

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПОЭТАПНОЙ ПРОМЫВКИ РУСЛООТВОДНЫХ КАНАЛОВ

С.Г. Косарев<sup>1,2</sup>, В.Н. Заслоновский<sup>1,2</sup>, М.А. Босов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Забайкальский государственный университет, Чита, Россия

<sup>2</sup> Российский научно-исследовательский институт комплексного использования  
и охраны водных ресурсов, Екатеринбург, Россия, e-mail: kosarevsg@mail.ru

**Аннотация:** Открытая разработка россыпных месторождений полезных ископаемых в руслах и поймах рек оказывает негативное воздействие на режим их стока и вызывает загрязнение взвешенными веществами. Одним из источников загрязнения водных объектов взвешенными веществами являются руслоотводные каналы. Известен способ предотвращения такого загрязнения — поэтапная промывка, заключающаяся в постепенном увеличении расхода воды в канале. Такой способ позволяет обеспечить норматив качества воды по взвешенным веществам в контрольном створе водотока за счет смешения потоков реки и канала. Существующие в настоящее время методики расчета поэтапной промывки имеют ряд ограничений, поэтому их усовершенствование с учетом требований природоохранного законодательства является важной задачей. В основу работы положен теоретический анализ с элементами численного моделирования. Объектом исследований являются руслоотводные каналы трапецеидальной формы поперечного сечения, проложенные в несвязных грунтах. В программной среде Python 3.8 рассчитан режим поэтапной промывки для 11 каналов (в том числе реализованных на практике) в достаточно широком диапазоне изменения исходных параметров. Усовершенствована методика расчета поэтапной промывки руслоотводных каналов. Показано, что в отличие от ранее известных способов расчета оптимальные параметры режима поэтапной промывки должны определяться для каждого конкретного канала уже на стадии проектирования. Результаты работы внедрены при разработке проектной документации.

**Ключевые слова:** загрязнение рек, поэтапная промывка, руслоотводной канал, взвешенные вещества, несвязный грунт, расход воды, биота, средняя скорость.

**Для цитирования:** Косарев С. Г., Заслоновский В. Н., Босов М. А. Усовершенствование методики расчета поэтапной промывки руслоотводных каналов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 9. – С. 94–102. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_9\_0\_94.

### Improvement of calculation technique for phased wash of sluiceways

S.G. Kosarev<sup>1,2</sup>, V.N. Zaslonskiy<sup>1,2</sup>, M.A. Bosov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Transbaikal State University, Chita, Russia

<sup>2</sup> Russian Research Institute for Integrated Use and Protection of Water Resources,  
Ekaterinburg, Russia, e-mail: kosarevsg@mail.ru

---

**Abstract:** Surface mining of river bed placers adversely affects the regime of the rivers and induces their pollution with suspended solids. One of the sources of water body pollution with suspended solids is sluiceways. Prevention of such pollution is possible by means of phased wash which means phased flow augmentation in sluiceways. This approach enables standard water quality in terms of suspended solids in monitoring section owing to mixture of river and sluiceway flows. The existing calculation techniques for phased wash have some limitations and urgently need improvement with regard to pollution control regulations. This research is based on the theoretical analysis with, partly, numerical modeling. The test object is sluiceways with trapezoidal cross-section made in noncohesive soil. In Python 3.8 environment, we calculate the phased wash mode for 11 sluiceways (including real-time) within a wide variation range of input parameters. The phased wash calculation procedure for sluiceways is improved. As against the previously known methods, the phased wash mode parameters of each specific sluiceway are optimized at the sluiceway design stage. The research results are introduced in elaboration of project documentation.

**Key words:** river pollution, phased wash, sluiceway, suspended solids, noncohesive soil, water flow rate, average velocity.

**For citation:** Kosarev S. G., Zaslونovskiy V. N., Bosov M. A. Improvement of calculation technique for phased wash of sluiceways. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(9):94-102. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_9\_0\_94.

---

## Введение

Открытая разработка россыпных полезных ископаемых в руслах и поймах рек оказывает существенное влияние на сток воды и загрязнение водных объектов взвешенными веществами [1–5], что увеличивает потенциальное воздействие на биоту [6–8]. Уменьшение межженного стока может составлять от десятков процентов до полного его перехвата, а увеличение количества взвешенных веществ, поступающих в водные объекты, может возрасти в несколько десятков раз. Наибольшее воздействие в Дальневосточном регионе испытывают реки Аргунь и Шилка (верховья Амура), для которых отношение длин нарушенных участков к суммарной длине гидрографической сети составляет 1,55% [3].

Разработка россыпных месторождений зачастую предполагает отвод русла реки от месторождения руслоотводными каналами (канавами). С учетом уклона местности, по которой проходит

трасса таких каналов, отдельные участки проектируют из условия непревышения средней неразмывающей скорости течения. На участках, где данное условие не выполняется (скорость течения превышает значение неразмывающей), необходимо предусмотреть их крепление с целью предотвращения размыва [9].

Необходимо отметить, что природные грунты неоднородны по своему гранулометрическому составу. Поэтому даже в случае, когда средняя скорость течения меньше неразмывающей, наиболее мелкие частицы могут перемещаться потоком воды как во влекомом, так и во взвешенном состоянии [10–13].

На факты загрязнения водных объектов взвешенными веществами не раз указывали районные и краевые природоохранные органы Забайкальского края, в том числе и в органах местной и краевой печати. Так, введение в эксплуатацию руслоотводного канала на р. Малый Амазар привело к «помутнению»

(загрязнению взвешенными веществами) р. Амазар (образуется при слиянии рек Большой и Малый Амазар), протекающей через ряд крупных населенных пунктов, включая районный центр Забайкальского края город Могочу.

Одним из способов защиты водных объектов от загрязнения взвешенными веществами, выносимыми из руслоотводных каналов, является его поэтапная промывка [10, 14]. Суть способа состоит в том, что отвод стока воды из русла реки в руслоотводной канал осуществляется постепенно (поэтапно) с тем, чтобы ниже по течению в контрольном створе обеспечивался норматив качества воды по взвешенным веществам за счет смешения потоков реки и канала.

Продолжительность промывки может быть различна (от нескольких часов до месяца и более [15]) и зависит от параметров канала (в наибольшей мере от его длины), гранулометрического состава грунта и пр.

Изложенный в работе [14] способ не позволяет заранее определить продолжительность отдельного этапа и всей промывки в целом. Для этого авторами данной работы предлагается периодически (период не установлен) производить отбор проб на химический анализ, что существенно увеличивает материальные и временные затраты.

В работе [15] предложена степенная зависимость для режима поэтапной промывки в виде:

$$Q_i = Q_{pac} \cdot \left( \frac{\sum T_i}{T_{np}} \right)^k, \quad (1)$$

где  $k = 2,6$  — показатель степени;  $Q_i$  и  $Q_{pac}$  — соответственно текущий и расчетный расходы воды в канале, м<sup>3</sup>/с;  $\sum T_i$  и  $T_{np}$  — текущее (нарастающим итогом) и общее время промывки соответственно, с.

Общее время промывки может быть определено по формуле:

$$T_{np} = \frac{M_{\text{взв}}}{Q_{pac} \cdot C_{\text{дон}}}, \quad (2)$$

где  $C_{\text{дон}}$  — допустимое нормативное увеличение концентрации взвешенных веществ в воде водотока в зависимости от вида водопользования, кг/м<sup>3</sup>;  $M_{\text{взв}}$  — суммарная масса взвешенных частиц, способных вымываться из руслоотводного канала, кг.

Суммарная масса взвешенных частиц, способных вымываться из руслоотводного канала, определяются по формуле [5, 10]:

$$M_{\text{взв}} = \chi \cdot l \cdot d_{cp} \cdot P_{\text{взв}} \cdot \rho_{\text{нан}} = \chi \cdot m_{\text{взв}}, \quad (3)$$

где  $\chi$  — смоченный периметр, соответствующий расчетному расходу, м;  $l$  — длина канала, м;  $d_{cp}$  — средний диаметр частиц грунта, слагающего канал, м;  $\rho_{\text{нан}}$  — плотность грунта в отложениях, кг/м<sup>3</sup>;  $P_{\text{взв}}$  — содержание в общей массе грунта частиц диаметром  $d_{\text{взв}}$  и менее, в долях от единицы;  $m_{\text{взв}}$  — удельная (на единицу длины смоченного периметра) масса взвешенных частиц, выносимых из канала, кг/м;  $m_{\text{взв}} = const$  для отдельного рассматриваемого канала.

Максимальный диаметр частиц грунта  $d_{\text{взв}}$ , перемещающихся потоком во взвешенном состоянии, может быть определен по формуле А.Б. Векслера [16] из соотношения [17]:

$$w_{\text{взв}} = U_* / 1,7, \quad (4)$$

где  $w_{\text{взв}}$  — гидравлическая крупность частиц грунта  $d_{\text{взв}}$ , м/с;  $U_* = \sqrt{g \cdot R \cdot i}$  — динамическая скорость, м/с;  $g$  — ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $R$  — гидравлический радиус, м.

В работе [15] приняты два допущения.

**Допущение 1.** На каждом этапе промывки вымываются все частицы диаметром  $d_{\text{взв}}$  и меньше. В действительности при увеличении расхода воды в канале увеличиваются глубины потока и динамическая скорость. Поэтому, на каждом

следующем этапе промывки вымываются все более крупные частицы, и только при расчетном расходе (полное наполнение канала) диаметр взвешенных частиц достигает максимального значения  $d_{\text{эв}}$ .

**Допущение 2.** Вымыв взвешенных частиц происходит по всему смоченному периметру канала из слоя, соответствующего среднему диаметру частиц грунта, слагающего канал  $d_{\text{ср}}$ .

Автор работы [10] предложил учесть влияние динамической скорости на вынос взвешенных частиц (исключить допущение 1). В результате получено, что для каналов трапециевидальной и треугольной гидравлически наивыгоднейшей формы поперечного сечения показатель степени в формуле (1)  $k = 2$ .

Необходимо также отметить, что в работах [10, 15] рассматривались только каналы, средние скорости течения в которых соответствовали неразрывающей для грунта, слагающего канал.

Кроме того, исходя из расчета реальных руслоотводных каналов показатель степени в формуле (1) является величиной переменной для каждого конкретного канала. Использование зависимости (1) с постоянным показателем степени может привести к превышению допустимой концентрации взвешенных веществ в контрольном створе водотока.

Целью данной работы является усовершенствование методики расчета промывки руслоотводного канала с учетом требований природоохранного законодательства.

### Методы и материалы

При выполнении работы использовался теоретический анализ с элементами численного моделирования.

Объектом исследования являются руслоотводные каналы, проложенные в несвязных грунтах, трапециевидальной формы поперечного сечения.

Средние скорости течения в каналах принимались как равными неразрывающей скорости, так и меньше ее. С учетом этого положения, допущение 2 примет новую интерпретацию: вымыв взвешенных веществ осуществляется по всему смоченному периметру канала из слоя, равного диаметру частиц грунта, способного перемещаться потоком во влекомом состоянии  $d_{\text{вл}}$ , который определяется по гидравлической крупности из соотношения [17]:

$$w_{\text{вл}} = U_* / 0,25. \quad (5)$$

Тогда уравнение (3) можно переписать в виде:

$$M_{\text{эв}} = \chi \cdot l \cdot d_{\text{вл}} \cdot P_{\text{вл}} \cdot \rho_{\text{нан}}. \quad (6)$$

Диаметр взвешенных частиц, способных вымываться на каждом этапе промывки, может быть определен [10] как

$$(d_{\text{эв}})_i = d_{\text{эв}} \cdot (h_i / h)^a, \quad (7)$$

где  $h_i$  и  $h$  — текущая глубина наполнения канала и глубина, соответствующая расчетному расходу, м.

Введем предложенное в [10] обозначение:  $(\chi_{\text{нр}})_i$  — средневзвешенная (приведенная) длина смоченного периметра; физический смысл данной величины есть отношение массы взвешенных веществ, выносимых потоком из канала на данном этапе, к массе взвешенных веществ, выносимых за весь период промывки. Тогда в соответствии с формулой (3):

$$(M_{\text{эв}})_i = (\chi_{\text{нр}})_i \cdot m_{\text{эв}}; \sum (M_{\text{эв}})_i = M_{\text{эв}}; \\ \sum (\chi_{\text{нр}})_i = \chi.$$

Полагая, что массовое распределение частиц грунта соответствует линейному закону в интервале от 0 до  $d_{\text{эв}}$  (допущение 3), будем иметь:

$$(\chi_{\text{нр}})_i = \chi_i \cdot \frac{(d_{\text{эв}})_i}{d_{\text{эв}}} - \chi_{i-1} \cdot \frac{(d_{\text{эв}})_{i-1}}{d_{\text{эв}}}, \quad (8)$$

или, с учетом формулы (7):

Таблица 1

**Параметры каналов**  
**Channel parameters**

№ п/п	$b$ , м	$h$ , м	$b/h$	$n$	$m$	$i$ , %	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$U$ , м/с	$d_{вл}$ , мм	$d_{взв}$ , мм	Значение «а» в формуле (7)	Значение «k» в формуле (1)
1	0,5	1	0,5	0,025	1,5	0,1	1,566	0,0691	4,80	0,391	0,341	1,908
2	0,5	1	0,5	0,025	3	0,1	2,84	0,0709	5,05	0,399	0,365	1,923
3	3	1	3	0,025	1,5	0,1	4,41	0,0817	6,69	0,45	0,345	2,24
4	3	1	3	0,025	3	0,1	5,66	0,0795	6,63	0,44	0,346	2,08
5	8	2	4	0,025	1,5	0,05	25,2	0,0842	7,09	0,463	0,349	2,38
6	8	2	4	0,025	1,5	0,1	35,6	0,1191	14,15	0,63	0,372	2,31
7	8	2	4	0,025	1,5	0,5	79,6	0,266	70,6	1,673	0,549	1,874
8	4	1	4	0,025	3	0,1	6,83	0,0816	6,65	0,45	0,351	2,04
9	5	3	1,67	0,02	2	0,07	64,4	0,1109	12,25	0,59	0,353	1,980
10	7,5	4,2	1,79	0,025	2	0,18	234	0,212	44,7	1,209	0,467	1,792
11	7,5	3,5	2,14	0,025	2	0,05	85,1	0,1037	10,74	0,555	0,351	2,04

$$(\chi_{np})_i = \chi_i \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^a - \chi_{i-1} \cdot \left(\frac{h_{i-1}}{h}\right)^a. \quad (9)$$

Очевидно, что относительное время промывки канала нарастающим итогом на каждом этапе может быть определено как

$$\frac{\sum T_i}{T_{np}} = \frac{\sum (\chi_{np})_i}{\chi}, \quad (10)$$

а, с учетом зависимости (1) для определения расхода на каждом этапе будем иметь:

$$\frac{Q_i}{Q_{pac}} = \left(\frac{\sum (\chi_{np})_i}{\chi}\right)^k. \quad (11)$$

Таблица 2

**Расчет показателя степени в формуле (7) для канала № 1 ( $a = 0,341$ ;  $R^2 = 0,9969$ )**  
**Calculation of exponent in formula (7) for sluiceway 1 ( $a = 0,341$ ;  $R^2 = 0,9969$ )**

$h_i/h$	$(w_{взв})_i$	$(d_{взв})_i$	$(d_{взв})_i/d_{взв}$	$(h_i/h)^a$
0,1	0,01601	0,1844	0,472	0,456
0,2	0,0211	0,227	0,582	0,578
0,3	0,0247	0,259	0,6612	0,663
0,4	0,0277	0,284	0,7262	0,732
0,5	0,0304	0,306	0,783	0,789
0,6	0,0327	0,322	0,824	0,840
0,7	0,0349	0,344	0,880	0,885
0,8	0,0369	0,361	0,923	0,927
0,9	0,0388	0,376	0,962	0,965
1	0,0407	0,391	1	1

**Результаты исследования и обсуждение**

Расчеты выполнялись в программной среде Python 3.8. Параметры каналов варьировались в пределах, рекомендованных СП 100.13330.2016 [18]. К рассмотрению было принято 11 каналов (табл. 1), в том числе с параметрами, рассчитанными для реальных объектов [9, 19] (каналы № 9, 10 и 11).

Порядок расчета следующий.

1. Выполняется гидравлический расчет канала.

2. Определяется диаметр частиц, перемещающихся потоком во взвешенном  $d_{взв}$  и  $d_{вл}$  влекомом состояниях по формулам (4) и (5).

Таблица 3

**Расчет показателя степени в формуле (1) для канала № 1 ( $k = 1,908$ ;  $R^2 = 0,99999$ )**  
**Calculation of exponent in formula (1) for sluiceway 1 ( $k = 1,908$ ;  $R^2 = 0,99999$ )**

$h_i/h$	$\chi_i$	$Q_i$	$(\chi_{np})_i$	$\Sigma(\chi_{np})_i$	$\Sigma(\chi_{np})_i/k$	$Q_i/Q$	$(\Sigma T_i/T_{np})^k$
0,1	0,861	0,01469	0,392	0,392	0,0956	0,00938	0,01134
0,2	1,221	0,0522	0,313	0,705	0,1718	0,0333	0,0347
0,3	1,582	0,1150	0,344	1,049	0,256	0,0734	0,0740
0,4	1,942	0,207	0,372	1,421	0,346	0,1321	0,1321
0,5	2,30	0,331	0,397	1,818	0,443	0,212	0,211
0,6	2,66	0,492	0,420	2,24	0,545	0,314	0,314
0,7	3,02	0,693	0,440	2,68	0,652	0,442	0,442
0,8	3,38	0,937	0,459	3,14	0,764	0,598	0,598
0,9	3,74	1,227	0,476	3,61	0,880	0,783	0,784
1	4,11	1,566	0,493	4,11	1	1	1

3. Рассчитывается показатель степени «а» в формуле (7) таким образом, чтобы коэффициент детерминации  $R^2$  был максимальным. В табл. 2 представлен данный расчет на примере канала № 1 ( $a = 0,341$ ;  $R^2 = 0,9969$ ).

4. По формулам (8) – (11) определяется показатель степени «к» в формуле (1). В табл. 3 приведен пример расчета канала № 1 ( $k = 1,908$ ;  $R^2 = 0,99999$ ).

Анализируя данные табл. 1, можно сделать следующий вывод: показатели степени в формулах (1) и (7) являются величинами переменными. Диапазон их изменения лежит в пределах:  $a = 0,341$  –  $0,549$ ;  $k = 1,792$  –  $2,32$ .

### Заключение

Предложена и реализована в программной среде Python 3.8 усовершен-

ствованная методика расчета поэтапной промывки руслоотводных каналов, обеспечивающая соблюдение норматива качества воды водных объектов по взвешенным веществам.

Показано, что в отличие от ранее выполненных исследований [10, 15], показатели степени в формулах (1) и (7) являются значениями переменными и должны определяться для каждого конкретного канала.

Данная методика использовалась при разработке проектной документации «Выправление русла р. Тугнуй для защиты от затопления участка горных работ АО «Разрез Тугуйский». Экономический эффект от внедрения данной методики составил 147,7 тыс. руб. (Акт внедрения ООО «Сибнииглеобогашение» от 07.05.2018 г.).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотые реки: Вып. 1. Амурский бассейн / Под ред. Е. А. Симонова. – Владивосток: Изд-во «Апельсин», 2012. – 120 с.
2. Чалов С. Р., Школьный Д.И., Промахова Е. В., Леман В. Н., Романченко А. О. Формирование стока наносов в районах разработок россыпных месторождений // География и природные ресурсы. – 2015. – № 2. – С. 22–30.
3. Школьный Д. И., Чалов С. Р., Ефимов В. А. Инвентаризация россыпных разработок благородных металлов в бассейнах рек Дальнего Востока РФ: географическое распро-



странение и воздействие на русловые системы / IV Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием. — Томск: ТГУ, 2017. — С. 410–414.

4. *Vaillant Byzizigiro R., Raab T., Maurer T.* Small-scale opencast mining: an important research field for anthropogenic geomorphology // *Journal of the Geographical Society of Berlin*. 2015, vol. 146, no. 4, pp. 213–231. DOI: 10.12854/erde-146-21.

5. *Flatley A., Rutherford I., Hardie R.* River channel relocation: Problems and prospects // *Water*. 2018, no. 10, pp. 114–138. DOI: 10.3390/w10101360.

6. *Wenger A. S., Rawson C. A., Wilson S., Newman S., Travers M., Atkinson S., Browne N., Clarke D., Depczynski M., Eftermeijer P., Evans R., Hobbs J., McIlwain J., McLean D., Saunders B., Harvey E.* Management strategies to minimize the dredging impacts of coastal development on fish and fisheries // *Conservation Letters*. 2018, vol. 11, no. 5. DOI: 10.1111/conl.12572.

7. *Tritthard M., Haimann M., Habersack H., Hauer C.* Spatio-temporal variability of suspended sediments in rivers and ecological implications of reservoir flushing operations // *River Research and Applications*. 2019, vol. 35, no. 7, pp. 1–14. DOI: 10.1002/rra.3492.

8. *Чалов С. Р., Леман В. Н.* Региональный подход к рыбохозяйственному нормированию содержания взвешенных веществ // *Водное хозяйство России*. — 2019. — № 6. — С. 66–83. DOI: 10.35567/1999-4508-2019-6-5.

9. *Косарев С. Г.* Оценка объемов выноса взвешенных веществ из руслоотводных каналов и экономического ущерба от загрязнения ими водных объектов (на примере реки Бугарихта) // *Водное хозяйство России*. — 2013. — № 3. — С. 57–64.

10. *Косарев С. Г.* Регулирование концентрации взвешенных веществ в руслоотводных каналах при вводе их в эксплуатацию (Сообщение 1. Проблемы, возникающие при применении известных методик расчета расходов воды в руслоотводных каналах) // *Водное хозяйство России*. — 2011. — № 2. — С. 39–45.

11. *Шмакова М. В.* К вопросу о расчетах расхода взвешенных наносов // *Водное хозяйство России*. — 2020. — № 1. — С. 50–71.

12. *Riverine ecosystem management.* Schmutz S., Sendzimir J. (Eds.). *Aquatic Ecology Series*. Springer Open. 2018. 571 p. DOI: 10.1007/978-3-319-73250-3.

13. *Egashira S., Ahmed T.* Erosion rate of bed sediment by means of entrainment velocity // *Proceedings of the Society of Civil Engineers B1 (hydroengineering)*. 2019, vol. 75, no. 2, pp. 967–972.

14. *Каргапольцев С. К., Коннов В. И.* Патент РФ № 2334841, 19.07.2006. Способ регулирования расходов воды и концентраций взвешенных частиц в руслоотводном канале. 2008.

15. *Манилюк Т. А.* Защита природных водных объектов от загрязнения взвешенными веществами при вводе в эксплуатацию земляных руслоотводных каналов. Автореф. дисс... канд. техн. наук. — Екатеринбург: РосНИИВХ, 2007. — 20 с.

16. *Векслер А. Б.* Влияние формы частиц наносов на их гидравлические характеристики // *Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева*. — 1982. — Т. 154. — С. 52–58.

17. *Raudkivi A. J.* *Loose boundary hydraulics*. Rotterdam: A.A. Balkema Publishers, 1998. 496 p.

18. СП 100.13330.2016. Мелиоративные системы и сооружения. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. — М. — 126 с.

19. *Косарев С. Г.* Количественная и стоимостная оценка загрязнения реки Шундуя взвешенными веществами, выносимыми из руслоотводного канала // *Вестник ЧитГУ*. — 2012. — № 3 (82). — С. 13–18. **PLAB**

## REFERENCES

1. *Zolotyie reki: Vyp. 1. Amurskiy basseyn.* Pod red. E. A. Simonova [Golden rivers: Issue 1. The Amur river basin. Simonov E. A. (Ed.)], Vladivostok, Izd-vo «Apel'sin», 2012, 120 p.

2. Chalov S. R., Shkol'nyy D. I., Promakhova E. V., Leman V. N., Romanchenko A. O. Formation of the sediment yield in areas of mining of placer deposits. *Geografiya i prirodnye resursy*. 2015, no. 2, pp. 22–30. [In Russ].

3. Shkol'nyy D. I., Chalov S. R., Efimov V. A. Inventory of alluvial developments of precious metals in river basins of the Russian Far East: geographical distributions and impact on riverbed systems. *IV Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem* [4th All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation], Tomsk, TGU, 2017, pp. 410–414. [In Russ].

4. Vaillant Byizigiro R., Raab T., Maurer T. Small-scale opencast mining: an important research field for anthropogenic geomorphology. *Journal of the Geographical Society of Berlin*. 2015, vol. 146, no. 4, pp. 213–231. DOI: 10.12854/erde-146-21.

5. Flatley A., Rutherford I., Hardie R. River channel relocation: Problems and prospects. *Water*. 2018, no. 10, pp. 114–138. DOI: 10.3390/w10101360.

6. Wenger A. S., Rawson C. A., Wilson S., Newman S., Travers M., Atkinson S., Browne N., Clarke D., Depczynski M., Eftermeijer P., Evans R., Hobbs J., McIlwain J., McLean D., Saunders B., Harvey E. Management strategies to minimize the dredging impacts of coastal development on fish and fisheries. *Conservation Letters*. 2018, vol. 11, no. 5. DOI: 10.1111/conl.12572.

7. Tritthard M., Haimann M., Habersack H., Hauer C. Spatio-temporal variability of suspended sediments in rivers and ecological implications of reservoir flushing operations. *River Research and Applications*. 2019, vol. 35, no. 7, pp. 1–14. DOI: 10.1002/rra.3492.

8. Chalov S. R., Leman V. N. Regional approach to fishery normalization of suspended matter content. *Water Sector of Russia*. 2019, no. 6, pp. 66–83. [In Russ]. DOI: 10.35567/1999-4508-2019-6-5.

9. Kosarev S. G. Evaluation of suspended solids carry-out amount from bed-diverting channels and economic damage resulted from the associated water bodies' pollution (the Bugarikhta River as an example). *Water Sector of Russia*. 2013, no. 3, pp. 57–64. [In Russ].

10. Kosarev S. G. Regulation of suspended matter concentration in bed-diverting channels during their commissioning. Statement 1. Problems arising in the use of the known calculation methods for water consumption in bed-diverting channels. *Water Sector of Russia*. 2011, no. 2, pp. 39–45. [In Russ].

11. Shmakova M. V. On the issue of calculation of the suspended sediment load discharge. *Water Sector of Russia*. 2020, no. 1, pp. 50–71. [In Russ].

12. *Riverine ecosystem management*. Schmutz S., Sendzimir J. (Eds.). Aquatic Ecology Series. Springer Open. 2018. 571 p. DOI: 10.1007/978-3-319-73250-3.

13. Egashira S., Ahmed T. Erosion rate of bed sediment by means of entrainment velocity. *Proceedings of the Society of Civil Engineers B1 (hydroengineering)*. 2019, vol. 75, no. 2, pp. 967–972.

14. Kargapol'tsev S. K., Konnov V. I. *Patent 2334841*, 19.07.2006.

15. Manilyuk T. A. *Zashchita prirodnykh vodnykh ob"ektov ot zagryazneniya vzheshennymi veshchestvami pri vvode v ekspluatatsiyu zemlyanykh ruslootvodnykh kanalov* [Protection of natural water bodies from contamination with suspended solids during commissioning of earth bed-diverting channel], Candidate's thesis, Ekaterinburg, RosNIIVKH, 2007, 20 p.

16. Veksler A. B. The influence of the shape of sediment particles on their hydraulic characteristics. *Izvestiya vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta Gidrotekhniki im. B.E. Vedeneeva*. 1982, vol. 154, pp. 52–58. [In Russ].

17. Raudkivi A. J. *Loose boundary hydraulics*. Rotterdam: A.A. Balkema Publishers, 1998. 496 p.

18. *Meliorativnye sistemy i sooruzheniya. Ministerstvo stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii. SP 100.13330.2016* [The reclamation systems and construction. Ministry of construction and housing and communal services of the Russian Federation. SP 100.13330.2016.], Moscow, 126 p. [In Russ].



19. Kosarev S. G. Assessment of the River Shundaya pollution by suspended sediments that are removed from the bed-diverting channel. *Vestnik Chitinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012, no. 3 (82), pp. 13–18. [In Russ].

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Косарев Сергей Геннадьевич*<sup>1,2</sup> — канд. техн. наук, доцент, профессор, e-mail: kosarevsg@mail.ru,  
*Заслоновский Валерий Николаевич*<sup>1,2</sup> — д-р техн. наук, профессор,  
*Босов Максим Анатольевич*<sup>1,2</sup> — канд. техн. наук, доцент,  
<sup>1</sup> Забайкальский государственный университет,  
<sup>2</sup> Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов.  
**Для контактов:** Косарев С.Г., e-mail: kosarevsg@mail.ru.

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*S.G. Kosarev*<sup>1,2</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Professor, e-mail: kosarevsg@mail.ru,  
*V.N. Zaslonskiy*<sup>1,2</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor,  
*M.A. Bosov*<sup>1,2</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,  
<sup>1</sup> Transbaikal State University, 672039, Chita, Russia,  
<sup>2</sup> Russian Research Institute for Integrated Use and Protection of Water Resources, Ekaterinburg, Russia.  
**Corresponding author:** S.G. Kosarev, e-mail: kosarevsg@mail.ru.

Получена редакцией 12.04.2021; получена после рецензии 28.04.2021; принята к печати 10.08.2021.  
Received by the editors 12.04.2021; received after the review 28.04.2021; accepted for printing 10.08.2021.



---

## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

---

### БЕЗОПАСНОСТЬ И ГЕОЭКОЛОГИЯ В ГОРНОМ ДЕЛЕ-2

(2021, № 1, СБ 1, 136 с.)

Представлены данные о возможном управлении пылевой нагрузкой на горно-металлургическом производстве посредством акустического воздействия, результаты исследований по комплексному обеспыливанию на обогатительных фабриках, результаты оценки эколого-геохимического воздействия массовых взрывов на карьере АО «Лебединский ГОК», оценки негативного экологического воздействия хвостов продуктов флотационного обогащения железных руд. Рассмотрены необходимость изменения подхода к вопросу ликвидации угольных предприятий и применение биомониторинга в оценке экологического состояния окружающей среды в горнопромышленных регионах. Приведены данные о перспективных направлениях в обучении персонала в области промышленной безопасности с использованием технологий виртуальной и дополненной реальности.

### SAFETY AND GEOECOLOGY IN MINING-2

The data on the possible control of the dust load at the mining and metallurgical production by means of acoustic impact, the results of studies on complex dedusting at processing plants, the results of the assessment of the ecological and geochemical impact of mass explosions at the Lebedinsky GOK JSC quarry, the assessment of the negative environmental impact of the tailings of products of flotation enrichment of iron ores are presented. The necessity of changing the approach to the issue of liquidation of coal enterprises and the use of biomonitoring in assessing the ecological state of the environment in mining regions are considered. The data on promising areas in the training of personnel in the field of industrial safety using virtual and augmented reality technologies are presented.