

Оригинальная статья

УДК 502/504: 627.8: 628.(1-21):628.113

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-75-84

## ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИИ НА ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЕ САРДОБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

**КОЗЛОВ ДМИТРИЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ**<sup>1</sup>✉, д-р техн. наук, профессор  
kozlovdv@mail.ru

**КЛОВСКИЙ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ**<sup>2</sup>✉, канд. техн. наук, доцент  
alexey.klovskiy@yandex.ru

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26. Россия

<sup>2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49. Россия

*В западной части плотины Сардобинского водохранилища (Республика Узбекистан) 1 мая 2020 г. произошел прорыв водоподпорной грунтовой плотины, повлекший за собой затопление сельскохозяйственных угодий, а также объектов транспортной инфраструктуры в трех районах страны. В результате аварии пострадал ряд населенных пунктов Узбекистана, трансграничной зоны и приграничных районов Республики Казахстан. Экспертная оценка причин аварии гидротехнического сооружения выполнена с использованием качественных методов, применяющихся, как правило, в условиях дефицита информации о гидротехническом сооружении, нагрузках и воздействиях на него. Сформулированы возможные причины возникновения аварийной ситуации в районе пикета ПК 60 грунтовой плотины Сардобинского водохранилища 1 мая 2020 г. На сооружении реализовался сценарий возникновения и развития аварии, приведший к чрезвычайной ситуации. Произошло локальное разрушение участка земляной плотины вследствие потери статической устойчивости сооружения и фильтрационной прочности грунтов тела и основания плотины. Это привело к переливу в зоне локального понижения гребня на разрушенном участке плотины при нормальном подпорном уровне воды, а далее – к дополнительному размыву разрушенного участка сооружения с образованием прорана и затоплением территории в нижнем бьефе. Поскольку последствия произошедшей аварии по указанному сценарию классифицируются как «территориальная чрезвычайная ситуация», наиболее существенным стал именно риск разрушения участка грунтовой плотины.*

**Ключевые слова:** водохранилище, грунтовая плотина, проран, авария, причины, сценарий, затопление территории, чрезвычайная ситуация

**Формат цитирования:** Козлов Д.В., Кловский А.В. Экспертная оценка причин возникновения аварии на грунтовой плотине Сардобинского водохранилища // Природообустройство. – 2021. – № 5. – С. 75-84. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-75-84.

© Козлов Д.В., Кловский А.В., 2021

Original article

## EXPERT ASSESSMENT OF THE CAUSES OF THE ACCIDENT AT THE EARTH DAM OF THE SARDOBINSKY RESERVOIR

**KOZLOV DMITRY VYACHESLAVOVICH**<sup>1</sup>✉, doctor of technical sciences, professor  
kozlovdv@mail.ru

**KLOVSKY ALEXEY VIKTOROVICH**<sup>2</sup>✉, candidate of technical sciences, associate professor  
alexey.klovskiy@yandex.ru

<sup>1</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavlshosse; Moscow 129337. Russia

<sup>2</sup> Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev: 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49. Russia

*In the western part of the dam of the Sardobinsky reservoir (Republic of Uzbekistan) On May 1, 2020, there was a breakthrough of a water-bearing earth dam which resulted in flooding*

of the agricultural land, as well as transport infrastructure facilities in three regions of the country. As a result of the accident, a number of settlements of Uzbekistan, the cross-border zone and border regions of the Republic of Kazakhstan were affected. The expert assessment of the causes of the hydraulic structure accident was carried out using qualitative methods which are usually used in the conditions of a lack of the information about the hydraulic structure, loads and impacts on it. The possible causes of an emergency situation in the area of the PK 60 picket of the Sardobinsky reservoir earth dam on May 1, 2020 are formulated. The construction implemented the scenario of the occurrence and development of an accident that led to an emergency situation. There was a local destruction of the section of the earth dam due to the loss of static stability of the structure and the filtration strength of the soils of the body and base of the dam. This led to an overflow in the zone of local lowering of the ridge on the destroyed section of the dam at a normal retaining water level, and then to additional erosion of the destroyed section of the structure with the formation of a breach and flooding of the territory downstream. Since the consequences of the accident that occurred under this scenario are classified as a «territorial emergency», the most significant was the risk of destruction of the section of the earth dam.

**Keywords:** reservoir, earth dam, proran, accident, causes, scenario, flooding of the territory, emergency situation

**Format of citation:** Kozlov D.V., Klovsky A.V. Expert assessment of the causes of the accident at the earth dam of the Sardobinsky reservoir // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 5 – S. 75-84. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-75-84.

**Введение.** Сардобинское водохранилище – это искусственный водоем (наливное водохранилище) в Сырдарьинской области Республики Узбекистан (рис. 1) в 140 км от г. Ташкента. Водоохранилище расположено на правой стороне Южно-Голодностепского канала. Площадь водного зеркала составляет около 60 км<sup>2</sup>. Водоохранилище наполняется каналом из р. Сырдарья с востока и вытянуто с юга на север. Размеры водоема: средняя длина – 10 км, средняя ширина – 6,0 км. Занимаемая площадь составляет ~ 60,0 км<sup>2</sup>. Максимальная глубина водохранилища – около 30 м, а емкость оценивается в 922 млн м<sup>3</sup> [1].

Строительство водоема и комплекса гидротехнических сооружений (ГТС) велось в целях орошения земель сельскохозяйственного назначения в Сырдарьинской и соседней Джизакской областях [2]. Началось оно в 2010 г., а завершилось только в 2017 г. Проект строительства Сардобинского водохранилища не согласовывался с Республикой Казахстан несмотря на то, что по зоне влияния на окружающую среду водоем относится к трансграничным водным объектам. По оценкам спутникового мониторинга, водохранилище стало заполняться водой зимой 2013/2014 гг. [3].

Плотина Сардобинского водохранилища сложена суглинисто-супесчаными грунтами, а ее основание характеризуется переслаивающейся толщей лессовидного суглинка и супеси с различными по мощности прослойками и линзами песка.

30 апреля 2020 г. водохранилище было почти заполнено. В последних числах апреля

МЧС Республики Узбекистан сообщило о неблагоприятной гидрометеорологической ситуации и подтоплении вследствие интенсивных дождей населенных пунктов в Самаркандской области. По информации узбекского Гидромета, 27 апреля 2020 г. на Бухару, Навои, Самарканд и Кашкадарью обрушился сильный ураган. Порывы ветра вплоть до 40 м/с (ураган по шкале Бофорта) были зафиксированы в Бухарской, Навоийской, Самаркандской и Кашкадарьинской областях [1-4].

1 мая 2020 г. в западной части плотины Сардобинского водохранилища произошел прорыв дамбы, повлекший за собой затопление сельскохозяйственных угодий, объектов транспортной инфраструктуры в трех районах страны, а также пострадал ряд населенных пунктов Узбекистана и трансграничной зоны [1, 2]: разрушены в разной степени 5 тыс. зданий, есть человеческие жертвы. В результате бедствия были затоплены 276 км<sup>2</sup>, 76 из которых приходится на территорию Казахстана. Глубина воды в зоне устойчивого затопления 4 мая 2020 г. по спутниковым данным [5], достигла 5-6 м. В приграничных районах Туркестанской области Казахстана оказались подтопленными 14 населенных пунктов, были эвакуированы более 30 тыс. чел.

Участок плотины, в котором произошел прорыв, был введен в эксплуатацию в конце 2015 г. (рис. 2). После прорыва дамбы площадь водного зеркала водохранилища сократилась практически в два раза, объем воды в водоеме уменьшился более чем на 70% [5].

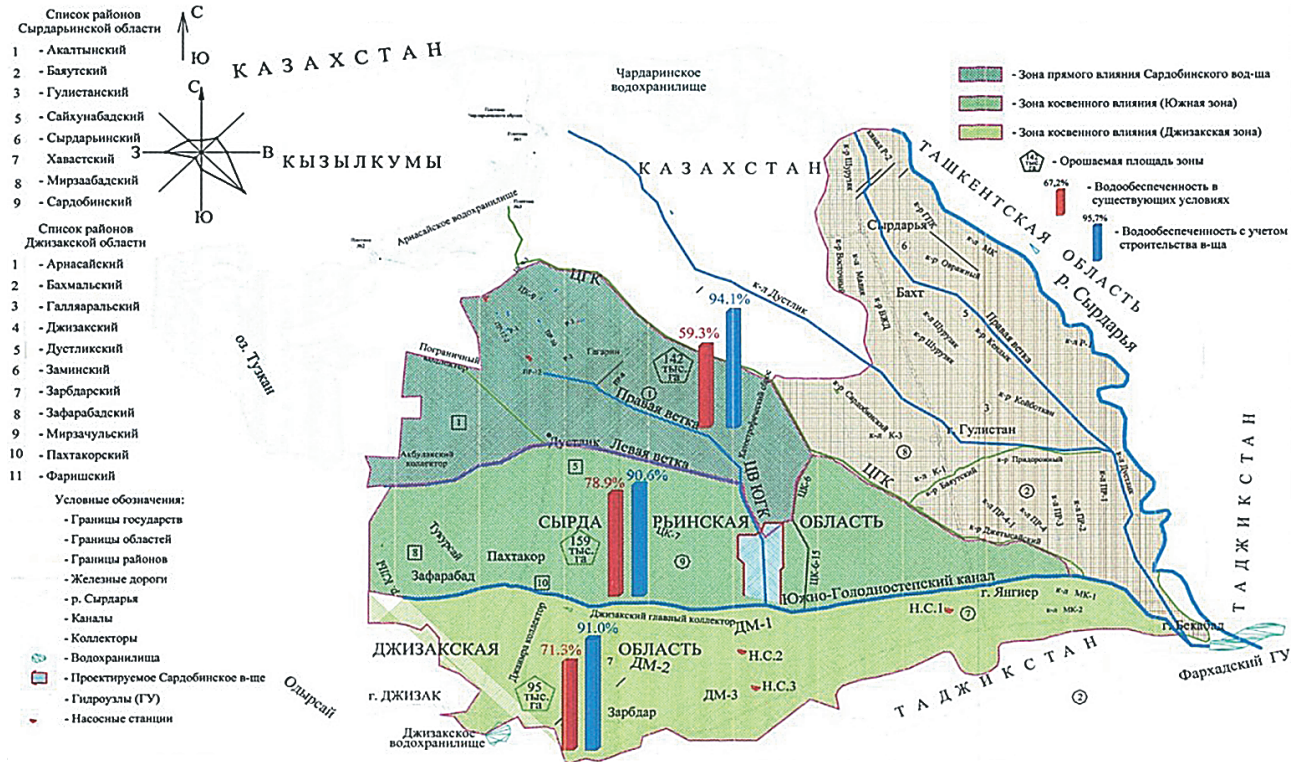


Рис. 1. Схема использования водных ресурсов Сардобинского водохранилища

Fig. 1. Scheme of the use of water resources of the Sardobinsky reservoir



Рис. 2. Прорыв грунтовой плотины Сардобинского водохранилища (фото – сайт cawater-info.net)

Fig. 2. Breakthrough of the earth dam of the Sardobinsky reservoir (photo from the website of the cawater-info.net)

### Материал и методы исследований.

В качестве исходной информации были использованы открытые данные узбекского Гидромета, МЧС Республики Узбекистан, сведения Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан и института «Узгипромелиоводхоз» (в настоящее время – ООО «UZGIP»).

Выявление причин возникновения аварийной ситуации на ГТС возможно главным образом на основе обследования гидротехнического сооружения (объекта аварии), которому предшествует документальное исследование

объекта (проектных материалов, паспорта сооружения, актов предшествующих обследований, схем и прочей документации), позволяющее проанализировать ретроспективные данные о состоянии гидротехнического сооружения и наблюдать его изменения во временном разрезе [6-8].

Обследование гидротехнического сооружения (в том числе после аварии) может быть выполнено тремя основными способами (методами):

- визуальным (или техническим) осмотром;
- инструментальным или инструментальным (измерительным) контролем;
- лабораторным (путем исследования отобранных проб материалов и грунтов).

Документальное исследование [9] включает в себя документальный анализ проекта, который рассматривается как процедура проверки соответствия результатов проектирования и разработки гидротехнического сооружения установленным требованиям.

В экспертной практике применяются четыре группы методов экспертных исследований: всеобщий метод (диалектико-материалистический), общенаучные (анализ, синтез, сравнение, формализация, индукция, дедукция и т.п.), частнонаучные и специальные методы.

Экспертная оценка причин и последствий аварии гидротехнического сооружения, а также определение уровня безопасности ГТС

возможны с использованием качественных методов, применяющихся, как правило, в условиях дефицита информации о сооружении, нагрузках и воздействиях и прочих сведений.

На эксплуатационном этапе жизненного цикла гидротехнического сооружения идентификация опасностей может быть выполнена с использованием детерминированных методов оценки риска – таких, как индуктивный «Что будет, если?..», «проверочный лист» (позволяющий оценить соблюдение нормативных требований) и «контрольная карта», или их комбинация. Такие качественные методы служат основой для более детальных и полных количественных методов анализа, а также и численных. Указанные методы, и особенно их комбинация, являются достаточно надежными и эффективными, позволяющими качественно выявлять отклонения от нормальных условий эксплуатации гидротехнического объекта.

**Результаты и обсуждение.** На этапе выявления вероятных причин аварий гидротехнических сооружений и предварительного анализа опасностей происходит идентификация явлений и процессов, способных инициировать такие чрезвычайные события. Их именуют возможными опасными факторами.

Российские нормативные документы [10-12] рекомендуют группировать опасные факторы, способные инициировать аварии гидротехнических сооружений, на природные и техногенные, а также внешние и внутренние.

К природным опасностям относят ледовые, волновые и ветровые явления и процессы; температурные и сейсмические воздействия; другие опасные и разрушительные природные явления – такие, как ливни, оползни, обвалы, сели, лавины; залегание слабых, имеющих низкую несущую способность грунтов в основании; суффозионные, криогенные и карстовые процессы.

Крупные аварии на железных и автомобильных дорогах, крушение самолетов и прочих летательных аппаратов; аварии на объектах трубопроводного транспорта (природного газа, нефти и нефтепродуктов, других пожаро- и взрывоопасных веществ), взрывы и пожары на промышленных объектах, расположенных в районе размещения гидросооружения, относятся к техногенным факторам опасности аварий [11, 13]. К ним же относятся аварии, возможные на сооружениях, расположенных выше и ниже анализируемого ГТС [13] – например, в каскаде гидроузлов.

К внешним по отношению к ГТС опасностям аварий относятся природные воздействия

сейсмического, гидрометеорологического (волны, ветер, ледовые, дождевые (ливневые) явления и процессы), морфологического (оползни, сели и др.) характера, а также техногенное воздействие опасных объектов, расположенных в районе нахождения конкретного гидротехнического сооружения [11].

К внутренним опасностям аварий ГТС относятся опасности природного и техногенного характера, присущие самим ГТС, в том числе человеческий фактор (ошибки изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации конкретного ГТС, неправильные действия или бездействие персонала в аварийных ситуациях и т.д.); изменения свойств материалов гидротехнических сооружений и их оснований; статические и динамические нагрузки на сооружения и их основания, переменные температурные воздействия; суффозионные процессы и т.д. [13].

Последствия возможных аварий или нарушений правил эксплуатации ГТС и их оценки зависят, в том числе, от класса гидротехнического сооружения, в соответствии с которым устанавливаются дифференцированные требования по долговечности, прочности и устойчивости, а также по степени надежности ГТС против разрушающего воздействия природных и техногенных факторов. Класс сооружения (плотины Сардобинского водохранилища) пошагово определен в таблице 1 согласно требованиям Строительных норм и правил Республики Узбекистан (РУ): КМК 2.06.01-97 [14] и КМК 2.06.05-98 [15].

В минимально необходимом объеме в состав контролируемых диагностических показателей и признаков гидротехнических сооружений I-III классов (именно к этой группе относится плотина Сардобинского водохранилища) должны быть включены для грунтовых плотин [10] (п. 7.2.4):

- осадки гребня и основания;
- горизонтальные перемещения гребня (берм);
- фильтрационные (пьезометрические) напоры в области фильтрации;
- положение поверхности депрессии фильтрационного потока;
- фильтрационный расход через плотину и основание;
- градиенты фильтрационных напоров в теле плотины, на противофильтрационных элементах, в основании;
- проявления очагов сосредоточенной фильтрации, суффозии грунта, трещин и просадок грунта, повреждений волновых креплений откосов, заилений дренажных устройств [10].

Таблица 1

Table 1

### Определение класса плотины Сардобинского водохранилища

#### Determination of the dam class of the Sardobinsky reservoir

Шаг п/п Step item	Характеристика сооружения Characteristics of the structure	Текст и/или приложение Строительных норм и правил Text and/or annex of the Building Codes	Требование (критерий) Requirement (criterion)	Класс сооружения Class of the structure
1	2	3	4	5
Строительные нормы и правила (РУ) КМК 2.06.01-97 «Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования» [14] Building Codes (RU) КМК 2.06.01-97 «Hydraulic structures. Main provisions of design» [14]				
1	<p>Плотина однородная из суглинисто-супесчаного грунта. Высота (макс.) плотины – 33 м Основание – массив лессовидных суглинков и супесей <i>The dam is homogeneous of loamy-sandy loam soil. The height (max.) of the dam – 33 m. Base – a massif of loess-like clay loam and loamy sand</i></p>	<p>Приложение 2 (обязательное) таблица 1 «Класс основных постоянных гидротехнических сооружений в зависимости от их высоты и типа грунтов основания» (стр.44 [14]) <i>Annex 2 (mandatory) Table 1 «Class of main permanent hydraulic structures depending on their height and type of soil of the base» (page 44 [14])</i></p>	<p>Тип сооружения – плотина из грунтовых материалов. Тип грунтов основания – Б (примечание: песчаные, крупнообломочные и глинистые грунты в твердом и полутвердом состоянии) Высота сооружения – от 15 до 35 м <i>The type of structure is a dam made of soil materials. Base soil type – B (note: sandy, coarse and clay soils in a hard and semi-solid state) The height of the structure is from 15 to 35 m</i></p>	III
2	<p>Объем водохранилища – 922 млн м<sup>3</sup> <i>The volume of the reservoir is 922 million m<sup>3</sup></i></p>	<p>Приложение 2 (обязательное) таблица 3 «Класс основных постоянных гидротехнических сооружений в зависимости от последствий нарушения их эксплуатации (социально-экономической ответственности)» (стр.46 [14]), п. 4 <i>Annex 2 (mandatory) Table 3 «The class of main permanent hydraulic structures depending on the consequences of violation of their operation (socio-economic responsibility)» (p.46 [14]), it.4</i></p>	<p>Объект гидротехнического строительства – подпорное сооружение водохранилища мелiorативного назначения объемом свыше 200 до 1000 млн.м<sup>3</sup> <i>The object of hydraulic engineering construction is a retaining structure of a reservoir for reclamation purposes with a volume of more than 200 to 1000 million m<sup>3</sup></i></p>	II
3	<p>Класс сооружения, определенный по таблице 1 – III. Класс сооружения, определенный по таблице 3 – II <i>The class of the structure determined according to Table 1 – III. The class of the structure determined according to Table 3 – II</i></p>	<p>Приложение 2 (обязательное) II. 2 <i>Annex 2 (mandatory) It. 2)</i></p>	<p>Класс основных (постоянных) гидротехнических сооружений следует принимать по наибольшему его значению, определенному по табл. 1-3 <i>The class of basic (permanent) hydraulic structures should be taken according to its highest value, determined by Table. 1-3</i></p>	II

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
4	<p>Плотина является напорным фронтом. Класс сооружения – II <i>The dam is a pressure front. The class of the structure – II</i></p>	<p>Приложение 2 (обязательное) П. 2 (абзац 3) <i>Annex 2 (mandatory) It. 2 (indent 3)</i></p>	<p>Класс основных сооружений, входящих в состав напорного фронта, должен устанавливаться по сооружению, отнесенному к более высокому классу <i>The class of the main structures that are part of the pressure front should be established according to the structure assigned to a higher class</i></p>	II
5	<p>Класс плотины по [14] – II класс <i>The dam class by [14] – II class</i></p>	<p>Строительные нормы и правила (РУ) КМК 2.06.05-98 «Плотины из грунтовых материалов» [15] <i>Building Codes (RU) KMK 2.06.05-98 «Dams made of soil materials» [15]</i></p> <p>Введение [15] <i>Introduction [15]</i></p>	<p>Классы плотин устанавливаются в соответствии с требованиями [14]. Класс сооружения может изменяться в процессе его эксплуатации, если изменяются принятые в проекте условия <i>Dams classes are established according to the requirements [14]. The class of the structure can be changed in the process of its operation if the taken accepted conditions change</i></p>	II
6	<p>Длина плотины – 28500 м Емкость (объем) водохранилища – 922 млн м<sup>3</sup> <i>The length of the dam – 28500 m The capacity (volume) of the reservoir – 922 million m<sup>3</sup></i></p>	<p>Примечание 1. Класс плотин, указанных в пп. 1 и 2 настоящего примечания, следует повышать на один по отношению к определенному [14] <i>Note 1. Class of dams specified in paras. 1 and 2 of this note, should be increased by one in relation to the determined [14]</i></p>	<p>1. Согласно положению, утвержденному Межгосударственной комиссией по большим плотинам (бюллетень № 31а), большими считаются плотины, высота которых 15 м или находится в пределах 10-15 м при наличии одного из следующих признаков: - длина плотины больше 500 м; - емкость водохранилища более 100 тыс.м<sup>3</sup>; - максимальный сбросной расход больше 2000 м<sup>3</sup>/с 2. К большим плотинам, независимо от высоты, относятся также плотины, которые сооружаются в особо сложных инженерно-геологических условиях и представляют собой уникальные сооружения <i>1. According to the regulation approved by the International Commission on Large Dams (Bulletin No. 31a), dams whose height is 15 m or is in the range of 10-15 m are considered large if one of the following features is present: - the length of the dam is more than 500 m; - reservoir capacity more than 100 thousand m<sup>3</sup>; - maximum discharge flow rate greater than 2000 m<sup>3</sup>/s. 2. Large dams, regardless of height, also include dams which are built in particularly difficult engineering-geological conditions and are unique structures</i></p>	I
Установленный согласно строительным нормам и правилам Республики Узбекистан класс плотины Сардобинского водохранилища <i>Established in accordance with the Building Codes of the Republic of Uzbekistan, the dam class of the Sardobinsky a reservoir</i>				I

Согласно методике Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [13] аварии ГТС, приводящие к возникновению ЧС на определенной территории и акватории, подразделяются на две основные группы:

1) аварии ГТС без прорыва напорного фронта;

2) аварии ГТС с прорывом напорного фронта в результате образования прорана или бреши.

Рассматриваемый случай аварии, произошедшей 1 мая 2020 г. на Сардобинском водохранилище, относится ко 2-й группе и «... характеризуется образованием прорана

в сооружении из грунтовых материалов (плотины) без аварийного повышения уровня воды со стороны верхнего бьефа» [13].

В карте оценки рисков (табл. 2) анализируемые опасности группируются в зависимости от степени их значимости и вероятности их реализации. Наиболее опасными признаются риски, сгруппированные выше «диагонали допустимых рисков» в позициях, соответствующих одновременно высокой степени значимости и высокой вероятности реализации, высокой степени значимости и средней степени вероятности реализации, средней степени значимости и высокой степени вероятности реализации.

Таблица 2

## Карта оценки рисков аварии ГТС

Table 2

## GTS accident risk assessment map

Степень тяжести (значимость) / Частота (вероятность) <i>Degree of heaviness (importance) / Frequency (probability)</i>	Значимость высокая <i>High importance</i>	Значимость средняя <i>Average importance</i>	Значимость низкая <i>Low importance</i>
Вероятность высокая <i>Probability high</i>	Опасные риски <i>Dangerous risks</i>	Опасные риски <i>Dangerous risks</i>	Допустимые риски <i>Permissible risks</i>
Вероятность средняя <i>Probability average</i>	Опасные риски <i>Probability</i>	Допустимые риски <i>Permissible risks</i>	Низкие риски <i>Low risks</i>
Вероятность низкая <i>Probability low</i>	Допустимые риски <i>Permissible risks</i>	Низкие риски <i>Low risks</i>	Низкие риски <i>Low risks</i>

Значимость или степень тяжести представляет собой характеристику стадии возможного ущерба от рискованного события. Вероятность реализации риска определяет вероятность наступления рискованного события (аварии ГТС), приносящего ущерб.

Опасность аварии ГТС определяется как 4-я укрупненными показателями [12]:

- № 1 – превышением принятых при обосновании конструкции гидротехнического сооружения природных нагрузок и воздействий;

- № 2 – обоснованностью и соответствием проектных решений современным нормативным требованиям;

- № 3 – соответствием проекту конструкции гидротехнического сооружения, технологии его возведения, условий его эксплуатации и свойств материалов сооружения и основания;

- № 4 – возможными последствиями и ущербом при аварии ГТС.

Опасными (высокой и средней значимости) для возникновения аварии на плотине Сардобинского водохранилища могут быть признаны (в том числе согласно

национальному стандарту [16]) следующие риски:

*По показателю № 1.* На территории расположения ГТС увеличена балльность возможной сейсмической нагрузки; в районе расположения ГТС увеличены ветровые нагрузки; в береговой зоне ГТС отмечены оползневые явления; в районе расположения ГТС отмечены суффозионные явления.

*По показателю № 2.* Есть ошибки в расчетах устойчивости откосов ГТС; принятые проектные решения по сопряжению сооружения и основания недостаточно надежны; недостаточно обосновано назначение ветровых нагрузок.

*По показателю № 3.* Имеют место несоответствия проекту материалов сооружения и основания, при которых возможно возникновение аварийной ситуации (потеря устойчивости, суффозионный размыв); некоторое несоответствие проекту очертаний откосов плотины; несоответствие проекту физико-механических и фильтрационных характеристик грунтов тела и основания плотины.

*По показателю № 4.* Межрегиональный и межгосударственный масштаб аварии и ее последствий.

Исходя из вышеназванного перечня наиболее вероятными факторами риска возникновения аварии на грунтовой плотине Сардобинского водохранилища могут быть:

- опасность перелива воды через гребень плотины в случае экстремального дождя (ливня);
- опасность землетрясений, которые могут вызвать значительную деформацию и разрушение сооружения;
- опасность эрозии (в первую очередь – водной), которая может вызвать склоновые деформации (глубокие промоины) на низовом откосе плотины вследствие выпадения обильных дождей или создать риск местных разрушений плотины вблизи водопропускного тракта водовыпуска и/или водозаборного сооружения;
- опасность суффозии в песчаном лессовом основании, а также фильтрации на участке низового откоса плотины в условиях высоких уровней воды в наливном водохранилище по причине, в том числе, неэффективной работы дренажа или на верховом откосе в результате выноса частиц гравийно-песчаной смеси через поры каменного крепления с последующей потерей работоспособности крепления откоса.

### Выводы

С использованием общенаучных методов (сравнение, анализ, формализация) и документального анализа проектных материалов ГТС с некоторыми элементами визуального обследования (фотофиксация (из открытых источников) дефектов и недостатков, визуальное наблюдение) были сформулированы основные причины возникновения аварийной ситуации в районе ПК 60 дамбы Сардобинского водохранилища 1 мая 2020 г. В отсутствие внешних техногенных причин единственно возможной внешней природной причиной можно считать воздействие сил природы, а именно неблагоприятной гидрометеорологической

### Библиографический список

1. Что известно о Сардобинском водохранилище: Справка//uz.sputniknews.ru (дата обращения: 15.09.2020). – URL: <https://uz.sputniknews.ru/20200505/Spravka-cto-izvestno-o-Sardobinskom-vodokhranilische-14060809.html>.
2. Ельдана Анварова. Какие выводы стоит сделать после Сардобинской трагедии? 19.04.2021. – URL: <https://the-steppe.com/gorod/kakie-vyvody-stoit-sdelat-posle-sardobinskoy-tragedii>.
3. Санджай Гири, Геннадий Донциц, Марк Хегнауэр. Быстрый анализ прорыва

обстановки (наличие штормового ветра и интенсивных осадков, но в пределах расчетной повторяемости). К внутренним причинам природного и техногенного характера относятся: нарушение фильтрационной и механической прочности грунтов тела и основания плотины при их неоднородности (неравномерности уплотнения в теле плотины и неоднородности грунтов в основании) и наличии суффозионных процессов; потеря статической устойчивости низовой призмы земляной плотины; нарушение работоспособности дренажной системы; потеря работоспособности крепления (каменной наброски) верхового откоса плотины.

Анализ природно-климатических условий территории размещения гидротехнических сооружений Сардобинского водохранилища, показателей природных и техногенных воздействий на ГТС, компоновки сооружений, их конструкций и опыта эксплуатации позволяет считать, что на плотине Сардобинского водохранилища реализован следующий сценарий возникновения и развития аварии ГТС, приведший к чрезвычайной ситуации: «... произошло локальное разрушение участка земляной плотины вследствие потери статической устойчивости плотины и фильтрационной прочности грунтов тела и основания плотины, что привело к переливу в зоне локального понижения гребня на разрушенном участке дамбы при отметке НПУ, а далее – к дополнительному размыву разрушенного участка плотины с образованием прорана и затоплением территории в нижнем бьефе» [11].

Качественная оценка наблюдавшегося 1 мая 2020 г. сценария развития аварии на ГТС Сардобинского водохранилища, выполненная экспертным путем, показала, что существенным явился риск разрушения участка грунтовой плотины, поскольку последствия аварии по этому сценарию классифицируются как «территориальная чрезвычайная ситуация».

### References

1. Spravka: chto izvetno o Sardobinskom vodokhranilishche. uz.sputniknews.ru. Data obrashcheniya: 15.09.2020. <https://uz.sputniknews.ru/20200505/Spravka-cto-izvestno-o-Sardobinskom-vodokhranilische-14060809.html>
2. Eldana Anvarova. Kakie vyvody stoit sdelat posle Sardobinskoy tragedii? 19 apr, 2021. <https://the-steppe.com/gorod/kakie-vyvody-stoit-sdelat-posle-sardobinskoy-tragedii>.
3. Sandzhaj Giri, Gennadij Donchits, Mark Hegnauer. Bystry analiz propuva plotiny na Sardobinskom vodokhranilishche v Uzbekistane.



плотины на Сардобинском водохранилище в Узбекистане. НИИ DELTARES, Нидерланды, 09.05.2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.22899.14885.

4. Узгидромет объяснил причины урагана 27 апреля. Метеожурнал. 29.04.2020. – URL: <https://meteojournal.ru/novosti/uzgidromet-obyasnil-prichiny-uragana-27-aprelya/>.

5. **Константинова А.М., Лупян Е.А.** Анализ последствий прорыва дамбы Сардобинского водохранилища 1 мая 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. – Т. 17, № 3. – С. 261-266.

6. **Векслер А.Б., Ивашинцов Д.А., Стефанишин Д.В.** Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка рисков и принятие решений. – СПб.: ОАО ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2002. – 591 с.

7. **Козлов Д.В., Юрченко А.Н.** Важность своевременной оценки технического состояния гидротехнических сооружений для их безаварийной эксплуатации // Гидротехническое строительство. – 2020. – № 11. – С. 12-19.

8. **Козлов Д.В., Матвеев Ф.В.** Современные аспекты государственного регулирования безопасности гидротехнических сооружений // Природообустройство. – 2016. – № 3. – С. 45-51.

9. ГОСТ Р МЭК 61160-2015. Национальный стандарт Российской Федерации Проектный менеджмент. Документальный анализ проекта. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200127246>.

10. СТО 70238424.27.140.035-2009. Гидроэлектростанции. Мониторинг и оценка технического состояния гидротехнических сооружений в процессе эксплуатации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093524>.

11. СТО 70238424.27.140.026-2009. Гидроэлектростанции. Оценка и прогнозирование рисков возникновения аварий гидротехнических сооружений. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093513>.

12. ГОСТ Р 22.2.09-2015. Национальный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Экспертная оценка уровня безопасности и риска аварий гидротехнических сооружений. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200127764>.

13. Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения (за исключением судоходных и портовых гидротехнических сооружений): приказ от 29 марта 2016 г. № 120.

НИИ DELTARES, Nuderlandy, 09.05.2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.22899.14885

4. Uzgidromet objyasnil prichiny uragana 27 aprelya. Meteo Zhurnal. 29.04.2020. <https://meteojournal.ru/novosti/uzgidromet-obyasnil-prichiny-uragana-27-aprelya/>

5. **Konstantinova A.M., Lupyan E.A.** Analiz posledstvij proryva damby Sardobinskogo vodohranilishcha 1 maya 2020 g. // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2020. – Т. 17, № 3. – С. 261-266.

6. **Veksler A.B., Ivashintsov D.A., Srefanishin D.V.** Nadezhnost, sotsialnaya i ekologicheskaya bezopasnost gidrotehnicheskikh objektov: otsenka riskov prinyatie reshenij. – SPb.: ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2002. – 591 с.

7. **Kozlov D.V., Yurchenko A.N.** Vazhnost svoevremennoj otsenki tehničeskogo sostoyaniya gidrotehnicheskikh sooruzhenij dlya ih bezavarijnoj ekspluatatsii // Gidrotehnicheskoe stroitelstvo. – 2020. – № 11. – С. 12-19.

8. **Kozlov D.V., Matveev F.V.** Sovremennye aspekty gosudarstvennogo regulirovaniya bezopasnost gidrotehnicheskikh sooruzhenij // Prirodoobustrojstvo. – 2016. – № 3. – С. 45-51.

9. ГОСТ Р МЭК 61160-2015 Natsionalny standart Rossijskoj Federatsii Proektny menedzhment. Dokumentalny analiz proekta. <https://docs.cntd.ru/document/1200127246>

10. СТО 70238424.27.140.035-2009 Gidroelektrostantsii. Monitoring i otsenka tehničeskogo sostoyaniya gidrotehnicheskikh sooruzhenij v protsesse ekspluatatsii. <https://docs.cntd.ru/document/1200093524>

11. СТО 70238424.27.140.026-2009 Gidroelektrostantsii. Otsenka i prognozirovaniya riskov vzniknoveniya avarij gidrotehnicheskikh sooruzhenij. <https://docs.cntd.ru/document/1200093513>

12. ГОСТ R22.2.09-2015 Natsionalny standart Rossijskoj Federatsii. Bezopasnost v chrezvychajnyh situatsiyh. Ekspertnaya otsenka urovnya bezopasnostya i riska avarij gidrotehnicheskikh sooruzhenij. <https://docs.cntd.ru/document/1200127764>

13. Metodika opredeleniya razmera vreda, kotory mozhet byt prichinen zhizni, zdorov'yu fizicheskikh lits, imushchestvu fizicheskikh i yuridicheskikh lits v rezul'tate avarii gidrotehnicheskogo sooruzheniya (za iskl'yucheniem sudohodnyh i portovyh gidrotehnicheskikh sooruzhenij). Prikaz ot 29 marta 2016 goda № 120. Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tehnologicheskomu i atomnomu nadzoru. <https://docs.cntd.ru/document/420349103>

Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420349103>.

14. Строительные нормы и правила (ПУ) КМК 2.06.01-97 «Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования». Ташкент, 1997. – URL: <https://gostperevod.ru/kmk-2-06-01-97.html>.

15. Строительные нормы и правила (ПУ) КМК 2.06.05-98 «Плотины из грунтовых материалов». Ташкент, 1998. – URL: <https://gostperevod.ru/kmk-2-06-05-98.html>.

16. ГОСТ Р 58376-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Мелиоративные системы и гидротехнические сооружения. Эксплуатация. Общие требования. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200163279>.

#### Критерии авторства

Козлов Д.В., Кловский А.В. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 31.08.2021 г.

Одобрена после рецензирования 18.10.2021 г.

Принята к публикации 01.11.2021 г.

14. Stroitelnye normy i pravila (RU) KMK 2.06.01-97 «Gidrotehnicheskiesooruzheniya. Osnovnye polozheniya proektirovaniya, Tashkent, 1997 <https://gostperevod.ru/kmk-2-06-01-97.html>

15. Stroitelnye normy i pravila (RU) KMK 2.06.05-98 «Plotiny iz gruntovyh materialov», Tashkent, 1998 <https://gostperevod.ru/kmk-2-06-05-98.html>

16. GOST R58376-2019 Natsionalny standart Rossijskoj Federatsii. Meliorativnye sistemy i gidrotehnicheskogo sooruzheniya. Ekspluatatsiya. Obshchie trebovaniya. <https://docs.cntd.ru/document/1200163279>

#### Criteria of authorship

Kozlov D.V., Klovsky A.V. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

#### Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 31.08.2021

Approved after reviewing 18.10.2021

Accepted for publication 01.11.2021