

Научная статья

УДК622.271.1:628.1

DOI: 10.21209/2227-9245-2025-31-2-19-29

Обоснование необходимой вместимости илоотстойников при разработке россыпей

Борис Леонидович Тальгамер¹, Михаил Юрьевич Марков²^{1,2}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия¹talgamer@ex.istu.edu, <https://orcid.org/0000-0003-1201-2693>²mixail.marck1997@vk.com, <https://orcid.org/0000-0001-6376-6378>

Значения параметров, являющихся исходными данными для определения необходимой вместимости илоотстойников, принимаются без достаточного научного обоснования, что приводит к значительным расхождениям между проектными и фактическими параметрами очистных сооружений и необходимости корректировки процесса водоподготовки. Объект исследования – илоотстойники на разрабатываемых россыпных месторождениях. Цель исследования – анализ используемых методов расчёта вместимости илоотстойников и внесение рекомендаций по обоснованию некоторых составляющих расчётных формул. Задачи исследования: выполнить системный анализ существующих методик проектирования очистных сооружений на россыпях и имеющихся проектных решений; провести полевые исследования на объектах россыпной золотодобычи; выявить факторы, оказывающие наибольшее влияние на параметры илоотстойников; разработать рекомендации по корректировке существующей формулы определения необходимой вместимости илоотстойника. Методологию и методы исследования составили: анализ традиционных методов расчёта необходимой вместимости илоотстойников; сопоставление проектных и фактических параметров очистных сооружений; проведение полевых исследований с отбором проб эфелей и технологической воды на действующих объектах с последующим их лабораторным исследованием, в первую очередь гранулометрического состава хвостов обогащения и взвешенных частиц в технологической воде. На основе системного анализа выявлены основные составляющие формулы, используемые для определения необходимой вместимости илоотстойников, которые принимаются без достаточного обоснования и могут изменяться в широких пределах при различных условиях водоподготовки, разработаны рекомендации по корректировке формулы расчёта необходимой вместимости илоотстойников и принимаемых значений исходных данных. Результаты расчётов по предлагаемой формуле относительно традиционной отличаются до $\pm 75\%$, однако в целом коррелируют с рекомендуемыми значениями Инструкции ВНИИ-1 и данными полевых исследований, поэтому с учётом рекомендаций проектное значение необходимой вместимости илоотстойников будет более обоснованным, что положительно скажется на качестве водоподготовки и показателях работы промприборов.

Ключевые слова: россыпные месторождения, промприбор, технологическая вода, эфельный отвал, водоподготовка, водоснабжение, илоотстойники, взвешенные частицы, гидротехнические сооружения, обогащение песков

Для цитирования

Тальгамер Б. Л., Марков М. Ю. Обоснование необходимой вместимости илоотстойников при разработке россыпей // Вестник Забайкальского государственного университета. 2025. Т. 31, № 2. С. 19–29. DOI: 10.21209/2227-9245-2025-31-2-19-29

Original article**Justification of the Required Capacity of Sludge Settling Tanks During the Placers Development****Boris L. Talgamer¹, Mikhail Yu. Markov²**^{1,2}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia¹talgamer@ex.istu.edu, <https://orcid.org/0000-0003-1201-2693>²mixail.marck1997@vk.com, <https://orcid.org/0000-0001-6376-6378>

The values of the parameters that are the initial data for determining the required capacity of sludge tanks are adopted without sufficient scientific justification, which leads to significant discrepancies between the design and actual parameters of treatment facilities and the need to adjust the water treatment process. The object of the study is sludge tanks at developed placer deposits. The purpose of the study is to analyze the methods used to calculate the capacity of sludge tanks and to make recommendations for the justification of some components of the calculation formulas. Research objectives are as follows: to perform a systems analysis of the existing design methods for treatment facilities at placers and existing design solutions; to conduct

field studies at placer gold mining sites; to identify the factors that have the greatest impact on the parameters of sludge tanks; to develop recommendations for adjusting the existing formula for determining the required capacity of a sludge tank. Research methodology and methods have become: analysis of traditional methods for calculating the required capacity of sludge tanks; comparison of the design and actual parameters of treatment facilities; conducting field studies with sampling of effluents and process water at operating facilities with subsequent laboratory testing, primarily of the granulometric composition of enrichment tailings and suspended particles in process water. As a result, based on a systems analysis, the main components of the formula used to determine the required capacity of sludge tanks have been identified, which are adopted without sufficient justification and can vary widely under different water treatment conditions; recommendations are developed for adjusting the formula for calculating the required capacity of sludge tanks and the accepted values of the initial data. The results of calculations using the proposed formula differ from the traditional one by up to $\pm 75\%$, but generally correlate with the recommended values of the VNII-1 Instruction and field research data. Therefore, taking into account the recommendations, the design value of the required capacity of sludge tanks will be more justified and it will have a positive effect on the quality of water treatment and performance of industrial devices.

Keywords: placer deposits, industrial device, process water, tiled dump, water treatment, water supply, sludge settling tanks, suspended particles, hydraulic structures, mineral dressing

For citation

Talgame B. L., Markov M. Yu. Justification of the Required Capacity of Sludge Settling Tanks During the Placers Development // Transbaikal State University Journal. 2025. Vol. 31, no. 2. P. 19–29. DOI: 10.21209/2227-9245-2025-31-2-19-29

Введение. В настоящее время, несмотря на снижение доли россыпей в золотодобыче страны, они остаются высокоэффективными объектами горнодобывающей промышленности¹ [1–3]. При этом условия вовлечения их в эксплуатацию постепенно ухудшаются: увеличиваются глубина залегания [4], доля техногенных запасов [4–7], глинистость отложений [8–10], количество мелкого золота [11; 12]. В связи с последним повышается актуальность вопросов, связанных с водоподготовкой при обогащении полезных ископаемых, т. к. снижение качества технологической воды влечёт повышенные потери ценных компонентов [13–15] и, как следствие, создание техногенных месторождений. При разработке россыпей водоподготовка и складирование жидких хвостов обогащения осуществляются с использованием илоотстойников [10; 16; 17].

Термин «илоотстойник» в технической литературе чаще всего используется применительно к очистке сточных вод от взвешенных частиц. В горном деле, преимущественно при разработке россыпей, илоотстойники используются для очистки технологической (оборотной) воды в основном от грубодисперсных взвесей крупнее 10–50 мкм. Для осаждения более мелких частиц, содержащихся в сточных водах, используются отстойники.

Расчёт необходимой вместимости илоотстойников производится путём суммирования объёма складываемых в илоотстойнике хвостов обогащения и объёма водоема, обеспечивающего необходимую степень осветления

технологической воды за счёт осаждения более крупных частиц (более 0,05 мм). Вместе с тем аналитический расчёт этих двух слагаемых не так прост, т. к. зависит от целого ряда факторов, определяющих условия водоподготовки.

Сопоставление проектных решений по обоснованию параметров илоотстойников с результатами их эксплуатации показывает на имеющееся несоответствие расчётной и фактической степени осветления технологической воды, а также объёмов илов, складываемых ниже уровня воды. В связи с этим на практике часто необходимо либо увеличивать параметры илоотстойника, в том числе за счёт наращивания водоподпорных и ограждающих дамб, либо переносить промприбор на новую стоянку или осуществлять удаление эфелей и илов за пределы технологического водоема.

В ряде случаев низкая степень осветления технологической воды в илоотстойниках существенно ухудшала условия водоснабжения промприборов и обогащения полезного ископаемого [13]. Высокое содержание взвесей в оборотной воде ведёт к увеличению расхода электроэнергии на перекачку твёрдого материала, износа насосов и трубопроводов и к повышению технологических потерь ценных компонентов. Вместе с тем чрезмерное увеличение параметров илоотстойников влечёт повышение затрат на строительство гидротехнических сооружений и, как правило, рост землеёмкости горных работ, а также потерь воды (в том числе на испарение и фильтрационные утечки) и расхода сточных вод.

Актуальность исследования. Специфика традиционной технологии водоподготовки при разработке россыпных месторожде-

¹ Кавчик Б. К. Роль россыпной золотодобычи в развитии России: к 210-летию начала освоения россыпей. – URL: <https://zolotodb.ru/article/13268> (дата обращения: 30.01.2025). – Текст: электронный.

ний заключается в образовании значительных объёмов отходов обогащения при промывке продуктивных отложений. Применяемые с целью их складирования и утилизации илоотстойники рассчитываются ещё на стадии проектирования горных работ, при этом значения параметров, являющихся исходными данными для определения необходимой вместимости илоотстойников, принимаются без достаточного научного обоснования, что приводит к значительным расхождениям между проектными и фактическими параметрами очистных сооружений и необходимости корректировки процесса водоподготовки.

Объект исследования – илоотстойники на разрабатываемых россыпных месторождениях.

Предмет исследования – существующие методики расчёта параметров илоотстойников.

Цель исследования – анализ используемых методов расчёта вместимости илоотстойников и внесение рекомендаций по обоснованию некоторых составляющих расчётных формул.

Задачи исследования:

- выполнить системный анализ существующих методик проектирования очистных сооружений на россыпях и имеющихся проектных решений;
- провести полевые исследования на объектах золотодобычи;
- выявить факторы, оказывающие наибольшее влияние на параметры илоотстойников;
- разработать рекомендации по корректировке существующей формулы определения необходимой вместимости илоотстойника.

Методология и методы исследования. Методологию и методы исследования составили: анализ традиционных методов расчёта необходимой вместимости илоотстойников; сопоставление проектных и фактических параметров очистных сооружений; проведение полевых исследований с отбором проб эфелей и технологической воды на действующих объектах с последующим их лабораторным исследованием, в первую очередь гранулометрического состава хвостов обогащения и взвешенных частиц в технологической воде.

Разработанность темы исследования. Проблемам утилизации отходов обогащения и очистке технологической и сточных вод посвящено большое количество научных трудов. Традиционно решение этих вопросов совмещается путём создания илоотстойников, в которых складываются жидкие отходы

обогащения и осуществляется очистка технологической (оборотной) воды.

Вопросами проектирования водоочистных сооружений и процессами водоподготовки при разработке россыпных месторождений в разные годы занимались Институт проблем комплексного освоения недр РАН, ОАО «Иргиредмет», Сибирский федеральный университет (Институт цветных металлов и материаловедения), Иркутский национальный исследовательский технический университет, АО «ВНИИИ-1», Забайкальский государственный университет.

Результаты исследования. При разработке россыпных месторождений открытым способом большой объём работ связан с утилизацией отходов обогащения и очисткой технологической и сточных вод [17]. Решение этих вопросов чаще всего совмещается путём создания илоотстойников, в которых складываются жидкие отходы обогащения и осуществляется очистка технологической (оборотной) воды [16–18]. При разработке даже небольших россыпей сооружается несколько илоотстойников, занимающих иногда до 10–30 % площади земельного отвода. Периодичность сооружения илоотстойников зависит от технологии разработки россыпи, имеющегося горного и обогатительного оборудования и составляет в среднем от нескольких дней до 2–3 лет. Анализ более 60 проектов горных работ по разработке россыпей в Красноярском крае, Иркутской и Амурской областях с планируемым сооружением порядка 250 илоотстойников позволил дать их общую характеристику, приведенную в табл. 1.

Анализ проектных параметров илоотстойников показал, что с ростом глубины залегания продуктивного пласта наблюдается увеличение конструктивных параметров илоотстойников и объёма воды в них, при этом расчётный средний резерв на неглубоких россыпях (менее 6 м) значительно выше.

В полевых условиях исследовано шесть илоотстойников. Исследования включали определение фактических параметров очистных сооружений, а также отбор проб технологической воды и отложений, расположенных ниже уровня воды в илоотстойниках.

На практике фактические параметры илоотстойников существенно отличаются от проектных, что связано как с неточностью определения параметров месторождения по результатам геологоразведочных работ, так и с отступлениями от проектных решений по технологии горных работ, используемому оборудованию и календарному плану отработки запасов.

Таблица 1 / Table 1

Основные параметры проектируемых при разработке россыпей илоотстойников / Table 1. Main parameters of sludge settling basins designed for the placers development

Объекты разработки / Development objects	Количество объектов / Number of objects	Количество илоотстойников / Number of sludge tanks	Расположение / Location			Средние параметры				
			на дневной поверхности / on the daylight surface	в создаваемых выработках / in the created mine workings	в выработках и старых печи / in the mine workings of past years	глубина, м / depth, m	площадь зеркала, тыс. м² / mirror area, thousand m²	ёмкость, тыс. м³ / capacity, thousand m³	объём воды, тыс. м³ / water volume, thousand m³	ёмкость, % / reserve capacity, %
Глубокие россыпи (более 15 м) / Deep placers (more than 15 m)	16	26	4	20	2	5,7	30,0	197,1	116,1	58,5
Средние россыпи (6–15 м) / Medium placers (6–15 m)	14	37	5	32	–	4,1	15,7	80,8	32,9	39,8
Неглубокие и мелкие россыпи (менее 6 м) / Shallow and small placers (less than 6 m)	30	188	11	175	2	3,7	9,9	44,6	32,5	125,2

В ряде случаев изменение технологических решений по эксплуатации россыпи было вызвано необходимостью увеличения параметров илоотстойников или было связано с их очисткой и увеличением объемов работ по разваловке эфелей. Последнее объясняется неточностью прогнозирования их необходимой вместимости.

В настоящее время при расчёте необходимой вместимости илоотстойников, как правило, используется формула, рекомендованная «Руководством по выбору и проектированию систем водоснабжения, водоотведения и способам водоподготовки при разработке россыпных месторождений», подготовленным институтом ИРГИРЕДМЕТ [19]. Формула имеет следующий вид:

$$W_{\text{ил}} = A_{\text{г}} \cdot \lambda \cdot [k_p + (D - D_{0,05}) \cdot k_n \cdot 10^{-2}] + Q \cdot R \cdot t, \quad (1)$$

где $A_{\text{г}}$ – планируемый объём промывки горной массы за период эксплуатации очистных сооружений, м³; λ – коэффициент, учитывающий условия складирования хвостов, доли ед.; k_p – коэффициент разрыхления илисто-глинистых пород, доли ед.; D – массовая доля частиц размером менее 1 мм в разрабатываемых песках; $D_{0,05}$ – массовая доля глинистых частиц менее 0,05 мм в разрабатываемых песках; k_n – коэффициент набухания илисто-глинистых частиц, доли ед.; Q – часовая производительность промывочной установки, м³/ч; R – расход технологической воды 1 м³ промываемой массы, м³/м³; t – продолжительность работы промприбора в течение суток, ч.

Анализ формулы показывает, что объём эфельной фракции хвостов обогащения, складываемых ниже уровня воды, зависит от объёма промываемых песков, места установки промприбора относительно илоотстойника, доли частиц менее 1 и 0,05 мм, коэффициентов разрыхления и набухания эфелей.

Наиболее трудноопределимым и значимым является коэффициент λ , учитывающий долю эфелей, складываемых под водой (см. далее). Относительно просто устанавливается значение коэффициента разрыхления эфелей: для мелкозернистых песков рекомендуется принимать $k_p = 1,10$ – $1,15$, для крупнозернистых – $k_p = 1,40$ – $1,50$ [Там же]. Учитывая, что состав эфелей представлен разнозернистым материалом, в среднем рекомендуется принимать $k_p = 1,20$ – $1,30$. Однако в связи с тем, что крупнозернистые пески большей частью остаются на берегу, вблизи от места выпуска хвостов с промприбора более приемлемо значение $k_p = 1,10$ [16–18; 20]. Анализ гранулометрического состава

подводной части эфелей в илоотстойниках по результатам полевых исследований и по данным геологоразведочных работ, проводимых с целью изыскания и утверждения техногенных запасов для повторной разработки, на золотодобывающих предприятиях Иркутской и Амурской областей показал, что основная часть этих отложений представлена фракциями 1–5 мм (в среднем – 83,15 %), около 16,8 % – фракциями 5–7 мм, частицы менее 0,05 мм составляют в среднем 3,6 %.

При расчёте объёма эфелей, связанного с набуханием глинистых частиц, авторами методики [19] справедливо приводится зависимость рекомендуемых значений коэффициента набухания ($k_n = 1,05$ – $1,50$) от содержания в песках частиц менее 0,05 мм (3–33 %). Вместе с тем сомножитель коэффициента набухания в формуле 1 – это доля частиц более 0,05 мм и менее 1 мм [21], поэтому коэффициент набухания должен устанавливаться в зависимости от количества именно этих частиц.

Величина набухания зависит от очень большого количества факторов, в том числе от минерального состава и крупности частиц, pH и химического состава воды, влажности пород и внешних условий (мощности и глубины залегания отложений) и т. д. [Там же]. Однако в рассматриваемых условиях набухание отложений в илоотстойниках в основном связано с содержанием в них глинистых и коллоидных частиц [9]. Доля таких частиц в эфельных отложениях весьма небольшая, т. к. их осаждение в небольших технологических водоёмах практически не происходит. Набухание частиц размером 0,05–1,0 мм весьма незначительно [Там же] и в принципе поглощается включённым в формулу 1 коэффициентом разрыхления. Гравийно-песчаные и супесчаные породы при подводном отвалообразовании незначительно изменяют свой объём по сравнению с объёмом в целике. Глинистые же породы обладают малой водоотдачей и при складировании в отвал значительно увеличивают свой объём (в 1,2–1,5 раза). В илоотстойниках на россыпях глинистые породы (<0,05 мм) практически не осаждаются, поэтому основная часть эфельного отвала представлена фракциями более 0,05 мм [16; 22]. Соответственно, коэффициент набухания будет составлять 1,05–1,15, что соответствует супесям, пылеватым пескам. При этом в технической литературе учитывается либо коэффициент набухания (Г. А. Нурок, Ю. В. Бубис, Ю. В. Бруяннин, В. Б. Добрецов, А. Г. Лутовинов), либо ко-

эффицент разрыхления (С. М. Шорохов, В. Г. Лешков, В. А. Кудряшов, И. И. Пацев) складированных в гидроотвал пород.

Считаем, что одновременно использовать в расчётах и K_p и K_n нет никаких оснований. По нашему мнению, в связи с тем что учёт процесса набухания даёт весьма небольшое приращение необходимой вместимости илоотстойников (в среднем на 0,5–2,0 %) для упрощения вычислений составляющую $(D - D_{0,05}) \cdot K_n \cdot 10^{-2}$ можно исключить из формулы 1.

Наиболее слабое обоснование в формуле 1 дано коэффициенту λ , определяющему долю эфелей, складированных ниже уровня воды в илоотстойнике. Вместе с тем он имеет доминирующее значение в определении вместимости илоотстойника. Значение $\lambda = 1$, рекомендуемое к использованию при складировании всей горной массы в илоотстойнике, не может быть применено, т. к. при любом промприборе галечная фракция либо сразу же складирована вне илоотстойника, либо из-за больших углов отвалообразования она периодически удаляется горным оборудованием с площади илоотстойника. Перевалку галечных отвалов в сторону илоотстойника осуществлять нецелесообразно, что может иметь место только после окончания срока его эксплуатации.

Рекомендуемое значение $\lambda = \lambda_3$ (где λ_3 – коэффициент эфельности песков) может

иметь место при очень большой глубине илоотстойника у места выпуска в него жидких хвостов обогащения. В противном случае крупнозернистые породы (5–50 мм), не переносимые водным потоком, сразу же у места выпуска формируют надводную насыпь, которая может составлять до 20–50 % всего объёма эфельной фракции. В большинстве случаев эта часть эфелей периодически развалывается бульдозером либо перемещается погрузчиком на борт илоотстойника. Следовательно, максимальное значение λ практически не может быть больше 0,5–0,6.

Третье рекомендуемое значение $\lambda = \lambda_3 \times D \cdot 10^{-2}$ при некотором удалении промприбора от илоотстойника также не обосновано, т. к. величина D устанавливается относительно гранулометрического состава полезного ископаемого, а не эфелей. Отсюда при среднем содержании эфельных фракций в песках 0,4–0,6 коэффициент λ будет занижен примерно в 2 раза. Кроме того, без какого-либо обоснования принято значение D (доля частиц – менее 1 мм), т. к., по результатам наблюдений, с жидкими хвостами обогащения переносятся частицы крупностью до 5 мм. Анализ подводной части эфелей в сопоставлении с исходными песками, представленный в табл. 2, показывает, что около 70–80 % частиц менее 2 и более 0,05 мм (относительно исходного количества в песках) складированы ниже уровня воды в илоотстойнике.

Таблица 2 / Table 2

Баланс песков при их промывке на промприборе / Table 2. Sand balance during washing at the industrial device

Размер фракций, мм / Fraction size, mm	Доля фракций, % / Fraction share, %				
	в исходных песках / in the original sands	в надводной части эфельного отвала / in the above-water part of the tiled dump	в подводной части эфельного отвала / in the underwater part of the tiled dump	в галечном отвале / in a pebble dump	в илах, технологических и сточных водах / in sludge, process and waste water
-0,05	10,0	0,1	2,2	0,5	7,2
+0,05–1,0	3,2	0,05	2,0	0,05	1,1
+1,0–2,0	5,0	1,1	3,8	0,1	–
+2,0–5,0	10,8	8,1	2,65	0,05	–
+5,0–20,0	35,0	31,2	3,8	0,6	–
+20,0–50,0	36,0	–	–	36,0	–
+50,0	–	–	–	–	–

Значительная часть пород фракции – 2–5 мм (около 50 %) – также складирована ниже уровня воды. Существенно меньше пород (25–30 %) крупнее 5 мм остаётся в над-

водной части отвала, которые не переносятся водным потоком и формируют надводную часть эфельного отвала. Следовательно, при расположении промприбора рядом с ило-

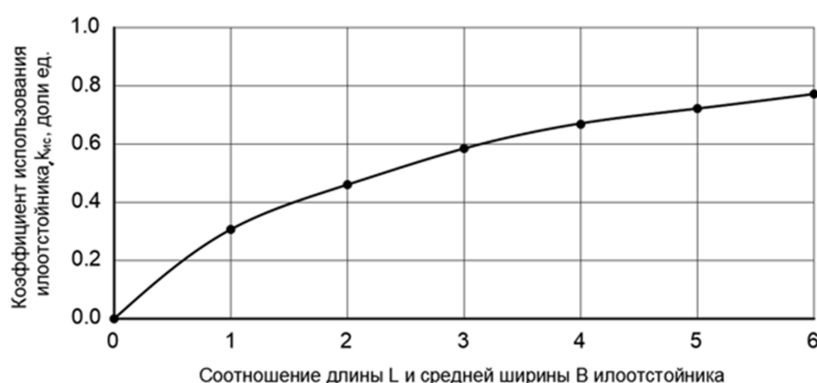
отстойником рекомендуется коэффициент λ принимать равным $\lambda = D_{0.5} \cdot 10^{-2}$, при удалении промприбора на расстояние 10–50 м рекомендуется $\lambda = D_{0.2} \cdot 10^{-2}$, и только при удалении промприбора от илоотстойника на расстояние более 50 м может быть использовано значение $\lambda = D_{0.1} \cdot 10^{-2}$. При расположении промприбора и хвостовых колод на водоподпорной (ограждающей) дамбе или борту глубокой выработки значение λ может быть принято равным $\lambda = 0,7–0,8 \lambda_9$.

Как показали исследования качества водоподготовки на промывке песков с отбором и исследованием проб технологической воды по мере их осветления в илоотстойниках, суточного запаса воды для промприборов вполне достаточно. Однако учитывая большое разнообразие условий водоподготовки, в формулу 1 во второе слагаемое рекомендуется добавить множитель n , учитывающий количество и состав глинистых фракций в промываемых песках, а также срок эксплуатации илоотстойника. При относительно небольшой глинистости песков ($D_{0.05} < 5\%$) и эксплуатации илоотстойника менее полугода значение n может быть принято равным 0,5, при $D_{0.05} = 5–15\%$ и тех же сроках эксплуатации рекомендуется $n = 1,0$, при $D_{0.05} > 15\%$ значение следует принимать более 1,5. С увеличением срока эксплуатации илоотстойника до одного сезона значение n следует увеличить в 1,2–1,5 раза, т. к. постепенное накопление глинистых частиц в технологической воде может заметно ухудшить качество водоподготовки с увеличением негативного влияния

как на процесс обогащения, так и на работу оборудования по водоснабжению.

Как показали натурные наблюдения, значительное увеличение объёма воды в илоотстойниках не даёт существенного повышения степени осветления, поэтому принимать значение $n > 2–3$ не целесообразно, т. к. это может привести к росту потерь воды (отсюда – и забору свежей воды) и повышению расхода сточных вод (за счёт фильтрационных утечек).

При сооружении илоотстойников предприятия стремятся к снижению затрат на строительство гидротехнических сооружений, в том числе водоподпорных, ограждающих и струенаправляющих дамб, на организацию водоснабжения. Соответственно, параметры илоотстойников далеко не всегда обеспечивают благоприятные условия для складирования хвостов обогащения и осветления технологической воды. Часто в действующих илоотстойниках возникают застойные зоны, которые не используются ни для складирования эфелей, ни для осветления технологической воды. Учесть наличие и объём неиспользуемой вместимости илоотстойников можно с помощью коэффициента их использования $k_{ис}$, значение которого принимается в основном в зависимости от формы технологического водоёма, в первую очередь от соотношения его длины L и средней ширины B . Ориентировочные значения $k_{ис}$ могут приниматься исходя из усреднённой его зависимости от соотношения L/B , представленной на рисунке.



Зависимость коэффициента использования илоотстойника ($k_{ис}$) от соотношения его длины (L , от места выпуска хвостов до насосной станции) и ширины (B) / Dependence of the sludge tank utilization coefficient ($k_{ис}$) on the ratio of its length (L , from the tailings discharge point to the pumping station) and width (B)

Для повышения $k_{ис}$ илоотстойников следует использовать струенаправляющие и струеразделительные дамбы.

С учётом отмеченных факторов для определения необходимой вместимости илоотстойников предлагается следующая формула:

$$W_{\text{ил}} = \frac{A_r \cdot \lambda \cdot k_p + Q \cdot R \cdot t \cdot n}{k_{\text{ис}}}, \quad (2)$$

где A_r , λ , k_p , Q , R , t , n , $k_{\text{ис}}$ – см. ранее. *Рекомендуемые значения* $k_p = 1,1$; $\lambda = 0,1 - 0,5$, при этом $\lambda = 0,1$ принимается при расположении промприбора на значительном (более 50 м) удалении от илоотстойника, $\lambda = 0,3 - 0,5$ – при расположении промприбора рядом с илоотстойником (см. ранее); $n = 0,5 - 2,0$ ($n = 0,5$ – для легкопромывистых отложений и срока службы илоотстойника около половины сезона, $n = 1,0$ – для среднепромывистых отложений и эксплуатации илоотстойника от 0,5 до 1,0 года, $n = 1,5 - 2,0$ – для труднопромывистых песков и срока службы свыше года); $k_{\text{ис}} = 0,3 - 0,8$ (в зависимости от соотношения длины и средней ширины илоотстойника; см. рисунок).

Необходимая вместимость илоотстойников, рассчитанная по предлагаемой формуле 2, заметно (в среднем на $\pm 75\%$) отличается от величины, установленной по формуле 1. При разработке легко- и среднепромывистых песков необходимая вместимость илоотстойников получается существенно меньше (в среднем на 34,7 %), а при разработке труднопромывистых отложений приблизительно на 84,8 % больше значений, вычисленных по анализируемой зависимости. Вместе с тем полученные результаты достаточно хорошо коррелируют с рекомендуемыми значениями, приведёнными в Инструкции по проектированию водоохранных мероприятий и получению разрешений на специальное водопользование при разработке многолетнемерзлых россыпных месторождений, разработанной ВНИИ-1, в которой предложена графическая зависимость вместимости илоотстойника ($W_{\text{ил}}$) от объёма промывки горной массы (A_r) и промывистости песков, а также с некоторыми данными из опыта работы горных предприятий.

Выводы

1. Значения параметров, используемых для определения необходимой вместимости илоотстойников в традиционной методике расчёта, часто принимаются без достаточного обоснования, что влечёт снижение качества проектных решений. На основании анализа проектных данных и результатов полевых исследований авторами предлагается принимать значение коэффициента складирования хвостов обогащения λ в зависимости от условий расположения промприбора, а также от

расстояния до места выпуска загрязнённой технологической воды.

2. Используемый в известной методике совместный учёт коэффициентов набухания частиц и разрыхления пород ведёт к завышению расчётных объёмов. Значительную часть набухающих частиц представляют собой фракции менее 0,05 мм, содержание которых в эфельном отвале крайне мало, поэтому учёт набухания илов даёт приращение необходимой вместимости илоотстойника всего на 0,5–2,0 %, чем в целях упрощения вычислений можно пренебречь.

3. С целью учёта изменяющихся условий водоподготовки (количества глинистых фракций в промываемых песках, срока эксплуатации илоотстойника) предлагается ввести во второе слагаемое анализируемой формулы множитель, величина которого будет составлять от 0,5 для легкопромывистых песков и небольшого срока службы илоотстойника до 2,0 при высокой глинистости продуктивных отложений и продолжительной эксплуатации очистных сооружений. Дальнейшее увеличение этого коэффициента не целесообразно из-за сопутствующего нарастания потерь воды за счёт испарения и фильтрации.

4. При проектировании очистных сооружений следует руководствоваться принципом максимизации использования всего объёма илоотстойника и сокращения доли застойных зон, не используемых для складирования хвостов обогащения и очистки технологической воды. Это позволит сократить необходимый объём работ по разваловке гале-эфельных отвалов и приведёт к снижению количества потребных территорий под размещение отходов промывки.

5. На основе анализа известной методики и результатов полевых исследований предлагается внести в формулу расчёта необходимой вместимости илоотстойников некоторые поправки, позволяющие учитывать условия сброса технологической воды в илоотстойник, его параметры, сроки эксплуатации, а также доли частиц менее 0,05, 1,0, 2,0 и 5,0 мм, содержащиеся в исходных песках. Полученные значения необходимой вместимости по традиционной и предлагаемой формулам отличаются до $\pm 75\%$. При этом результаты расчётов по предлагаемой формуле в целом коррелируют со значениями, рекомендуемыми в Инструкции ВНИИ-1, и данными полевых исследований на объектах россыпной золотодобычи.

Список литературы

1. Лаломов А. В. Роль россыпных месторождений золота в РФ // Золото и технологии. 2022. № 4. С. 36–46.
2. Архипов Г. И. Стратегические направления комплексного освоения георесурсов Дальнего Востока и Забайкалья // Горный журнал. 2024. № 6. С. 12–21. DOI: 10.17580/gzh.2024.06.02. EDN: ERVZUA
3. Леоненко А. В., Озарян Ю. А., Усиков В. И. Возможности ИТ-технологий при оценке техногенных образований золотосодержащего сырья (на примере горнопромышленных объектов юга Дальнего Востока) // Рациональное освоение недр. 2024. № 2. С. 66–73. DOI: 10.26121/RON.2024.16.29.008. EDN: FFMTOL
4. Чебан А. Ю. Секисов А. Г. Комбинированная технология разработки сложноструктурных глубоко-залегающих россыпей золота // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2023. Т. 21, № 1. С. 24–31. DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-1-24-31. EDN: TDAXXO
5. Прусс Ю. В. Новые аспекты недропользования на старопромысловых территориях России // Горный журнал. 2024. № 4. С. 9–13. EDN: KAXSSL
6. Луняшин П. Д. Техногенка вне закона // Золото и технологии. 2022. № 4. С. 18–22.
7. Литвинцев В. С. Проблемы рационального освоения техногенных россыпных месторождений благородных металлов в Восточных регионах России // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. № 1. С. 97–104. EDN: TKAZKZ
8. Хрунина Н. П. Совершенствование процесса переработки техногенного сырья руднороссыпного участка Приамурья // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2024. № 3. С. 363–375. EDN: GRJMWRR
9. Мязин В. П. Методика оценки влияния содержания взвешенных частиц в оборотной воде на эффективность извлечения золота в гравитационных аппаратах // Вестник МАНЭБ, 2004. Т. 9, № 6 (спец. вып.). С. 169–172.
10. Субботин Ю. В., Овешников Ю. М., Авдеев П. Б. Водоснабжение драг и очистка технологической воды при разработке россыпи «Средняя Борзя» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 2. С. 58–68. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-58-68. EDN: YWGVVJ
11. Palmer M., Craw D. Fine and super-fine gold in mine waste from a coastal placer in southern New Zealand // New Zealand Journal of Geology and Geophysics. 2024. Vol. 68. No. 2. P. 327–341. DOI: 10.1080/00288306.2024.2331475
12. Алексеев В. С. Исследование эффективности работы промывочных приборов при отработке россыпных месторождений благородных металлов // Горный журнал. 2024. № 6. С. 82–87. DOI: 10.17580/gzh.2024.06.13 EDN: WSNWNF
13. Мирзеханов Г. С., Мирзеханова З. Г. Влияние тяжёлых минералов на технологические потери золота при отработке россыпных месторождений Дальневосточного региона // Горный журнал. 2022. № 7. С. 22–26. DOI: 10.17580/gzh.2022.07.03. EDN: AXSMUO
14. Тальгамер Б. Л. Пути сокращения технологических потерь при дражной разработке россыпей // Горный информационно-аналитический бюллетень. 1996. № 1. С. 93–96. EDN: NBWVAR
15. Harty D. M., Terlecky P. M. Extraction procedure testing of solid wastes generated at selected metal ore mines and mills // Environ Geol Water Sci. 1986. No. 8. P. 161–171. DOI: 10.1007/BF02509904
16. Кисляков В. Е. Расчёт отстойников оборотного водоснабжения при разработке россыпей. Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1988. 176 с.
17. Белослудцев И. А. Расчет объёмов отстойников воды при разработке месторождений россыпного золота // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. Кемерово, 2023. С. 113–115.
18. Коннов В. И., Домашина Е. Э. Анализ проектных решений строительства гидротехнических сооружений при разработке россыпей Забайкалья // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26, № 6. С. 34–39. DOI: 10.18412/1816-0395-2022-6-34-39. EDN: LPTQGV
19. Личаев В. Р., Есеновская Л. Н., Чикин Ю. М. Руководство по выбору и проектированию систем водоснабжения, водоотведения и способам водоподготовки при разработке россыпных месторождений. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 1990. 160 с.
20. Соломин К. В. Обогащение песков россыпных месторождений полезных ископаемых. М.: Гос-гортехиздат, 1961. 399 с.
21. Кисляков В. Е., Александров П. В. Снижение риска загрязнения природных водоёмов технологической водой при водоснабжении золотодобывающих предприятий // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. № 1. С. 71–83. DOI: 10.46689/2218-5194-2022-1-1-71-83. EDN: RXPNZU
22. Радомская В. И., Радомский С. М., Сергеев А. С., Кулик С. Я. Загрязнение бассейна реки Джелтулак-1 при россыпной золотодобыче (Амурская область) // Науки о Земле и недропользование. 2021. Т. 44, № 4. С. 471–484. DOI: 10.21285/2686-9993-2021-44-4-471-484. EDN: IQJNYE

References

1. Lalomov AV. The role of placer deposits in the gold mining industry of Russia. *Gold and technology*. 2022;4(58):36–46. (In Russian).
2. Arkhipov GI. Strategic trends of integrated development of georesources in Russia's Far East and Transbaikalia. *Mining magazine*. 2024;(6):12–21. DOI: 10.17580/gzh.2024.06.02. EDN: ERVZUA (In Russian).
3. Leonenko AV, Ozaryan YuA, Usikov VI. Possibilities of IT technologies in the assessment of technogenic formations of gold-bearing raw materials (on the example of mining facilities in the south of the Far East). *Rational development of mineral resources*. 2024;(2):66–73. DOI: 10.26121/RON.2024.16.29.008. EDN: FFMTOL (In Russian).
4. Cheban AYU, Sekisov AG. Combined technology for the development of complex structure deep gold placers. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2023;21(1):24–31. DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-1-24-31. EDN: TDAXXO (In Russian).
5. Pruss YuV. New aspects of subsoil use in old mining areas of Russia. *Mining magazine*. 2024;(4):9–13. EDN: KAXSSL (In Russian).
6. Lunyashin PD. Technogenic industry outside the law. *Gold and technology*. 2022;4(58):18–22. (In Russian).
7. Litvintsev VS. Rational development of noble metal placer mining waste in the East of Russia. *Fiziko-texhnicheskkiye problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2015;(1):97–104. EDN: TKAZKZ (In Russian).
8. Khrunina NP. Improving of the process of processing technogenic raw materials of the ore-placer site of the Amur region. *Izvestiya Tl'skogo gosudarstvennogo universiteta. nauki o Zemle*. 2024;(3):363–375. EDN: GRJMWL (In Russian).
9. Myazin VP. Methodology for assessing the influence of suspended particles in circulating water on the efficiency of gold extraction in gravity devices. *Vestnik IAE LPS*. 2004;9(6):169–172. (In Russian).
10. Subbotin YuV, Oveshnikov YuM, Avdeev PB. Water Supply of Dredges and Process Water Purification at Placer Mining Srednaya Borzya. *Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*. 2019;(2):58–68. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-58-68. EDN: YWGVVJ (In Russian).
11. Palmer M, Craw D. Fine and super-fine gold in mine waste from a coastal placer in southern. *New Zealand. New Zealand Journal of geology and geophysics*. 2024;68(2):327–341. DOI: 10.1080/00288306.2024.2331475
12. Alekseev VS, Seryi RS, Banskchikova TS. Efficiency of sluice boxes in precious metal placer mining. *Mining journal*. 2024;(6):82–87. DOI: 10.17580/gzh.2024.06.13. EDN: WSNWNF (In Russian).
13. Mirzekhanov GS, Mirzekhanova ZG. Nfluence of heavy minerals on in-process loss of gold in placer mining in Russian Far East. *Mining journal*. 2022;(7):22–26. DOI: 10.17580/gzh.2022.07.03. EDN: AXSMUO (In Russian).
14. Talgamer BL. Ways to reduce technological losses during dredging of placers. *Mining information and analytical bulletin*. 1996;(1):93–96. EDN: NBWVAR (In Russian).
15. Harty DM, Terlecky PM. Extraction procedure testing of solid wastes generated at selected metal ore mines and mills. *Environ. Geol. Water Sci*. 1986;(8):161–171. DOI: 10.1007/BF02509904
16. Kislyakov VE. Calculation of settling tanks for circulating water supply during placer mining. Krasnoyarsk: Publishing house of Krasnoyarsk University; 1988. P. 176 (In Russian).
17. Belosludtsev IA. Calculation of the volume of water settling tanks in the development of placer gold deposits. In: Modern trends and innovations in science and production: material. of the XII international scientific and practical conference; 2023. P. 113–115. EDN: ICGBEG (In Russian).
18. Konnov VI, Domashina EE. Analysis of design solutions for construction of hydraulic engineering structures in the development of placers od Zabaikalye. *Ecology and Industry of Russia*. 2022;26(6):34–39, DOI: 10.18412/1816-0395-2022-6-34-39. EDN: LPTQGV (In Russian).
19. Lichaev VR, Yesenovskaya LN, Chikin YuM. Guide to the selection and design of water supply systems, sanitation and water treatment methods in the placer deposits development. Irkutsk: Publishing house of Irkutsk State University; 1990. 160 p. (In Russian).
20. Solomin KV. Enrichment of sands of mineral placer deposits. Moscow: Gosgortekhnizdat; 1961. 399 p (In Russian).
21. Kislyakov VE, Aleksandrov PV. Reducing the risk of contamination of natural reservoirs with process water during water supply gold mining enterprises. *Izvestiya Tl'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2022;(1):71–83. DOI: 10.46689/2218–5194-2022-1-1-71-83. EDN: RXPNZU (In Russian).
22. Radomskaya VI, Radomsky SM, Segrenyov AS, Kulik SYa. Contamination of the Dzheltulak-1 River Basin under Alluvial gold mining (The Amur region). *Earth sciences and subsoil use*. 2021;44(4):471–484. DOI: 10.21285/2686-9993-2021-44-4-471-484. EDN: IQJNYE (In Russian).

Информация об авторах

Тальгамер Борис Леонидович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия; talgamer@ex.istu.edu, <https://orcid.org/0000-0003-1201-2693>. Область научных

интересов: ресурсосберегающие технологии открытых горных работ, совершенствование разработки россыпных месторождений.

Марков Михаил Юрьевич, аспирант кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия; mixail.marck1997@vk.com, <https://orcid.org/0000-0001-6376-6378>. Область научных интересов: ресурсосберегающие технологии открытых горных работ, совершенствование разработки россыпных месторождений.

Information about the authors

Talgamer Boris L., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Mineral Deposits Development department, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia; talgamer@ex.istu.edu; <https://orcid.org/0000-0003-1201-2693>. Research interests: resource-saving technologies of open-pit mining, improvement of placer deposits development.

Markov Mikhail Yu., Postgraduate Student, Mineral Deposits Development department, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia; mixail.marck1997@vk.com; <https://orcid.org/0000-0001-6376-6378>. Research interests: resource-saving technologies of open-pit mining, improvement of placer deposits development.

Вклад авторов в статью

Тальгамер Б. Л. – разработка идеи исследования, анализ разработанности темы, непосредственное руководство экспериментальными исследованиями, подбор библиографии.

Марков М. Ю. – проведение полевых исследований, обработка и анализ полученных результатов, изучение проектных решений, написание текста.

The authors' contribution to the article

Talgamer B. L. – development of the research idea, analysis of the topic's development, direct supervision of experimental research, selection of bibliography.

Markov M. Yu. – conducting of field research, processing and analysis of the obtained results, study of design solutions, writing the text.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17.02.2025; одобрена после рецензирования 27.02.2025; принята к публикации 03.03.2025.

Received 2025, February 17; approved after review 2025, February 27; accepted for publication 2025, March 03.