МРНТИ 28.17.19 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1192**

МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ВОДОЕМАХ КАЗАХСТАНА

[1,2]Т.Ж. Мазаков, [1]Ш.А. Джомартова✉, [1]А.Т. Мазакова, [3]А.Д. Майлыбаева, [4]Б.М. Мазакова, [2]М.С. Алиаскар, [1]Е.К. Мергенгали

[1]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
[2]Международный инженерно-технологический университет, Алматы, Казахстан,
[3]Атырауский университет им. Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан,
[4]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан
✉*Корреспондент-автор: jomart63@gmail.com*

Изменение климата, рост населения и увеличение антропогенного давления на природные ресурсы требуют разработки эффективных инструментов управления водными ресурсами.

Гидрологический мониторинг играет ключевую роль в управлении водными ресурсами, прогнозировании паводков, оценке качества воды и обеспечении устойчивого развития регионов. Традиционные методы хранения информации о водоёмах (бумажные архивы, разрозненные электронные таблицы) не позволяют эффективно обрабатывать большие объёмы данных и обеспечивать их доступность для анализа. В этой связи создание специализированной гидрологической базы данных, интегрирующей данные о водоёмах, климатических условиях, стоке и антропогенной нагрузке, является актуальной задачей.

Цель работы состоит в разработке модели и прототипа гидрологической базы данных для хранения, систематизации и анализа информации о водоёмах.

В данной работе представлена гидрологическая база данных, позволяющая осуществлять мониторинг водоемов в реальном времени, получать оперативный прогноз гидрологической ситуации и способная оценивать последствия селевых прорывов. Разработанная система базируется на методах математического моделирования.

Для внедрения системы в практику создано программное обеспечение на СУБД Visual FoxPro 9. Проведенные эксперименты показали, что модель достоверно отражает реальные условия и может успешно применяться в различных сценариях.

Практическая значимость разработки заключается в возможности использования базы данных в научных исследованиях, государственном управлении водными ресурсами, экологическом мониторинге и образовательных целях.

Ключевые слова: водоем, гидрологическая база данных, математическая модель, мониторинг, СУБД, прогнозирование.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ СУ ОБЪЕКТТЕРІНДЕГІ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙДЫ БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ БОЛЖАУ

[1,2]Т.Ж. Мазаков, [1]Ш.А. Джомартова✉, [1]Ә.Т. Мазақова, [3]А.Д. Майлыбаева, [4]Б.М. Мазакова, [2]М.С. Әлиасқар, [1]Е.Қ. Мергенғали

[1]әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]Халықаралық инженерлік-технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,
[3]Kh. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан,
[4]S. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: jomart63@gmail.com

Климаттың өзгеруі, халық санының өсуі және табиғи ресурстарға антропогендік қысымның артуы су ресурстарын басқарудың тиімді құралдарын әзірлеуді талап етеді.

Гидрологиялық мониторинг су ресурстарын басқаруда, су тасқынын болжауда, су сапасын бағалауда және тұрақты аймақтық дамуда маңызды рөл атқарады. Су объектілері туралы ақпаратты сақтаудың дәстүрлі әдістері (қағаз мұрағаттар, жеке электрондық кестелер) деректердің үлкен көлемін тиімді өңдеуге және олардың талдауға қолжетімді болуына мүмкіндік бермейді. Осыған байланысты су объектілері, климаттық жағдайлар, ағын сулар және антропогендік жүктемелер туралы мәліметтерді біріктіретін мамандандырылған гидрологиялық мәліметтер базасын құру кезек күттірмейтін міндет болып табылады.

Жұмыстың мақсаты су объектілері туралы ақпаратты сақтауға, жүйелеуге және талдауға арналған гидрологиялық деректер базасының үлгісі мен прототипін жасау болып табылады.

Бұл жұмыс нақты уақыт режимінде су объектілерін бақылауға, гидрологиялық жағдайдың жедел болжамын алуға мүмкіндік беретін және сел салдарын бағалауға қабілетті гидрологиялық мәліметтер базасын ұсынады. Әзірленген жүйе математикалық модельдеу әдістеріне негізделген.

Жүйені тәжірибеге енгізу үшін Visual FoxPro 9 ДҚБЖ бағдарламалық жасақтамасы жасалды. Тәжірибелер модель нақты жағдайларды сенімді түрде көрсететінін және әртүрлі сценарийлерде сәтті қолданылуы мүмкін екенін көрсетті.

Әзірлеудің практикалық маңыздылығы мәліметтер базасын ғылыми зерттеулерде, су ресурстарын мемлекеттік басқаруда, қоршаған ортаны бақылауда және білім беру мақсаттарында пайдалану мүмкіндігінде жатыр.

Түйін сөздер: су қоймасы, гидрологиялық деректер қоры, математикалық модель, мониторинг, ДҚБЖ, болжау.

MONITORING AND FORECASTING THE HYDROLOGICAL SITUATION IN WATER BODIES OF KAZAKHSTAN

[1,2]T.Zh. Mazakov, [1]Sh.A. Jomartova✉, [1]A.T. Mazakova, [3]A.D. Mailybaeva, [4]B.M. Mazakova, [2]M.S. Aliaskar, [1]E.K. Mergengali

[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
[2]International University of Engineering and Technology, Almaty, Kazakhstan,
[3]Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan,
[4]S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,
e-mail: jomart63@gmail.com

Climate change, population growth and increasing anthropogenic pressure on natural resources require the development of effective water resources management tools.

Hydrological monitoring plays a key role in water resources management, flood forecasting, water quality assessment and sustainable regional development. Traditional methods of storing information about water bodies (paper archives, separate spreadsheets) do not allow for efficient processing of large volumes of data and their availability for analysis. In this regard, the creation of a specialized hydrological database integrating data on water bodies, climate conditions, runoff and anthropogenic load is an urgent task.

The purpose of the work is to develop a model and prototype of a hydrological database for storing, systematizing and analyzing information about water bodies.

This work presents a hydrological database that allows monitoring water bodies in real time, obtaining an operational forecast of the hydrological situation and is capable of assessing the consequences of mudflows. The developed system is based on mathematical modeling methods.

To implement the system into practice, software was created on the Visual FoxPro 9 DBMS. The experiments showed that the model reliably reflects real conditions and can be successfully applied in various scenarios.

The practical significance of the development lies in the possibility of using the database in scientific research, state management of water resources, environmental monitoring and educational purposes.

Keywords: reservoir, hydrological database, mathematical model, monitoring, DBMS, forecasting.

Введение. За последние сто лет человечество не раз становилось свидетелем катастроф, вызванных разрушением гидротехнических объектов, влекущих за собой многочисленные человеческие жертвы и серьёзные экономические убытки.

Проблема надёжности гидротехнических сооружений и предотвращения их аварий является одной из ключевых в области водного хозяйства и инженерной гидрологии. Зарубежная и отечественная практика демонстрирует широкий спектр аварийных ситуаций, обусловленных как природными, так и техногенными факторами, что нашло отражение в многочисленных исследованиях [1-3].

Исторический анализ показывает, что крупные катастрофы на плотинах фиксировались с конца XIX века. Одной из первых широко известных трагедий стал прорыв земляной плотины Саут-Форк в США (Пенсильвания, 1889 г.), в результате которого погибло около 2200 человек и был разрушен город Джонстаун.

В дальнейшем аналогичные катастрофы повторялись в разных странах: обрушение арочно-гравитационной плотины Глено в Италии (1923 г., 356 жертв), разрушение гравитационной плотины Сан-Франсис в Калифорнии (1928 г., свыше 1000 жертв), а также авария на арочной плотине Мальпассе во Франции (1959 г., 421 жертва). Эти случаи послужили основанием для активизации исследований в области устойчивости плотин к гидродинамическим и геотехническим воздействиям [4,5].

В XX веке особое внимание привлекли катастрофы, обусловленные природными явлениями. Так, оползень во впадине Вайонт (Италия, 1963 г.) вызвал волну высотой до 70 м, что привело к гибели 1900–2500 человек. Тайфун «Нина» (КНР, 1975 г.) стал причиной разрушения плотины Банцяо и гибели около 26 тыс. человек. В ряде случаев катастрофы имели место на относительно небольших сооружениях, например, прорыв водохранилища Келли-Барнс в США (1977 г., 39 жертв) и разрушение плотины Морби в Индии (1979 г., 1800–25000 жертв). Эти события демонстрируют зависимость устойчивости плотин от климатических условий и экстремальных гидрометеорологических нагрузок [6,7].

В XXI веке аварии на гидротехнических сооружениях продолжают происходить, включая прорыв ирригационной плотины Зейзун в Сирии (2002 г.), разрушение городской дамбы Ситу-Гинтунг в Индонезии (2009 г., 99 жертв), а также повреждение водохранилища Фудзинума в Японии вследствие землетрясения Тохоку (2011 г.). Особый интерес исследователей вызывают аварии хвостохранилищ, так как они помимо жертв сопровождаются масштабным загрязнением окружающей среды (Rico et al., 2008). Наиболее значимые примеры – аварии в Бразилии: Марьяна (2015 г., 19 жертв) и Брумадинью (2019 г., 270 жертв).

Последние годы характеризуются ростом числа катастроф, связанных как с техногенными, так и с военными факторами. Так, разрушение плотины Каховской ГЭС на Украине (2023 г.) привело к масштабному затоплению нижнего Днепра и серьёзным эколого-социальным последствиям. В том же году фиксировались катастрофы в Ливии (обрушение плотины Дерна после шторма «Даниэль», до 5900 жертв) и в Индии (Сикким, прорыв ледникового озера, сотни погибших). Эти примеры указывают на необходимость интеграции систем раннего предупреждения, климатической адаптации и учёта рисков военных действий при управлении гидротехнической инфраструктурой [8].

В Казахстане за последние пятнадцать лет также имели место аварии на водохранилищах. Наиболее тяжёлой стала катастрофа Кызылагашского водохранилища [9,10], унёсшая жизни 43-45 человек. В 2014 году в Карагандинской области в результате прорыва Кокпектинского водохранилища погибло пять человек и было по-

вреждено несколько сотен домов [11,12]. В 2015 году авария на дамбе в селе Жумабек сопровождалась подтоплением, однако без человеческих жертв. В 2020 году прорыв Сардобинского водохранилища в Узбекистане вызвал массовую эвакуацию и затопление населённых пунктов в Мактааральском районе Туркестанской области Казахстана [13,14].

Таким образом, анализ мировой и отечественной практики свидетельствует о высокой частоте и масштабности аварий гидротехнических сооружений, обусловленных как техногенными, так и природными факторами. Современные исследования акцентируют внимание на необходимости системного подхода к оценке рисков, совершенствованию мониторинга, применению геоинформационных технологий и разработке программ адаптации к изменяющимся климатическим и антропогенным условиям эксплуатации гидротехнических объектов.

Современные системы мониторинга для выявления риска проявления чрезвычайных ситуаций должны обеспечивать непрерывное отслеживание природных и техногенных процессов. Для этого требуется интеграция различных общегосударственных интеллектуальных, информационных и технологических ресурсов. Для разработки мониторинговых систем требуется проведение математического моделирования различных гидротехнических, экономических и климатических процессовей, способных в реальном времени определять объем водоема и прогнозировать срок его заполнения до уровня гребня плотины. Такие сведения имеют ключевое значение для своевременного оповещения населения и принятия мер органами власти по обеспечению экологической и техногенной безопасности [15-17].

Таким образом, разработка и внедрение систем, основанных на математическом моделировании процессов разрушения плотин, сохраняет высокую научную и практическую значимость.

В Казахстане насчитывается 1665 гидротехнических сооружений, включая 319 водохранилищ объемом более 1,0 млн м³. Из них в республиканской собственности находится 83 объекта, в коммунальной - 200, в частной - 34, а 60 водохранилищ являются бесхозяйными. Среди 443 плотин 32 находятся в республиканской собственности, 346 – в коммунальной, 45- в частной, а 20 остаются бесхозяйными. Также эксплуатируются 125 дамб и 778 других гидротехнических сооружений.

Среди крупных водохранилищ выделяются Астанинское (1970 г., объем 410,9 млн м³), Селетинское (1965 г., 230 млн м³), Каргалинское (1975 г., 280 млн м³), Бартогайское (1982 г., 320 млн м³), Капшагайское (1970 г., 18 560 млн м³), Терс-Ащибулакское (1963 г., 158,6 млн м³), Тасоткельское (1974 г., 620 млн м³), Самаркандское (1939 г., 253,7 млн м³), Верхне-Тобольское (1972 г., 816,6 млн м³), Каратомарское (1965 г., 586 млн м³), Бугуньское (1967 г., 370 млн м³) и другие.

Большинство водохранилищ и гидроузлов (около 60%) находятся в коммунальной собственности, в том числе на балансе Казводхоза, а около 20% объектов принадлежат отделам сельского хозяйства акиматов. Эта ситуация указывает на нерешенность вопроса об окончательной принадлежности данных объектов. В течение последних 10-15 лет около 20% водохранилищ были переданы в аренду частным лицам, преимущественно для нужд сельского хозяйства, рыбоводства и рекреации. Однако только в отдельных случаях аренда приносит положительные результаты, поскольку частным арендаторам часто не хватает средств для ремонта ключевых сооружений [18].

Материалы и методы. Для разработки гидрологической базы данных нужно решить следующие задачи:

1. Определить основные источники гидрологических данных.

2. Определить ключевые параметры водоёмов и форматы их хранения.

3. Определить СУБД для разработки гидрологической базы данных.

4. Разработать архитектуру гидрологической базы данных.

5. Разработать математическую модель, свя-

зывающие параметры водоема, для мониторинга и прогнозирования гидрологической ситуации в водоеме.

6. Разработать формы представления выходной информации.

7. Обеспечить возможность визуализации представления выходных данных.

Для реализации выбрана Visual FoxPro 9.

Архитектура гидрологической базы данных включает: 1) централизованная база с таблицами и связями; 2) модуль ввода, обеспечивающий автоматический импорт из внешних источников или ручной ввод входных данных; 3) модуль обработки, вычисляющий показатели гидрологической ситуации и 4) модуль визуализации обеспечивающий процесс визуализации, т.е. представление данных в виде графиков, карт и диаграмм.

Для обеспечения аналитических возможностей базы данных разработаны модули обработки:

- Расчёт водного баланса на основе данных о притоке, стоке, осадках и испарении;

- Интерполяция и экстраполяция данных с метеостанций для построения карт распределения осадков и температуры;

- Анализ временных рядов (скользящее среднее, трендовый анализ, сезонность) для прогнозирования гидрологических параметров;

- Классификация водоёмов по экологическому состоянию на основе интегральных индексов качества воды.

Для загрузки данных реализован модуль автоматизированного импорта (CSV, Excel, API). Для визуализации предусмотрено два подхода:

- построение графиков и диаграмм (уровень воды, температура, расход по времени);

- пространственная визуализация с помощью ГИС (карты водоёмов с наложением гидрологических показателей).

Результаты и обсуждение. Для построения модели введён ряд параметров и обозначений [19], включающих временные шаги, геометрические размеры по основанию и гребню плотины, а также площади и объёмы на различных уровнях водоёма. Важными переменными являются высоты и ширины прорана, текущий объём поступившей и вытекшей воды, а также динамика изменений уровня воды.

Таблица Vodoem.dbf состоит из полей, представленных в таблице 1.

Таблица 1 - Структура файла Vodoem.dbf

№	Наименование	Тип	Ширина поля		Ед. изм.	Назначение
			Целая часть	Дробная часть		
1	Kodv	Character	3			Код водоема
2	Nazv	Character	50			Наименование водоема
3	Typv	Numeric	1	0		Тип водоема
4	Hp	Numeric	10	2	м	Высота плотины
5	Lp	Numeric	10	2	м	Длина плотины
5	W0	Numeric	10	2	м	Ширина водоема по основанию
6	W1	Numeric	10	2	м	Ширина водоема по уровню гребня плотины
7	Gs	Numeric	10	2	м	Средняя глубина водоема
8	Gm	Numeric	10	2	м	Максимальная глубина водоема

9	L0	Numeric	10	2	м	Длина водоема по основанию плотины
10	L1	Numeric	10	2	м	Длина водоема по уровню гребня плотины
11	S0	Numeric	15	2	м2	Площадь водоема по основанию плотины
12	S1	Numeric	15	2	м2	Площадь водоема по уровню гребня плотины
13	V0	Numeric	15	2	м3	Объем водоема по основанию плотины
14	V1	Numeric	15	2	м3	Объема водоема по уровню гребня плотины
15	Kord1	Numeric	10	2	град	Широта цента водоема
16	Kord2	Numeric	10	2	град	Долгота центра водоема

Таблица VodTek.dbf из полей, представленных в таблице 2.

Таблица 2 - Структура файла VodTek.dbf

№	Наименование	Тип	Ширина поля		Ед. изм.	Назначение
			Целая часть	Дробная часть		
1	Kodv	Character	3			Код водоема
2	DatTimv	DateTime				Дата и время события
3	H1	Numeric	10	2	м	расстояние от гребня плотины до поверхности воды
4	H2	Numeric	10	2	м	расстояние от поверхности воды до верхней точки прорана в плотине
5	Hpr	Numeric	10	2	м	высота прорана в плотине
6	Wpr	Numeric	10	2	м	ширина прорана в плотине

В модуле обработки для выбранного водоема определяются следующие данные из таблицы 1, которые являются постоянными.

ω_0, l_0, S_0 - ширина и площадь водоема по основанию;

ω_1, l_1, S_1 - ширина и площадь водоема по уровню гребня плотины;

h_0 - высота плотины;

ΔT - временной шаг отсчета (в часах);

ω_2, l_2, S_2 - ширина и площадь водоема по поверхности воды;

ω_3, S_3 – ширина и площадь водоема по верхней точки прорана в плотине;

V_0 - общий объем водоема;

V_1 - незаполненный объем водоема;

V_2 - объем водоема от поверхности воды до верхней точки прорана в плотине;

V_3 - объем водоема от нижней до верхней точ-

ки прорана в плотине;

ΔV_1 - объем воды, поступившей в водоем за время ΔT;

ΔV_2 - объем воды, вытекший из водоема за время ΔT;

ΔV - разница между объемами вытекшей и поступившей воды за время ΔT;

h_1 - расстояние от гребня плотины до поверхности воды;

h_2 - расстояние от поверхности воды до верхней точки прорана в плотине;

h_{pr} - высота прорана в плотине;

ω_{pr} - ширина прорана в плотине.

Так как параметры, выбранные из таблицы 1, являются постоянными, а парметры, выбранные из таблицы 2 являются переменными, то для последних введем индекс *k*, обозначающий значение соответствующего параметра в момент времени T_k.

Тогда справедливы формулы

$$h_0 - h_{pr} = h_{1,k} + h_{2,k}, V_0 - V_3 = V_{1,k} + V_{2,k} \quad (1)$$

Ширина водоема по верхней точки прорана в плотине могут быть вычислена по формуле

$$\omega_3 = (\omega_1 \cdot h_0 + (\omega_0 - \omega_1) \cdot (h_0 - h_{pr}))/h_0 \quad (2)$$

Площади поверхностей S_0, S_1 S_3 также являются неизменными и могут быть вычислены:

$$S_i = l_i \cdot \omega_i, \quad i = 0, 1, 3 \quad (3)$$

Следовательно могут быть вычислены некоторые объемы

$$\begin{aligned} V_0 &= (1/3) \cdot h_0 \cdot \left(S_1 + \sqrt{S_1 \cdot S_0} + S_0\right) \\ V_3 &= (1/3) \cdot h_{pr} \cdot \left(S_0 + \sqrt{S_0 \cdot S_3} + S_3\right) \end{aligned} \quad (4)$$

Так как расстояние до поверхности воды изменяется во времени, то ширина и площадь водоема, а также некоторые изменяемые объемы на уровне поверхности воды в момент времени T_k могут быть вычислены по формулам

$$\begin{aligned} \omega_{2,k} &= \frac{\omega_1 \cdot h_0 + (\omega_0 - \omega_1) \cdot h_{1,k}}{h_0} \\ S_{2,k} &= l \cdot \omega_{2,k} \\ V_{1,k} &= \frac{1}{3} \cdot h_{1,k} \cdot \left(S_1 + \sqrt{S_1 \cdot S_{2,k}} + S_{2,k}\right) \\ V_{2,k} &= \frac{1}{3} \cdot h_{2,k} \cdot \left(S_{2,k} + \sqrt{S_{2,k} \cdot S_3} + S_3\right) \end{aligned} \quad (5)$$

$\Delta V_{2,k}$ – объем воды, вытекший из водоема за время ΔT может быть вычислен в соответствии с гидравлическим законом Торричелли по формуле

$$\Delta V_{2,k} = Q \cdot \Delta T = h_{pr} \cdot \omega_{pr} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{2,k}} \quad (6)$$

Обозначим через $\Delta V_k = \Delta V_{2,k} - \Delta V_1$ разницу между вытекшей и прибывшей водой в водоем. Тогда справедливы следующие соотношения

$$\begin{aligned} V_{1,k+1} &= V_{1,k} + \Delta V_k \\ V_{2,k+1} &= V_{2,k} - \Delta V_k \end{aligned} \quad (7)$$

Кроме того, информативным является вычисляемый параметр Δh_k – высота, на которую ожидается опускание воды за последующий интервал времени.

Введем обозначения:

$$x = \Delta h_k$$

Тогда ширина водоема на уровне роверхности в последующий момент времени $T_{k+1} = T_k + \Delta T$ может быть вычислена

$$\begin{aligned} \omega_x &= \frac{\omega_1 \cdot h_0 + (\omega_0 - \omega_1) \cdot (h_1 + x)}{h_0} \\ S_x &= l \cdot \omega_x \end{aligned} \quad (8)$$

Тогда ожидаемый расход воды x за последующий период времени находится из решения следующего нелинейного уравнения уравнения

$$x \cdot \left(S_2 + \sqrt{S_2 \cdot S_x} + S_x\right) = 3 \cdot \Delta V \quad (9)$$

Для программной реализации предложенной модели выбрано СУБД Visual FoxPro 9.

При вызове программы появляется заставка, приведенная на рисунке 1.

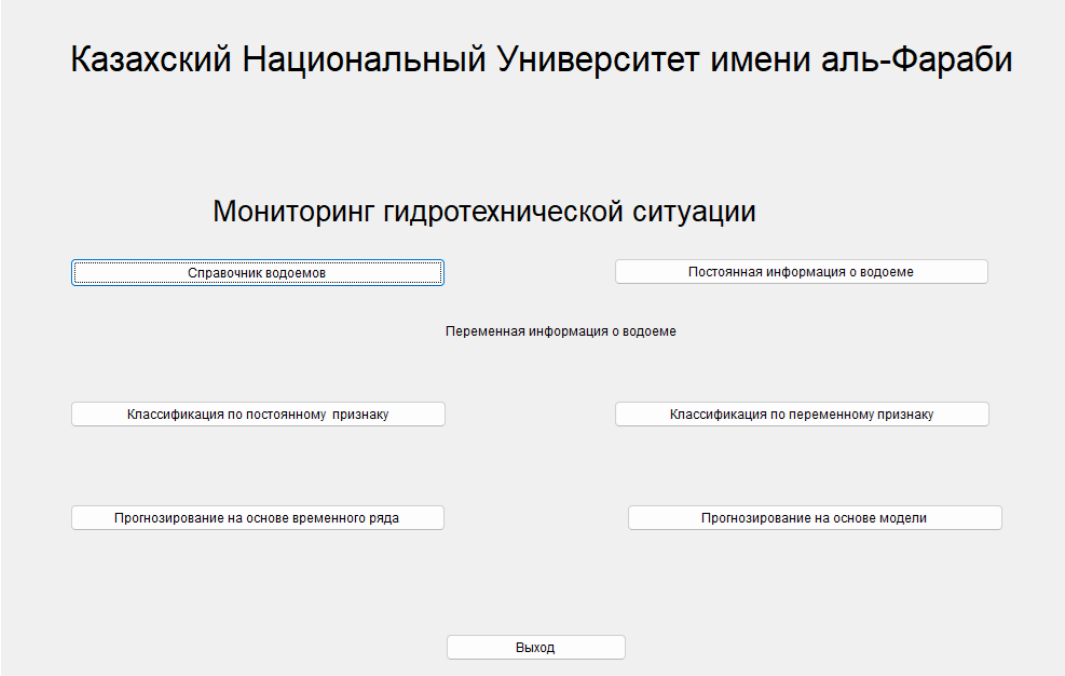


Рис.1 - Головная заставка

При вызове справочника появляется информация о водоемах (Рисунок 2)

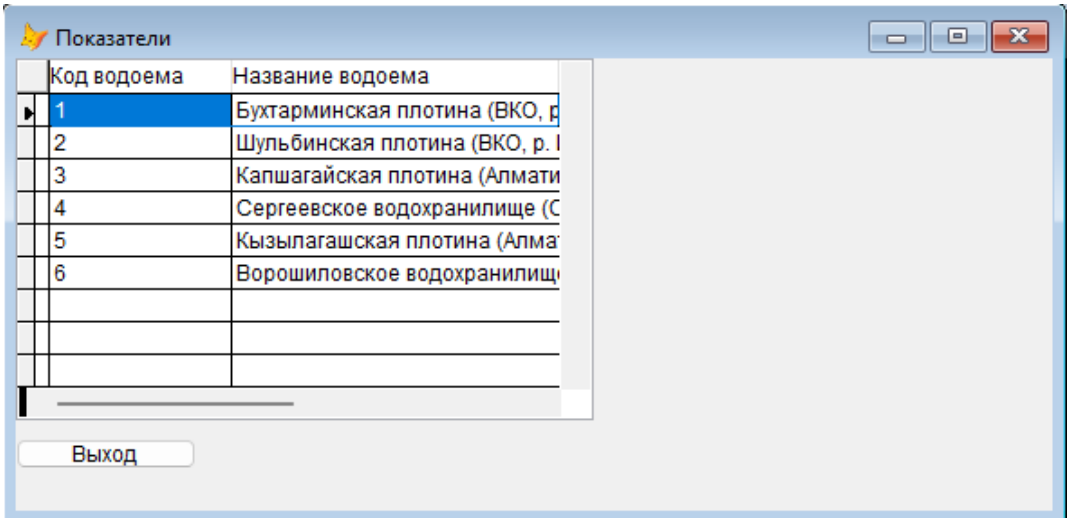


Рис.2 - Перечень водоемов

На основе разработанной программной модели, реализованной в автоматизированной системе, смоделировано развитие событий в селе Кызылагаш. Согласно данным Алматинского де-

партамента по чрезвычайным ситуациям, катастрофа произошла из-за интенсивных осадков и резкого потепления, что вызвало таяние снега и движение льда, приведшее к формированию селевого потока.

Ситуация, развившаяся в селе Кызылагаш, была смоделирована с использованием программы и представлена на рисунке 3.

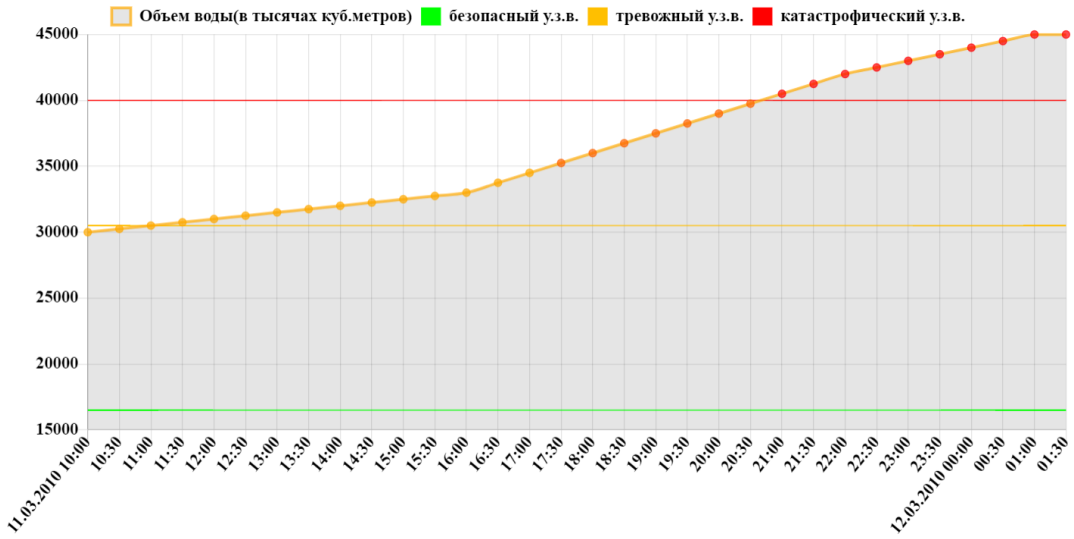


Рис.3 - График заполнения водоема в с.Кызылагаш

Выводы. В рамках проведенного исследования достигнуты следующие результаты:

- Разработана математическая модель для прогнозирования гигрологической ситуации в водоеме. Разработан алгоритм расчета ожидаемого притока и расхода воды, учитывающий различные параметры гидротехнического сооружения. Предложенный подход отличается высокой практической значимостью по сравнению с существующими методами.

- На СУБД Visual FoxPro разработана система мониторинга и прогнозирования гидрологической ситуации в водоеме.

- На основе решения модельной задачи подтверждена эффективность разработанной гидрологической базы данных.

Полученные результаты могут быть использованы для поддержки принятия решений в органах управления водохозяйственной отрасли Казахстана. Предложенные методика и технологии обеспечивают качественно новый подход к задачам мониторинга водных ресурсов, выявлению явлений, способствующих чрезвычайным ситуациям, и оценке их последствий.

В дальнейшем планируется интегрировать базу данных с геоинформационной системой MapInfo.

Финансирование. *Работа выполнена за счет средств НИИ математики и механики при КазНУ имени аль-Фараби и грантового финансирования научных исследований на 2023-2025 годы по проекту AP19678157.*

Литература

1. Costa J.E. Floods from Dam Failures.// Denver,.-U.S. Geological Survey, Open-File Report. – 1985.- 54 p.

2. Petley D. Landslides and engineered slopes: protecting society through improved understanding // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. - 2010.- Vol.69(2).- - P.155-167.

3. Rico M., Benito G., Díez-Herrero A. Floods from tailings dam failures // Journal of Hazardous Materials. – 2008. – Vol.154(1-3).- P. 79–87. DOI 10.1016/j.jhazmat.2007.09.110

4. Chandler R.J. Slope Stability Engineering. - London: Institution of Civil Engineers, 1994. – 444 p.ISBN 10 0060799234

5. Fell R., MacGregor P., Stapledon D., Bell G. Geotechnical Engineering of Dams. – London: Taylor & Francis, 2014.- 1382 p. ISBN: 9780429220609

6. International Commission on Large Dams (ICOLD). Dam Failures Statistical Analysis. – Paris: ICOLD, Bulletin 99, 1995. https://www.icold-cigb.org Date of access: 17.04.2025

7. Xu Y., Zhang L., Zhang L. Lessons from Catastrophic Dam Failures in August 1975 in Zhumadian, China // International Journal of Disaster Risk Reduction. – 2012. - Vol.31. - P.113-125. DOI 10.1061/40971(310)20

8. Schweckendiek T., Vrouwenvelder A., Calle E.O.F. Flood risk management and safety of dams and levees in a changing climate // Water. - 2020.-Vol.12(7): 2075.

9. Прорыв плотины в Кызылагаше // Wikipedia: свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org Дата обращения: 17.04.2025.

10.2010 год: ОБСЕ, лидер нации и наводнение в Кызылагаше // Tengrinews [Электронный ресурс]. - URL: https://tengrinews.kz Дата обращения: 17.04.2025.

11. Прорыв плотины Кокпектинского водохранилища // CAWater-info [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cawater-info.net Дата обращения: 21.04.2025.

12. Кто же виноват в прорыве Кокпектинской плотины? // Zona.kz [Электронный ресурс]. – URL: https://zonakz.net Дата обращения: 21.04.2025.

13. Сардобинское водохранилище // Wikipedia : свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org Дата обращения: 03.05.2025.

14. В Узбекистане восстановят Сардобинское водохранилище, прорыв дамбы которого стал причиной наводнения в РК // Informburo.kz [Электронный ресурс]. – URL: https://informburo.kz Дата обращения: 03.05.2025.

15. Хамутова М.В., Кушников В.А. Математическая модель прогнозирования последствий наводнений//Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Серия управление, вычисл. техн. информ., 2016.- № 3. - С.109-114.

16. Симагин И.М., Полуян Л.В. Моделирование зон возможных затоплений при авариях на гидротехнических сооружениях. SAFETY2018. – Екатеринбург, 2018. – С.14-21.

17. Стриганова М.Ю. Методы оценки и прогнозирование последствий при разрушении гидротехнических сооружений // Вестник командно-инженерного института МЧС Республики Белорусь, 2012, № 1(15). – С.10-21.

18. Плеханов П.А. Гидрологические риски природного характера и их предупреждение в Казахстане // Центрально-азиатский журнал исследований воды. Специальный выпуск об опасностях, связанных с водой в Центральной Азии. – Алматы, 2017, № 3(1). – С.19-25.

19. Мазаков Т.Ж., Джомартова Ш.А., Мазакова А.Т., Шорманов Т.С., Алиаскар М.С. Гибридная модель прогнозирования процесса селевого прорыва // Вестник КазУТБ. - Астана, 2024. – № 2(23). – С.120-126 DOI 10.58805/kazutb.v.2.23-481

References

1. Costa J.E. Floods from Dam Failures.// Denver,.-U.S. Geological Survey, Open-File Report. – 1985.- 54 p.

2. Petley D. Landslides and engineered slopes: protecting society through improved understanding // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. - 2010.- Vol.69(2).- P.155-167.

3. Rico M., Benito G., Díez-Herrero A. Floods from tailings dam failures // Journal of Hazardous Materials. – 2008. – Vol.154(1-3).- P. 79–87. DOI 10.1016/j.jhazmat.2007.09.110

4. Chandler R.J. Slope Stability Engineering. - London: Institution of Civil Engineers, 1994. – 444 p. ISBN 10 0060799234

5. Fell R., MacGregor P., Stapledon D., Bell G. Geotechnical Engineering of Dams. – London: Taylor & Francis, 2014.- 1382 p. ISBN: 9780429220609

6. International Commission on Large Dams (ICOLD). Dam Failures Statistical Analysis. – Paris: ICOLD, Bulletin 99, 1995. https://www.icold-cigb.org Date of access: - 17.04.2025

7. Xu Y., Zhang L., Zhang L. Lessons from Catastrophic Dam Failures in August 1975 in Zhumadian, China // International Journal of Disaster Risk Reduction. – 2012. - Vol.31. - P.113-125. DOI 10.1061/40971(310)20

8. Schweckendiek T., Vrouwenvelder A., Calle E.O.F. Flood risk management and safety of dams and levees in a changing climate // Water. - 2020. Vol.12(7): 2075.

9. Proryv plotiny v Kyzylagashe // Wikipedia: svobodnaja jenciklopedija [Jelektronnyj resurs]. – URL: https://ru.wikipedia.org.- Data obrashhenija: 17.04.2025.[in
Russian]

10.2010 god: OBSE, lider nacii i navodnenie v Kyzylagashe // Tengrinews [Jelektronnyj resurs]. - URL: https://tengrinews.kz.- Data obrashhenija: 17.04.2025. [in Russian]

11. Proryv plotiny Kokpektinskogo vodohranilishha // CAWater-info [Jelektronnyj resurs]. – URL: https://www.cawater-info.net.- Data obrashhenija: 21.04.2025. [in Russian]

12. Kto zhe vinovat v proryve Kokpektinskoj plotiny? // Zona.kz [Jelektronnyj resurs]. – URL: https://zonakz.net.- Data obrashhenija: 21.04.2025. [in Russian]

13. Sardobinskoe vodohranilishhe // Wikipedia : svobodnaja jenciklopedija [Jelektronnyj resurs]. – URL: https://ru.wikipedia.org.- Data obrashhenija: 03.05.2025. [in Russian]

14. V Uzbekistane vosstanovjat Sardobinskoe vodohranilishhe, proryv damby kotorogo stal prichinoj navodnenija v RK // Informburo.kz [Jelektronnyj resurs]. – URL: https://informburo.kz.- Data obrashhenija: 03.05.2025. [in Russian]

15. Hamutova M.V., Kushnikov V.A. Matematicheskaja model’ prognozirovanija posledstvij navodnenij // Vestnik Astrahan. gos. tehn. un-ta. Serija upravlenie, vychisl. tehn. inform., 2016. - № 3. - S.109-114. [in Russian]

16. Simagin I.M., Polujan L.V. Modelirovanie zon vozmozhnyh zatoplenij pri avarijah na gidrotehnicheskih sooruzhenijah. SAFETY2018. – Ekaterinburg, 2018. - S.14-21. [in Russian]

17. Striganova M.Ju. Metody ocenki i prognozirovanie posledstvij pri razrushenii gidrotehnicheskih sooruzhenij // Vestnik komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belorus’, 2012, № 1(15). – S.10-21. [in Russian]

18. Plehanov P.A. Gidrologicheskie riski prirodnogo haraktera i ih preduprezhdenie v Kazahstane // Central’ no-aziatskij zhurnal issledovanij vody. Special’ nyj vypusk ob opasnostjah, svjazannyh s vodoj v Central’ noj Azii. - Almaty, 2017, № 3(1). - S.19-25. [in Russian]

19. Mazakov T.Zh., Dzhomartova Sh.A., Mazakova A.T., Shormanov T.S., Aliaskar M.S. Gibridnaja model' prognozirovanija processa selevogo proryva // Vestnik KazUTB. - Astana, 2024. - № 2(23). - C.120-126 DOI 10.58805/kazutb.v.2.23-481. [in Russian]

Сведение об авторах

Мазаков Т.Ж. -доктор физико-математических наук, профессор, КазНУ им. аль-Фараби, профессор МИТУ, Алматы, Казахстан, e-mail: tmazakov@mail.ru;

Джомартова Ш.А.- доктор технических наук, доцент, КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: jomart63@gmail.com;

Мазақова Ә.Т.-PhD, старший преподаватель КазНУ им.аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: aigerym97@mail.ru;

Майлыбаева А.Д. - к.ф.-м.н., доцент кафедры «Информатика» Атырауского университета имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан, e-mail: a.maylibayeva@asu.edu.kz;

Мазакова Б.М. - старший преподаватель Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, e-mail: bayan7080@mail.ru;

Әлиасқар М.С - старший преподаватель МИТУ, Алматы, Казахстан, e-mail: m.alyasqar@gmail.ru

Мергенгали Е.К. - докторант КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: estony.9999@gmail.com.

Information about the authors

Mazakov T.Zh.- Doctor of Physical and mathematical sciences, Professor, Al-Farabi Kazakh National University, professor at the International University of Engineering and Technology Almaty, Kazakhstan, e-mail: tmazakov@mail.ru;

Jomartova Sh.A.- Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: jomart63@gmail.com;

Mazakova A.T.- PhD, Senior Lecturer at the Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: aigerym97@mail.ru;

Mailybayeva A.D. -PhD, Associate Professor, Department of Computer Science, Atyrau University named after Kh. Dosmukhambetov, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: a.maylibayeva@asu.edu.kz;

Mazakova B.M.- Senior Lecturer, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, e-mail: bayan7080@mail.ru;

Aliaskar M.S.- Lecturer at the International University of Engineering and Technology, Almaty, Kazakhstan, e-mail: m.alyasqar@gmail.ru;

Mergengali E.K. - PhD student at Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: estony.9999@gmail.com.