

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ШИРИНЫ ДРАЖНОГО ЗАБОЯ С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

И.А. Мешков¹, Б.Л. Тальгамер¹, Н.В. Мурзин¹, Ю.Г. Рославцева¹

¹ Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия, e-mail meshkovia@ex.istu.edu

Аннотация: Исследована проблема оптимизации параметров дражной разработки россыпных месторождений золота, связанная с необходимостью баланса между производительностью оборудования и минимизацией эксплуатационных потерь полезного ископаемого. Целью работы является обоснование оптимальной ширины забоя для драг 250 и 380 л, обеспечивающей максимальную экономическую эффективность при различных горно-геологических условиях. В исследовании применялись методы математического моделирования зависимости эксплуатационных потерь полезного ископаемого от ширины забоя, статистического анализа производственных данных и экономических расчетов. Установлено, что увеличение ширины забоя с 50 до 100 м для драги 250 л снижает эксплуатационные потери на 35–45%, а для драги 380 л расширение забоя с 70 до 150 м уменьшает данный вид потерь на 40–55%. Определены оптимальные диапазоны ширины забоя: 80–90 м для драги 250 л и 110–130 м для драги 380 л при содержаниях золота ≥ 500 мг/м³. Показано, что внедрение предложенных параметров позволяет повысить извлечение полезного ископаемого из недр на 12–18% и увеличить прибыль предприятия. Результаты исследования имеют практическую значимость для проектирования дражных работ и актуализации нормативных документов в области разработки россыпных месторождений.

Ключевые слова: эксплуатационные потери, рациональное использование недр, драга, межходовые и межшаговые целики, ширина дражного хода, дражный забой, себестоимость драгирования, производительность драг, дражные работы.

Для цитирования: Мешков И. А., Тальгамер Б. Л., Мурзин Н. В., Рославцева Ю. Г. Обоснование оптимальной ширины дражного забоя с учетом эксплуатационных потерь полезного ископаемого при различных горно-геологических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 4. – С. 16–29. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_4_0_16.

Justification of optimal width of front bank with regard to mineral mining losses in various geological conditions

I.A. Meshkov¹, B.L. Talgamer¹, N.V. Murzin¹, Yu.G. Roslavl'tseva¹

¹ Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia,
e-mail meshkovia@ex.istu.edu

Abstract: The study focuses on optimization of dredging parameters at gold placers in view of the essentiality of balancing productiveness of dredging equipment and minimization of mining losses of minerals. The study objective is justification of the optimal width of a front bank for 250- and 380-liter dredges to ensure a maximized economic efficiency in various geological conditions. The study used the methods of mathematical modeling of mineral mining losses versus the front bank width, and the statistical analysis of production data and values of engineering. It is found that the increase in the front bank width from 50 to 100 m for a 250-liter dredge increases the mineral mining losses by 35–45%, while the expansion of the front bank from 70 to 150 m for a 380-liter dredge decreases the losses by 40–55%. The optimized width ranges for a front bank are: 80–90 m for a 250-liter dredge and 110–130 m for a 380-liter dredge at the gold content ≥ 500 mg/m³. It is shown that introduction of the proposed parameters can increase extraction of mineral products from the subsoil by 12–18%, thereby increasing profits of a mine. The research findings have practical significance for the dredging design and for the updating of regulatory documents on placer mining.

Key words: mining losses, rational subsoil management, dredge, pillars between dredge advances and dredge swings, dredge advance width, front bank, dredging cost, dredge productiveness, dredging.

For citation: Meshkov I. A., Talgamer B. L., Murzin N. V., Roslavtseva Yu. G. Justification of optimal width of front bank with regard to mineral mining losses in various geological conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2026;(4):16-29. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_4_0_16.

Введение

Дражный способ разработки россыпей, получивший широкое развитие во второй половине XX в. [1, 2], в настоящее время идет на спад [3, 4], несмотря на имеющиеся запасы, в первую очередь техногенные [5], и низкую себестоимость добычи ценных компонентов [6–9]. Основные причины — это необходимость больших капитальных вложений, значительные эксплуатационные потери песков в процессе добычи, особенно в условиях усложняющихся горнотехнических параметров россыпей [10–12], а также высокие экологические риски, которые влечет дражная разработка [13–15].

По разным оценкам, при разработке россыпей драгами в процессе выемки теряется 15–20% песков, в межшаговых целиках и плотике — 2–5% [16–19]. При этом потери ценных компо-

нентов значительно больше (в сумме до 25–30%).

С увеличением глубины залегания запасов существенно возрастают потери в межходовых и межшаговых целиках. Для их сокращения рекомендуется увеличение глубины заделки плотика и количества черпаков в цепи, уменьшение величины зашагивания [17–20], драгирование косым (несимметричным) забоем, перекрытие ходов драги [19].

Вместе с тем рекомендаций по снижению потерь полезного ископаемого при выемке путем увеличения ширины дражного забоя нет. Хотя этот параметр также оказывает существенное влияние на объемы оставленного полезного ископаемого в межшаговых и межходовых целиках. При этом существующие методы расчета оптимальной ширины забоя драги не учитывают величину потерь полезного ископаемого.

Оптимизация геометрических параметров дражного забоя (прежде всего ширины) на основе комплексного учета технологических, геологических и экономических факторов позволит:

- снизить эксплуатационные потери полезного ископаемого;
- повысить коэффициент извлечения песков из недр;
- повысить экономическую эффективность разработки месторождения;
- увеличить прибыльность горных работ, несмотря на некоторое возрастание продолжительности освоения запасов;
- обеспечить рациональное использование минеральных ресурсов.

Исследование направлено на повышение экономической эффективности дражной разработки россыпей за счет снижения потерь полезного ископаемого, что особенно важно в условиях истощения месторождений и ужесточения экологических требований.

Методы

Настоящее исследование представляет собой теоретическое обоснование оптимизации параметров дражного забоя, базирующееся на анализе известных технологических закономерностей и математических зависимостей. В работе решена задача определения рациональной ширины забоя, обеспечивающей баланс между производительностью оборудования и количеством эксплуатационных потерь полезного ископаемого.

Методология включает:

- аналитический метод — изучение научных публикаций, нормативных документов по дражной разработке;
- математическое моделирование — разработка алгоритмов оптимизации параметров забоя с использованием регрессионного анализа;
- компьютерное моделирование — применение программного обеспечения

(AutoCAD, Компас-3D) для проектирования схем работы оборудования;

- статистический анализ — обработка показателей работы оборудования с определением корреляционных зависимостей;
- экономический анализ — расчет эффективности решений на основе фактических данных о себестоимости драгирования.

Результаты

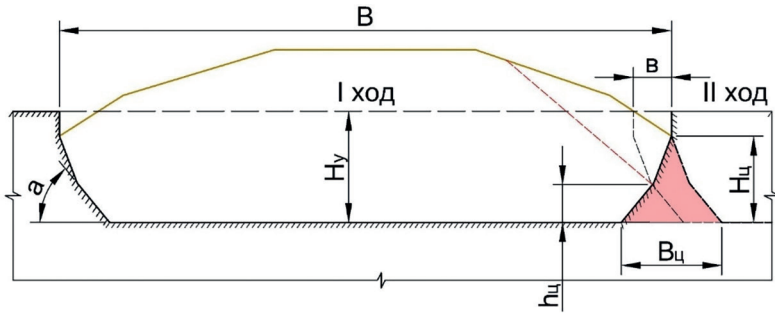
Установление зависимости влияния ширины забоя драги на эксплуатационные потери

На первом этапе исследования проведена оценка изменения межшаговых потерь в зависимости от ширины забоя для двух моделей драг (250 и 380 л). Расчеты выполнены на основании:

- установленных параметров поперечного сечения целика (по данным В.Г. Лешкова [21]);
- вариации ширины забоя от 50 до 100 м для драги 250 л и от 70 до 150 м для 380 л;
- диапазона мощности продуктивных отложений от 5 до 30 м.

Методика расчета межшаговых потерь основана на определении объема песков, извлекаемых драгой за одно зашагивание, с учетом геометрических параметров забоя и конструктивных характеристик оборудования. Межшаговые потери рассчитывались как объем песков, оставленных между последовательными позициями драги, определяемый исходя из площади поперечного сечения целика согласно справочным данным [21]. Относительный показатель потерь вычислялся как отношение объема потерь к суммарному объему песков в зоне одного зашагивания.

Аналогичным методом была установлена зависимость объема межходовых потерь от ширины забоя также для двух моделей драг (250 и 380 л).



B – ширина хода, α – величина перекрытия смежного хода, H_y – мощность драгируемых песков, α – угол откоса, $B_{ц}$ – ширина целика, $H_{ц}$ – высота целика

Рис. 1. Принципиальная схема для определения площади межходового целика
 Fig. 1. Schematic diagram for determining the area of the inter-passage rear sight

Межходовые потери оценены на основе технологических схем, разработанных в AutoCAD, для различных условий эксплуатации. Для каждой комбинации параметров выполнены точные расчеты площадей неотработанных зон межходовых целиков с последующим расчетом количества потерь (рис. 1, табл. 1).

При расчете межходовых потерь принята система разработки смежными ходами без перекрытия смежного хода. Площадь дражного полигона для расчета принята постоянной, при этом объем драгируемой горной массы изменяется в зависимости от мощности песков. Это обеспечивает сопоставимость результа-

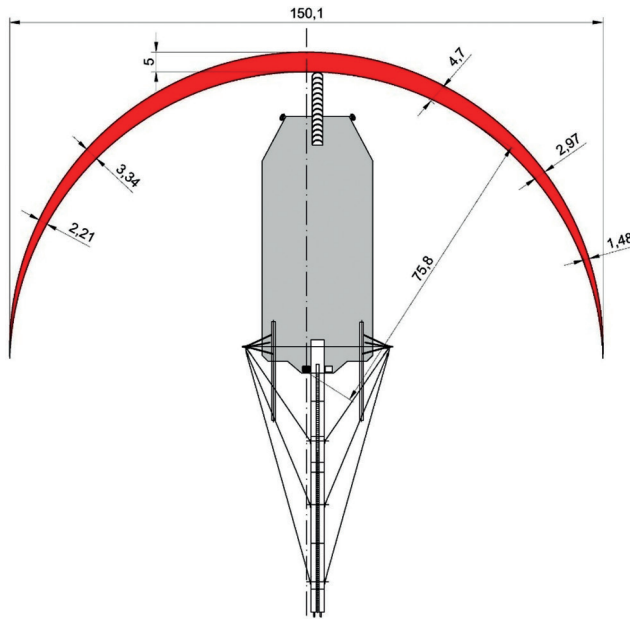


Рис. 2. Принципиальная схема для определения площади межшагового целика в плане: красный участок между двумя забоями драги – межшаговый целик

Fig. 2. Schematic diagram for determining the area of an inter-step remnant in plan: the red area between two dredge cuts represents the inter-step remnant

Таблица 1

Междоковые потери для драг 380 л
Losses between dredge advances for 380-liter dredges

Мощность песков, м	Потери при ширине хода В (м), %								
	70	80	90	100	110	120	130	140	150
5	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5
7	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0
9	3,1	2,7	2,4	2,2	2,0	1,8	1,7	1,5	1,4
11	4,1	3,6	3,2	2,9	2,6	2,4	2,2	2,0	1,9
15	4,8	4,2	3,7	3,3	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2
19	6,7	5,9	5,2	4,7	4,3	3,9	3,6	3,4	3,1
23	7,8	6,8	6,0	5,4	4,9	4,5	4,2	3,9	3,6
25	7,7	6,8	6,0	5,4	4,9	4,5	4,2	3,9	3,6
27	9,8	8,6	7,6	6,9	6,2	5,7	5,3	4,9	4,6
30	10,7	9,3	8,3	7,5	6,8	6,2	5,8	5,3	5,0

тов при изменении ширины забоя, поскольку общий объем перерабатываемого материала остается неизменным для заданной мощности пласта. Например, при мощности 5 м объем перерабатываемых песков составляет 12,5 млн м³, не-

зависимо от выбранной ширины забоя. Такой подход позволяет объективно оценивать влияние геометрических параметров забоя на величину эксплуатационных потерь, поскольку при увеличении ширины забоя количество ходов умень-

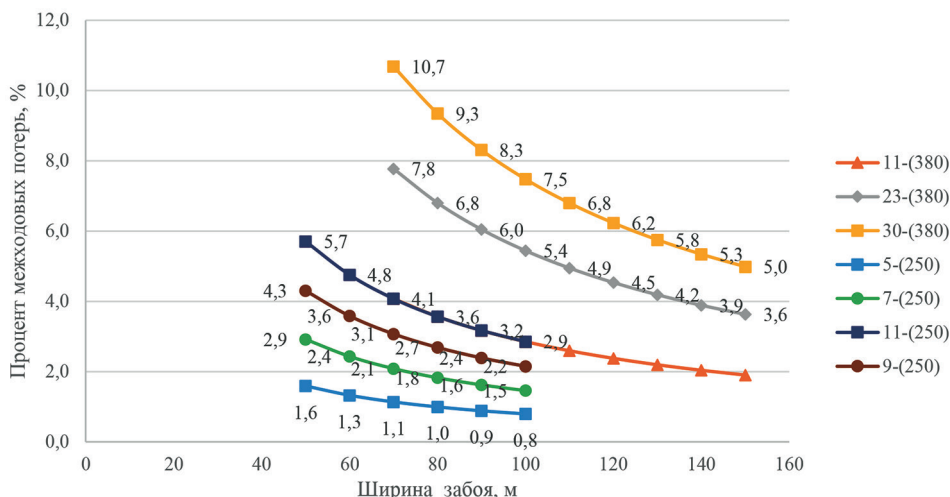


Рис. 3. Изменение доли междоковых потерь в зависимости от ширины хода драги: первые цифры в обозначениях (11, 23, 30, 5, 7, 11) – мощность драгируемых пород, м; цифры в скобках (380, 250) – объем черпака драги, л

Fig. 3. Change in the proportion of inter-stroke losses depending on the width of the dredge stroke: the first digits in the notation (11, 23, 30, 5, 7, 11) – the capacity of the dredged rocks in meters; numbers in parentheses (380, 250) – the volume of the dredge scoop in liters

шается, но объем горной массы сохраняется постоянным.

Относительный показатель потерь вычислялся как отношение объема потерь к общему объему песков. С увеличением мощности песков россыпи объем потерь в межходовых целиках растет, однако медленнее, чем объем драгируемых продуктивных отложений.

Принципиальные схемы определения межходовых и межшаговых целиков представлены на рис. 1 и рис. 2 соответственно.

На рис. 3 отображена зависимость потерь в межходовых целиках от ширины забоя при различных условиях работы драг. На рис. 4 представлен график изменения доли межшаговых потерь в зависимости от ширины хода драг 250 и 380 л для разных мощностей продуктивных отложений.

Проведенные исследования выявили необходимость комплексного подхода к определению рациональных парамет-

ров дражного забоя, учитывающего как технологические, так и экономические аспекты эксплуатации. Установлено, что увеличение ширины хода драги, с одной стороны, приводит к закономерному снижению эксплуатационных потерь (как межшаговых, так и межходовых), что подтверждается полученными зависимостями для различных мощностей продуктивных отложений и типоразмеров оборудования. С другой стороны, расширение забоя неизбежно вызывает снижение производительности драги за счет уменьшения наполнения черпаков.

Данное противоречие требует поиска оптимального баланса между указанными факторами, что обуславливает необходимость разработки методики обоснования параметров забоя, интегрирующей технологические, геологические и экономические критерии. В основу предлагаемого подхода положен принцип максимизации экономического эффекта, учитывающий как стоимостную

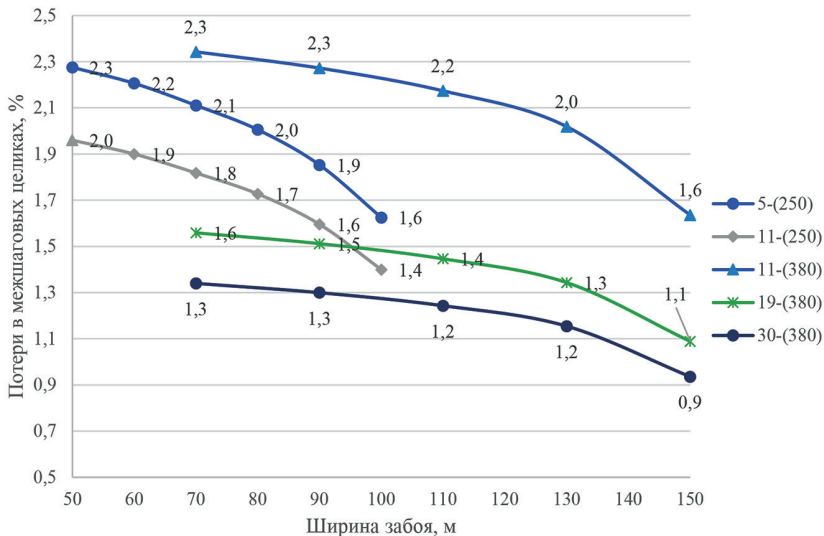


Рис. 4. Изменение доли межшаговых потерь в зависимости от ширины хода драги: первые цифры в обозначениях (5, 11, 19, 30) — мощность драгируемых пород, м; цифры в скобках (380, 250) — объем черпака драги, л

Fig. 4. Change in the proportion of interstep losses depending on the width of the dredge stroke: the first digits in the notation (5, 11, 19, 30) — the capacity of the dredged rocks in meters; numbers in parentheses (380, 250) — the volume of the dredge scoop in liters

оценку дополнительно извлекаемого полезного компонента при увеличении ширины хода, так и потенциальное снижение доходов из-за увеличения продолжительности разработки.

Особое значение при этом приобретает учет конкретных горно-геологических условий (мощности и гранулометрического состава песков, содержания полезного компонента) и технических характеристик используемого оборудования (производительности, маневренности, энергоемкости процессов). Практическая реализация методики предполагает построение многофакторных моделей, позволяющих количественно оценить влияние ширины хода на ключевые показатели эффективности разработки.

В основе исследования лежит многофакторная модель, учитывающая вариабельность ключевых параметров разработки: содержания золота ($100 - 700 \text{ мг/м}^3$ с шагом 100 мг/м^3), типа используемого оборудования (драги 250 и 380 л), ширины забоя (50–100 м для 250 л; 70–150 м для 380 л) и мощности продуктивных отложений (5–11 м для 250 л; 5–30 м для 380 л). Модель базируется на двух взаимосвязанных блоках расчетов: технологическом и экономическом. В технологическом блоке для каждой комбинации параметров определяются эксплуатационные потери (межшаговые и межходовые) и производительность, основанные на данных производственных характеристик драг. Экономический блок преобразует технологические показатели в стоимостные величины, используя цену золота 8500 руб./г и учитывая операционные затраты.

Заключительным этапом является установление баланса между снижением потерь при увеличении ширины забоя и неизбежным падением производительности. Модель выявляет «точку перело-

ма» — значение ширины забоя, при котором дополнительный доход от снижения потерь перестает компенсировать потери от уменьшения объемов переработки. Результаты представлены в виде матрицы прибыльности, позволяющей выбрать рациональные параметры для конкретных условий.

Для разработки комплексной оптимизационной модели была принята следующая структура.

Входные переменные:

– тип драги (250/380 л);

– ширина забоя:

драга 250 л: 50, 60, 70, 80, 90, 100 м;

драга 380 л: 70, 90, 110, 130, 150 м;

– мощность песков:

для драги 250 л: 5, 7, 9, 11 м;

для драги 380 л: 5, 11, 25, 30 м;

– содержание золота ($100 - 700 \text{ мг/м}^3$ с шагом 100 мг/м^3).

Ключевые расчеты.

Для каждой комбинации параметров:

- устанавливаются потери металла;
- определяется производительность драги;
- вычисляется дополнительная добыча золота при увеличении ширины;
- результаты переводятся в денежный эквивалент.

Экономическая оценка:

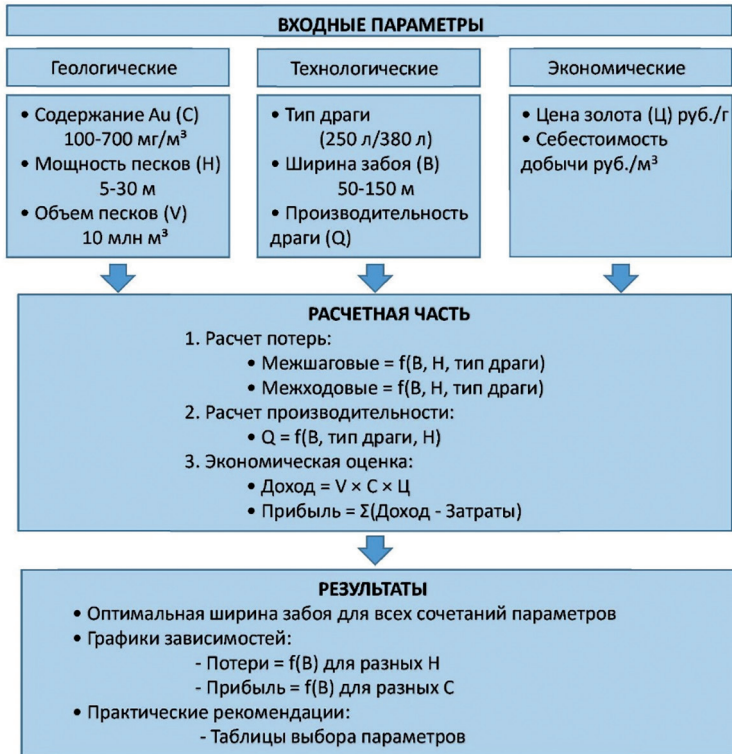
- сравнивается выручка от дополнительной добычи золота и экономические потери от снижения производительности;
- находится «переломная точка» — ширина забоя, при которой выгода от снижения потерь золота не компенсирует падение объемов добычи ценного компонента.

Визуализация результатов:

- строится матрица прибыльности для всех комбинаций;
- выделяются оптимальные зоны (где прибыль максимальна);
- формируются рекомендации.

Схематично структура модели представлена на рис. 5.

**ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ
ДРАЖНОЙ РАЗРАБОТКИ РОССЫПЕЙ**



B – ширина забоя (м); *H* – мощность песков (м); *C* – содержание золота (г/м³);

Q – производительность драги (тыс.м³/сут), *Ц* – цена золота (руб.); *V* – объем добываемых песков (млн м³)

Рис. 5. Структура многофакторной модели для расчета оптимальных значений ширины дражного хода

Fig. 5. Structure of the multifactor model for calculating optimal dredge cut width values

Обсуждение результатов

Проведенное исследование позволило количественно оценить влияние ключевых технологических параметров на величину эксплуатационных потерь (междоховых и межшаговых) при дражной разработке и установить оптимизационные принципы выбора рациональной ширины забоя.

Анализ влияния геометрических параметров россыпи на потери полезного ископаемого

Как и предполагалось, ширина забоя (*B*) является доминирующим фактором, определяющим величину эксплуатац-

онных потерь обоих видов. Для всех моделей драг и мощностей продуктивных отложений наблюдается устойчивая зависимость: увеличение ширины забоя приводит к значительному снижению потерь в межшаговых и междоховых целиках.

Междоховые потери с увеличением ширины хода демонстрируют гиперболический характер снижения:

- для драги 250 л расширение забоя с 50 до 100 м ведет к снижению потерь в 2 раза (например, для мощности 11 м – с 5,7% до 2,9%);

- для драги 380 л эффект снижения еще более выражен. Например, при мощ-

ности 30 м увеличение B с 70 до 150 м сокращает потери более чем в два раза: с 10,7 до 5,0%.

Межшаговые потери также чувствительны к изменению ширины забоя, хотя их абсолютные значения ниже. Анализ графиков (см. рис. 2) показывает, что для драги 250 л увеличение ширины хода с 50 до 100 м приводит к снижению межшаговых потерь на 0,5–0,8% (например, с ~2,3 до ~1,5% для мощности 5 м). Для драги 380 л тенденция аналогична: максимальные межшаговые потери фиксируются при минимальной ширине забоя (70 м) и мощности 7 м (2,6–3,0%), а минимальные — при максимальной ширине (150 м) и мощности 23–30 м (0,9–1,3%).

Влияние мощности песков (H) носит нелинейный характер и по-разному проявляется для разных мощностей продуктивных отложений.

Для драги 250 л наблюдается закономерный рост относительных межходовых потерь с увеличением мощности (с 0,8 до 2,9% для $B = 100$ м). Для драги 380 л минимальные относительные потери (0,5–1,9%) наблюдаются в диапазоне малых мощностей (5–11 м), тогда как при мощности 19–30 м потери резко возрастают (до 3,1–10,7%).

Межшаговые потери для драги 250 л, согласно расчету, напротив, снижаются с нарастанием мощности (с 2,3 до 2,0% для ширины 50 м), что подчеркивает различную природу этих двух видов потерь и требует раздельного анализа.

Экономическая оптимизация и практические рекомендации

Установленные технологические зависимости демонстрируют классическое производственное противоречие: увеличение ширины забоя снижает как межходовые, так и межшаговые потери, но одновременно ведет к снижению произ-

водительности драги за счет уменьшения наполнения черпаков. Разрешение этого противоречия лежит не в технологической, а в экономической плоскости.

Разработанная многофакторная модель, интегрирующая расчеты потерь с экономическими показателями (цена золота, операционные затраты), позволяет найти «точку перелома» — оптимальную ширину забоя, при которой совокупный доход от снижения потерь в целиках компенсирует упущенную выгоду от падения производительности.

Анализ матрицы прибыльности, построенной для всех комбинаций параметров, выявил определенные стратегии для различных условий:

- для бедных участков (100–300 мг/м³) экономически целесообразна стратегия максимизации производительности. Оправдана работа с минимальной или средней шириной забоя (50–70 м для драги 250 л; 70–110 м для драги 380 л), так как незначительный рост всех видов потерь компенсируется возросшим объемом переработанных песков.

- для богатых участков (500–700 мг/м³) приоритетом является максимизация полноты выемки полезного ископаемого из недр. На таких участках экономический эффект от резкого снижения межходовых потерь (например, с 10,7 до 5,0% для драги 380 л) является определяющим и превышает потери от снижения производительности. Целесообразно применять максимально возможную ширину забоя (100 м для 250 л; 130 м для 380 л).

Рассчитанные значения оптимальной ширины дражного забоя для драг 250 и 380 л сведены в табл. 2.

Предлагается дополнить существующую методику расчета [21] поправочным коэффициентом (K_c), функционально связанным с распределением содержания золота. Это изменение логично,

Таблица 2

Результаты расчета оптимальной ширины забоя для драги 250 и 380 л
Calculated optimized widths of front bank for 250- and 380-liter dredges

Мощность песков, м	Оптимальная ширина забоя исходя из производительности, м	Оптимальная ширина забоя (м), рассчитанная по оптимизационной модели, при содержании металла в песках (мг/м ³)						
		0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700
драга 250 л								
5	50–70	60	70	70	70	80	80	80
7	50–70	60	70	70	80	80	80	80
9	50–70	70	70	80	80	80	90	90
11	50–70	70	80	80	80	90	90	90
драга 380 л								
5	70–110	70	70	70	70	70	70	70
11	70–110	90	110	110	110	130	130	130
25	70–110	110	130	130	130	130	130	130
30	70–110	110	130	130	130	130	130	130

так как базовая формула не учитывает пространственную вариабельность полезного компонента в россыпи, что является ключевым фактором, влияющим на величину эксплуатационных потерь. Значения K_c для драг 250 и 380 л приведены в табл. 3.

Заключение

Проведенное исследование позволило обосновать оптимальные параметры дражной разработки россыпных месторождений с учетом комплексного влияния технологических и экономических факторов. На основе анализа производи-

Таблица 3

Поправочные коэффициенты для расчета оптимальной ширины забоя драги
Correction factors for calculation of optimal width of front bank

Мощность песков, м	Поправочный коэффициент к расчету оптимальной ширины забоя при содержании металла в песках (мг/м ³), м						
	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700
драга 250 л							
5	1,0	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3
7	1,0	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3
9	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,5	1,5
11	1,2	1,3	1,3	1,3	1,5	1,5	1,5
драга 380 л							
5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
11	0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2
25	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

тельности драг 250 и 380 л при различных параметрах работы были определены оптимальные диапазоны ширины забоя, при которых производительность изменяется в пределах 10%: 50–70 м для драги 250 л и 70–110 м для драги 380 л.

Учет эксплуатационных потерь и дополнительной добычи металла позволил уточнить значения оптимальной ширины.

Для драги 250 л установлено, что при низких содержаниях металла (100–300 мг/м³) оптимальная ширина составляет 60–80 м, тогда как для богатых песков (500–700 мг/м³) этот показатель увеличивается до 80–90 м. Аналогичная закономерность наблюдается и для драги 380 л: при содержаниях 100–400 мг/м³ оптимальная ширина забоя находится в диапазоне 70–110 м, а для более богатых песков (500–700 мг/м³) достигает 130 м. Особенно важно отметить, что увеличение мощности песков требует соответствующей корректировки параметров: для драги 250 л рост мощности с 5 до 11 м обуславливает необходимость расширения забоя на 10–20 м, тогда как для драги 380 л при мощности ≥25 м оптимальная ширина стабилизируется на отметке 130 м.

Полученные результаты имеют существенную практическую значимость,

позволяя рекомендовать дифференцированный подход к выбору параметров разработки в зависимости от типа оборудования и горно-геологических условий залегания запасов. Реализация предложенных решений обеспечит повышение извлечения полезного ископаемого из недр на 3–7%, сокращение эксплуатационных потерь на 20–35% с увеличением прибыли за счет соблюдения баланса между производительностью драги и полной отработки запасов.

В целях повышения точности определения рациональных параметров разработки предлагается усовершенствовать существующий метод расчета оптимальной ширины дражного забоя. Усовершенствование заключается во введении в формулу расчета оптимальной ширины забоя драги [21] поправочного коэффициента (K_c), функционально зависящего от фактического распределения содержаний золота в песках.

Развитие представленной модели видится в учете дополнительных факторов, таких как гранулометрический состав и пространственная изменчивость плотности распределения полезного компонента. Это позволит создавать более точные и обоснованные проектные решения по выбору оптимальной ширины забоя для различных участков месторождения на стадии проектирования горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Talgamer B. L., Dudinskiy F. V., Murzin N. V.* Assessment of conditions and experience of technogenic placer dredging // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020, vol. 408, no. 1, article 012065. DOI: 10.1088/1755-1315/408/1/012065.
2. *Christie A. B.* Introduction to the Special Issue on South Island detrital gold, from sources to mines // New Zealand Journal of Geology and Geophysics. 2025, vol. 68, no. 2, pp. 241–244.
3. *Печенкин В. Г., Печенкина А. В.* О перспективах разработки россыпных месторождений золота дражным способом // Горный журнал. – 2019. – № 4. – С. 32–36. DOI: 10.17580/gzh.2019.04.07.
4. *Lawrence S., Davies P.* The Sludge question: The regulation of mine tailings in nineteenth-century Victoria // Environment and History. 2014, vol. 20, pp. 385–410.

5. Sekisov A. G., Panov Yu. P., Brykhovetskiy O. S., Rasskazova A. V. Promising geotechnologies for gold placer mining in Eastern Transbaikalia // *Eurasian Mining*. 2022, vol. 2, pp. 34–37. DOI: 10.17580/em.2022.02.08.

6. Дорош Е. А., Тальгамер Б. Л. Анализ минерально-сырьевой базы золотодобычи в Ленском золотоносном районе и обоснование направлений развития способов разработки россыпей // *Науки о Земле и недропользование*. – 2022. – Т. 45. – № 3. – С. 222–234. DOI: 10.21285/2686-9993-2022-45-3-222-234.

7. Ван-Ван-Е А. П. Ресурсная база природно-техногенных золотороссыпных месторождений. – М.: Изд-во «Горная книга», 2010. – 268 с.

8. Пятаков В. Г., Тальгамер Б. Л. Перспективы развития дражного способа разработки // *Горный журнал*. – 2019. – № 12. – С. 35–38. DOI: 10.17580/gzh.2019.12.07.

9. Бортников Н. С., Волков А. В., Лаломов А. В., Бочнева А. А., Иванова Ю. Н., Лаломов Д. А. Роль россыпных месторождений в обеспечении воспроизводства минерально-сырьевой базы дефицитных видов стратегического минерального сырья России на современном этапе // *Russian Journal of Earth Sciences*. – 2024. – № 1. – С. 1–16. DOI: 10.2205/2024ES000897.

10. Печенкина А. В., Печенкин В. Г., Костромитинов К. Н. Особенности разработки глубокозалегающих россыпных месторождений золота комплексами «Экскаватор – драга». – Абакан: Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, 2024. – 260 с.

11. Костромин М. В. Современные проблемы разработки россыпных месторождений в восточных районах России / Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов. Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции. Ч. 1. – Чита: ЗабГУ, 2014. – С. 14–24.

12. Muir A., Mitchell J., Flatman S., Sabbagha C. Retreatment of gold residues // *Developments in Mineral Processing*. 2005, vol. 14, pp. 753–785. DOI: 10.1016/S0167-4528(05)15031-5.

13. Agus C., Wulandari D., Cahyanty P. A. B., Bantara I. Environmental site engineering and integrated bio-cycles management for rehabilitation of degraded Tin Mining land in tropical ecosystem // *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2019, vol. 398, no. 1, article 012013. DOI: 10.1088/1755-1315/398/1/012013.

14. Macklin M. G., Lewin J. River stresses in anthropogenic times: Large-scale global patterns and extended environmental timelines // *Progress in Physical Geography*. 2018, vol. 43, pp. 3–23. DOI: 10.1177/0309133318803013.

15. Clement A. J., Nováková T., Hudson-Edwards K. A., Fuller I. The environmental and geomorphological impacts of historical gold mining in the Ohinemuri and Waihou river catchments, Coromandel, New Zealand // *Geomorphology*. 2017, vol. 295, pp. 159–175. DOI: 10.1016/J.GEOMORPH.2017.06.011.

16. Кисляков В. Е., Дорожкин Д. А., Зубов П. А., Деннер В. И. Обзор эксплуатационных потерь при дражной разработке россыпных месторождений золота // *Маркшейдерия и недропользование*. – 2022. – № 5(121). – С. 41–44. DOI: 10.56195/20793332_2022_5_41.

17. Костромин М. В., Грешилов Д. М. Методика, техника и технология определения, снижения и ликвидации эксплуатационных потерь в межшаговых и межходовых циклах при дражной разработке россыпей // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2014. – № 12. – С. 68–75.

18. Костромин М. В., Юргенсон Г. А., Позлутко С. Г. Проблемы дражной разработки континентальных россыпей. – Новосибирск: Наука, 2007. – 180 с.

19. Дудинский Ф. В., Нечаев К. Б. Разработка глубоких россыпей драгами встречными смежными ходами // *Горный журнал*. – 2019. – № 5. – С. 54–58. DOI: 10.17580/gzh.2019.05.10.

20. Ершов В. А. Совершенствование разработки глубоких россыпей комплексом «экскаватор – драга» // *Горная промышленность*. – 2010. – № 2(90). – С. 60–61.

21. Лешков В. Г. Разработка россыпных месторождений. – М.: Изд-во «Горная книга», 2007. – 906 с. **ГИАН**

REFERENCES

1. Talgamer B. L., Dudinskiy F. V., Murzin N. V. Assessment of conditions and experience of technogenic placer dredging. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020, vol. 408, no. 1, article 012065. DOI: 10.1088/1755-1315/408/1/012065.

2. Christie A. B. Introduction to the Special Issue on South Island detrital gold, from sources to mines. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*. 2025, vol. 68, no. 2, pp. 241 – 244.
3. Pechenkin V. G., Pechenkina A. V. On the prospects for dredging of placer gold deposits. *Gornyi Zhurnal*. 2019, no. 4, pp. 32 – 36. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2019.04.07.
4. Lawrence S., Davies P. The Sludge question: The regulation of mine tailings in nineteenth-century Victoria. *Environment and History*. 2014, vol. 20, pp. 385 – 410.
5. Sekisov A. G., Panov Yu. P., Brykhovetskiy O. S., Rasskazova A. V. Promising geotechnologies for gold placer mining in Eastern Transbaikalia. *Eurasian Mining*. 2022, vol. 2, pp. 34 – 37. DOI: 10.17580/em.2022.02.08.
6. Dorosh E. A., Talgamer B. L. Analysis of the mineral resource base of gold mining in the Lena gold-bearing region and justification of the development directions of placer mining methods. *Earth science and subsoil use*. 2022, vol. 45, no. 3, pp. 222 – 234. [In Russ]. DOI: 10.21285/2686-9993-2022-45-3-222-234.
7. Van-Van-E A. P. *Resurnaya baza prirodno-tekhnogennykh zolotorossypanykh mestorozhdeniy* [Resource base of natural and man-made gold placer deposits], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2010, 268 p.
8. Pyatakov V. G., Talgamer B. L. Prospects for the development of the dredging method. *Gornyi Zhurnal*. 2019, no. 12, pp. 35 – 38. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2019.12.07.
9. Bortnikov N. S., Volkov A. V., Lalomov A. V., Bochneva A. A., Ivanova U. N., Lalomov D. A. The role of placer deposits in ensuring the reproduction of the mineral resource base of deficit types of strategic mineral raw materials in Russia at the present stage. *Russian Journal of Earth Sciences*. 2024, no. 1, pp. 1 – 16. [In Russ]. DOI: 10.2205/2024ES000897.
10. Pechenkina A. V., Pechenkin V. G., Kostromitinov K. N. *Osobennosti razrabotki glubokozalegayushchikh rossypanykh mestorozhdeniy zolota kompleksami «Ekskavator – draga»* [Features of the development of deep-seated gold placer deposits by «Excavator-Dredge» complexes], Abakan, 2024, 260 p.
11. Kostromin M. V. Modern problems of placer deposit development in the eastern regions of Russia. *Kulaginskie chteniya: tekhnika i tekhnologii proizvodstvennykh protsessov. Sbornik materialov XIV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ch. 1 [Kulagin Readings: Engineering and Technology of Production Processes: proceedings of the XIV International Scientific-Practical Conference, Part 1], Chita, ZabGU, 2014, pp. 14 – 24. [In Russ].
12. Muir A., Mitchell J., Flatman S., Sabbagha C. Retreatment of gold residues. *Developmmts in Mineral Processing*. 2005, vol. 14, pp. 753 – 785. DOI: 10.1016/S0167-4528(05)15031-5.
13. Agus C., Wulandari D., Cahyanty P. A. B., Bantara I. Environmental site engineering and integrated bio-cycles management for rehabilitation of degraded Tin Mining land in tropical ecosystem. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2019, vol. 398, no. 1, article 012013. DOI: 10.1088/1755-1315/398/1/012013.
14. Macklin M. G., Lewin J. River stresses in anthropogenic times: Large-scale global patterns and extended environmental timelines. *Progress in Physical Geography*. 2018, vol. 43, pp. 3 – 23. DOI: 10.1177/0309133318803013.
15. Clement A. J., Nováková T., Hudson-Edwards K. A., Fuller I. The environmental and geomorphological impacts of historical gold mining in the Ohinemuri and Waihou river catchments, Coromandel, New Zealand. *Geomorphology*. 2017, vol. 295, pp. 159 – 175. DOI: 10.1016/J.GEOMORPH.2017.06.011.
16. Kislyakov V. E., Dorozhkin D. A., Zubov P. A., Denner V. I. Review of operational losses during dredging of placer gold deposits. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2022, no. 5(121), pp. 41 – 44. [In Russ]. DOI: 10.56195/20793332_2022_5_41.
17. Kostromin M. V., Greshilov D. M. Methodology, technique and technology for determining, reducing and eliminating operational losses in inter-step and inter-run pillars during dredging of placers. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no. 12, pp. 68 – 75. [In Russ].
18. Kostromin M. V., Yurgenson G. A., Pozlutko S. G. *Problemy drazhnoy razrabotki kontinental'nykh rossypey* [Problems of dredging development of continental placers], Novosibirsk, Nauka, 2007, 180 p.
19. Dudinsky F.V., Nechaev K. B. Development of deep placers by dredges using counter adjacent cuts. *Gornyi Zhurnal*. 2019, no. 5, pp. 54 – 58. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2019.05.10.

20. Yershov V. A. Improving the development of deep placers using an «excavator – dredge» system. *Russian Mining Industry Journal*. 2010, no. 2(90), pp. 60 – 61. [In Russ].
21. Leshkov V. G. *Razrabotka rossypnykh mestorozhdeniy* [Development of placer deposits], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2007, 906 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Мешков Иван Анатольевич*¹ – аспирант,
инженер научно-исследовательской части,
e-mail: meshkovia@ex.istu.edu,
ORCID ID: 0009-0006-5298-7929,
*Тальгамер Борис Леонидович*¹ – д-р техн. наук,
профессор, e-mail: talgamer@ex.istu.edu,
Scopus Author ID: 57196258850,
ORCID ID: 0000-0003-1201-2693,
*Мурзин Николай Владимирович*¹ – канд. техн. наук,
доцент, e-mail: murzinnv@ex.istu.edu,
Scopus Author ID: 57217845755,
ORCID ID: 0000-0002-6833-7860,
*Рославцева Юлия Геннадьевна*¹ – канд. техн. наук,
зав. кафедрой, e-mail: ryg@ex.istu.ed,
Scopus Author ID: 57208126909,
ORCID ID: 0000-0001-8799-7269,

¹ Иркутский национальный исследовательский технический университет.

Для контактов: Мешков И.А., e-mail: meshkovia@ex.istu.edu.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*I.A. Meshkov*¹, Graduate Student,
Research Engineer, e-mail: meshkovia@ex.istu.edu,
ORCID ID: 0009-0006-5298-7929,
*B.L. Talgamer*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
e-mail: talgamer@ex.istu.edu,
Scopus Author ID: 57196258850,
ORCID ID: 0000-0003-1201-2693,
*N.V. Murzin*¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
e-mail: murzinnv@ex.istu.edu,
Scopus Author ID: 57217845755,
ORCID ID: 0000-0002-6833-7860,
*Yu.G. Roslvtseva*¹, Cand. Sci. (Eng.), Head of Chair,
e-mail: ryg@ex.istu.ed, Scopus Author ID: 57208126909,
ORCID ID: 0000-0001-8799-7269,

¹ Irkutsk National Research Technical University, 664074, Irkutsk, Russia.

Corresponding author: I.A. Meshkov, e-mail: meshkovia@ex.istu.edu.

Получена редакцией 22.10.2025; получена после рецензии 31.12.2025; принята к печати 10.03.2026.
Received by the editors 22.10.2025; received after the review 31.12.2025; accepted for printing 10.03.2026.

