

УДК 504.4.054:626.34

ОЦЕНКА ОБЪЕМОВ ВЫНОСА ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ РУСЛООТВОДНЫХ КАНАЛОВ И ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИМИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ БУГАРИХТА)

© 2013 г. С.Г. Косарев

Восточный филиал ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», г. Чита

Ключевые слова: руслоотводной канал, размывающая скорость, гидравлическая крупность, взвешенные вещества.



Предложена методика оценки загрязнения водных объектов взвешенными веществами, выносимыми из руслоотводных каналов при открытой разработке месторождений полезных ископаемых в руслах рек. На примере участка добычи россыпного золота на р. Бугарихта Забайкальского края выполнена количественная и стоимостная оценка загрязнения водного объекта взвешенными веществами.

Добыча полезных ископаемых (в Забайкальском крае это в основном месторождения россыпного золота) зачастую осуществляется под руслами рек и на прилегающей к ним территории. При таком способе добычи требуется отвод реки от месторождения руслоотводным каналом. В зависимости от рельефа местности, по которой прокладывается трасса, отдельные участки канала проектируются:

- без крепления на участках, где скорость течения не превышает значения размывающей [1] для данного гранулометрического состава грунта ложа канала;
- с креплением, где скорость течения превышает размывающую, крепление таких участков практически всегда предусматривается каменной наброской, как наиболее дешевое.

В практике проектирования принято считать, что если канал не деформируется (средняя скорость течения не превышает значение размывающей), то и выноса взвешенных веществ из такого канала не происходит. Это справедливо только в случае однородных грунтов [2].

Водное хозяйство России № 3, 2013

Водное хозяйство России

Поскольку природные грунты чаще всего по гранулометрическому составу неоднородны, становится очевидным, что наиболее мелкие из них могут перемещаться потоком как во взвешенном, так и во влекомом состоянии. Вследствие этого, как показывает практика и теоретические исследования [3], содержание взвешенных частиц в русле реки в начальный период эксплуатации канала может превышать предельно допустимую концентрацию (ПДК).

Наиболее полная классификация наносов по способу перемещения предложена А. Раудкиви [4]. Характерные режимы их движения для условий течения, близких к равномерному, могут быть ориентировочно оценены по соотношениям:

$$\frac{U_*}{\omega} < 0,16 \dots 0,25 \text{ – частицы на дне неподвижны;} \quad (1)$$

$$0,25 < \frac{U_*}{\omega} < 0,8 \text{ – частицы движутся по дну влечением;} \quad (2)$$

$$0,8 < \frac{U_*}{\omega} < 1,7 \text{ – частицы перемещаются сальтацией;} \quad (3)$$

$$\frac{U_*}{\omega} > 1,7 \text{ – взвешивание частиц и образование суспензии,} \quad (4)$$

где U_* – динамическая скорость (скорость трения), м/с; ω – гидравлическая крупность частиц, м/с.

Таким образом, в случае неоднородного грунта частицы гидравлической крупности, соответствующей соотношению (4), могут транспортироваться потоком во взвешенном состоянии. Максимальный диаметр таких частиц в дальнейшем будем обозначать как $d_{взв}$.

Масса взвешенных частиц, поступающих из руслоотводного канала в реку, может быть определена [5, 6] как

$$M = \rho_{гр} \cdot \chi \cdot l \cdot d \cdot P_{взв}, \quad (5)$$

где $\rho_{гр}$ – плотность грунта (в отложениях), кг/м³ (при отсутствии данных можно принимать $\rho_{гр} = 1750$ кг/м³);

χ – смоченный периметр канала, м;

l – длина канала или отдельного участка, м;

d – диаметр частиц, соответствующий неразмывающей скорости [1], м;

$P_{взв}$ – содержание (в долях от единицы) по весу в общем объеме грунта частиц диаметром $d_{взв}$ и менее, способных перемещаться во взвешенном состоянии.

Для оценки загрязнения водного объекта взвешенными веществами в качестве примера рассмотрим участок добычи россыпного золота на реках Бухта и Бугарихта Могочинского района Забайкальского края.

На объекте по проекту предусмотрено 7 руслоотводных каналов: РК-1, РК-2, РК-3, РК-4, РК-5, РК-6 и РК-6'. Руслоотводной канал РК-4 длиной 726 м имеет расчетные расходы менее 1 м³/с, поэтому рассматриваться не будет. Руслоотводные каналы РК-5, РК-6 и РК-6' длиной соответственно 6786, 475 и 1485 м полностью закреплены каменной наброской и поэтому также исключаются из рассмотрения. Руслоотводные каналы РК-1, РК-2, РК-3 частично закреплены каменной наброской на участках со значительными уклонами. Проектные параметры незакрепленных участков руслоотводных каналов РК-1, РК-2, РК-3 определялись для условий равномерного движения по известным формулам гидравлики и представлены соответственно в табл. 1–3.

Таблица 1. Проектные параметры незакрепленных участков канала РК-1

Пикеты	Длина участка, м	Расчетный расход, м ³ /с	Уклон дна канала	Глубина потока, м	Средняя скорость, м/с
ПК8...ПК19	1100	142,4	0,0004	4,71	1,79
ПК25...ПК32	600	143,0	0,0011	3,69	2,61
ПК36...ПК39	300		0,0012	3,61	2,69
ПК39...ПК42	300		0,0007	4,12	2,20
ПК43...ПК48	400		0,0007	4,12	2,20
ПК61...ПК75	1400		0,0005	4,47	1,95

Таблица 2. Проектные параметры незакрепленных участков канала РК-2

Пикеты	Длина участка, м	Расчетный расход, м ³ /с	Уклон дна канала	Глубина потока, м	Средняя скорость, м/с
ПК0...ПК4	400	153,4	0,0014	3,60	2,90
ПК4...ПК10	600		0,0010	3,91	2,56
ПК17...ПК20	300		0,0009	4,01	2,46
ПК22...ПК25	300		0,0008	4,13	2,36
ПК27...ПК32	500		0,0007	4,27	2,25
ПК33...ПК34	100	153,8	0,0009	4,02	2,47
ПК34...ПК36	200		0,0008	4,13	2,36
ПК36...ПК38	200		0,0007	4,27	2,25
ПК38...ПК39	100		0,0010	3,91	2,56
ПК42...ПК43	100		156,8	0,0014	3,64
ПК43...ПК46	300	0,0011		3,86	2,67
ПК46...ПК50	400	0,0010		3,95	2,58
ПК54...ПК57	300	0,0010		3,95	2,58

Таблица 3. Проектные параметры незакрепленных участков канала РК-3

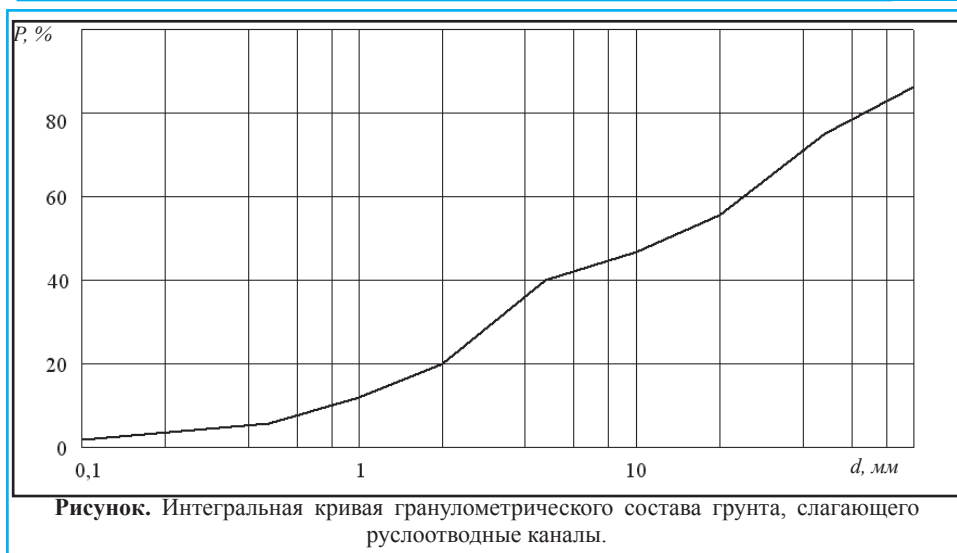
Пикеты	Длина участка, м	Расчетный расход, м ³ /с	Уклон дна канала	Глубина потока, м	Средняя скорость, м/с
ПК2...ПК6	400	90,1	0,0005	4,27	1,75
ПК6...ПК7	100		0,0010	3,67	2,27
ПК7...ПК8	100		0,0012	3,52	2,43
ПК8...ПК12	400		0,0011	3,59	2,35
ПК13...ПК25	1200		0,0005	4,27	1,75
ПК25...ПК28	300		0,0008	3,85	2,09
ПК32...ПК35	300		0,0012	3,52	2,43
ПК36+70...ПК38	130	91,2	0,0018	3,23	2,83
ПК38...ПК39	100		0,0015	3,37	2,64
ПК39...ПК40	100		0,0018	3,23	2,83
ПК40...ПК42	200		0,0012	3,54	2,43
ПК42...ПК44	200		0,0010	3,69	2,27
ПК44...ПК48	400		0,0008	3,87	2,09
ПК48...ПК51	300		0,0010	3,69	2,27
ПК51...ПК52	100		0,0018	3,23	2,83
ПК55+45...ПК57	155		0,0011	3,61	2,36
ПК57...ПК58	100		0,0012	3,54	2,43
ПК58...ПК59	100		0,0018	3,23	2,83
ПК59...ПК62	300		0,0008	3,87	2,09
ПК62...ПК64	200		0,0005	4,30	1,76
ПК64...ПК65	100		0,0012	3,54	2,43

Коэффициент шероховатости на незакрепленных участках принят равным $n = 0,0225$ [1]. Вероятность превышения расчетных максимальных расходов воды принята как для временных гидротехнических сооружений IV класса при сроке эксплуатации до 10 лет – 10 % [7]. Коэффициент заложения подводной части откосов всех каналов $m = 2$. Ширина каналов РК-1 и РК-2 по дну на всем протяжении составляет $b = 7,5$ м. Ширина канала РК-3 по дну равна $b = 3,5$ м.

Осредненная интегральная кривая гранулометрического состава грунта, слагающего руслоотводные каналы, представлена на рисунке.

Расчет массы взвешенных веществ, выносимых из канала или его отдельного участка, проводим в следующей последовательности.

Для заданных в табл. 1–3 глубины потока h и средней скорости течения U по приложению 17 [1] определяем средний диаметр частиц d – диаметр, соответствующий условию неразмываемости.



Рассчитываем гидравлические элементы поперечного профиля канала:
площадь живого сечения

$$\Omega = b \cdot h + m \cdot h^2; \quad (6)$$

смоченный периметр

$$\chi = b + 2 \cdot h \sqrt{1 + m^2}; \quad (7)$$

гидравлический радиус

$$R = \frac{\Omega}{\chi}. \quad (8)$$

Определяем динамическую скорость потока (g – ускорение силы тяжести, м/с^2)

$$U_* = \sqrt{g \cdot R \cdot i}. \quad (9)$$

Максимальное значение гидравлической крупности $\omega_{\text{взв}}$ частиц, способных перемещаться потоком во взвешенном состоянии, находим из соотношения (4):

$$\omega_{\text{взв}} = \frac{U_*}{1,7}. \quad (10)$$

Связь между диаметром $d_{\text{взв}}$ и гидравлической крупностью $\omega_{\text{взв}}$ определяли по графику (рис. 28.4 в работе [4]) в зависимости от температуры воды, равной 10°C . По интегральной кривой гранулометрического состава

грунта (см. рисунок) определяем содержание (в долях от единицы) частиц $P_{взв}$, соответствующее $d_{взв}$. Массу частиц, способную выноситься с участка канала во взвешенном состоянии, определяем по зависимости (5). Результаты расчета представлены в табл. 4.

Таблица 4. Расчет массы взвешенных частиц, выносимых из руслоотводных каналов

Длина участка l , м	d , м	Ω , м	χ , м	R , м	U^* , м/с	$\omega_{взв}$, м/с	$d_{взв}$, м	$P_{взв}$	M , м
Руслоотводной канал РК-1									
1100	0,016	79,7	28,6	2,79	0,105	0,0615	0,0005	0,056	49,267
600	0,050	54,9	24,0	2,29	0,157	0,0924	0,0008	0,10	126,011
300	0,055	53,1	23,6	2,25	0,163	0,0957	0,0008	0,10	68,273
300	0,035	64,8	25,9	2,50	0,131	0,0771	0,0007	0,088	41,921
400	0,035	64,8	25,9	2,50	0,131	0,0771	0,0007	0,088	55,895
1400	0,025	73,5	27,5	2,67	0,115	0,0674	0,0006	0,080	134,703
Руслоотводной канал РК-2									
400	0,070	52,9	23,6	2,24	0,175	0,1032	0,0009	0,11	127,202
600	0,048	59,9	25,0	2,40	0,153	0,0902	0,0008	0,10	125,930
300	0,045	62,2	25,4	2,45	0,147	0,0865	0,0007	0,088	52,876
300	0,038	65,1	26,0	2,51	0,140	0,0825	0,0007	0,088	45,593
500	0,032	68,5	26,6	2,58	0,133	0,0782	0,0007	0,088	65,533
100	0,045	62,5	25,5	2,45	0,147	0,0865	0,0007	0,088	17,656
200	0,038	65,1	26,0	2,51	0,140	0,0825	0,0007	0,088	30,395
200	0,032	68,5	26,6	2,58	0,133	0,0782	0,0007	0,088	26,213
100	0,048	59,9	25,0	2,40	0,153	0,0902	0,0008	0,10	20,988
100	0,070	53,8	23,8	2,26	0,176	0,1037	0,0009	0,11	32,042
300	0,055	58,7	24,8	2,37	0,160	0,0941	0,0008	0,10	71,502
400	0,050	60,8	25,2	2,42	0,154	0,0906	0,0008	0,10	88,077
300	0,050	60,8	25,2	2,42	0,154	0,0906	0,0008	0,10	66,058
Руслоотводной канал РК-3									
400	0,017	51,4	22,6	2,28	0,106	0,0621	0,0005	0,056	15,058
100	0,032	39,8	19,9	2,00	0,140	0,0824	0,0007	0,088	9,813
100	0,042	37,1	19,2	1,93	0,151	0,0886	0,0007	0,088	12,446
400	0,040	38,3	19,6	1,96	0,145	0,0856	0,0007	0,088	48,183
1200	0,017	51,4	22,6	2,28	0,106	0,0621	0,0005	0,056	45,174
300	0,025	43,1	20,7	2,08	0,128	0,0752	0,0006	0,080	21,754
300	0,042	37,1	19,2	1,93	0,151	0,0886	0,0007	0,088	37,337
130	0,065	32,2	17,9	1,79	0,178	0,1047	0,0009	0,11	29,190
100	0,055	34,5	18,6	1,86	0,165	0,0973	0,0008	0,10	17,875
100	0,065	32,2	17,9	1,79	0,178	0,1047	0,0009	0,11	22,454
200	0,042	37,5	19,3	1,94	0,151	0,0888	0,0008	0,10	28,417
200	0,032	40,1	20,0	2,01	0,140	0,0825	0,0007	0,088	19,714
400	0,025	43,5	20,8	2,09	0,128	0,0753	0,0006	0,080	29,130
300	0,032	40,1	20,0	2,01	0,140	0,0825	0,0007	0,088	29,571

Окончание табл. 4.

Длина участка l , м	d , м	Ω , м ²	χ , м	R , м	U^* , м/с	$\omega_{взв}$, м/с	$d_{взв}$, м	$P_{взв}$	M , м
Руслоотводной канал РК-3									
100	0,065	32,2	17,9	1,79	0,178	0,105	0,0009	0,11	22,454
155	0,040	38,7	19,6	1,97	0,146	0,0858	0,0007	0,088	18,756
100	0,042	37,5	19,3	1,94	0,151	0,0888	0,0008	0,10	14,209
100	0,065	32,2	17,9	1,79	0,178	0,1047	0,0009	0,11	22,454
300	0,025	43,5	20,8	2,09	0,128	0,0753	0,0006	0,080	21,848
200	0,017	52,0	22,7	2,29	0,106	0,0623	0,0005	0,056	7,574
100	0,042	37,5	19,3	1,94	0,151	0,0888	0,0008	0,10	14,209
ИТОГО, тонн:									1733,752

Таким образом, размер платы за загрязнение водного объекта р. Бугарихта взвешенными веществами может составить (при условии соблюдения в контрольном створе реки норматива качества воды):

$$П = 1733,752 \cdot 366 \cdot 1,05 \cdot 2,2 \cdot 0,138 = 202\,283 \text{ руб.},$$

где 1733,752 – масса загрязняющих водный объект взвешенных веществ (табл. 4), т;

366 – норматив платы в пределах установленных допустимых нормативов сбросов [8], руб/т;

1,05 – коэффициент, учитывающий экологический фактор для Читинской области Забайкальского края [8];

2,2 – коэффициент индексации от цен 2003 г. к ценам 2013 г. [9];

0,138 = $1/(0,25 + 7)$ – коэффициент [10], обратный сумме допустимого увеличения содержания взвешенных веществ при сбросе сточных вод к фону водоема (0,25 мг/л) и фоновой концентрации взвешенных веществ в воде водного объекта (7 мг/л – р. Бугарихта).

Выводы

Предложенная методика оценки загрязнения водных объектов взвешенными веществами, выносимыми из руслоотводных каналов при открытой разработке месторождений полезных ископаемых в руслах рек, как показал опыт ее использования на примере участка добычи россыпного золота на р. Бугарихта Забайкальского края, достаточно проста в реализации и позволяет еще на стадии проектирования:

– оценить загрязнение водного объекта взвешенными веществами в начальный период эксплуатации канала;

– при необходимости наметить мероприятия по снижению негативно-го воздействия на водный объект (устройство отстойников, поэтапная промывка [5, 6] и пр.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 2.06.03–85. Мелиоративные системы и сооружения. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 45 с.
2. ГОСТ 25100–1995. Грунты. Классификация. М. 1995. 43 с.
3. Манилюк Т.А. Защита природных водных объектов от загрязнения взвешенными веществами при вводе в эксплуатацию земляных руслоотводных каналов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург. 2007. 20 с.
4. Гидравлические расчеты водосборных гидротехнических сооружений: Справочное пособие / под ред. А.Б. Векслера. М.: Энергоатомиздат, 1988. 624 с.
5. 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.
6. Косарев С.Г. Регулирование концентрации взвешенных веществ в руслоотводных каналах при вводе их в эксплуатацию. Сообщение 2. Предлагаемые усовершенствования методик расчета // Водное хозяйство России. 2011. № 3. С. 70–79.
7. СНиП 33-01–2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования. М.: Госстрой России, 2004. 28 с.
8. Постановление Правительства Российской Федерации от 12 июня 2003 г. № 344 «О нормах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления».
9. Федеральный Закон № 216-ФЗ «О федеральном бюджете на 2013 год и на плановый период 2014 и 2015 годов».
10. Постановление Правительства Российской Федерации от 01.07.2005 № 410 «О внесении изменений в приложение № 1 к Постановлению Правительства Российской Федерации от 12 июня 2003 г. № 344».

Сведения об авторе:

Косарев Сергей Геннадьевич, к. т. н., доцент, Забайкальский государственный университет, 672039, Забайкальский край, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30; руководитель направления русловых процессов, Восточный филиал ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ВостокНИИВХ), 672039, Забайкальский край, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30; e-mail: kosarevsg@mail.ru