

УПРАВЛЯЕМЫЕ ПРОТИВОСУФФОЗИОННЫЕ УСТРОЙСТВА ПО ЗАЩИТЕ СОЛЕВОГО ПЛАСТА В ОСНОВАНИИ ПЛОТИНЫ НА РАСТВОРИМЫХ ПОРОДАХ

Давлатшоев С.К., Фазылов А.Р.

Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ

Аннотация. В статье рассматриваются возможности реализации системы защиты солевого пласта по постоянной схеме на примере эксплуатации временной солевой завесы и недостатки способа подачи рассола в зоне оголовка соли (на примере условий Рогунской ГЭС). Предложено управляемое противосуффозионное устройство, позволяющее снизить давление фильтрационных вод в зоне оголовка соли и прижатие минерализованных вод к пласту соли создающий солевую завесу на задней грани солевого пласта, на всю длину защищаемого участка.

Ключевые слова: плотина, водорастворимые породы, фильтрация, солевой пласт, солевая завеса, управляемое противосуффозионное устройства, защита, давления, минерализованные воды, сифоновый перехват.

Возведение плотины (водоподпорных сооружений) и создание водохранилищ на водорастворимых породах ведёт к изменению гидродинамического и гидрогеохимического режима и как следствие появлению в массиве пресных фильтрационных вод, способных растворять породы. При этом, как следствие, возникает условие для изменения гидрогеохимического режима, развития и интенсификации карста, способствующее интенсификации карста приводящее к увеличению трещиноватости пород в основании плотины, из-за фильтрационных деформаций [1, 2].

Накопленный опыт в России, Австрии, Германии, Китае, США, Франции и других странах, возведения плотин, при наличии в их основании водорастворимых пород указывает на то, что отсутствие надёжных инженерных мероприятий по защите пород от растворения приводит к трагическим последствиям [3].

Вместе с тем, следует отметить, что строительство плотин на карстующимися карбонатными породами в основании, плотин успешно реализуется [4]. Анализ и оценка существующих базы данных по

уже строящихся более 30 плотинам на гипсоносных породах, позволяет утверждать, что не всегда удаётся найти удовлетворительное техническое решение по защите пород от растворения [5, 6].

Одним из примеров, наличия вышеизложенных факторов является Рогунская ГЭС, являющийся уникальным сооружением, как в конструктивном отношении, так и в части инженерно-геологической обстановки района строительства. Одним из факторов, определяющих сложность инженерно-геологических условий, является наличие соляного карста в Ионахшском разломе. В проекте сооружения плотины данной ГЭС, предусматривается целый ряд мероприятий, исключающие возможность растворения соли и развития карста. В 400-500 м от оси плотины Рогунской ГЭС, в верхнем бьефе, под ее верховым клином, нижнемеловая толща согласно подстилается отложениями верхней юры, представленной пачкой аргиллитов мощностью около 20 м и солевым пластом, который непосредственно контактируют с Ионахшским разломом, пересекающий реку под углом около 30 градусов (рис. 1).

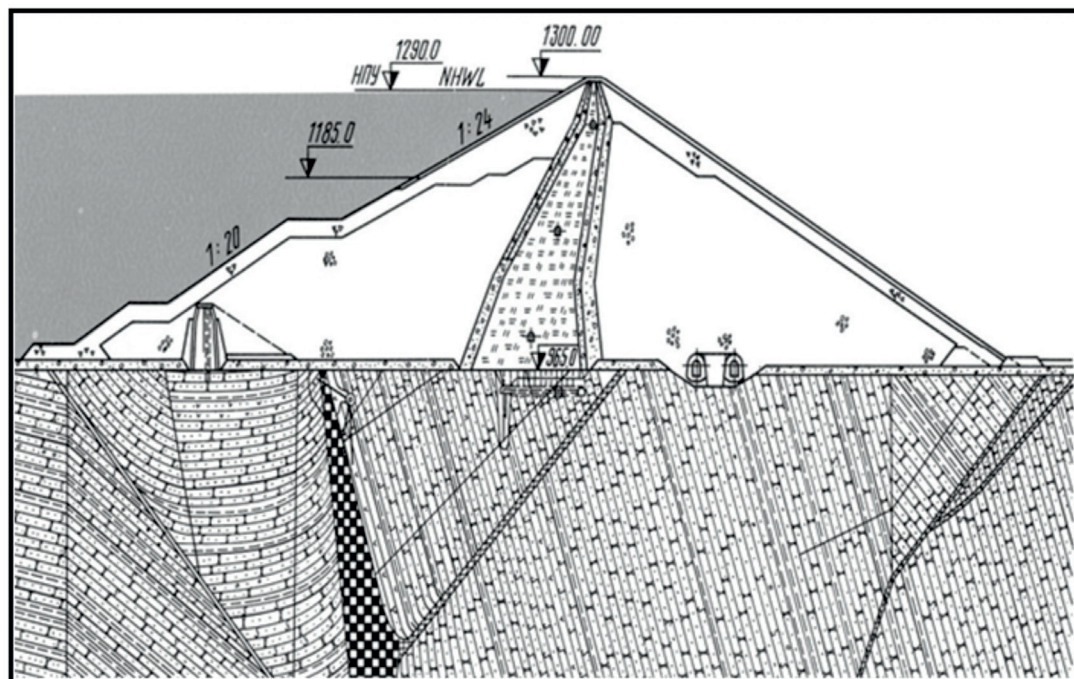


Рисунок 1. Рогунская ГЭС: разрез основной плотины

Шов разлома параллельно простирается слоям пород нижнемеловой толщи и отложений верхней юры и падает в ту же сторону, в связи с чем, пласт соли колеблется осреднённо от 1 до 10-12 м и на каждые 100 м глубины увеличивается на 15 м. Поверхность пласта соли прослеживается на глубине 20 - 25 м, ниже уреза воды в реке и в бортах ущелья на уровне грунтовых вод. Под ядром плотины крутопадающий солевой пласт находится на расстоянии около 900 м. На основании опыта возведения плотин на растворимых породах и инженерно-геологических условиях створа Рогунской плотины надежная защита пород от растворения может быть обеспечена комплексом мероприятий.

В качестве основного варианта противосуффозионного устройства для защиты солевого пласта от размыва, проект Рогунской ГЭС предусматривает устройство гидравлических и солевых завес. Вариант предусматривает на протяжении участка защиты в 1100 м, вдоль Ионахшского разлома устройство следующего комплекса мероприятий:

- устройство за пластом соли ряда напорных гидравлических скважин, с доведением их до практического водоупора (гидравлическая завеса);

- размещение между пластом соли и гидравлической завесой еще ряда напорных скважин с дозированной подачей в них солевого рассола (солевая завеса).

К напорному ряду гидравлических скважин подключается потенциал верхнего бьефа, благодаря чему в зоне между гидравлической завесой и пластом соли на защищаемой глубине создается практически застойная зона с ничтожно малыми градиентами и скоростями потока (для руслового сечения, соответственно, 0,002 и 0,00002 – 0,0002 м/сут. против значений параметров потока без защитных мероприятий 0,015 – 0,7 и 0,0015 – 0,002 м/сут.).

Фильтрационный поток из водохранилища в сторону нижнего бьефа начинает формироваться от напорных гидравлических скважин, минуя оголовки и низовую грань солевого пласта.

Ряд напорных скважин, в которые подается солевой рассол, образует вдоль всей низовой грани солевого пласта соле-

вой шлейф, плотность исключаящий возможность диффузионного растворения и конвективного выноса солей.

Большой удельный вес рассола, наклонное положение (в сторону нижнего бьефа) пласта соли, и взаимодействия солевого и пресного потоков из напорных солевых и гидравлических скважин обеспечивают плотное прижатие солевого шлейфа к пласту соли со «скольжением» его вниз. Глубина скважин гидравлической завесы, определенная расчетами и исследованиями, намечалось до 100 м шаг от 3 до 6 м, а на коротком русловом участке, при двойной (коротком и заглубленном) ряде скважин – 1,5 м. Глубина солевых скважин до 60 м, шаг 3 м.

Необходимый расход рассола, подаваемого в солевые скважины, был определен в количестве 18 м³/сут или 0,2 л/с – при концентрации рассола 250 г/л расход соли в сутки составляет 4,5 т или 2,25 м³.

Проектом Рогунской ГЭС было предусмотрено, что при возведении перемычки и переключения расхода реки Вахш по строительным туннелям могут формироваться фильтрационные потоки вдоль солевого пласта. Учитывая пространственное положение и мощность солевого пласта в основании будущей плотины, в качестве сугубо временного мероприятия, до готовности основного комплекса защиты солевого пласта, было предложено противосуффозионное устройства в виде специальной временной солевой завесы (ВСЗ).

Принцип работы такой завесы заключается в том, что вдоль солевого пласта, с двух сторон, по всей длине защищаемого участка основания перемычки устраиваются солевые скважины, с подачей в них строго дозированного концентрированного рассола. Постоянное возмещение бытового солевого пласта в основании перемычки, создает устойчивую гидрогеохимическую среду и способствует сохранности солевого пласта.

Временная солевая завеса в виде двух рядов нагнетательных скважин выполнена вдоль левобережной части пласта соли. Рабочая часть скважин солевой завесы имеет диаметр 93 мм и длину 15 м. Шаг между скважины 6 м. Скважины заполнены песчаным материалом, внутри которого проходит подающая рассол перфорированная труба.

Рассол с содержанием 280 – 310 г/л для подачи в скважины солевой завесы готовится на растворном узле из привозной соли и, перейдя через систему фильтров и отстойников, поступает на распределительный узел, откуда самотеком по системе трубопроводов подводится к нагнетательным скважинам.

На участке временной солевой завесы были выполнены режимные наблюдения по 12 створам. Общее количество пьезометров, задействованных в исследованиях - 28.

Основной целью специальных геофизических исследований в зоне защиты пласта соли является осуществление оперативного контроля гидрохимического и геотермического режимов.

В перечень задач исследований включены: контроль количества рассола, поглощаемого скважинами; уточнение модели водопроницаемости массива пород на участке солевой завесы; изучение влияния техногенных воздействий на изменение водопроницаемости горного массива; контроль коррозионной стойкости материалов, применяемых в сооружениях солевой завесы.

Методами исследования изучения изменения минерализации в зоне оголовка солевого пласта были выбраны - термометрия и резистивиметрия [7, 8].

Следует особо подчеркнуть, что особенностью методики проведения полевых работ заключалась в строгом соблюдении очередности выполнения выбранных методов.

С целью минимизации искажения температурного поля, при спуске прибора в скважину, выполнялась термометрия с точечной регистрацией и с шагом в 2 м. В интервалах резких изменений температур предусматривалась детализация с шагом 0,5 - 1 м. Измерения температуры производились по всему стволу пьезометрической скважины, включая сухую и обводненную его части. Затем выполнялась резистивиметрия по той же схеме, но только в обводненном интервале пьезометров.

Работа системы подачи рассола контролировалась ежедневными измерениями поглощающей способности скважин, которые производились на входе в рассолоподающий трубопровод. Кроме того, на узле распределения рассола ежедневно

фиксировалось количество рассола, поданное в систему временной солевой завесы.

Пьезометрическая наблюдательная сеть на участке временной солевой завесы (300 м) была представлена 12 - ю створами по 1 или 3 пьезометра в каждом. Расстояние между створами принято в пределах 17 – 30 м; расстояние между пьезометрами в створе не превышает 5 м. Общее количество пьезометров, задействованных в исследованиях - 28.

В таблице 1 приведены средние значения минерализации подземных вод по циклам, характеризующим изменение минерализации подземных вод, в целом, по временной солевой завесе.

Таблица 2

Средние значения минерализации на участке временной солевой завесы Рогунской ГЭС

№ Цикла	Год	Месяц	Степень минерализации, С, г/л	
			В пьезометрах	Закачиваемого рассола
1	1989	02	135	
2		04	61	
3		11	149	
4		12	147	
5	1990	06	179	321
6		10	200	318
7		11	200	317
8		12	225	317
9	1991	01	224	314
10		02	222	308
11		03	175	305
12		05	160	314
13		06	160	318
14		07	110	305

Начиная со 2 цикла (апрель 1989), начинается плавное увеличение минерализации до января 1991 г., когда оно достигает 225г/л, затем происходит первый резкий спад до 175 г/л (март 1991 г.), выравнивание до 160 г/л на протяжении 11,

12, 13 циклов (март, май, июнь 1991 г.) и в 14 цикле (июль) происходит второе резкое понижение до 110 г/л. Столь низкая минерализация была отмечена в циклах 1 и 2 и то лишь потому, что для геофизических исследований были отобраны пьезо-

метры с заведомо известными по лабораторным данным невысокими значениями минерализации. Режимный характер работы стали носить с 5 - го цикла, средняя минерализация по этому циклу была 156 г/л.

В цикле 14 зона пониженных значений минерализации несколько сужает свои очертания, опускается ниже на 1,6 м, по сравнению с 9 циклом и приближается к высокоминерализованному околопластовому ореолу.

Анализ и оценка эксплуатации временной солевой завесы, позволили сделать следующие выводы:

- магистральный трубопровод подачи солевого раствора в постоянно действующем варианте находится под давлением больше 30 атмосферы. Такая эксплуатация несёт в себе угрозу для жизни технического персонала;
- ежесуточный расход соли в объёме 4,5 тонны;
- перебой в системе подачи рассола, приводящий к понижению уровня минерализованных вод в зоне оголовка солевого пласта.

В результате проведённых исследований в 2011-2014 гг. в районе солевого пласта Рогунской ГЭС было установлено физическое явление опреснения и отжатия подземных минерализованных вод и появление между ними гидронапорно-осмотическая завеса определяемое равновесным соотношением между гидростатическим и осмотическим давлением. В зависимости от величины гидростатического давления завеса может изменить своё положение. Расположение завесы служит границей между менее минерализованными и высокоминерализованными подземными водами [9].

На рисунке 2 просматривается чёткая граница между менее минерализованными и высокоминерализованными водами, имеющими горизонтальное положение и дальше, оно приобретает вертикальное расположение. Таким образом, можно утверждать, что гидронапорно-осмотическая завеса между менее минерализованными и высокоминерализованными водами может существовать в горизонтальном, вертикальном и в наклонном положении.

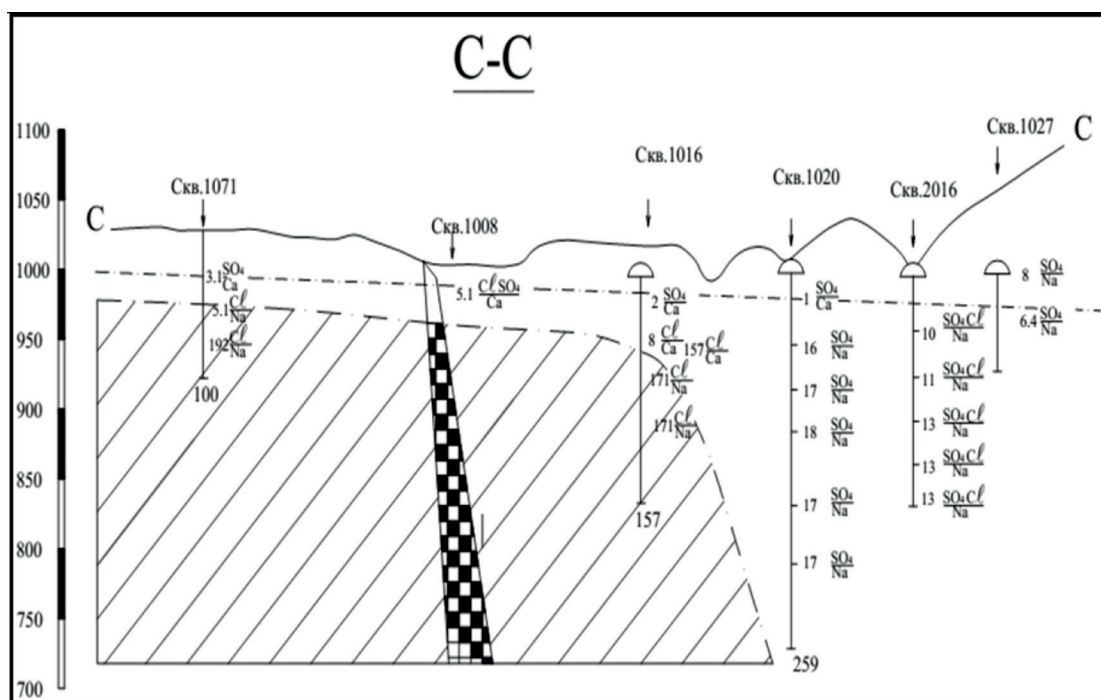


Рисунок 2. Распределение уровня минерализации подземных вод (масштаб 1:5000)

Один из вариантов противосуффозионной защиты оголовки соли от растворения в составе солезашитного комплекса предложено авторами [10, 11]. Предложенный способ и устройство позволяют

уменьшить давление фильтрационных вод на оголовке солевого пласта, путём перехвата пресных фильтрационных потоков в зоне оголовка солевого пласта (рисунок 3 и 4).

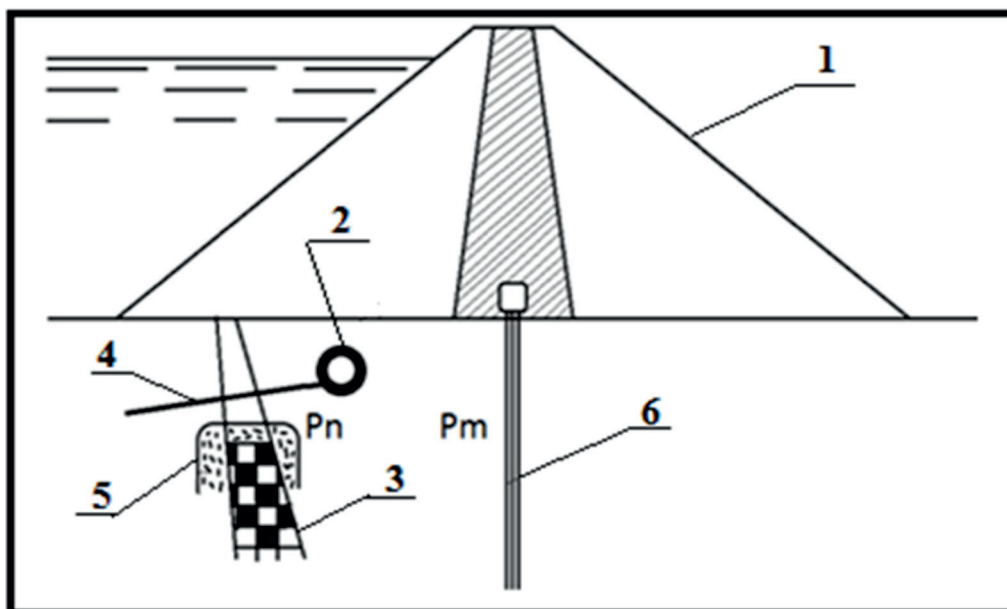


Рисунок 3. Система защиты солевого пласта (1- плотина, 2- солевая штольня, 3- солевой пласт, 4 - ряд скважины для перехвата пресных фильтрационных вод, 5- цементационный защитный слой, 6 - противофильтрационная завеса, P_n - давления напора воды в зоне оголовка соли, P_m - давления напора во-ды в зоне противофильтрационной за-весы)

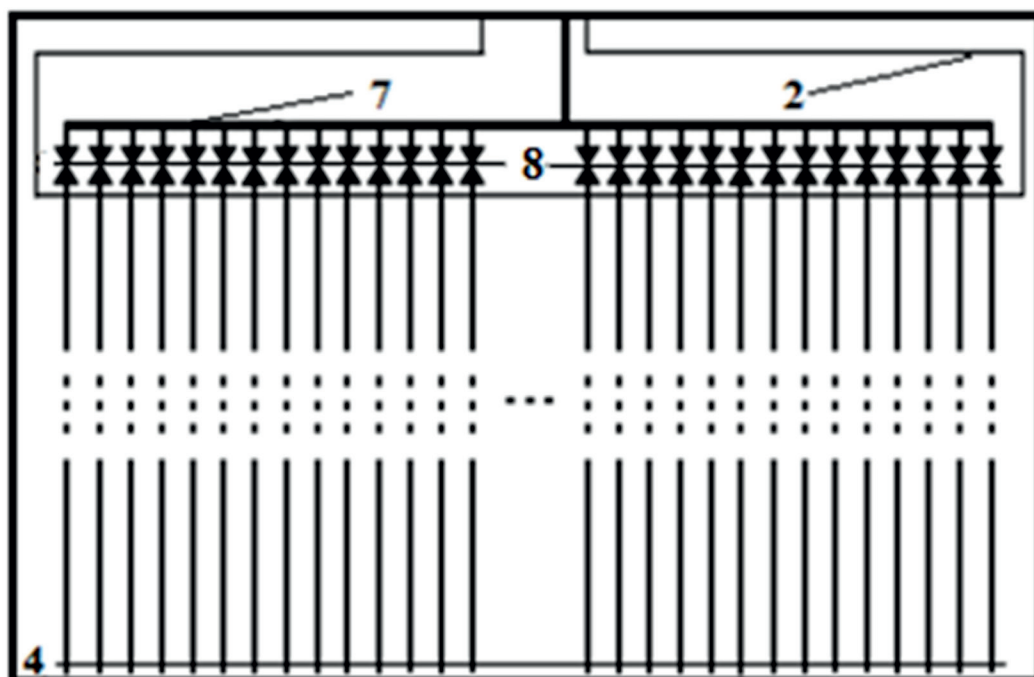


Рисунок 4. Схема расположения скважин в со-левой штольне (2- солевая штольня, 4- ряд скважин для перехвата пресных фильтрационных вод, 8- регулирующие вентили, 7- системы отводящих трубопроводов)

Перехват пресных фильтрационных вод достигается тем, что из штольни располагающаяся между солевым пластом и противофильтрационной завесой, пробуривается ряд скважин 4 в сторону оголовка пласта, выше защитного цементационного слоя 5 на всю длину защищаемого участка, где происходит сифоновый перехват пресных вод и через штольню, системами трубопроводов сбрасывается в нижний бьеф сооружения.

Регулирующие вентили 8 (рисунок 4) вмонтированные в оголовок ряда скважин 4 позволяют обеспечить равномерный объём перехвата фильтрационных потоков в оголовке пласта соли.

По всей длине защищаемого участка солевого пласта уменьшается градиент напора P_n , что обуславливает уменьшение напора фильтрационного потока через оголовок пласта. При выполнении условия $P_n < P_m$ минерализованные воды прижимаются к пласту соли, где создаётся солевая завеса защищающий солевой пласт от доступа пресных фильтрационных потоков.

После заполнения чаши водохранилища и формирования устойчивого гидрогеохимического режима (образование шлейфа высокоминерализованных вод) вокруг солевого пласта, регулирующие вентили 8 закрываются.

Таким образом, применение управляемых противосуффозионных устройств по

защите солевого пласта в основании плотины на растворимых породах отличается следующими достоинствами: способствует повышению надежности защиты солевого пласта от растворения и суффозии; уменьшает стоимость производства работ по защите пласта от растворения в строительный и эксплуатационный периоды; исключает постоянные затраты в период эксплуатации сооружения; сохраняет гидрогеохимический режим в основании ядро плотины и этим обеспечивает безопасность эксплуатации сооружения.

Выводы

1. Эффективность временной солевой завесы целесообразна и востребована. Однако, следует отметить, что при подаче рассола в зону оголовка солевого пласта повышается уровень минерализации подземных вод. Вместе с тем, нахождение рассолопровода под высоким давлением, ежесуточные расходы соли и перебои в системе подачи рассола делает невозможным реализацию этого способа на практике.

2. Предложенный способ и противосуффозионное устройство способствует к понижению давления фильтрационных вод на всю длину защищаемого участка, прижатию минерализованных вод к пласту соли, образуя при этом солевую завесу защищающий солевой пласт от доступа пресных фильтрационных потоков.

Список литературы

1. Максимович Н. Г. Оценка состояния оснований плотин на растворимых породах // Комплексное исследование гидрологии и водной экологии Камских водохранилищ и рек их водосборов: Межвуз. сб. науч. тр.- Пермь, 1987. -С.114-121.
2. Молоков Л. А. Опыт изучения области взаимодействия сооружений и геологической среды// Инженерная геология. - М. 1982. - № 3. -С. 14-25.
3. Maximovich N.G. Safety of dams on soluble rock (The Kama hydroelectric power station as an example) / N. G. Maximovich. - Perm: PS "Harmony", 2006. - -212 p.
4. Лыкошин А. Г. Карст и гидротехническое строительство. - М.: Стройиздат, 1968. -184 с.
5. Максимович Н. Г., Сергеев В. И. Влияние химического инъекционного закрепления на устойчивость гипса в основании гидротехнических сооружений// Гидротехническое строительство. - М., 1983. № 7. -С. 30-32.
6. Маслов Н. Н., Науменко В. Г. Условия устойчивости напорных сооружений на загипсованных породах// Растворение и выщелачивание горных пород. - М.: Госстройиздат, 1957. С. 71—81.

7. Давлатшоев С.К., Кобулиев З.В., Сафаров М.М. Измерения диапазон изменения температурного поля во времени в основание плотины Рогунской ГЭС. В сборнике: Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ. // Сборник трудов V Международной научно-практической конференций. 2019. С. 293-301.
8. Давлатшоев С.К., Кобулиев З.В., Сафаров М.М. Измерения диапазон изменения степени минерализации подземных вод в основание плотины Рогунской ГЭС // В сборнике: Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ. Сборник трудов V Международной научно-практической конференций. 2019. С. 302-309.
9. Давлатшоев С.К. Влияние гидростатического давления на изменение степени минерализации подземных вод / Известия ТулГУ. Наука о Земле. –Тула: ТулГУ, №3, 2023. -С. 403-414.
10. Давлатшоев С.К., Амирзода О.Х., Кобулиев З.В., Сафаров М.М. Устройство для защиты гидротехнического сооружения от разрушения. Малый патент РТ № ТЈ 1213 от 14.07.2020.
11. Давлатшоев С.К., Амирзода О.Х., Кобулиев З.В., Сафаров М.М. Способ защиты гидротехнического сооружения от разрушения. Малый патент РТ № ТЈ 1214 от 14.07.2020.

ДАСТГОҶҶОИ ИДОРАШАВАНДАИ ЗИДДИСУФОЗИОНӢ БАРОИ ҲИФЗИ ҚАБАТИ НАМАК ДАР ЗЕРИ САРБАНДИ ЧИНСҶОИ МАҲЛУЛШАВАНДА

Давлатшоев С.К., Фазылов А.Р.

***Аннотатсия.** Дар мақола имкониятҳои табиқии системаи муҳофизатии қабати намак аз рӯи нақшаи доимӣ дар мисоли қабати намак дар пардаи намакӣ муваққатӣ ва камбудии усули таъмини намак дар минтақаи намак (дар мисоли шароити Неругоҳи барқи оби Рогун) баррасӣ карда мешавад. Таҷриботи назоратшавандаи зидди суффозии пешинҳод шудааст, ки имкон медиҳад фишори оби филтратсияро дар минтақаи сари намак паст, обҳои минерализиро ба танаи қабати намак паҳн кунанд ва дар паси қабати намак дар тамоми дарозии муҳофизатшавандаи қабати намак пардаи намак ба вуҷуд ояд.*

***Калидвожаҳо:** сарбанд, чинсҳои маҳлулшаванда, филтратсия, қабати намак, пардаи намакӣ, дастгоҳи идорашавандаи зидди суффозии, муҳофизат, фишор, обҳои минералӣ, рафъи сифонӣ.*

CONTROLLED ANTI-SUFFUSION DEVICES FOR THE PROTECTION OF SALT FORMATION AT THE BASE OF A DAM ON SOLUBLE ROCKS

Davlatshoev S.K., Fazylov A.R.

***Abstract.** The article discusses the possibilities of implementing a salt formation protection system according to a permanent scheme using the example of the operation of a temporary salt curtain and the disadvantages of the method of supplying brine in the salt head zone (using the example of the conditions of the Rogun hydro power plant). A controlled antisuffusion device has been proposed that allows reducing the pressure of filtration water in the salt head zone and pressing mineralized water against the salt layer, creating a salt curtain on the back face of the salt layer, along the entire length of the protected area.*

***Keywords:** dam, water-soluble rocks, filtration, salt layer, salt curtain, controlled antisuffusion device, protection, pressure, mineralized water, siphon interception.*

Маълумот дар бораи муаллиф: Давлатшоев Саломат Қаноатшоевич – н.и.т., мудири озмоишгоҳи «Энергетика, захира- ва энергиясарфанамоӣ» -и Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. Тел. (+992 919604041), E-mail: salomatda@list.ru, Фазылов Алӣ Раҳматджанович - д.и.т., дотсент, мудири лабораторияи «Иншоотҳои гидротехникӣ» Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Email: alifazilov53@gmail.com, Тел.:+992918565070;

Сведения об авторе: Давлатшоев Саломат Каноатшоевич – к.т.н. заведующий лабораторией «Энергетика, ресурсо- и энергосбережение» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, тел. (+992 919604041), E-mail: salomatda@list.ru, Фазылов Али Рахматджанович - д.т.н., доцент, заведующий лабораторией «Гидротехнические сооружения» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Email: alifazilov53@gmail.com, Тел.:+992918565070;

Information about the author: Davlatshoev Salomat Kanoatshoevich - Ph.D., Head. Laboratory of Energy Resources and Energy Saving of the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Phone: (+992 919604041), E-mail: salomatda@list.ru.; Fazylov Ali Rakhmatjanovich. Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory "Hydraulic Structures", Institute of water problems, hydropower and ecology of the National academy of sciences of Tajikistan. E-mail: alifazilov53@gmail.com Phone: (+992) 918565070.