

**Роль микроорганизмов в повышении мутности дренажных вод плотины**

**Максимович Н.Г.**, к.г.-м.н., заведующий Лабораторией геологии техногенных процессов Естественного института Пермского государственного национального исследовательского университета,

**Хмурчик В.Т.**, к.б.н., ведущий научный сотрудник Лаборатории геологии техногенных процессов Естественного института Пермского государственного национального исследовательского университета,

**Деменев А.Д.**, аспирант, младший научный сотрудник Лаборатории геологии техногенных процессов Естественного института Пермского государственного национального исследовательского университета.

*Аннотация:* Исследования на одной из грунтовых плотин Волжско-Камского каскада выявили повышенный вынос взвешенных частиц дренажными водами, похожий на процесс механической суффозии. Проведенные комплексные исследования показали протекание в теле плотины активных микробиологических процессов. Повышение мутности дренажных вод было обусловлено микробиологическими процессами. Микроорганизмы вместе с тем способны оказывать негативное воздействие на физико-механические свойства грунтов и способствовать возникновению риска снижения устойчивости гидротехнических сооружений. В связи с этим существует необходимость разработки методики изучения степени опасности микробиологических процессов и внесения её в нормативные документы.

*Ключевые слова:* гидротехнические сооружения, безопасность, суффозия, микроорганизмы, свойства грунтов, нормативные документы

**The role of microorganisms in the enhancement of the turbidity of dam drainage water**

**Maksimovich N.G., Khmurchik V.T., Demenev A.D.**

*Annotation:* Observation of one of ground dam of Volga-Kama Dams Cascade revealed the enhanced outflow of suspended particles in drainage water like mechanical suffusion. Comprehensive studies demonstrated the presence of active microbiological processes in the dam body. The increase in turbidity of drainage water was due to microbiological processes. The enhancement of microbial activity in ground may change its physico-mechanical properties, and affects on the stability of the dam also. In this regard, there is a need to develop methods of studying the degree of danger of microbiological processes and depositing it in the regulations.

*Key words:* hydrotechnical facilities, safety, suffusion, microorganisms, ground properties, regulatory documentation

Вопросы безопасности при эксплуатации грунтовых плотин гидротехнических сооружений требуют проведения периодических замеров различных параметров сооружения [1-3]. Одним из важных контролируемых параметров является мутность воды на выходе из дренажной системы [4], позволяющий обнаружить развитие суффозионного процесса еще на начальной стадии. Развитие суффозионного процесса – крайне негативное явление, которое приводит к снижению устойчивости и даже разрушению сооружения. Так например на дамбе Унмун в бассейне р. Накдонг (Южная Корея) процесс суффозии привел к образованию на гребне дамбы трех воронок [5]. Однако, как показала практика, повышение мутности вод после фильтрации через тело плотины может быть связано не только с процессом суффозии, что ставит под вопрос объективность данного показателя.

Исследование этой проблемы выполнено на одной из плотин Волжско-Камского каскада, где при отборе проб дренажных вод, фильтрующихся через тело грунтовой плотины, было обнаружено отложение осадка охристого цвета на облицовке стенок и на дне отводящей дренажной канавы. Химические анализы проб, проведенные в лаборатории эксплуатирующей организации в соответствии с внутренним регламентом, показали, что превышение показателя мутности дренажных вод по сравнению с водой из водохранилища составляет 6 и более раз. В связи с этим нами был проведен комплекс работ по исследованию этого явления, который включал лабораторные химические, масс-спектрометрические и минералогические анализы проб воды и грунта, а также натурное обследование с геохимическим опробованием состава подпочвенных газов и газов дренажной системы [6].

### **Результаты полевых исследований**

Плотина высотой до 19 м была возведена способом гидромеханизации из песчано-гравийных грунтов с намывным экраном из мелкозернистых песков на аллювиальных отложениях, мощность аллювия достигала 14–17 м. Аллювиальные отложения представлены глинами и тяжелыми суглинками, мелкозернистыми песками и гравийно-галечниковыми образованиями. Вся толща аллювиальных глин и суглинков содержит прослойки песка. Глины и суглинки слоистые, пылеватые, плотные влажные, в них встречаются растительные остатки. Глинистые грунты обладают высокой физико-химической активностью, содержат в значительном количестве органические вещества

(до 8%) и микроэлементы. Буровые работы показали, что грунт плотины, находящийся ниже уровня фильтрующихся вод, имеет сизо-серую окраску, а суммарная мощность его достигает 8 м. Сизая, зеленая, голубоватая и пятнистая (охристо-сизая и т.д.) окраска характерна для грунтов, подвергшихся оглеению, которое происходит в результате развития анаэробных микроорганизмов; при этом в водах появляются продукты жизнедеятельности микроорганизмов – углекислый газ, метан, органические кислоты [7]. Глеевый процесс – один из распространенных в гумидной зоне – заключается в восстановлении трехвалентного железа до двухвалентного состояния с последующим выносом двухвалентного железа из глеевых горизонтов [7, 8]. Типичным признаком глеевого процесса является гидроксид трехвалентного железа, который образуется в ходе самого оглеения на участках несколько более высокого окислительного потенциала, или в ходе дальнейших окислительных процессов, когда бывшие оглеенные горизонты попадают в условия окислительной среды [7]. При выемке кернов оглеенного грунта на дневную поверхность на керне начинали постепенно появляться охристые пятна гидроксида трехвалентного железа. Газогеохимическое опробование подпочвенного воздуха грунтовой плотины показало наличие очагов повышенного содержания углекислого газа, метана и летучих органических соединений [6, 9, 10].

### **Результаты лабораторных исследований**

Осадок из проб дренажных вод имел охристый цвет и состоял из тонкодисперсных минеральных частиц, а осадок из пробы воды водохранилища - темно-бурый цвет и состоял в основном из хлопьевидных частиц и частиц детрита. При кипячении в растворе 4 н HCl осадок из проб дренажных вод растворялся, а раствор приобретал желтую окраску; осадок из пробы воды водохранилища при кипячении в растворе 4 н HCl частично растворялся, частично разлагался на более мелкие частицы коричнево-черного цвета, а раствор приобретал коричневую окраску. Осадок из дренажных вод был представлен гидроксидом трехвалентного железа.

Обнаружено, что дренажные воды на выходе из дренажной системы являются изначально прозрачными, а осадок в них образуется либо при неплотной закупорке пробоотборной тары, либо в лаборатории в процессе фильтрации проб. То есть осадок охристого цвета выпадал из проб дренажных вод при их продолжительном контакте с воздухом. Таким образом, осадок являлся не результатом суффозионного выноса частиц грунта, слагающего плотину, а представлял собой гидроксид трехвалентного железа, который образовывался из водорастворенных ионов двухвалентного железа при их

окислении кислородом воздуха. В связи с этим возникает вопрос об источниках водорастворенных ионов двухвалентного железа.

Одним из таких источников могли бы быть металлические конструкции самой дренажной системы, подвергающиеся коррозии. Был проведен анализ микроэлементного состава воды и осадков проб дренажных вод и воды из водохранилища, который показал, что основным источником водорастворенных ионов двухвалентного железа не являются корродирующие металлические конструкции дренажной системы. Не отвергая полностью данный источник, мы в то же время должны признать наличие и другого источника, которым может быть слагающий тело плотины грунт, в котором идет процесс оглеения.

Химический анализ проб воды показал очаговый характер распространения ионов  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , а также  $\text{Fe}^{2+}$ . При этом очаг распространения повышенного содержания ионов  $\text{NH}_4^+$  примерно совпадал с очагом повышенного содержания ионов  $\text{Fe}^{2+}$ . Содержание ионов  $\text{HCO}_3^-$  в этой зоне также было повышенным. Наличие пространственно совпадающих очагов повышенного содержания ионов  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{Fe}^{2+}$  свидетельствует о протекании микробиологических процессов анаэробного разложения органического вещества. При этом источником ионов  $\text{NH}_4^+$  служит органическое вещество, а ионов  $\text{Fe}^{2+}$  – железосодержащие минералы и породы тела плотины. Известно, что в аноксигенных условиях даже хорошо упорядоченные кристаллы оксидов трехвалентного железа способны подвергаться микробиологическому восстановительному растворению [11]. Таким образом, наличие очага повышенного содержания ионов  $\text{Fe}^{2+}$  может быть свидетельством микробиологической трансформации минералов и пород тела плотины, приводящей к восстановлению содержащихся в породах ионов  $\text{Fe}^{3+}$  до активно мигрирующих в воде ионов  $\text{Fe}^{2+}$ , выпадающих в осадок в форме гидроксидов трехвалентного железа при выходе глеевых вод на дневную поверхность. Это объясняет значительное повышение мутности вод, фильтрующихся через тело плотины, по сравнению с водами водохранилища.

Лабораторные исследования подтвердили присутствие в грунтах тела плотины жизнеспособного микробного сообщества, способного оказывать влияние на жидкую, твердую и газовую фазы грунта при активизации жизнедеятельности, например, в результате повышенного поступления органических веществ [9, 10, 12, 13]. Вода, фильтрующаяся через тело плотины, характеризовалась повышенным содержанием водорастворенного органического вещества (содержание  $C_{\text{орг}}$  от 108 до 122 мг/дм<sup>3</sup>), в то время как содержание  $C_{\text{орг}}$  в поверхностных и маломинерализованных водах региона обычно не превышает 30-40 мг/дм<sup>3</sup>, достигая в отдельных случаях 60-70 мг/дм<sup>3</sup>.

Хроматомасс-спектрометрические исследования показали, что водорастворенное органическое вещество имеет преимущественно техногенное происхождение. По нашему мнению, одним из возможных источников техногенного органического вещества, поступающего в водохранилище и тело плотины, могут быть сбросы сточных вод расположенного выше по течению целлюлозно-бумажного комбината и ливневой канализации города, а также ручьи, водосборная площадь которых находится на территории жилых районов (рис. 1).



Рис. 1 Возможные источники поступления органического вещества в тело плотины

Интенсивность микробиологических процессов повышается с увеличением органического вещества в фильтрующихся через тело плотины водах. Этот процесс может начаться спонтанно. Отметим также, что микроорганизмы, населяющие тело плотины, могут оказать значительное влияние на твердую, жидкую и газовую компоненты при этом существенно изменять физико-механические свойства грунта [6, 9, 10, 12, 13] со всеми вытекающими негативными последствиями.

## Выводы

1. Повышение мутности фильтрующихся через тело грунтовой плотины вод может быть не связано с суффозионными процессами, а обуславливаться микробиологическими процессами, активизирующимися за счет поступления органических веществ из водохранилища. То есть показатель мутности при определенных условиях может служить индикатором не только суффозии, но и микробиологической активности.

2. Микроорганизмы наряду с повышением мутности дренажных вод способны оказывать негативное влияние на физико-механические свойства грунтов и возникновению риска снижения устойчивости гидротехнических сооружений, что вызывает необходимость разработки методики изучения степени опасности микробиологических процессов и внесения её в нормативные документы.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части государственного задания 2014/153.

#### Список литературы

1. Mendoza F.J.C., Izquierdo A.G. Design of a model to assess the environmental risk of leachate dams. *Waste Management*, 2008, Vol. 28, Iss. 11, p. 2122-2133.
2. Panthulu T.V., Krishnaiah C., Shirke J.M. Detection of seepage paths in earth dams using self-potential and electrical resistivity methods. *Engineering Geology*, 2001, Vol. 59, Iss. 3-4, p. 281-295.
3. Rozycki A., Fonticiella J.M.R., Cuadra A.. Detection and evaluation of horizontal fractures in earth dams using the self-potential method. *Engineering Geology*, 2006, Vol. 82, Iss. 3, p. 145-153.
4. РД 153-34.2-21.342-00 «Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений». М., 2000.
5. Lee J.-Y., Choi Y.-K., Kim H.-S., Yun S.-T. Hydrologic characteristics of a large rockfill dam: Implications for water leakage. *Engineering Geology*, 2005, Vol. 80, Iss. 1-2, p. 43-59.
6. Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т., Лаздовская М.А., Деменев А.Д. Комплекс методов исследования микробиологической активности в грунтовых плотинах // *Вестник СПбГУ*, 2014, Сер. 7, Вып. 4, с. 88-100.
7. Перельман А.И. Геохимия эпигенетических процессов. М., Недра, 1965. 272 с.
8. Зайдельман Ф.Р. Подзоло- и глееобразование. М., Наука, 1974. 208 с.
9. Maksimovich N.G., Khmurchik V.T. The Influence of Microbiological Processes of Subsurface Waters and Grounds in River Dam Basement // *Engineering Geology for Society and Territory*. - V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects. - P. 563-565.
10. Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т. Микробиологические процессы в грунтовых плотинах. *Инженерные изыскания*, 2013, № 9, с. 46-51.
11. Bonneville S., Van Cappelen P., Behrends T. Microbial reduction of iron (III) oxyhydroxides: effects of mineral solubility and availability. *Chemical Geology*, 2004, Vol. 212, p. 255–268.

12. Радина В.В. Роль микроорганизмов в формировании свойств грунтов и их напряженного состояния. Гидротехническое строительство, 1973, № 9, с. 22–24.
13. Кузнецов А.М. О газовых явлениях в основании бетонных плотин. Гидротехническое строительство, 1965, № 10, с. 33-37.
14. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М., Химия, 1989. 448 с.