., Driscoll, R., Kavvas, M., Krebs Ovesen, Orr, T., Schuppener, B. “Еврокод 7: Геотехническое проектирование – Общие правила”, Руководство для проектировщиков EN 1997-1, Томас Телфорд. -Лондон, 2004.
14. GEOSTUDIO, «Моделирование напряжений и деформаций с SIGMA / W 2007, инженерная методология», GEO-SLOPE International Ltd., Калгари - Альберта - Канада, март 2008 г.
15. Hashahsh Y.M.A., Hook J.J., Schmidt B., Yao J.I.C., “Сейсмическое проектирование и анализ подземных структур. Технология строительства туннелей и подземного пространства, том. XVI, -п.4, -pp147-293, Сан Франциско, СА, США, 2001.
16. TNO DIANA, “DIANA Руководство пользователя”, Выпуск 10.1, 2017.

ТАҲЛИЛИ АДАДИИ ИНШООТҲОИ ГУЗАРГОҲИИ НАҚБҲОИ ГИДРОТЕХНИКӢ (ДАР МИСОЛИ НБО РОГУН)

Дар ин мақола натиҷаҳои асосии таҳлили унсурҳои ниҳой дар харитаҳои фишори топографӣ барои тасдиқи мувофиқати навъҳои бетон ва тарҳрезии микдори зарурии тақвият пешниҳод карда мешаванд. Сатҳи фишори фишурда дар сохтор нисбат ба навъҳои бетоно мавҷуда дар макон баланд аст. Барои паст кардани он то сатҳи қобили қабул, зарур аст, ки дар болои ҳар як лӯлаи обгузар минтақаи нарм ҷойгир карда шавад, яъне он бо модули чандирӣ аз пуркунии сарбанд камтар аст. Шакл ва ҳосиятҳои механикии ин минтақа омӯхта шуданд: мавод барои минтақаи нарм метавонад бо маводи аслии сарбанд яхела бошад. Дар ҳолати зарурӣ, барои қонеъ кардани талаботи иқтидори деформатсия, маводро барои тоза кардани фраксияҳои калон дубора тоза кардан мумкин аст. Натиҷаҳои таҳлили муфассал тарҳи пешакиро тасдиқ карданд: бетоно дараҷаи В40 бояд барои деворҳои истифодаи шавад, то ба фишори баланди фишурда, ки аз пуркунии сарбанд ба вучуд меояд, тоб оварад, дар ҳоле ки бетоно дараҷаи В30 метавонад барои бом ва поён истифодаи шавад. Дар баъзе ҷойҳо дар деворҳои паҳлӯӣ дар наздикии камон ва дар пайванд бо поён тақвияти махсус лозим аст, то фишори изотропии фишурдаро дар ҳудуди қобили қабул ҷуброн кунад. Умуман, аз сабаби бори зиёд ба сохтор, тақвияти мувофиқи кашиш лозим аст. Ниҳоят, дар асоси харитаҳои топографӣ, метавон қайд кард, ки ҳангоми якҷоя бо борҳои статикӣ, деформатсияи сейсмикӣ сатҳи фишорро ба таври назаррас афзоиш намедихад. Таъсири заминларзаи тарҳрезӣшуда ба якҷояшавии борҳои статикӣ қариб ноҷиз аст.

Қалидвожаҳо: таҳлил, тахтасангҳои асосӣ, шиддат, арматура, бетон, конструкция, фишори об, сейсмики.

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ТОННЕЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ РОГУНСКОЙ ГЭС)

В статье приведены основные результаты анализа метода конечных элементов топографических карт напряжений для проверки пригодности класса бетона и проектирования необходимого количества армирования. Уровень напряжения при сжатии в конструкции является высоким по сравнению с доступными на участке классами бетона. Чтобы снизить его до допустимого уровня, необходимо над каждым кульвертом разместить мягкую зону, т.е. модуль упругости которой ниже модуля упругости наполнителя насыпи плотины. Проведено изучение форм и механических свойств этой зоны: материал мягкой зоны может быть таким же, как и у ядра основной плотины. Если понадобится, чтобы удовлетворить требование способности к деформации, материал можно просеять еще раз, чтобы избавиться от крупных фракций. Результаты детального анализа подтвердили результаты предварительного проекта: для стен нужно использовать бетон марки В40, чтобы они смогли выдерживать высокое напряжение при сжатии, генерируемое наполнением плотины, тогда как бетон марки В30 можно использовать для свода и днища. Необходимо специальное армирование в отдельных местах на боковых стенах возле свода и на соединении с днищем, чтобы компенсировать избыток давления от сжатия на допустимых значениях. В целом, ввиду высокой нагрузки на конструкцию, необходима подходящая растянутая арматура. В завершении на основании топографических карт можно отметить, что в сочетании со статическими нагрузками сейсмическая деформация не увеличивает уровень напряжения значительным количеством. Влияние расчетного землетрясения на комбинацию статических нагрузок практически незначительно.

Ключевые слова: анализ, плиты основания, напряжения, арматура, бетон, конструкция, давление воды, сейсмичность.

NUMERICAL ANALYSIS OF TRANSITIONAL STRUCTURES IN HYDRAULIC TUNNELS (USING THE ROGUN HYDROELECTRIC POWER PLANT AS AN EXAMPLE)

This article presents the main results of a finite element analysis of topographic stress maps to verify the suitability of the concrete grade and determine the required amount of reinforcement. The compressive stress level in the structure is high compared to the concrete classes available at the site. To reduce it to an acceptable level, a soft zone must be placed above each culvert, i.e., one whose modulus of elasticity is lower than that of the dam embankment fill. A study of the shapes and mechanical properties of this zone was conducted: the material of the soft zone can be the same as that of the main dam core. If necessary to meet the requirement for deformability, the material can be screened again to remove large particles. The results of a detailed analysis confirmed the preliminary design findings: B40 concrete must be used for the walls so that they can withstand the high compressive stress generated by the dam fill, whereas B30 concrete can be used for the arch and the toe. Special reinforcement is required in specific areas on the side walls near the arch and at the junction with the base to compensate for the compressive stress within acceptable limits. Overall, due to the high load on the structure, suitable tensile reinforcement is required. In conclusion, based on topographic maps, it can be noted that, in combination with static loads, seismic deformation does not significantly increase the stress level. The effect of the design earthquake on the combination of static loads is practically negligible.

Keywords: analysis, foundation slabs, stresses, reinforcement, concrete, structure, water pressure, seismicity.

Маълумот дар бораи муаллиф: *Курбонзода Абдували Нуралӣ* – Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав, муаллими калони кафедраи сохтмон. **Суроға:** 735140, ш. Бохтар, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи Айни, 67

Ҳасанзода Нуралӣ Мамед - Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ, доктори илмҳои техникӣ, и.в. профессори кафедраи асосҳо, таҳкурсиҳо ва иншоотҳои зеризаминӣ. **Суроға:** 734042, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи академикҳо Раҷабовҳо, 10. Телефон: **988-89-95-75**

Ахмаджонов Мирзоанвар Солиҷонович – Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ, ассистенти кафедраи асосҳо, таҳкурсиҳо ва иншоотҳои зеризаминӣ. **Суроға:** 734042, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон, кӯчаи академикҳо Раҷабовҳо, 10

Сведения об авторах: *Курбонзода Абдували Нуралӣ* – Бохтарский государственный университет имени Носира Хусрава, старший преподаватель кафедры строительство. **Адрес:** 735140, г. Бохтар, Республика Таджикистан, улица Айни, 67

Ҳасанзода Нуралӣ Мамед - Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, доктор технических наук, и.о. профессора кафедры основания, фундаменты и подземные сооружения. **Адрес:** 734042, г. Душанбе, Республика Таджикистан, улица академиків Раҷабовых, 10. Телефон: **988-89-95-75**

Ахмаджонов Мирзоанвар Солиҷонович - Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, ассистент кафедры основания, фундаменты и подземные сооружения. **Адрес:** 734042, г. Душанбе, Республика Таджикистан, улица академиків Раҷабовых, 10

Information about the authors: *Kurbonzoda Abduvali Nuraly* – Nosiri Khusrav State University of Bokhtar, Senior Lecturer in the Department of Civil Engineering. **Address:** 735140, Bokhtar, Republic of Tajikistan, Aini Street, 67

Hasanzoda Nuraly Mamed – Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, Doctor of Technical Sciences, Acting Professor of the Department of Bases, Foundations, and Underground Structures. **Address:** 734042, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Akademikov Rajabovkh Street, 10. Phone: **988-89-95-75**

Ahmadjonov Mirzoanvar Solizhonovich – Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, Assistant, Department of Foundations, Foundations and Underground Structures. **Address:** 734042, Dushanbe, Republic of Tajikistan, Akademikov Rajabovkh Street, 10

Мақола ба редакция ворид шуд: 18.06.2026

Аз тақриз баргашт: 22.08.2026

Ба чоп тавсия шуд: 06.10.2026

ГЕОЛОГИЯ

- Каюмова Д.А., Кристоф Йозеф Майер, Каюмов А.К.** Изотопный состав талой воды с ледника Таджикистан (Федченко) как индикатор формирования летнего стока: пространственный и высотный анализ..... 5
- Валиев Ш.Ф., Бахтиёр М.С., Ашурмамадова Б.Х.** Разрывная тектоника и сейсмичность Юго-Западного Памира..... 18
- Саидрахмонзода С.С., Фозилов Дж.Н.** Геориски хвостохранилищ радиоактивных отходов уранового производства в Республике Таджикистан: комплексная оценка и пути снижения....
- Сафаров М.С.** Последствия взаимодействия пульсирующих ледников с речными долинами в высокогорьях Таджикистана.....
- Каюмова Д.А.** Содержание микроэлементов в бассейне озера Искандеркуль в верховьях реки Зарафшан.....
- Валиев Ш.Ф., Окилджони С., Набиев Н.Ф.** О геологическом строении района строительства Даштиджумской ГЭС (хребет Хазратишох).....
- Саидова Д.Н., Раҳимов А.И., Аминов М.Х.** Таърихи омӯзиш ва таҳқиқоти илмӣ минтақаи маъдандори кӯҳҳои Қаромазору Муғул: марҳилаҳои асосӣ ва аҳамияти онҳо.....
- Раҳимзода М.Р.** Таъсири шароитҳои морфометрӣ ва иқлимӣ ба паҳншавии сангрезии дар водии дарёи Гунд.....

ТЕХНИКА

- Мирджамолов А., Саидов Х.Х.** Цементы повышенной стойкости для гидротехнических сооружений.....
- Мирзоджанова М.К., Умарзода (Умаров) М.Ф.** Проектирование реляционной базы данных MySQL для медицинских учреждений Согдийской области.....
- Норкулов Х.О.** Применение искусственного интеллекта для совершенствования системы бухгалтерского учёта.....
- Насруллоев А.Д.** Динамика влажности каменисто-щебнистых почв в зависимости от размера поливной струи.....
- Иномзода Н.И.** Современные технологии как фактор сохранения традиционной таджикской женской одежды.....
- Ёров М.Р., Комилийн Ф.С.** Технологияҳои зехни сунъӣ ва омӯзиши мошинӣ дар идоракунии захираҳои экосистемаҳои рақамӣ.....
- Сафар Ф.Г., Юсупов Ф.С.** Накши пойгоҳи мустақили миллии додаҳо дар таъмини амнияти иттилоотӣ ва рушди иқтисоди рақамӣ.....
- Ашуров Х.М., Одилзода О.О.** Алгоритми сохтани квадрати сеҳроки Дюрер бо истифода аз усули симметрии.....
- Шарифзода З.И.** Татбиқи рамзҳои классикӣ дар мисоли рамзи васеъкардашудаи Аффина
- Холмуродов Р.М.** Таҳия ва шарҳи зерсистемаи табдилдиҳии автоматии матни лаҳҷавӣ ба забони адабии тоҷикӣ.....

Азиззода Х.А., Мирзоев С.Ҳ. Амсиласозӣ ва таҳияи модули барномавӣ барои бақайдгирии довталабон дар маркази миллии тестии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон.....

Сафарзода О.С., Кулулов М.А., Шамсов С.М. Амсиласозии компютери таҳлили синтаксисию семантикии ҷумлаҳои содаи забони тоҷикӣ бо истифода аз технологияҳои муосир.....

Абдуллоев Х.В., Исозода Д.Т., Раунов Н.М., Сайвалиев М.М. Арзёбии самаранокии техникию иқтисодии неругоҳҳои барқии обии хурд дар шароити гидрологии Ҷумҳурии Тоҷикистон

Бобозода А.А. Архитектура ва алгоритмҳои зеҳни сунъӣ ҳамчун амсилаи муосири санҷиши дониши донишҷӯён.....

Қурбонзода А.Н., Ҳасанзода Н.М., Ахмаджонов М.С. Таҳлили адабии иншоотҳои гузаргоҳии нақбҳои гидротехникӣ (дар мисоли НБО Роғун).....

НАУКА И ИННОВАЦИЯ
Серия геологических и технических наук

Научный журнал «Наука и инновация. Серия геологических и технических наук» основан в 2014 г. Выходит 4 раз в год. Журнал включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), регулярно предоставляет в РИНЦ информацию в виде метаданных. Полнотекстовая версия журнала доступна на сайте издания

НАУКА И ИННОВАЦИЯ
Серия геологических и технических наук

2026. №3.

Над номером работали:
Ответственный редактор: М.Ибодова
Редактор серии геологических и технических наук: Д.А.Назарова
Редактор русского языка: О.Ашмарин

**Издательский центр
Таджикского национального университета
по изданию научного журнала
«Наука и инновация»:**
734025, Республика Таджикистан, г.Душанбе, проспект Рудаки, 17.
Сайт журнала: <http://geo.vestnik-tnu.com>
E-mail: vestnik-tnu@mail.ru Тел.: (+992 37) 227-74-41

Отпечатано в типографии ТНУ
734025, г.Душанбе, ул.Айни, 32.
Формат 70x108/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Тираж 200 экз. Уч. изд. л. 28,75 усл. п.л. 28,75
Подписано в печать 06-10-2026 Заказ №2020/04-01