

МРНТИ 70.85.29

М.Н. Сенников<sup>1</sup> – основной автор, ©  
Ж. Сагин<sup>2</sup>, Т.Т. Толкынбаев<sup>3</sup>, Г.Е. Омарова<sup>4</sup>,  
Ж.Е. Колбачаева<sup>5</sup>, А.А. Рсалиева<sup>6</sup>



<sup>1</sup>Д-р техн. наук, профессор, <sup>2</sup>PhD, профессор, <sup>3</sup>Д-р техн. наук., доцент,  
<sup>4</sup>Д-р техн. наук, профессор, <sup>5</sup>Магистр, <sup>6</sup>Докторант

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-4944-2128>; <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-0386-888X>;  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-8549-3064>; <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0001-7776-6600>;  
<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0001-6950-1717>; <sup>6</sup><https://orcid.org/0000-0003-1013-1402>



<sup>1,3,4,6</sup>Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз,  
Республика Казахстан



<sup>2</sup>Университет Мичиган, Канада-США

<sup>5</sup>Университет Westminster, Англия



<sup>1</sup>[galiyaomar@mail.ru](mailto:galiyaomar@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/ETYJ1363>

## МОНИТОРИНГ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС

**Аннотация.** Представлены универсальные способы оценки состояния водных объектов с применением математического моделирования и программного продукта ГИС. Разработана концепция ГИС по оценке и безопасности водных объектов, система оценки безопасности, диагностики и прогноза состояния гидротехнических сооружений в соответствии с атрибутивными и пространственными информацией.

**Ключевые слова:** географические информационные системы (ГИС), программные продукты, математическое моделирование, атрибутивные данные, гидротехнические сооружения, векторная модель, дистанционное зондирование.



Сенников, М.Н. Мониторинг безопасности гидротехнических сооружений с использованием ГИС [Текст] / М.Н. Сенников, Ж. Сагин, Т.Т. Толкынбаев, Г.Е. Омарова, А.А. Рсалиева // Механика и технологии / Научный журнал. – 2022. – №4(78). – С.105-112. <https://doi.org/10.55956/ETYJ1363>

**Введение.** В последнее время возникающие ситуации, связанные с угрозой паводков и других негативных последствий происходят в весенний период. На реках Казахстана, в т.ч. на трансграничных реках паводки связаны с зарегулированием стока рек водохранилищами, расположенными на территории сопредельных государств. Несогласованные пуски, производимые из этих водохранилищ, вызывают чрезвычайные ситуации, которые приводят к затоплению сельхозугодий и других объектов хозяйствования, и служат причиной постоянных угроз возникновения неблагоприятных ситуаций на гидротехнических сооружениях в нижнем течении рек, протекающих по территории юга Казахстана. Несмотря на накопленный опыт проектирования, строительства и эксплуатации гидросооружений, улучшение качества материалов, средств контроля, а также повышения общего уровня знаний и инженерных решений, опасность серьезных аварий и аварийных ситуаций нельзя исключать и в будущем.

В этих условиях для проведения прогноза ситуации необходимо использовать инновационные технологии геоинформационных систем (ГИС), которые позволяют повысить оперативность и качество интерпретации полученных данных в решении проблемы безопасной эксплуатации, мониторинга безопасности сооружений и прогноза последствий в случае возникновения чрезвычайных ситуаций. Геоинформационные системы в последние годы получили широкое развитие в управлении использованием трансграничными ресурсами, как средство располагающий мощным инструментом оценки и прогнозирования состояния гидротехнических сооружений и компонентов природной среды. С помощью геоинформационных технологий можно создать базу данных, на основе которого в дальнейшем будут составляться тематические слои и тематические карты, как подтопление территории, возможные максимальные и минимальные колебания уровней воды в реках, водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы водных объектов и др. На основе полученных тематических карт существует возможность заблаговременно оценить ситуацию, наступившую в результате возникновения аварий на гидротехнических сооружениях, избежать различных экологических рисков, уменьшить техногенную нагрузку на чувствительные аквасистемы региона. В настоящее время одним из наиболее универсальных инструментов для оценки и прогнозирования состояния водных объектов при антропогенном воздействии служат математическое моделирование и компьютерная обработка необходимой информации с использованием ГИС-технологии. Для того, чтобы результаты математического моделирования стали элементом поддержки принятия решений, эти результаты должны свободно передаваться в геоинформационные системы и, наоборот, необходимые данные из ГИС должны распознаваться и импортироваться моделирующей системой для использования в расчетах.

**Условия и методы исследования** Важным моментом при решении поставленного вопроса является необходимость использования инновационных методов математического моделирования для водных объектов, которые должны разрабатываться совместно с профессиональными гидрологами и гидротехниками, а системы ГИС – профессионалами ГИС-технологий. Только тогда можно корректно увязать математическую модель и ГИС, и достичь желаемого эффекта от результатов моделирования и расширить эффективную область применения ГИС. На текущий момент для использования в инженерной практике используется целый ряд специальных технологий, реализованных в программных продуктах MIKE 11, MIKE II GIS, MIKE Basin, MIKE SHE, MIKE 21, MIKEINFQ, MOUSE, MOUSEGIS [1].

Другим принципом в построении геоинформационной системы по мониторингу водных объектов является оценка состояния гидрологических характеристик естественных водных источников и режим их функционирования. Так в обычные по погодным условиям годы они не представляют угроз ни населению, ни экономике региона. Однако, в экстремальные, либо близкие к ним по условиям формирования стока реки, в некоторых случаях полностью пересыхающие летом, несут в себе большой разрушительный потенциал.

В результате происходящего затопления водой прилегающей к реке местности в пределах речной долины и населенных пунктов, расположенных выше ежегодно затопляемой поймы с катастрофическими последствиями наносится большой урон здоровью населения. При наводнениях происходит

затопление пониженных частей населенных пунктов, посевов сельскохозяйственных культур, автомобильных и железных дорог, мостов, повреждение промышленных, транспортных и водных объектов и т.д. Их причины различны – обильные осадки, штормовые ветры, сейсмические проявления, ошибки при управлении гидротехническими сооружениями и др. Избежать опасности и уменьшить ущерб, причиняемые этими бедствиями, помогает своевременный прогноз времени наступления наводнения и высоты подъема воды.

Наводнения, вызванные весенним, либо весенне-летним половодьем, отмечаются на реках, практически во всех регионах Казахстана. Возникновение наводнений такого типа на реках южного Казахстана вероятно происходит в феврале-июне, юго-восточного и восточного Казахстана – в марте-июле, а на равнинных реках республики – в марте-июне. С гор Южного Казахстана и Северной Киргизии стекают трансграничные реки Шу, Талас, Мерке, Аса, Арыс, Келес. Из них, лишь Арыс и Келес доносят свои воды до р. Сырдария, остальные теряются в пустыне. Модули стока рек на высоте 4 км достигают 20-39 л/ (с.км<sup>2</sup>), на высоте 0,6 км – от 0,2 до 2,3 л/ (с.км<sup>2</sup>). В период половодья проходит сток от 50 до 96% годового объема. Реки со средними высотами водосборов менее 1500 м имеют снегово-дождевое питание, а выше снегово-ледниковое или ледниковое питание. В целом, принципы и функции по созданию геоинформационной системы по мониторингу безопасности водных объектов и сооружений, сводятся к созданию геоинформационной системы (ГИС) в составе прикладных программных продуктов с модулями для одномерного моделирования рек и каналов [6].

При растровом моделировании, изображение представляет собой набор значений для отдельных элементарных составляющих (ячеек), подобно отсканированной карте. Векторная модель особенно удобна для описания дискретных объектов и меньше подходит для описания непрерывно меняющихся свойств, таких как плотность населения или доступность объектов. Обе модели имеют свои преимущества и недостатки. Современные ГИС могут работать как с векторными, так и с растровыми моделями данных.

С помощью ГИС-технологии на основе многофакторного математического моделирования можно выявлять и задавать шаблоны для поиска, проигрывать различные сценарии затопления территории. Современный ГИС располагают множеством инструментов для проведения мониторинга, среди которых наиболее значимые это – анализ близости и анализ наложения. Для проведения анализа близости объектов относительно друг друга в ГИС применяется процесс буферизации.

При применении метода дистанционного зондирования научные исследования проводятся с использованием инновационных сенсоров, таких как оптические камеры на борту летательных аппаратов, приемники системы глобального позиционирования или других устройств. Эти датчики собирают данные в виде наборов координат или изображений преимущественно в цифровом формате, которая в дальнейшем дает возможности обработки, анализа и прогноза на основе визуализации полученных данных.

**Результаты и их обсуждение.** На основе функциональных возможностей геоинформационных систем разработана информационная система по оценке состояния и безопасности водных объектов (рис. 1) [2-5]. Предложенная система состоит из геоинформационной системы и подсистемы контроля состояния водных объектов, подсистемы защиты

территорий от паводков и подсистемы предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Подсистема контроля состояния водных объектов охватывает наблюдение крупных и средних гидроузлов, относящихся к II и III классам сооружений. Согласно требований нормативных документов по данным сооружениям разрабатываются сценарии с моделированием предполагаемых чрезвычайных ситуаций с оценкой наносимых ущербов. Подсистема защиты территории от паводка включает прогнозирование высоких паводков и определение величины пусков гидроузлов, а также моделирование прохождения высоких паводков.



Рис. 1. Информационная система по оценке состояния и безопасности водных объектов

Подсистема предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций позволяет производить автоматизированный расчет волны прорыва, определение зон затопления и размеров наносимого при этом ущерба.

В систему оповещения населения и служб ЧС включают следующие структуры, которые позволяют своевременно производить оценку безопасности, диагностики и прогноза состояния гидротехнических сооружений. Структурно, данная система оценки безопасности, диагностики и прогноза состояния гидротехнических сооружений оценивается на основе мониторинга базы данных ГИС и представлена на рисунке 2.

На основании составленной и принятой модели оценки безопасности гидротехнических сооружений производится оценка уровня безопасности эксплуатируемого сооружения и вырабатываются рекомендации эксплуатационному персоналу. При этом, качественная шкала оценки уровня безопасности варьирует от нормального состояния до недопустимого - опасного уровня. Принятая система базы данных состоит из подсистемы моделирования безопасности ГТС, анализа и визуализации данных и подсистемы сбора данных, и показаны на рисунке 3 (на примере р. Талас).



Рис. 2. Система оценки безопасности, диагностики и прогноза состояния гидротехнических сооружений



Рис. 3. Система базы данных MSSQL/Oracle

Формируемая база данных для исследуемого региона представляет собой специальный топографический план гидрографической сети в цифровом виде с отображением на нем рек и искусственных гидротехнических сооружений с их техническими характеристиками. В качестве базы данных были приведены расчетные сведения по гидрографической базе бассейна и действующих водохранилищ в бассейне р.Талас в различные годы водообеспеченности (табл. 1). В бассейне сосредоточено значительное количество гидротехнических объектов: магистральные и межхозяйственные каналы, гидроузлы, сооружения и т.д.

Таблица 1  
Основные гидрографические характеристики крупных рек бассейна р. Талас

Река-пункт	Площадь водозабора, км <sup>2</sup>	Число полных лет наблюдений	Среднегодовое параметры				Объемы стока различной обеспеченности, %		
			Q, м <sup>3</sup> /с	W, млн. м <sup>3</sup>	C <sub>v</sub> ,	C <sub>s</sub>	50%	75%	95%
р.Талас –с.Покровка до зарегулир. вдхр. Кировское	8900	48	25,5	805	0,287	0,153	801	649	433
р. Талас – с. Покровка после зарегулир. вдхр. Кировское	8900	28	22,42	707	0,337	0,046	707	547	316
р.Талас –п.Солнечный	9200	29	25,47	803	0,231	0,513	788	672	528
р. Талас –плот.г.Тараз	9240	26	18,08	570	0,369	0,891	543	417	280
р.Талас –с.Гуймекент	9690	49	14,58	460	0,374	0,785	439	336	216
р.Талас–вдх.Темирбек	12300	26	18,21	574	0,470	0,850	539	377	202
р.Талас–пл. Жеймбет	12900	20	17,68	558	0,316	0,640	783	439	268
р. Талас – с. Учарал	1931	9	8,63	272	0,400	0,800	415	268	103
		12	11,7	368	0,249	0,500	485	363	218
р. Талас (Каракол) – с. Караой, в 4 км выше устья р. Учкошой	1160	29	7,86	248	0,14	0,28	243	205	159
р. Талас – с. Караой, в 2,6 км ниже устья р. Учкошой	1210	36	15,0	473	0,21	0,42	467	404	325
р. Учкошой –с.Караой	2680	29	9,23	291	0,24	0,48	285	214	187
р. Колба – с. Колба	218	22	1,69	53	0,14	0,28	53	48	42
р. Кепкол – ущелье р. Терскол	406	31	2,42	76	0,37	0,74	73	58	37
р.Бешташ–гол.арыка Саз	286	40	3,54	112	0,13	0,26	111	101	89
р.Нельды–ур.Джурга	450	34	0,72	23	0,42	0,84	21	16	10
р. Урмарал – с. Октябрьское	1120	40	8,59	271	0,12	0,24	269	249	220
р. Кумыштаг – гол. арыка Янги	393	33	2,65	83	0,22	0,44	83	71	56
Р. Карабура – ущел. Коксай	797	39	3,68	116	0,14	0,28	115	105	91

При работе с полученными атрибутивными данными и проведении мониторинга и оценки необходимо не только загрузить полученные исходные данные в базу данных, но и осуществлять пространственную навигацию по этим данным и постоянно обновлять и корректировать согласно теоретическим разработкам. При навигации и отображении данных

гидротехнических сооружений и водных объектов в ГИС используется географический охват и масштаб. При этом охват производится с пространственной границы географических данных определяемое наименьшим ограничивающим их фактически двумя точками с минимальными и максимальными координатами X, Y для данного конкретного набора данных. У каждого объекта, группы объектов и слоя свой географический охват.

В соответствии с концепцией информационной системы ГИС, как системы связывающей атрибутивную и пространственную информацию, данные используемые системой могут быть пространственными и атрибутивными (текстовыми, табличными). Особенностями данных в ГИС является их послойная организация. Каждый слой обычно содержит информацию одного типа. При этом данные организуются по типу объекта (точка, линия, полигон) и так далее по содержанию информации.

Пространственные данные располагаемые в ГИС (шейп-файлы, покрытия, базы геоданных) хранятся, как геометрическое положение объектов, так и атрибутивную информацию связанные с ними.

**Заключение.** За период проведения исследований были обследованы гидротехнические сооружения в бассейне реки Талас. Проведена их классификация по степени рисков возникновения возможных аварий (70% сооружений находится в неудовлетворительном состоянии). У 35% сооружений степень износа составляет 30-40%, а у 65% - более 60%. На этих объектах со времени ввода в эксплуатацию не производились ремонтные и восстановительные работы, поэтому из года в год снижается их надежность и безопасность. Опасность этой угрозы может быть устранена или снижена до безопасного уровня путем создания государственной системы обеспечения безопасности гидросооружений. Разработана методика оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на ГТС. Исследования в области безопасности гидротехнических сооружений в Казахстане находятся на этапе прогрессирующего развития и требуют своего продолжения в целях соответствия мировому уровню.

#### Список литературы

1. Сенников, М.Н. Использование геоинформационных систем технологии в водохозяйственном производстве [Текст] / М.Н. Сенников, Г.Е. Омарова. – Тараз: Издательство «Тараз университеті», 2008. – 57 с.
2. Омарова, Г.Е. Особенности выбора цифрового моделирования рельефа для инженерных объектов [Текст] / Г.Е. Омарова // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2009. - №3. – С.45-51.
3. Королев, Ю.К. Модели данных геоинформационных систем [Текст] / Ю.К. Королев // Информационный бюллетень. – 1998. - №2 (14), №3 (15).
4. Сорокин, А.Д. Стандарты в области пространственной информации [Текст] / А.Д. Сорокин // Ежегодный обзор. – 1995. - №2. – С.64-72.
5. ERDASIMAGINE. Версия 8.3. ГИС-обозрение. – 1997. - №3. – С.87-92.
6. Internet-материалы Web-узла ООО "Эсти-Мап" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.esti-map.ru/>

Материал поступил в редакцию 16.05.22.

М.Н. Сенников<sup>1</sup>, Ж. Сагин<sup>2</sup>, Г.Е. Омарова<sup>1</sup>, Т.Т. Толкынбаев<sup>1</sup>,  
Ж.Е. Колбачаева<sup>3</sup>, А.А. Рсалиева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Мичиган университеті, Канада-АҚШ

<sup>3</sup>Westminster Университеті, Англия

### ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫҢ ҚАУІПСІЗДІГІНІҢ МОНИТОРИНГІН ЖҮРГІЗУДЕ ГАЖ-ДЫ ПАЙДАЛАНУ

**Аңдатпа** Математикалық модельдеу және ГАЖ бағдарламалық өнімін қолдана отырып, су объектілерінің жай-күйін бағалаудың әмбебап құралдары ұсынылған. Су объектілерінің жай-күйі мен қауіпсіздігін бағалауда ГАЖ мәліметтері бойынша тұжырымдамасы, атрибутивтік және кеңістіктік ақпараттарға сәйкес гидротехникалық құрылымдардың қауіпсіздігін бағалау және жай-күйін болжау жүйесі негізінде әзірленген.

**Тірек сөздер:** географиялық ақпараттық жүйелердің дерекқоры (ГАЖ), бағдарламалық өнімдер, математикалық модельдеу, атрибутивтік мәліметтер, гидротехникалық құрылыстар, векторлық модель, қашықтықтан зондау.

**M.N. Sennikov<sup>1</sup>, Zh. Sagin<sup>2</sup>, G.E. Omarova<sup>1</sup>, T.T. Tolkybaeva<sup>1</sup>,  
Zh.E. Kolbachayeva<sup>3</sup>, A.A. Rsalieva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan

<sup>2</sup>University of Michigan, Canada-USA

<sup>3</sup>Westminster University, England

### MONITORING OF SAFETY OF HYDRAULIC STRUCTURES USING GIS

**Abstract.** There are presented universal tools for assessing the state of water bodies using mathematical modeling and the GIS software product. A GIS concept for assessing the state and safety of water bodies, a system for assessing safety, diagnostics and progression due to the state of hydraulic structures in accordance with attribute and spatial information has been developed

**Keywords:** geographic information systems (GIS), software products, mathematical modeling, attribute data, hydraulic structures, vector model, remote sensing.

#### Reference

1. Sennikov M.N., Omarova G.E. Ispol'zovaniye geoinformatsionnykh sistem gekhnologii v vodokhozyaystvennom proizvodstve [The use of geoinformation systems of geology in water management]. – Taraz: Taraz University Publishing House, 2008. – 57 p. [in Russian].
2. Omarova G.E. Osobennosti vybora tsifrovogo modelirovaniya rel'yefa dlya inzhenernykh ob'yektov [Features of the choice of digital terrain modeling for engineering objects] // Bulletin of the Kazakh Academy of Transport and Communications. M. Tynyshpaeva. - 2009. - No. 3. – PP.45-51. [in Russian].
3. Korolev Yu.K. Modeli dannykh geoinformatsionnykh sistem [Data models of geoinformation systems] // Newsletter – 1998. No. 2(14). No. 3(15). [in Russian].
4. Sorokin A.D. Standarty v oblasti prostranstvennoy informatsii [Standards in the field of spatial information] // Annual review. - 1995. - No. 2. – PP.64-72. [in Russian].
5. ERDASIMAGINE. Version 8.3. GIS-review. – 1997. - No. 3. - PP.87-92. [in Russian].
6. Internet-materials of the Web-site of LLC "Esti-Map" [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.esti-map.ru/> [in Russian].