ISSN 2413–9858

Научная статья
УДК 622.271.1

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭКРАНОВ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН ПРИ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

М.В. Костромин[1,*], В.Ф. Кузин[1], И.В. Костромина[2]

[1] Российская инженерная академия, Москва, Россия
[2] Забайкальский государственный университет, Чита, Россия
[*] E-mail: kostrmv@yandex.ru

Аннотация. При разработке россыпных месторождений открытым способом широко применяются различные гидротехнические сооружения. Наиболее важными из них являются платины и дамбы, применяемые для водоснабжения, поднятия предохранения пород от сезонного промерзания. Однако часто плотины сооружаются из местных водопроницаемых пород, поэтому вода уходит с подтопленных площадей. Породы промерзают на значительную глубину, что резко снижает все технико-экономические показатели работы горного оборудования. В настоящей работе рассмотрена поэтапная разработка технологии противофильтрационной защиты земляных плотин – лабораторные исследования, объёмно-физическое и математическое моделирование, математический анализ, промышленные испытания, внедрение в производство.

Ключевые слова: *противофильтрационный экран; порода; химические реагенты; кольматаж; водопроницаемость; гранулометрический состав; плотина.*

Для цитирования: Костромин М.В., Кузин В.Ф., Костромина И.В. Исследования и разработка технологии противофильтрационных экранов земляных плотин при разработке россыпных месторождений // *Вестник науки и образования Северо-Запада России.* 2026. Т.12. № 3. С.71-83.

Original article

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR ANTI-FILTRATION SCREENS OF EARTH DAMS DURING THE DEVELOPMENT OF PLACER DEPOSITS

M.V. Kostromin[1,*], V.F. Kuzin[1], I.V. Kostromina[2]

[1] Russian Engineering Academy, Moscow, Russia
[2] Russia Transbaikal State University, Chita, Russia
* E-mail: kostrmv@yandex.ru

Abstract. Various hydraulic structures are widely used in the open-pit mining of placer deposits. The most important of these structures are dams and levees, which are used for water supply, raising the water level in dredging sites, cleaning industrial wastewater, and especially for protecting the rocks from seasonal freezing. However, dams are often constructed from local permeable rocks, which causes water to flow away from the flooded areas. This leads to the freezing of the rocks to a significant depth, which significantly reduces the technical and economic

© Костромин М.В., Кузин В.Ф., Костромина И.В. 2026

performance of mining equipment. This paper discusses the step-by-step development of technology for anti-filtration protection of earth dams, including laboratory research, volumetric physical and mathematical modeling, mathematical analysis, industrial testing, and implementation in production.

Key words: *anti-filtration screen; rock; chemical reagents; colmatage; water permeability; granulometric composition; dam.*

For citation: Kostromin M.V., Kuzin V.F., Kostromina I.V. Research and development of technology for anti-filtration screens of earth dams during the development of placer deposits. *Journal of Science and Education of North-West Russia.* 2026. V.12. No. 3. pp. 71–83.

Введение

В практике разработки россыпных месторождений дражным и гидромеханизированным способами часто применяются земляные плотины, служащие для поднятия уровня воды в условиях принятой технологии горных работ. Земляные плотины на россыпях, как правило, низконапорные и сооружаются из местных водопроницаемых пород и на водопроницаемых основаниях. Для россыпных месторождений технология сооружения противофильтрационных экранов и завес должна быть максимально простой - без использования сложного инъекционного оборудования и растворных узлов. Этим требованиям отвечают порошковые растворимые в воде поверхностно-активные вещества (ПАВ) и полимеры, наносимые на поверхность пород - мокрый откос и приплотинную часть водоёма - путём разбрасывания или разбрызгивания. После затопления водой химические реагенты кольматируют фильтрующую часть плотины и основания. При решении вопроса о выборе эффективного и технологичного химического реагента для противофильтрационной защиты плотин на россыпях были проведены исследования ряда наиболее вероятных для химического тампонажа по своим физико-химическим свойствам полимеров и ПАВ, выбранных в результате анализа литературных источников [1-4] и практического опыта. Имеются разработки по созданию комбинированных противофильтрационных экранов [5]. Однако они достаточно трудоёмки при их создании и дорогостоящи. Для разработки россыпных месторождений срок службы земляных плотин составляет от 1 до 3 лет. Поэтому применение плотин с комбинированной противофильтрационной защитой проблематично.

Материалы и методы исследования

Исследовалось влияние растворов натрийкарбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), амфолитного полиэлектролита (К-4), полиоксиэтилена (ПОЭ), поливинилового спирта (ПВО), оксиэтилированного дебутилфенола (ДБ) и натриевого детергента (ДС-рас) на фильтрационные свойства. Опыты проводились на фракции 0,5-0,1 мм при сравнительно малых концентрациях реагентов (до 0,3%), т.к. при этих условиях обеспечивается сопоставимость результатов и выявляется механизм химического кольматажа. Результаты эксперимента представлены на рис. 1.

ISSN 2413–9858

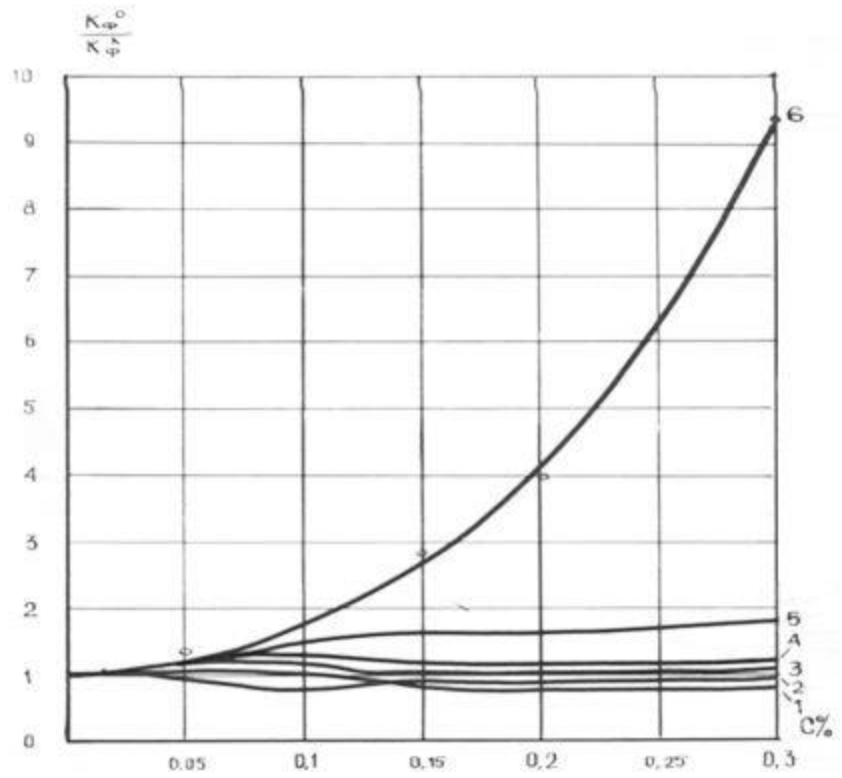


Рисунок 1 - Противофильтрационная эффективность ПАВ и полимеров:
1-ПВС; 2-ДС -рас; 3-ПОЭ; 4 – ДВ;5 – К-4; 6 – КМЦ

Результаты исследований, приведенные на рис 1. показывают, что кольматирующим действием обладает только натрий-карбоксиметилцэллюлоза и амфолитный полиэлектролит, причём противофильтрационные свойства КМЦ проявляются в значительно большей степени.

Таким образом, исследования кольматирующей эффективности, а также стоимостных показателей, масштабов серийного производства и технологичности позволили выбрать в качестве реагента для кольматажа низконапорных земляных плотин техническую натрийкарбоксиметилцеллюлозу (Na–КМЦ). Техническая карбоксиметилцеллюлоза (ГОСТ 5.588-70) представляет собой натриевую соль целлюлозногликолевой кислоты. Продукт получают обработкой щелочной целлюлозы монохлоруксусным натрием. Химическая формула - $[C_6\ H_7 0_2(OH)_{3-x}(OCH_2COONa)_x]n$. Натрийкарбоксиметилцеллюлоза представляет собой мелкозернистый порошкообразный материал белого или кремового цвета (иногда выпускается в виде волокнистого продукта).

С целью определения противофильтрационной эффективности водных растворов КМЦ в зависимости от размера минеральных частиц и концентрации реагента были проведены исследования на массовой пробе песчано-гравийных пород с помощью прибора КФ-00. Прибор КФ-00 представляет полый металлический цилиндр с внутренней площадью 25 см^2, высотой 10 см; с обеих сторон цилиндр закрывается сетками. Для определения коэффициента фильтрации цилиндр заполняется породой, которая взвешивается, и из специального сосуда с градуировкой через неё пропускается вода. После засечки времени, в течение которого через толщу пород протекает определённый объем воды, вычисляется коэффициент фильтрации по формуле:

$$Кф = \frac{864Q}{25\tau(0.7+0.03t)}, \text{ м/сут}, \qquad (1)$$

где Q – расход воды, мл; τ – время расхода воды, град; t – температура воды, град.

Грунт классифицировался на фракции, для которых определялись основные плотностные свойства, а также коэффициент фильтрации. Лабораторные исследования водопроницаемости пород, обработанных водными растворами КМЦ, позволили установить существенную зависимость коэффициента фильтрации (Кф) от концентрации реагента (С), времени фильтрации, среднего диаметра частиц грунта (d). Для песчано-гравийных рыхлых пород крупностью от 0,5 до 10 мм установлена эмпирическая зависимость относительной водопроницаемости:

$$K = \frac{K_{ф}^{o}}{K_{ф}^{x}} \quad \text{от d и C} \qquad (2)$$

$$K = \frac{C}{0{,}0031 \quad - \; 0{,}0014\, C} \cdot \exp\left(\frac{d}{0{,}36 - 0.16d}\right)$$

где $K^{x}_{ф}$ - коэффициент фильтрации пород после обработки водными растворами КМЦ.

Представленная формула позволяет сделать вывод о наличии предельных значений концентрации С и среднего диаметра частиц грунта d, при которых обеспечивается высокая эффективность КМЦ. Так, при концентрации 0,5 - 1,0 % и диаметре 1,5-2,0 мм коэффициент фильтрации составляет 400-420 м/сутки - относительное уменьшение водопроницаемости не превышает 5-7 раз, а при концентрации 0,5% и диаметре 0,5-1,0 мм коэффициент фильтрации - 60-65 м/сутки) - достигает 20 - 200 раз (рис. 2).

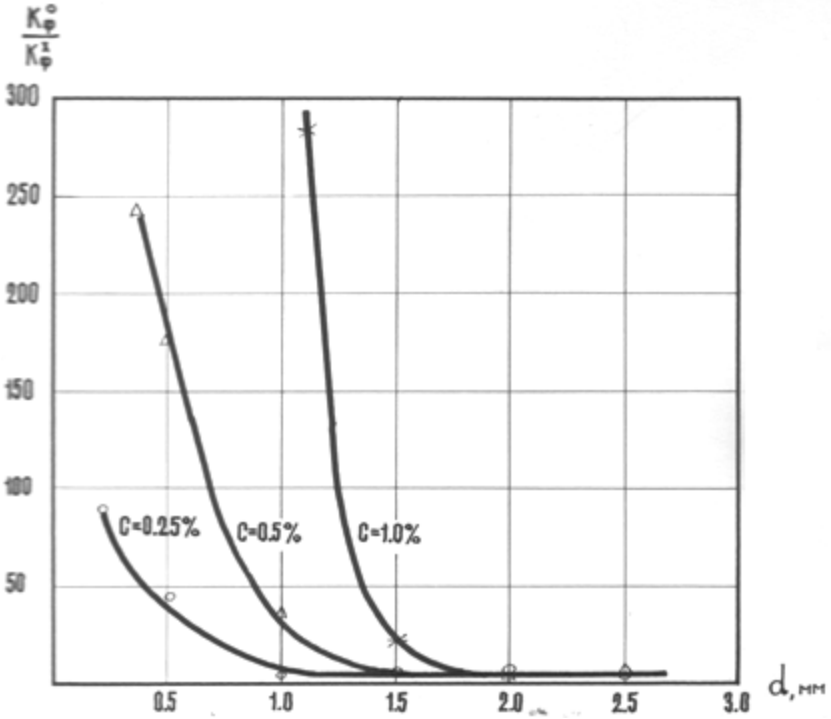


Рисунок 2 - Зависимость водопроницаемости пород от диаметра частиц (d) и от концентрации (С) растворов КМЦ

Результаты

Таким образом, лабораторные исследования противофильтрационных свойств водных растворов КМЦ показали высокую эффективность, существенно зависящую от их

концентрации и гранулометрического состава пород. Водоустойчивость при нормальных градиентах давления (j=1,0-4,5) достаточная.

Для сохранения горных пород в талом состоянии в зимнее время на дражных полигонах необходимо поддерживать определённый уровень воды - для условий Забайкалья 2,0-2,5 метра [6,7,8]. Достичь этого можно путём создания противофильтрационных экранов на пути фильтрующейся воды. Поэтому исследования были выполнены с целью определения рациональных схем предохранения дражных полигонов от промерзания с использованием полимерных плёнок и кольматажа химическими реагентами, а также в выявлении общей картины фильтрации.

Применительно к условиям фильтрации через земляные плотины Н.Н. Павловским [9] установлены следующие закономерности:

1. Значения фильтрационных напоров h (x, y) внутри проницаемого грунта под плотиной не зависят от коэффициента фильтрации Кф и линейно зависят от напоров h_1 и h_2 (h_1 - высота воды в верхнем бьефе, h_2- в нижнем, действующий напор $H = h_1 - h_2$); тип аналитических выражений для функции h (x, y) зависит лишь от типа пограничного контура области функции D.

2. Количество просачивающейся воды пропорционально Кф и H, но не зависит от h_1 и h_2.

3. Типом пограничного контура определяется вид линий равных напоров (эквивалентные линии); вид этих линий не зависит ни от значений h_1 и h_2, ни от действующего напора H, ни от коэффициента фильтрации Кф. Поэтому, если будут построены линии токов и линии равных напоров для какой-либо плотины на песчаном основании, то эти же линии сохраняются для глинистых, илистых и других грунтов при условии, что пограничный контур области фильтрации D остаётся без изменения.

Согласно условиям подобия Н.Н. Павловского исследования проводились на модели земляной плотины в масштабе 1:50.

Плотина имеет следующие параметры:

- ширина гребня плотины (в - 5 м);
- ширина основания плотины (в - 27 м);
- заложение верхнего откоса (m_1 = 1:3);
- заложение низового откоса (m_2 =1:1);
- высота плотины (Нп - 5,5 м);
- действующий напор (Н - 5 м);
- мощность россыпи (Нр - 5 м);
- глубина "зуба" (h_3 - 0…5 м);
- длина экрана (понура) в предплотинной части (Lп - 0…5 м).

При моделировании принималось:

- тело плотины и основание сложены из одного грунта;
- водоупор горизонтален и приурочен к поверхности плотика.

При исследованиях плотины сооружались из пород с коэффициентами фильтрации 12 - 25 м/сутки. Первоначально проводились опыты по экранированию тела плотины полиэтиленовой плёнкой без проходки "зуба" - изменялась только длина понура (горизонтальная часть экрана), затем задавалась разная глубина проходки "зуба" (от 0 до 5,0 м) и одновременно изменялась длина понура.

С увеличением длины понура до 25-30 м фильтрационный расход значительно уменьшался, но в дальнейшем, по мере увеличения длины экрана до 50 м его влияние становится всё более незначительным (рис. 3).

ISSN 2413–9858

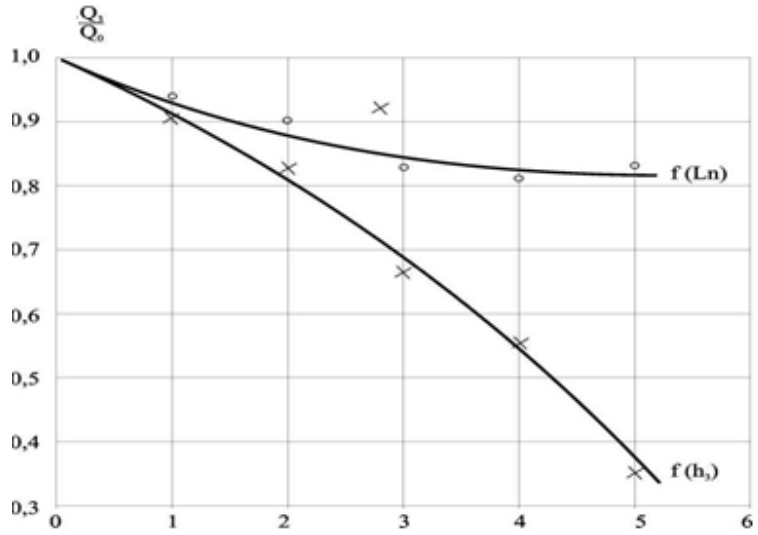


Рисунок 3 - Изменение фильтрационного расхода через тело плотины, экранированной полимерной плёнкой в зависимости от длины понура ($L_{П,м}$) и глубины зуба ($h_{з,м}$). ($Q_э$, $Q_о$ – фильтрационный расход через плотину с экраном и без экрана)

Интересно отметить, что при экранировании только верхового откоса плотины фильтрационный расход почти не изменяется, по-видимому, в данном случае имеет место значительная фильтрация через основание плотины.

Резкое снижение потерь воды наблюдается при проходке "зуба". Так фильтрационный расход при длине понура 50 м уменьшился в 2,5 раза, а при глубине "зуба" 5 м - почти в 7 раз.

Физическое моделирование эффективности химического кольматажа с целью изыскания рациональных схем экранирования, выявления зависимости водопроницаемости от длины понура, глубины "зуба", удельного расхода КМЦ проводилось на той же лотковой модели. Химический реагент наносился на мокрый откос плотины и приплотинную часть. Результаты эксперимента представлены на рис. 4.

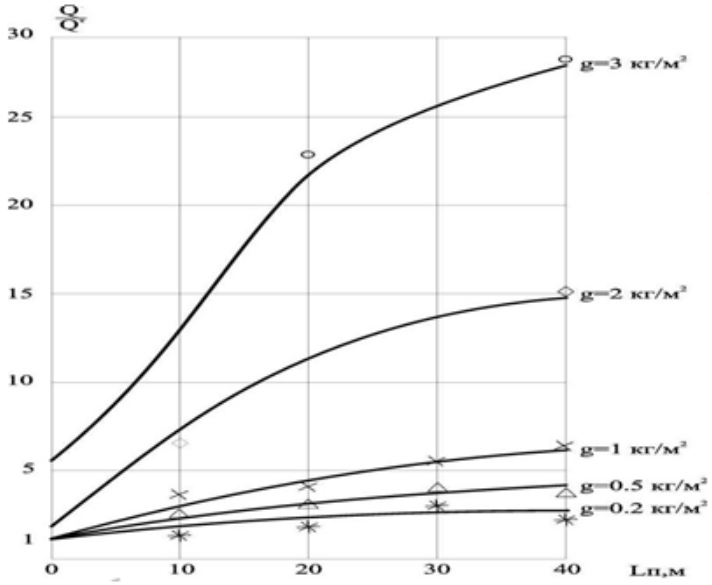


Рисунок 4 - Относительный фильтрационный расход через тело плотины с химическим кольматажем в зависимости от длины понура и удельного расхода реагента

По результатам опытов можно заметить, что фильтрационные потери зависят от длины понура и от удельного расхода порошкового химического реагента, а также от величины "зуба" (рис.4,5). Так, с увеличением длины понура от 0 до 40 м относительное уменьшение потерь воды при расходе 200 г/м^2 составляет 2,56; при расходах 500 г/м^2 , 1 кг/м^2 , 2 кг/м^2, 3 кг/м^2 -соответственно 4,52, 6,3, 14,3, 19,7. Причём, с уменьшением водопроницаемости исходных пород эффективность тампонажа проявляется в большей степени (рис.3). Здесь при исходном коэффициенте фильтрации 25 м/сутки фильтрационные потери уменьшились в 12 раз ($l_П$ = 40м), а при коэффициенте фильтрации 12 м/сут - в 26 ,2 раза.

Существенное уменьшение относительного фильтрационного расхода наблюдается при изменении глубины "зуба" от 0 до 5 м и концентрации реагента (рис.5).

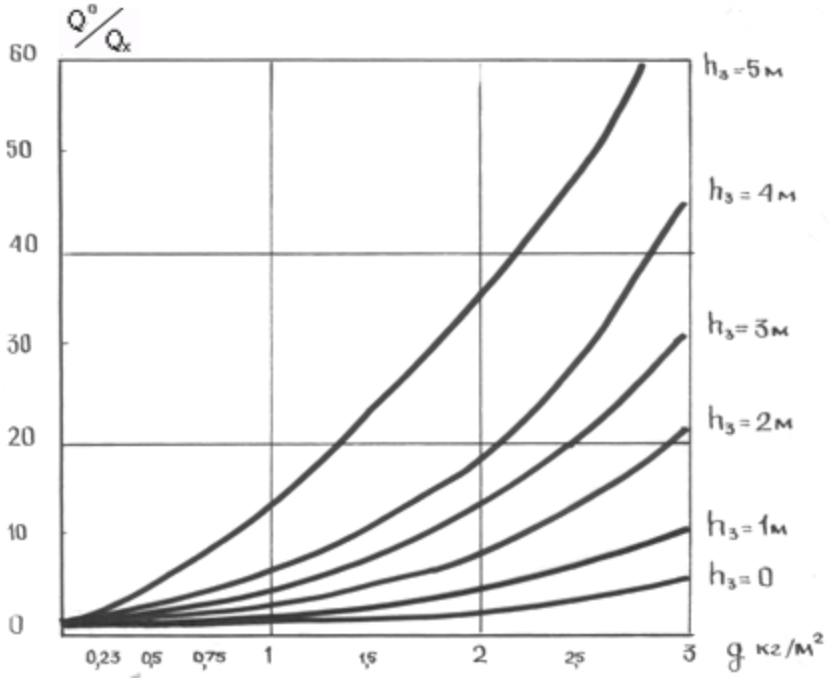


Рисунок 5 - Изменение относительного фильтрационного расхода через тело плотины с химическим кольматажем в зависимости от удельного расхода реагента и глубины «зуба»

Как видно на графике, при концентрации КМЦ 500 г/м^2, при глубине "зуба" 5,0 м потери уменьшается в 3,5 раза, а с увеличением удельного расхода КМЦ до 3 кг/м^2 - в 64 раза.

Модель земляной плотины была изготовлена из песчаных пород в ящике, сделанном из пластика. Для уменьшения утечки воды дно ящика и боковые стенки обмазывались цементом. Плёнка укладывалась по всей длине мокрого откоса и заглублялась в водопроницаемое основание на глубину от 0 до 5 м, т.е. до водоупора.

Для получения более достоверных данных об эффективности технологических схем предохранения пород от промерзания затоплением с использованием полимерного экранирования плотин проводилось математическое моделирование, в том числе на блочном универсальном сеточном электроинтеграторе (БУСЭ).

Обсуждение результатов

Исходя из результатов вышеприведённых исследований химического кольматажа и полимерного экранирования плотин на объёмной модели земляной плотины, можно сделать вывод, что предпочтительной технологией сооружения противофильтрационных экранов и химической кольматации является экранирование или кольматация тела плотины с

проходкой "зуба" в основании на полную мощность водопроницаемых пород. Если это сделать не представляется возможным, то сооружается понур в приплотинной части на величину до 40-50 метров. Во избежание сползания химического реагента к основанию плотины и разрушения противофильтрационного слоя быстрым потоком жидкости желательно отсыпать защитный слой толщиной 10-20 сантиметров, а при крупнодисперсных породах (d›3-5 см) - отсыпать подстилающий слой.

Для обоснованного вывода о целесообразности предохранения пород с использованием химического кольматажа, а также выбора рациональной технологии обработки были выполнены промышленные испытания на Среднем Борзинском карьере, сущность которых сводилась к следующему.

В разных местах полигона, имеющих различный коэффициент фильтрации, соответственно для первого участка - 6,7 м/сутки, для второго - 21 м/сутки, для третьего - 34,5 м/сутки, для четвёртого - 57,3 м/сутки - были пройдены четыре одинаковых траншеи шириной 3 м, глубиной 1,5 м, длиной, 30 м с уклоном дна до 0,04. Нижняя часть траншей была перекрыта небольшими плотинами высотой 1,5 м, шириной по верху 1 м заложением мокрого откоса 1:3, заложением сухого откоса 1:1. Первоначально в котлованы закачивалась вода до отметки, обеспечивающей во всех водоёмах гидравлический напор 1,0 м. После прекращения подачи воды велись наблюдения за фильтрационными потерями, которые, для всех водоёмов оказались близки по значению и в последующем считались контрольными. После полного истечения воды котлованы обрабатывались порошкообразным КМЦ с удельными расходами 100, 500, 1000, 1500, 2000, 3000 г/м^2 и наполнялись водой до контрольных отметок. Исследуемые схемы характеризовались различной длиной понура и глубиной "зуба".

Результаты наблюдений эффективности схем свидетельствуют о наличии весьма существенной зависимости относительных ($Q_ф^o/Q_ф$) фильтрационных потерь от удельного расхода реагента, длины понура, глубины "зуба" (рис. 6).

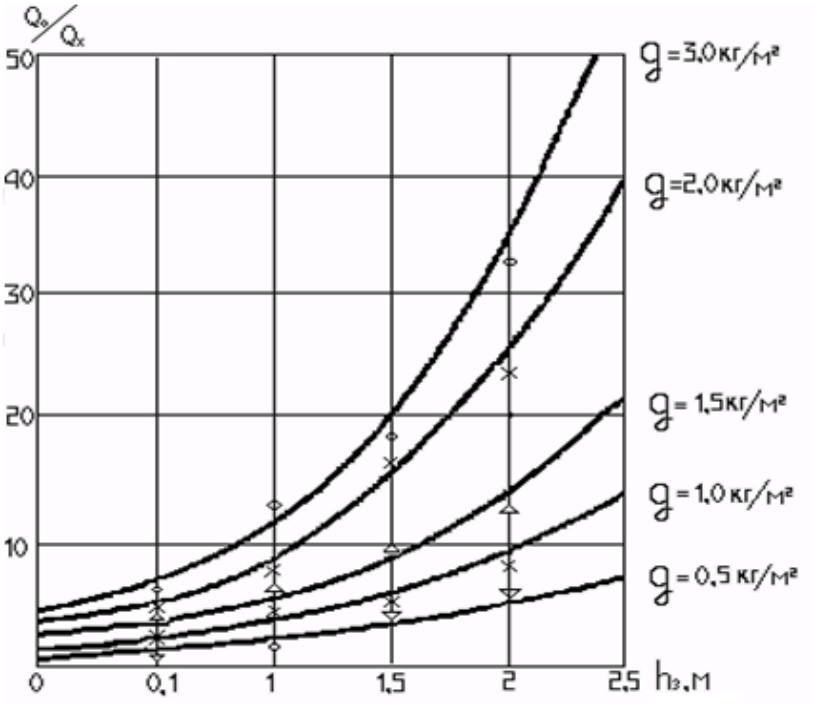


Рисунок 6 - Зависимость противофильтрационных расходов через тело и основание плотины от глубины «зуба» и удельного расхода реагента (по результатам промышленных испытаний)

Характер полученной зависимости аналогичен результатам лабораторных исследований, однако влияние масштабного фактора несколько изменило абсолютное

значение фильтрационной эффективности реагента. Так расходы от 100 до 500 г/м^2 мало влияют на уменьшение фильтрации, и для существенного снижение водопроницаемости в грунтах с коэффициентом более 30 м/сутки рекомендуется назначить расходы от 2,0 до 3,0 кг/м^2. В то же время в лабораторных условиях водопроницаемость практически не снижалась на гравелистых грунтах с диаметром частиц 5-10 см коэффициент фильтрации составлял свыше 600 м/сутки при расходах порошка Na - КМЦ 300-500 г/м^2.

Длина понура и глубина "зуба" также оказывает существенное влияние на эффективность схем экранирования. Наилучший эффект наблюдается при длине понура, равной длине водоёма или глубине "зуба" до плотика, но в практике невозможно обрабатывать всю площадь водоёма из-за большого расхода реагента, значительной трудоёмкости и стоимости работ (рис.7).

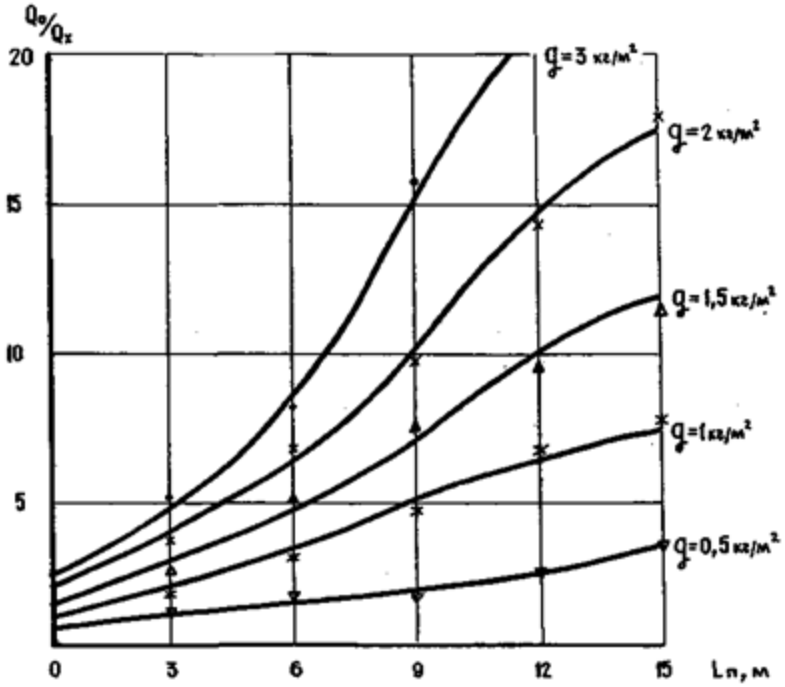


Рисунок 7 - Зависимость фильтрационных расходов через тело и основание плотины от длины понура и удельного расхода реагента (по результатам промышленных испытаний)

Как видно из графиков, удовлетворительные результаты получены при длине понура равной от 6 до 10 Нр.

Таким образом, на основании проведённых исследований разработана технология предохранения дражных полигонов от сезонного промерзания затоплением с использованием химических реагентов и полимерных плёнок. Схема промышленных испытаний приведена на рис. 8. Расхождение результатов лабораторных исследований с натурными испытаниями составляет 10-20%.

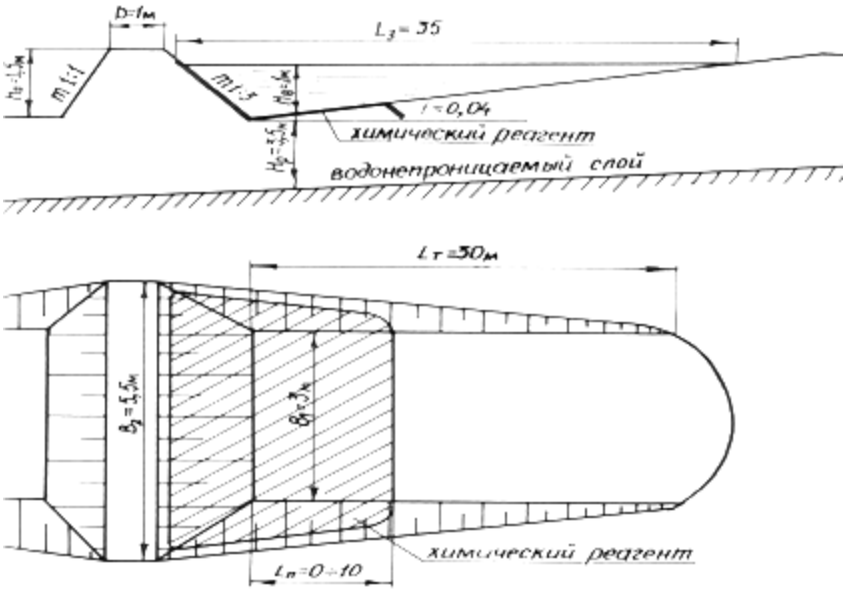


Рисунок 8 - Схема промышленных испытаний технологических схем предохранения дражных полигонов от промерзания затоплением

Заключение

В результате проведённых исследований (лабораторных, объёмно-физического моделирования, математического моделирования, математического анализа, полупромышленных испытаний) разработана технология предохранения дражных полигонов от сезонного промерзания затоплением с использованием химических реагентов и полимерных плёнок. На основе ранее выполненных исследований и внедрения в производство установлено, что наиболее эффективными являются экраны плотин из полимерных плёнок и химического реагента натрий-карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) [10]. В результате лабораторных исследований, объемно-физического и математического моделирования, промышленных испытаний и внедрения установлено, что фильтрационный расход через тело и основание плотины зависит от глубины зуба, длины понура и удельного расхода реагента.

Разработаны технологические схемы предохранения пород от промерзания затоплением с использованием химического кольматажа и экранирования плотин полимерными плёнками:

- сооружение плотины с кольматажем или экранированием мокрого откоса плотины;
- сооружение плотины с кольматажем или экранированием мокрого откоса плотины и зуба пройденного не на всю мощность рыхлых отложений;
- сооружение плотины с кольматажем или экранированием мокрого откоса плотины и зуба, пройденного до плотика;
- сооружение плотины с кольматажем или экранированием мокрого откоса и понура;
- сооружение плотины с кольматажем или экранированием мокрого откоса понура и зуба, пройденного не на всю мощность рыхлых отложений.

В результате проведённых исследований установлены необходимые размеры зуба и понура для конкретных условий месторождений, а также нормы расхода реагента, которые изменяются в пределах 0,5-3,0 кг/м^2 в зависимости от гранулометрического состава пород. Применение этой или иной схемы для наиболее распространённых условий, т.е. уклона долины 0,01 - 0,001, высоте плотин 4 - 7 м, мокром откосе плотин -1:3, сухом откосе 1:1 - 1:2, зависит от гидрогеологических условий.

Установлено, что при высокой водопроницаемости пород ($К_ф$= 50-100 м/сутки и более) целесообразно применять комбинированную схему - экранирование тела плотины, понура или "зуба" полиэтиленовой, плёнкой с последующей химической кольматацией. После сооружения

плотины и проходки необходимо укладывать полотнища плёнки, отсыпать защитный слой (толщиной до 0,2 м) и производить обработку химическим реагентом (с расходом не менее 2 кг/м^2) обычным способом.

Для выбора технологической схемы, обеспечивающей необходимый срок предохранения пород от промерзания при сооружении экранов из полимерных плёнок можно воспользоваться зависимостью, полученной с помощью математического моделирования, путём решения серии задач:

$$Q = \frac{L_П(0{,}6 - 0{,}12h_3) + (8.5 - 1.8h_3)}{H_O - 2h_3 + 0.2h^2{}_3} \quad (3)$$

где H_O – мощность водоносного основания, м.

Учёт исходной водопроницаемости пород россыпи осуществляют с использованием зависимостей. Эти зависимости описываются следующими эмпирическими формулами:

- зависимость фильтрационных расходов через тело и основание плотины от длины понура $L_П$ и удельного расхода химического реагента q (при $L_П$<50,0м):

$$Q = \frac{q}{0.238 + 0.963q} + \left(0.58 + 0.87^{\ell nq}\right)L_П \quad (4)$$

- зависимость фильтрационных расходов через тело и основание плотины от глубины зуба $h_З$ и удельного расхода реагента q (при $h_З$<5,0м):

$$Q = \exp\left[\left(0.469 + 1.041^{\ell nq}\right) + \frac{qh_3}{0.238 + 0.963q}\right] \quad (5)$$

- зависимость фильтрационных расходов через тело и основание плотины от исходного коэффициента фильтрации пород $К_Ф$ и удельного расхода реагента q (при $h_З$=5,0м):

$$Q = 9.4 + 16.1\ell gq + \frac{[\exp(3.343 + 0.632q)]}{K_\phi} \quad (6)$$

Сходимость результатов фильтрационных расходов рассчитанных по формулам с натурными данными составляет от 5% до 25%, что можно считать удовлетворительным.

Проведённые исследования имеют практическую значимость. Результаты исследований были внедрены на предприятиях Западной Сибири, Якутии, Таджикистана, Забайкалья.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Справочное руководство по тампонажным растворам / В.С. Данюшевский, И.Ф. Толстых, В.М. Мильштейн. Москва: Недра. 1972. 312 с.

2. Битимбаев М.Ж. Химическая кольматация и способы её устранения при подземном выщелачивании металлов // Вестник национальной инженерной академии РК. 2009, № 2 (32). С. 122-125.

3. Курочкин Б.М., Алекперов В.Т. Курочкин Б.М. Интенсификация процессов кольматации мелкопористых проницаемых пластов механическим способом // Нефтяное хозяйство. Москва: ВНИИ БТ. 1972. № 8. С. 11-14.

4. Ананьев С.А., Яхшибеков Ф.Р., Быков В.В., Горгоц В.Д. Применение технологии химической кольматации при бурении скважин на месторождениях Республики Саха (Якутия) // Нефтяное хозяйство. Москва. 2013. №1. С. 50-52.

5. Субботин Ю.В. Комбинированная противофильтрационная защита технологических плотин // Горный информационно- аналитический бюллетень. 2007. №12. С. 350- 356.

6. Костромин М.В. Проблемы разработки россыпных месторождений Забайкалья // Инновационные технологии и проекты в горно-металлургическом комплексе, их научное и кадровое

сопровождение: труды Международной научно-практической конференции. Алматы: КазНТУ, 2014. С.193-195.

7. Костромин М.В. Решение некоторых проблем разработки россыпных месторождений // Кулагинские чтения: техника и технология производственных процессов: XIII Международная научно-практическая конференция в 5-ти т. Чита: ЗабГУ, 2013. Ч.2. С. 12-17.

8. Костромин М.В., Леонтьев А.А. Предохранение дражных полигонов от промерзания с использованием искусственных противофильтрационных экранов // Геокриологические проблемы Забайкалья и сопредельных территорий: материалы IV Международной научно-практической конференции. Чита: ЧитГУ, 2010. С.235-238.

9. Павловский Н.Н. Теория движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями и её основные приложения. Москва: Л.: Изд-во АН СССР. 1956. Т. 2., 771 с.

10. Костромин М.В. Плотины при разработке россыпных месторождений в различных горнотехнических и климатических условиях // Проблемы и перспективы комплексного освоения недр / под ред. К.Н. Трубецкого. Москва: ИПКОН РАН. 2016. С. 198-201.

REFERENCES

1. Danyushevskij V.S., Tolstyh I.F., Mil'shtejn V.M. *Spravochnoe rukovodstvo po tamponazhnym rastvoram.* [Reference guide on grouting solutions]. Moscow: *Nedra.* 1972. 312 p.

2. Bitimbaev M.Zh. *Himicheskaya kol'mataciya i sposoby eyo ustraneniya pri podzemnom vyshchelachivanii metallov* [Chemical coloration and methods of its elimination during underground metal leaching]. *Vestnik nacional'noj inzhenernoj akademii RK.* 2009. No. 2 (32), pp. 122-125.

3. Kurochkin B.M., Alekperov V.T. Kurochkin B.M. *Intensifikaciya processov kol'matacii melkoporistyh pronicaemyh plastov mekhanicheskim sposobom* [Intensification of processes of colmatation of finely porous permeable formations by mechanical method]. *Neftyanoe hozyajstvo*. Moscow: *VNII BT*. 1972. No. 8, pp. 11-14.

4. Anan'ev S.A., Yahshibekov F.R., Bykov V.V., Gorgoc V.D. *Primenenie tekhnologii himicheskoj kol'matacii pri burenii skvazhin na mestorozhdeniyah Respubliki Saha (YAkutiya)* [Application of chemical coloration technology in drilling wells in the fields of the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Neftyanoe hozyajstvo.* Moscow. 2013. No. 1, pp. 50-52.

5. Subbotin Yu.V. *Kombinirovannaya protivofil'tracionnaya zashchita tekhnologicheskih plotin* [Combined anti filtration protection of technological dams]. *Gornyj informacionno- analiticheskij byulleten'*. 2007. No. 12, pp. 350- 356.

6. Kostromin M.V. *Problemy razrabotki rossypnyh mestorozhdenij Zabajkal'ya* [Problems of development of placer deposits in Transbaikalia]. *Innovacionnye tekhnologii i proekty v gorno-metallurgicheskom komplekse, ih nauchnoe i kadrovoe soprovozhdenie: trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii.* Almaty: KazNTU. 2014, pp. 193-195.

7. Kostromin M.V. *Reshenie nekotoryh problem razrabotki rossypnyh mestorozhdenij* [The solution of some problems of the development of placer deposits]. *Kulaginskie chteniya: tekhnika i tekhnologiya proizvodstvennyh processov: XIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya v 5-mi t.* Chita: ZabGU. 2013. V. 2, pp. 12-17.

8. Kostromin M.V., Leont'ev A.A. *Predohranenie drazhnyh poligonov ot promerzaniya s ispol'zovaniem iskusstvennyh protivofil'tracionnyh ekranov* [Protection of drainage polygons from freezing using artificial antifiltration screens]. *Geokriologicheskie problemy Zabajkal'ya i sopredel'nyh territorij: materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*. Chita: Chita State University. 2010, pp. 235-238.

9. Pavlovskij N.N. *Teoriya dvizheniya gruntovyh vod pod gidrotekhnicheskimi sooruzheniyami i eyo osnovnye prilozheniya* [Theory of groundwater movement under hydraulic structures and its main applications]. Moscow: L.: Izd-vo AN SSSR. 1956. V. 2. 771 p.

10. Kostromin M.V. *Plotiny pri razrabotke rossypnyh mestorozhdenij v razlichnyh gornotekhnicheskih i klimaticheskih usloviyah. pod red. K.N. Trubeckogo* [Dams during the development of placer deposits in various mining and climatic conditions. Ed. by K.N. Trubeckogo]. Moscow: IPKON RAS, 2016, pp. 198-201.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ	INFORMATION ABOUT THE AUTHORS
Костромин Михаил Витальевич - доктор технических наук, профессор, Российская инженерная академия (125009, Россия, г. Москва, пер. Газетный, стр. 4, e-mail: kostrmv@yandex.ru)	*Kostromin Mikhail Vitalievich* - Dr. Sci. (Eng.), Prof. (129009, Russia, Moscow, Newspaper alley, buildinq 4, e-mail: kostrmv@yandex.ru)
Кузин Виктор Фёдорович - доктор технических наук, профессор (125009, Россия, г. Москва, пер. Газетный, стр. 4, e-mail: vfkuzin@mail.ru)	*Kuzin Victor Fedorovich* – Dr. Sci. (Eng.), Prof., (129009, Russia, Moscow, Newspaper alley, buildinq 4, e-mail: vfkuzin@mail.ru)
Костромина Ирина Владимировна - кандидат технических наук, доцент, Забайкальский государственный университет, Горная академия (672000, Россия, г. Чита, ул. Кастринская,1, e-mail: kostrominaiv62@mail.ru)	*Kostromina Irina Vladimirovna* – Ph.D., Assoc. Prof., Zabaykalsky State University, Mining Academy (672000, Russia, Chita, Kastrinskay 1 street, e-mail: kostrominaiv62@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 03.07.2026; одобрена после рецензирования 02.09.2026, принята к публикации 21.09.2026.
The article was submitted 03.07.2026; approved after reviewing 02.09.2026; accepted for publication 21.09.2026.