

### ГЕОЛОГИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ЗАПАДНОГО УРАЛА

Выпуск 3 (40)

### МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## ГЕОЛОГИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ЗАПАДНОГО УРАЛА

Сборник научных статей

Выпуск 3(40)

Под общей редакцией П. А. Красильникова



Пермь 2020

УДК 550.8+622 ББК 26.3 Г36

Геология и полезные ископаемые Западного Урала [Электрон-ГЗ6 ный ресурс]: сборник научных статей / под общ. ред. П. А. Красильникова; Пермский государственный национальный исследовательский университет. — Пермь, 2020. — Вып. 3(40). — 17 Мб; 321 с. — Режим доступа: http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/geologiya-i-poleznye-iskopaemye-zapadnogo-urala-40.pdf. — Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-3085-1 ISBN 978-5-7944-3464-4 (вып. 3(40))

Сборник содержит научные статьи по докладам 40-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Статьи посвящены геологии западного склона Урала, Камского Приуралья и прилегающих территорий. Рассмотрены общие вопросы геологии, проблемы минералогии, литологии, месторождений твёрдых полезных ископаемых, нефти и газа, а также вопросы геофизических методов исследования недр, гидрогеологии, карстоведения, инженерной геологии и геоэкологии.

Для геологов широкого профиля, нефтяников, геофизиков и других специалистов по исследованию недр Земли, добыче полезных ископаемых, экономистов, а также студентов геологических направлений и специальностей вузов.

УДК 550.8+622 ББК 26.3

Печатается по решению ученого совета геологического факультета Пермского государственного национального исследовательского университета

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

к.г.н. П. А. Красильников (гл. редактор), д.г.-м.н. Р. Г. Ибламинов, д.г.-м.н. Т. В. Карасёва, д.г.-м.н. В. Н. Катаев, д.т.н. В. И. Костицын, д.г.-м.н. О. Б. Наумова, д.г.-м.н. В.В. Середин

### П. Миланович<sup>1</sup>, Н. Г. Максимович<sup>2</sup>, О. Ю. Мещерякова<sup>2</sup>

 $^{1}$ Университет г. Белграда, г. Белград, Сербия  $^{2}$ ПГНИУ, nmax54@gmail.com, olgam.psu@gmail.com

# ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА УСТОЙЧИВОСТИ ПЛОТИН И ВОДОХРАНИЛИЩ В РАЙОНАХ РАЗВИТИЯ ЭВАПОРИТОВЫХ ПОРОД

Понимание природы карстообразования в эвапоритах является сложной геотехнической задачей. Даже небольшое количество гипса и солей в случае их растворения могут привести к крайне нежелательным последствиям. В связи с этим необходимым условием устойчивости и безопасной работы плотин является организация системы мониторинга. В статье рассмотрены его основные виды, цель, задачи и методы. Растворение в эвапоритах происходит чрезвычайно быстро (особенно в галогенных породах), поэтому передача данных мониторинга в режиме реального времени является наиболее важным требованием.

Ключевые слова: мониторинг устойчивости, плотины и водохранилища, эвапориты

#### P. Milanović<sup>1</sup>, N. G. Maksimovich<sup>2</sup>, O. Yu. Meshcheriakova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Belgrade, Belgrade, Serbia <sup>2</sup>Perm State University, nmax54@gmail.com, olgam.psu@gmail.com

## THE ORGANIZATION OF THE MONITORING SYSTEM OF DAMS AND RESERVOIRS STABILITY IN AREAS OF EVAPORITE ROCKS DISTRIBUTION

The understanding of properties of evaporite karst nature is complex geotechnical task. Even a small amount of gypsum and salt, if dissolved, can lead to extremely undesirable consequences. In this regard, the organization of a monitoring system is a prerequisite for the stability and safe operation of dams. The article is devoted to monitoring main types, purpose, objectives and methods. Dissolution in evaporite occurs extremely quickly (especially in halogen rocks), therefore, the transmission of real-time monitoring data is the most important requirement.

Key words: sustainability monitoring, dams and reservoirs, evaporites

Гипсовый и соляной виды карста являются наиболее опасными по сравнению с карбонатным, в связи с этим одним из неблагоприятных инженерногеологических условий строительства гидротехнических сооружений является наличие в их основании эвапоритов.

В мире насчитывается около 90 (действующих, недостроенных, разрушенных) плотин, в основании которых залегают сульфатные и соляные породы.

Наличие растворимых пород и развитие карстовых процессов в районе напорных гидротехнических сооружений создает серьезные проблемы при их эксплуатации, значительно повышает стоимость строительства и ремонта, а в ряде случаев может привести к разрушению плотины и авариям, что сопровождается человеческими жертвами, как, например, при катастрофе на пло-

-

<sup>©</sup> Миланович П., Максимович Н. Г., Мещерякова О. Ю., 2020

тине Сен-Френсис в США. Как показала практика, стоимость ремонтных работ, связанных с развитием карстовых процессов, может быть сопоставима со стоимостью строительства сооружения (Максимович, 2006; Milanović, 2019).

Возведение водоподпорных сооружений может привести к изменению гидродинамического режима, появлению в массиве вод, не насыщенных сульфатом кальция или хлоридом натрия. Это создает условия для развития или интенсификации карста, что ставит под угрозу существование сооружений. Активизация карста может быть также связана с увеличением трещиноватости вследствие фильтрационных деформаций, выветривания пород в процессе строительства. Определенную роль играет увеличение растворимости пород под действием нагрузки от сооружения (Maksimovich, 2018). Практика строительства плотин на эвапоритах показывает (Лыкошин, 1968, 1992; Максимович, 2006; James, 1978; Johnson, 2008; Klimchouk, 1996; Maksimovich, 2018; Milanović, 2000), что даже небольшое количество гипса и солей в случае их растворения могут привести к крайне нежелательным последствиям. Меньшая несущая способность эвапоритов по сравнению с известняками приводит к обрушению сводов даже небольших полостей. В связи с этим необходимым условием устойчивости и безопасной работы плотин является организация системы мониторинга (Milanović, 2019).

Мониторинг гидротехнических сооружений представляет собой непрерывный процесс измерения и контроля качественных и количественных изменений различных гидрогеологических, гидрологических, инженерно-геологических и гидрохимических параметров, сначала в естественных условиях, а затем во время эксплуатации водохранилища и плотины. Роль мониторинга по предотвращению нежелательных явлений достигается точной диагностикой любых потенциально разрушительных процессов в режиме реального времени.

Основные виды мониторинга:

- мониторинг любых изменений, которые могут поставить под угрозу устойчивость плотины (например, проницаемость цементационной завесы, процессы после цементации, развитие пещер или каналов в основании грунта, просачивание в теле плотины и др.);
- мониторинг региональных воздействий, обусловленных изменениями водного режима и качества воды, вызванными строительством плотин и водохранилищ (изменения режима поверхностных и подземных вод, загрязнение и другие воздействия на окружающую среду и др.).

Проектирование сети мониторинга основано на анализе текущих знаний о региональных и местных гидрогеологических, инженерно-геологических и гидрологических свойствах, а также характеристиках строящихся гидротехнических сооружений.

Общая цель мониторинга — предотвращение возможных негативных последствий. Роль данных мониторинга заключается в предоставлении информации, необходимой для выявления источника проблемы, и в предложении наиболее эффективных мер по исправлению положения. Мониторинг за устойчивостью плотин на эвапоритах должен включать в себя следующие виды работ: наблюдения за режимом подземных вод, родниками, гидрохимическое опробование, наблюдения за деформациями земной поверхности и развитием эрозии (Milanović, 2019; Milanović, 2019а).

**Наблюдения за режимом подземных вод.** Режим уровня грунтовых вод в комплексе плотина—водохранилище является основным параметром, который позволяет быстро оценить возможность активизации карста, представляющую угрозу для сооружения.

Интенсивная фильтрация и утечки из водохранилища по карстовым полостям приводят к изменению (обычно повышению) температуры подземных вод. Измерение температуры подземных вод дает дополнительную информацию о зонах фильтрации по карстовым каналам. Пьезометрическая сеть может использоваться для проведения исследований фильтрации или утечек с использованием индикаторных методов. Эти исследования могут предоставить информацию о характере потока, скоростях утечки и их изменениях с течением времени. Увеличение скоростей фильтрации является показателем увеличения активности карста.

Например, на Камской плотине (Пермский край) контроль изменений гидрогеологической обстановки с целью оценки состояния гипса в основании сооружения осуществляется с 1955 г. с помощью сети пьезометров и скважин для контроля трех водоносных горизонтов, и в настоящее время состоит из 422 пунктов наблюдений.

**Наблюдения за родниками.** Заполнение водохранилища в эвапоритах сопровождается растворением пород, что приводит к изменению расхода и химического состава родников и появлению новых. В обоих случаях естественный режим поверхностных и подземных вод нарушается. В связи с этим родники, особенно рядом со створом плотины, должны быть включены в программу мониторинга как минимум за один гидрологический год до начала строительства.

Появление новых родников и резкое увеличение их расхода являются показателем угрожающего развития карстовых процессов и требуют срочного анализа и, при необходимости, немедленных корректирующих действий.

Программа мониторинга родников должна включать измерения расхода, температуры, концентрации сульфатов и хлоридов, количества взвешенных частиц, колебаний уровня воды в водохранилище и атмосферных осадков.

Для мониторинга интенсивности движения поверхностных вод следует применять различные методы исследования: картографирование дна водоема с помощью сонарной техники и дайверами; использование индикаторов-красителей для обозначения зоны с точками поглощения; проверка трассера в каждой обнаруженной точке поглощения и терморезистивиметрические измерения. Необходимо периодически проводить измерения температуры воды на глубине, чтобы определить области интенсивного поглощения карстовыми полостями. Такие исследования позволяют с большой точностью очерчивать зоны просачивания—утечки. Также важно следить за потоками и в соседних долинах.

В эвапоритах очень важен гидрохимический мониторинг родников, пьезометрических скважин, дренажей и водохранилища. Растворение горных пород, особенно гипса и соли, сопровождается значительными изменениями состава поверхностных и подземных вод. Вымывание неконсолидированных отложений из карстовых полостей приводит к увеличению содержания взвешенных частиц и мутности воды. Пробы воды для полного химического анализа и измерения взвешенной нагрузки следует брать из наблюдательных скважин не реже одного раза в месяц. На основании результатов анализа строятся карты и профили минерализации, иллюстрирующие рН и концентрации сульфатов, гидрокарбонатов, хлоридов и других компонентов, которые позволят идентифицировать зоны опреснения.

**Наблюдения за деформацией земной поверхности и эрозией.** Развитие новых карстовых полостей, как правило, сопровождается деформацией вышележащей земной поверхности. Это может представлять наибольшую опасность в районе плотины и основных ее сооружений. Необходимо создать сеть реперов для определения зон оседания с использованием в том числе LiDAR-съемки.

Геодезический мониторинг для точных наблюдений за движением грунта в местах проседания (в основном вертикального движения) могут быть очень полезны при обнаружении смещений. В последнее время, вследствие использования спутниковых технологий, этот метод мониторинга стал довольно простым и достаточно точным.

Согласно требованиям ICOLD (Международной комиссии по крупным плотинам), мониторинг плотин является обязательным во всех странах. Кроме того, разработка плана защитных мероприятий при строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений является важным требованием в любом инженерном проекте, особенно если в основании присутствуют эвапориты.

Основной целью защитных мероприятий является определение потенциального риска и его предотвращение. Качество и регулярность получения данных, собираемых сетью мониторинга, играет решающую роль. Растворение в эвапоритах происходит чрезвычайно быстро (особенно в галогенных породах), поэтому передача данных мониторинга в режиме реального времени является наиболее важным требованием. Например, быстрые изменения в химическом составе воды в родниках ниже по течению или новые проседания земной поверхности требуют немедленных реабилитационных мероприятий.

Важным требованием также является разработка технических и эксплуатационных правил для предотвращения разрушительных процессов на площадке плотины и минимизации угроз ее стабильности, а также загрязнения окружающей среды на водозаборных сооружениях. Эти правила должны содержать альтернативные решения (временные или постоянные) для эвакуации людей из находящихся под угрозой районов, обеспечения альтернативными источниками водоснабжения и т.д. В рамках плана защитных мероприятий общий подход к восстановительным работам должен быть разработан заранее.

#### Библиографический список

- 2. *Лыкошин А. Г., Молоков Л. А., Парабучев И. А.* Карст и строительство гидротехнических сооружений. М.: Гидропроект, 1992. 322 с.
- 3. *Максимович Н. Г.* Безопасность плотин на растворимых породах (на примере Камской ГЭС). Пермь: ООО ПС «Гармония», 2006. 212 с.
- 4. *James A. N., Lupton A.R.R.* Gypsum and anhydrite in foundations of hydraulic structures // Geotechnique. Vol. 3, 1978. P. 249-272.
- 5. *Johnson K. S.* Gypsum-karst problems in constructing dams in the USA // Environmental Geology. Vol. 53. 2008. P. 945–950.
- 6. *Klimchouk A., Forti P., Cooper A.* Gypsum karst of the World: a brief overview // International Journal of Speleology. 1996. Vol. 25. Chapter II.1. P. 159-181.
- 7. *Maksimovich N., Meshcheriakova O.* The Experience of the Dam Construction on Gypsum-Bearing Rocks (in the Territory of the Former USSR) // Karst 2018. Expect the Unexpected: proceedings of the International Symposium. 6-9 June, 2018. Trebinje, Bosnia and Herzegovina. Belgrade, 2018. pp. 81-88.
- 8. *Milanovic' P. T.* Geological engineering in karst: Dams, Reservoirs, Grouting, Groundwater Protection // Water Tapping Tunneling. Belgrad: Zebra, 2000. 348 p.
- 9. *Milanović P., Maksimovich N., Meshcheriakova O.* Dams and Reservoirs in Evaporites / Springer, Cham, 2019. 157 p. doi.org/10.1007/978-3-030-18521-3.
- 10. *Milanović P., Maksimovich N., Meshcheriakova O.* Experience with some investigation and remediation methods in evaporite karst // Geotechnical Challenges in Karst. Karl Terzaghi and karst in Croatia 110 years ago: proceedings of the International conference / ISRM Specialised Conference / 8th Conference of Croatian Geotechnical Society. 2019a. P. 281-286.

Ю.А. Килин, И.И. Минькевич ПГНИУ, yuakilin@mail.ru

### ПРОГНОЗ ПРОВАЛООБРАЗОВАНИЯ НА УЧАСТКАХ ПОКРЫТОГО КАРСТА

Для оценки карстоопасности районов покрытого карста наиболее актуальной и сложной проблемой является локальный прогноз провалообразования. При развитии карста под некарстующимися породами при достижении критических размеров закрытых карстовых полостей происходят просадки и провалы на поверхности. При покрытом типе карста часто воронки, провалы или просадки отсутствуют или очень слабо выражены в рельефе, поэтому оценку карстоопасности без большого объема буровых работ провести невозможно. Существует три известных механизма деформирования грунтов над полостью: обвальный, суффозионный, обвально-суффозионный. Преобладание одного или другого механизма в течение сезонов года может меняться. Рассмотрены методики расчета возможного образования поверхностных провальных карстовых форм в условиях покрытого карста.

**Ключевые слова:** карстоопасность, карстовый провал, покровные отложения, коэффициент разрыхления, аккумулятивная емкость.

<sup>©</sup> Килин Ю.А., Минькевич И.И., 2020