

УДК 622.271.5

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МНОГОЧЕРПАКОВЫХ СВАЙНЫХ ДРАГ
ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОГЕННЫХ РОССЫПЕЙ**

Ф. В. Дудинский, Б. Л. Тальгамер, Н. В. Мурзин

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
E-mail: go_gor@istu.edu, talgamer@istu.edu, murzinnv@istu.edu,
ул. Лермонтова, 83, 664074, г. Иркутск, Россия*

Приведены основные методические положения для расчета часовой и суточной производительности многочерпаковых свайных драг. Усовершенствована методика определения их производительности, предусматривающая последовательность расчетов показателей работы драги в забое с учетом их взаимосвязи с прочностными характеристиками пород и изменением свойств пород по глубине и ширине забоя. Предложено затраты времени на разработку месторождения разделить на группы, учитывающие потери рабочего времени, связанные с отработкой забоя, с ведением дражных работ в контурах россыпи и с прерыванием технологических процессов для выполнения вспомогательных работ. Для учета простоев введено понятие коэффициента отработки забоя. Установлено изменение технической производительности драги, коэффициентов отработки забоя и использования драги в течение суток от ширины забоя при различной мощности песков. Предложено эмпирическое уравнение для расчета технической производительности драги.

Многочерпаковые свайные драги, параметры работы драги, порядок отработки забоя, затраты времени, производительность драг

DOI: 10.15372/FTPRI20220308

Вредное воздействие горных работ на природный комплекс происходит не только в период их проведения, но и спустя значительный промежуток времени [1–3]. В первую очередь это связано с различного вида отвалами, представленными как вскрышными породами, так и отходами обогащения. Возникает необходимость в изыскании способов их использования [4–7] либо, при отсутствии экономической эффективности их дальнейшего применения, консервации или ликвидации таких объектов [8].

В случае с рудными и угольными месторождениями использование пород отвалов возможно в смежных отраслях промышленности (дорожное строительство, производство новых материалов). Большая часть россыпных месторождений драгоценных металлов, эксплуатация которых осуществлялась в середине XX в., из-за допущенных потерь обладает остаточными запасами ценного компонента и не может быть использована до момента их максимально полной отработки. Отвалы от переработки россыпных месторождений оказывают существенное влияние на природный комплекс [9, 10], в большей степени на водные ресурсы [11–13]. Учитывая это, а также истощающиеся целиковые запасы россыпного золота, при его значительных запасах

сах в техногенных россыпях [14, 15], вовлечение отложений в повторную эксплуатацию представляется достаточно перспективным. Наиболее эффективно разработка таких месторождений может осуществляться с применением дражного способа, который обеспечивает минимальную себестоимость добычи ценного компонента при максимальной производительности выемочного оборудования [14–17].

Основные методические положения по дражной добыче россыпных месторождений разработаны в период ее наибольшего распространения в середине XX в. для условий залегания классических россыпей и не учитывают все особенности эксплуатации техногенных отложений [18–21]. Существующие проблемы и особенности использования драг в современных горнотехнических условиях и пути их решения, связанные с реализацией новых технологий и оборудования, требуют более детального обоснования параметров и показателей работы драг [22, 23]. По этой причине в настоящее время значительное число работ посвящено разработке параметров и технологии драгирования в конкретных условиях, что говорит об актуальности проводимого исследования [24–30].

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчет производительности драги связан с предварительным обоснованием параметров черпания в забое, в частности мощности вынимаемого слоя породы h_c , ширины стружки резания b_c , длины выемочной площадки по забою (шаг драги) a , которые являются основой для начала расчета и обуславливают технологические показатели и энергетические нагрузки на электропривод драги. Данные показатели взаимосвязаны и на них влияют технические характеристики драги, такие как шаг цепи и вместимость черпака, скорость бокового перемещения черпаковой рамы в забое, скорость резания, а также свойства разрабатываемых пород.

С целью достижения наилучших характеристик черпания, в том числе снижения энергоемкости выемки пород в забое, рекомендуется поддерживать соотношение между скоростью движения черпаков, скоростью бокового перемещения черпаковой цепи и толщиной срезаемой стружки пород с использованием следующей зависимости [19]:

$$v_{\text{ч}} = \frac{t_{\text{ч}} v_{\text{б}}}{2.65 h_c},$$

где $v_{\text{ч}}$ — скорость движения черпаков; $v_{\text{б}}$ — линейная скорость бокового перемещения черпаковой цепи по забою; $t_{\text{ч}}$ — шаг черпаковой цепи; h_c — толщина срезаемой стружки пород за один проход черпаковой цепи.

Поскольку необходимые для расчета параметры взаимосвязаны, то первоначально один из них устанавливается с использованием эмпирических зависимостей. Так, для расчета высоты стружки $h_c = f(K_{\text{н}}, b_c, a)$ и скорости перемещения черпаковой цепи $v_{\text{б}} = f(b_c, v_{\text{ч}}, n)$ задается путь движения черпака, определяемый как $b_c = 2.65 h_c$. Установленные численные значения данных параметров позволяют определять коэффициенты наполнения черпаков, параметры забоя на разных горизонтах выемки, углы откоса бортов дражного разреза и ряд других показателей. Конструктивные характеристики драги требуются для расчета радиусов черпания драги, параметров забоев и отвалообразования.

При выемке пород драгой забой формируется ее черпаками и ограничен двумя полуокружностями. В горизонтальной проекции длина стружки уменьшается от центра к бортам дражного разреза. При определении основных показателей процесса черпания драги (например, коэффициента наполнения черпака, длины выемочной площадки) изменение их значений в цен-

тральной части забоя рассчитывается с учетом пропорций в горизонтальной $\sin \varphi_1 / \varphi_1$ и в вертикальной $R_{ч.н} / R_{ч.в}$ плоскостях (φ — половина угла поворота драги в забое; $R_{ч.н}$, $R_{ч.в}$ — радиус черпания драги на нижележащем и вышележащем горизонтах соответственно).

Определение годовой производительности драг основано на предварительном расчете их часовой и суточной производительности. Эксплуатационная (суточная) производительность драги находится с учетом затрат времени на технологические и организационные операции, которые присущи как непосредственно отработке забоя, так и другим действиям по маневрированию драг, в том числе и вне забоя.

В некоторых методиках предусматривается последовательность расчета, включающая установление высоты срабатываемого слоя породы во взаимосвязи с шагом драги и последующим расчетом ширины стружки по эмпирическим зависимостям [18, 31]. Коэффициенты наполнения черпаков в центральной части забоя принимаются в соответствии с категорией пород и рассчитываются исходя из доли каждого слоя в площади дражного забоя, а также количества черпаков, разгружаемых в завалочный люк, или определяются с учетом крепости пород с корректировкой отдельными коэффициентами по мощности, глубине черпания и углу поворота драги.

Прочностные свойства пород характеризуют значения показателей черпания драг и других горных машин, что позволяет в инженерных расчетах отражать влияние физико-механических свойств пород на показатели черпания через удельное сопротивление копания. При расчете производительности горного оборудования начальные значения коэффициентов наполнения и разрыхления породы в черпаке драги устанавливаются, как правило, по нормативам. Приведенные в [31] взаимосвязи $K_n = f(K_p, K_q)$ (K_n — коэффициент наполнения черпака драги; K_p — коэффициент разрыхления породы в черпаке драги; K_q — удельное сопротивление пород черпанию) можно выразить в виде уравнений. Если использовать средние значения этих данных,

то с достоверностью аппроксимации соответственно 0.96 и 0.99 эти величины рассчитываются по степенным зависимостям:

$$K_p = 0.8715 K_q^{0.0796}, \quad K_n = 3.9551 K_q^{-0.372}.$$

Поскольку строение техногенных россыпей характеризуется изменением состава пород по глубине, рекомендуется выделять несколько слоев со сходными характеристиками пород [31]. При расчетах производительности драги необходимо учитывать особенности драгирования и свойства пород плотика россыпи, а также условия выемки обрушившихся или ранее переработанных пород.

Последовательность расчета включает определение радиуса черпания драги R_q , который вычисляется по уравнениям, полученным в результате масштабного моделирования основных параметров драги и забоя. Так, для 380-литровой драги при глубине черпания до 35 м радиус черпания с достоверностью аппроксимации 0.99 находится по формуле

$$R_q = -0.0125 H_q^2 - 0.1795 H_q + 89.1,$$

где H_q — глубина черпания.

Далее задается скорость бокового перемещения черпаковой цепи по забою (техническая характеристика драги) и рассчитывается ширина стружки резания:

$$b_c = \frac{v_{\text{с}}}{v_{\text{ц}}} t_{\text{ч}},$$

$v_{\text{ц}}$ — скорость бокового перемещения цепи.

Затем вычисляется послойное опускание рамы (толщина стружки резания):

$$h_c = \frac{4.5385 E K_{\text{ч}}^{-0.451}}{b_c a_{\text{ш}}},$$

где E — вместимость черпака; $a_{\text{ш}}$ — шаг драги.

С учетом соотношения $\sin \varphi_1 / \varphi_1$ определяются ширина выемочной площадки и коэффициент наполнения черпака в слое, а также параметры забоя и объем пород, вынимаемых за одно зашагивание.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработка техногенных россыпей связана с рядом факторов, которые необходимо учитывать при расчете производительности драги. При разработке отвальных и смешанных россыпей осуществляется драгирование галечных и эфельных отвалов, которые представляют собой разупрочненные, ранее переработанные породы, расположенные послойно, причем наиболее крепкие породы находятся у плотика россыпи [32]. Это приводит к увеличению доли обрушений пород забоя и бортов россыпи, а также времени на отработку одного забоя. Помимо увеличения объемов по мере углубления дражных работ необходимо учитывать, что коэффициент наполнения черпаков в нижней части россыпи выше, чем в средней, за счет образования навала у плотика россыпи. Также в зависимости от способа первичной разработки россыпи возникают различные причины, приводящие к росту аварийных простоев драги (высокая валунистость, попадание в разрез лесоматериала, в том числе щепы, крепи, посторонних предметов и др.).

Особенность дражных работ заключается в том, что при любом способе ведения работ в заходке простои драги в забое являются неотъемлемой частью операций драгирования. При послойной выемке песков сверху вниз движение черпаковой цепи происходит по окружности до угла заходки. Затем черпаковая цепь заглубляется на толщину следующего слоя драгируемой породы и снова перемещается в обратном направлении. При отработке техногенной россыпи у плотика вынимаются породы от обрушений забоя, а в углах заходки еще и от бортов формируемой выработки, что связано с драгированием разупрочненных, ранее переработанных отложений. По окончании отработки забоя выполняется зачистка плотика, включающая операции по выемке разрушенной части подстилающих пород и песков в различных углублениях подошвы забоя, что ведет к потере производительности драги. После зачистки плотика для контроля качества его отработки необходимо еще какое-то время продолжать черпание и следить за наполнением черпаков.

Следующая группа технологических потерь времени при ведении дражных работ связана с системой разработки и включает перерывы в драгировании при переводе драги из одного забоя в другой при смежных системах разработки или при отработке выступов, образующихся у контуров дражного разреза. Кроме того, простои возникают в процессе зашагивания драги на следующий забой, при переносе маневровых канатов и электрического кабеля. Более трудоемкие операции управления драгой фиксируются при поперечных системах разработки, когда при ведении работ требуется поворот драги на 90° .

К организационным и обязательным простоям в течение суток относятся затраты времени на обслуживание и осмотр механизмов, которые требуют остановки драги, например смазка нижнего черпакового барабана. В зимнее время непроизводительные затраты времени проис-

ходят при очистке котлована от льда и устранении обледенения драги. При расчетах производительности драги данные виды простоев не разделяются, несмотря на то, что они связаны с различными процессами дражных работ и характеризуются различной повторяемостью и степенью влияния на результат ее работы.

Потери времени при отработке дражного хода предлагается разделить на группы простоев, связанных непосредственно с отработкой забоя $T_{пз}$ и простоев, обусловленных системой разработки и технологией ведения дражных работ $T_{пс}$, а также вызванных необходимостью остановки драги для обслуживания механизмов и выполнения организационных работ $T_{ор}$.

Простои драги при отработке одного забоя составят:

$$T_{пз} = T_{угл} + T_{пл},$$

где $T_{угл}$ — общие простои в углах при отработке одного забоя; $T_{пл}$ — простои при окончании зачистки плотика.

Потери времени на отдельные технологические операции определяются расчетом или учитываются по фактическим данным. Например, при контроле зачистки плотика

$$T_{пл} = \frac{B_{пл}}{3600v_б},$$

$B_{пл}$ — ширина забоя драги по плотику; $v_б$ — скорость бокового перемещения драги.

Общие технологические простои $T_{пс}$ при ведении дражных работ можно найти из выражения

$$T_{пс} = T_{заш} + T_{псм} + T_{кан} + T_{каб},$$

здесь $T_{заш}$ — время зашагивания драги на следующий забой; $T_{псм}$ — время на перевод драги в смежный забой (при смежных системах разработки), повороты, развороты и другие операции маневрирования; $T_{кан}$ — время на перенос канатов между береговыми якорями; $T_{каб}$ — время на перенос электрокабеля драги (переключение драги).

Отмеченные технологические простои можно отнести к отработке забоя, т. е. на один шаг драги. Например, простои драги при переносе канатов, приходящихся на один забой, составят:

$$T_{кан} = \frac{a_{ш} t_{пкн}}{z},$$

где $t_{пкн}$ — время на перемещение канатов и блоков между береговыми якорями; $a_{ш}$ — шаг драги; z — расстояние между береговыми якорями.

Аналогично могут быть вычислены простои, связанные с переводом драги в смежный забой. Простои драги при зашагивании на следующий забой или время на переключение драги к источнику электроснабжения можно рассчитать или принять по данным практики дражных работ.

Организационные простои $T_{ор}$, связанные с обслуживанием драги, определяются за суточный период с использованием нормативов на обслуживание механизмов и по фактическим затратам времени:

$$T_{ор} = T_{обсл} + T_{пр}, \quad (11)$$

$T_{обсл}$ — время на осмотр и обслуживание механизмов, требующих остановки драги; $T_{пр}$ — прочие неучтенные простои.

Учет фактических затрат времени на отработку забоя позволит устанавливать и разделять влияние различных факторов, связанных со свойствами пород и приемами драгирования, на часовую производительность драги. Для этого вводится коэффициент отработки забоя:

$$K_{\text{оз}} = \frac{\sum T_{\text{чз}}}{\sum T_{\text{чз}} + \sum T_{\text{пз}}},$$

где $T_{\text{чз}}$ — время чистой работы драги в одном забое; $T_{\text{пз}}$ — простои драги при отработке одного забоя.

Чистое время работы драги в забое составит:

$$T_{\text{чз}} = \frac{V_{\text{дрз}} K_{\text{ср}}}{60 E K_{\text{сн}} n_{\text{ч.ц}}} + \frac{V_{\text{рз}} K_{\text{ср}}}{60 E K_{\text{сн}} n_{\text{ч.ц}}} + \frac{V_{\text{рб}} K_{\text{ср}}}{60 E K_{\text{сн}} n_{\text{ч.ц}}},$$

здесь $V_{\text{дрз}}$ — объем драгирования в забое без учета обрушений пород; $V_{\text{рз}}$, $V_{\text{рб}}$ — объем обрушений пород забоя и борта соответственно; $n_{\text{ч.ц}}$ — скорость движения черпаковой цепи; E — вместимость черпака; $K_{\text{сн}}$ — средневзвешенный коэффициент наполнения черпака; $K_{\text{ср}}$ — средневзвешенный коэффициент разрыхления пород в черпаке.

Таким образом, техническая производительность драги определится по формуле

$$Q_{\text{ч}} = \frac{3600 n_{\text{ч.ц}} E K_{\text{сн}}}{K_{\text{ср}}} K_{\text{оз}}.$$

При отработке забоев, сложенных разными по составу породами, параметры и показатели драгирования целесообразно определять по отдельным горизонтам в зависимости от их физико-механических свойств. В случае повторной эксплуатации месторождения, первично отработанного дражным способом, выделяются 3–4 слоя: рыхлые слабосвязанные отложения, представленные галечной фракцией; крупнозернистые эфели (5–20 мм); мелкозернистые песчано-глинистые отложения (< 5 мм); полускальные породы предплотиковой зоны. Расчетные значения основных параметров и показателей драгирования россыпи с мощностью пласта 18 м, сложенного породами III–V категорий, с выделением трех слоев со сходными физико-механическими характеристиками по глубине драгирования, необходимые для определения производительности драги, приведены в таблице.

Параметры и показатели отработки сложноструктурного забоя (драга 380 л, средняя ширина забоя 72.36 м)

Показатель	Часть забоя			В целом по забоя
	верхняя	средняя	приплотиковая	
Мощность слоя, м	5.40	12.30	0.30	18.00
Категория пород	III	IV	V	III–V
Удельный вес категории пород в забое, дол. ед.	0.30	0.67	0.03	1.00
Толщина стружки резания, м	0.17	0.13	0.09	0.14
Ширина стружки резания, м	0.42	0.41	0.41	0.41
Коэффициент наполнения черпака в слое:				
центральная часть забоя	0.89	0.72	0.51	0.76
по всему забоя	0.86	0.69	0.50	0.74
Коэффициент разрыхления породы	1.20	1.26	1.35	1.24

Учитывая, что за сутки драгой отрабатывается один или несколько забоев, потери времени, связанные с ведением дражных работ, выражаются через коэффициент использования драги в течение суток:

$$K_{ид} = \frac{24 - N_{зс}(T_{пс} + T_{пз}) - T_{ор}}{24},$$

где $N_{зс}$ — количество отрабатываемых забоев в сутки без учета времени на организационные простои.

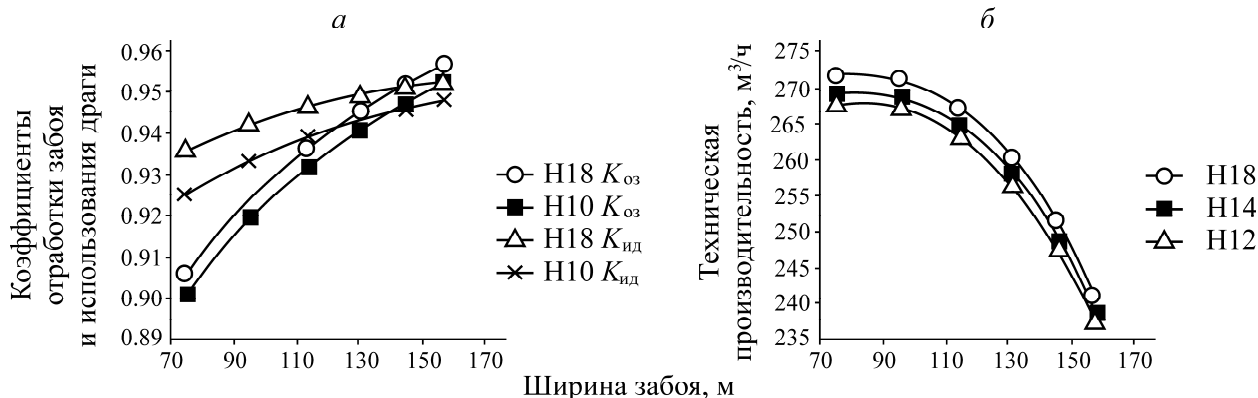
С учетом затрат времени на отдельные операции количество отрабатываемых забоев определится из выражения

$$N_{зп} = \frac{24}{T_{заш} + T_{пз} + T_{пс}}.$$

Тогда суточная (эксплуатационная) производительность драги составит:

$$Q_{сут} = 24Q_{ч}K_{ид}.$$

Время на планово-предупредительные ремонты (1–2 дня) в месяц, зимний простой драги (межсезонный ремонт) будут учитываться уже при определении ее сезонной производительности. Результаты расчетов и установленные взаимосвязи коэффициентов отработки забоя и использования драги в течение суток, а также технической производительности драги с шириной дражного забоя приведены на рисунке.



Зависимость коэффициентов отработки забоя $K_{оз}$ и использования драги $K_{ид}$ в течение суток (а), а также технической производительности драги (б) от ширины забоя при различной мощности пласта песков

Анализ полученных зависимостей показывает, что при рассмотренных условиях увеличение ширины дражного забоя приводит к улучшению временных показателей работы драги, но не обеспечивает роста ее часовой производительности.

С учетом свойств разрабатываемых пород и на основе приведенных уравнений для схожих условий залегания россыпей техническую производительность драги авторами предлагается рассчитывать по формуле

$$Q_{ч} = \frac{AB_{ср}^{0.776} H_p E v_6}{b_{ср} (B_{ср} H_{ч} + T_{пз} v_6 h_{ссл})},$$

где A — коэффициент, учитывающий драгируемость песков, для пород I, II, III, IV и V категорий соответственно: $A = 10216.8; 6501.6; 5572.8; 5418.0; 3715.2$ и 2786.4 ; B_{cp} — ширина забоя драги на среднем горизонте черпания; h_{ccl} — среднее значение толщины стружки резания; b_{cc} — среднее значение ширины стружки резания.

При расчете по слоям выемки используются средние значения показателей в каждом слое. Точность расчетов по эмпирической формуле по сравнению с определением производительности драги по изложенной методике снижается на 7 % в зависимости от ширины забоя.

ВЫВОДЫ

Распределение затрат времени на группы дает возможность анализировать их влияние на показатели работы драги и разделить производительность драги на часовую (учет только чистого времени работы драги в забое), техническую (учет потерь времени на технологические операции в забое) и суточную (учет затрат времени при определенной системе разработки). Введение коэффициента отработки забоя в расчет часовой производительности драги позволяет разделить процесс черпания и непроизводительные затраты времени, что целесообразно для анализа процесса драгирования и совершенствования технологии дражных работ.

Предложенная методика расчета производительности драги с использованием эмпирических уравнений для определения влияния прочностных характеристик пород и конструктивных параметров драги на показатели работы драги позволяет упростить расчет и обеспечить необходимую точность результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Славиковская Ю. О. Техногенные пустоты недр как фактор негативного воздействия на окружающую среду при разработке месторождений твердых полезных ископаемых // ГИАБ. — 2021. — № 2. — С. 33–44.
2. Dendievel A.-M., Grosbois C., Ayrault S., Evrard O., Coynel A., Debret M., Gardes T., Euzen C., Schmitt L., Chabaux F., Winiarski T., and Van Der Perk M. Key factors influencing metal concentrations in sediments along Western European Rivers: A long-term monitoring study (1945–2020), *Sci. Total Environ.*, 2022, Vol. 805.
3. Søndergaard J. and Mosbech A. Mining pollution in greenland — the lesson learned: a review of 50 years of environmental studies and monitoring, *Sci. Total Environ.*, 2022, Vol. 812.
4. Бочков В. С., Бочкова К. В. Разработка техногенных месторождений для строительной отрасли // Строит. и дор. машины. — 2021. — № 5. — С. 43–48.
5. Sgarlata C., Formia A., Siligardi C., Ferrari F., and Leonelli C. Mine clay washing residues as a source for alkali-activated binders, *Materials*, 2022, Vol. 15 (1), No. 83.
6. De Carvalho F. A., Nobre J. N. P., Cambraia R. P., Silva A. C., Fabris J. D., Dos Reis A. B., and Prat B. V. Quartz mining waste for concrete production: environment and public health, *Sustainability* (Switzerland), 2022, Vol. 14, Issue 1, 389.
7. Kasisz S., Kibort K., Mioduska J., Lieder M., and Malachowska A. Waste management in the mining industry of metals ores, coal, oil and natural gas — a review, *J. Environ. Managem.*, 2022, Vol. 304, 114239.

8. Вайсман Я. И., Гайдай М. Ф. Разработка технологии консервации терриконов в целях снижения их негативного воздействия на окружающую среду и сохранения ресурсного потенциала // Вестн. ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. — 2016. — Т. 15. — № 19. — С. 175–184.
9. Kostromin M. V. and Panina Yu. T. Ways of solving the problems of rational nature management in the areas of alluvial deposits development, IOP conf. ser. Earth Environ. Sci., 2022, Vol. 962, Issue 1, 012053.
10. Пестерев А. П. Трансформация экосистем криолитозоны при разработке россыпного месторождения алмазов // Горн. журн. — 2016. — № 9. — С. 104–107.
11. Bannerman B. G., Bodensteiner R. M. S., and Rawhouser A. K. The chemistry of sub-alpine streams in mined regions of the north cascades range, Water, Air and Soil Pollution, 2019, Vol 230. — P. 143.
12. Vertimurugan E., Shruti V. C., Jonathan M. P., Roy P. D., Sarkar S. K., Rawlins B. K., and Villegas L. E. S. Comprehensive study on metal contents and their ecological risks in beach sediments of KwaZulu-Natal province, South Africa, Marine Pollution Bulletin, 2019. Vol. 149, 110555.
13. Zamana L. V. and Vakhnina I. L. The impact of the placer gold mining in Eastern Transbaikalia (Russia) on the environment components of river valleys in the Amur River basin, IOP conf. ser. Earth. Environ. Sci., 2022, Vol. 962. Issue 1, 012043.
14. Mirzekhanov G. S. and Mirzekhanova Z. G. Forward appraisal of potential gold content of dredge and sluice tailings dumps at placers in Russia's far east, J. Min. Sci., 2020, Vol. 56. No. 1. — P. 259–267.
15. Talgamer B. L., Dudinskiy F. V., and Murzin N. V. Assessment of conditions and experience of technogenic placer dredging, IOP conf. ser.: Earth Environ. Sci., 2020, Vol. 408, 012065.
16. Федорова Л. Л., Соколов К. О., Кулядин Г. А. Георадиолокационные исследования горно-геологических условий дражных полигонов // Горн. журн. — 2015. — № 4. — С. 10–14.
17. Печенкин В. Г., Печенкина А. В. О перспективах разработки россыпных месторождений золота дражным способом // Горн. журн. — 2019. — № 4. — С. 32–36.
18. Зубрилов Л. Е. Драгирование россыпей. — Свердловск: Metallurgizdat, 1944. — 116 с.
19. Лешков В. Г. Теория и практика разработки россыпей многочерпаковыми драгами. — М.: Недра, 1980. — 352 с.
20. Свиридов А. П. Драги и драгирование. — М.: Metallurgizdat, 1952. — 476 с.
21. Шорохов С. М. Технология и комплексная механизация разработки россыпных месторождений. М.: Недра, 1973. — 765 с.
22. Ji W., Yang Z., and Zhao J. Analysis of factors affecting dredger's time utilization of cutter suction dredger, 22nd World Dredging congress "Wodcon 2019", 2019. — P. 376–384.
23. Пятаков В. Г., Тальгамер Б. Л. Перспективы развития дражного способа разработки россыпных месторождений // Горн. журн. — 2019. — № 12. — С. 35–38.
24. Кисляков В. Е., Нафиков Р. З., Катышев П. В. Повышение производительности драг в условиях отрицательной температуры // Вестн. МГТУ им. Г.И. Носова. — 2017. — № 4. — С. 4–9.
25. Jonson K. and MacKenzie A. Gold dredging in the Klondike and number 4 Proceedings, Annual Conf. — Canadian Society for Civil Engineering, 2012, No. 1. — P. 211–220.
26. Kostromin M. V. and Yakimov A. A. Industrial technology facilitation for the Dredging of highland placers, IOP conf. ser.: Earth Environ. Sci., 2021, Vol. 666, 022031.
27. Kostromin M. V. and Yakimov A. A. The introduction of clay placer dredging preparation technology, IOP conf. ser.: Earth Environ. Sci., 2021, Vol. 666, 022076.

28. **Myazin V. P.** New resource-saving technologies for gold recovery from rebellious and hard-to-process material of clayey deposits and mining waste, IOP conf. ser.: Earth Environ. Sci., 2019, Vol. 262, 012049.
29. **Osovetsky B.** Placer tailings: “New” nanogold and technologies of development, Int. Multidisciplinary Scientific Geo Conference “SGEM 2020”, 2020, Iss. 6.1. — P. 93–100.
30. **Kislyakov V. E., Nafikov R. Z., Kirsanov A. K., Katyshev P. V., Shkaruba N. A., and Zaytseva E. V.** Substantiation of dredging technology of water-bearing deposits at subzero air temperature, ARPN J. Eng. and Applied Sci., 2019. Vol. 14, Iss. 19. — P. 3417–3424.
31. **Кубасов В. А., Липунов И. П., Казаков Ю. М.** Методика расчета средней часовой производительности драги с учетом горногеологических условий россыпей глубокого залегания // Повышение эффективности разработки месторождений полезных ископаемых Восточной Сибири. — Иркутск, 1976. — С. 153–160.
32. **Мурзин Н. В., Тальгамер Б. Л.** К систематизации техногенных россыпей // Рациональное освоение недр. — 2021. — № 2. — С. 18–23.

Поступила в редакцию 22/III 2022

После доработки 15/IV 2022

Принята к публикации 06/V 2022