



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Моделирование изменения
мутности в речном потоке

Исполнитель _____ Волик Александра Алексеевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ доцент кафедры инженерной гидрологии, к. т. н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Гайдукова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат технических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Хаситов Виталий Александрович.
(фамилия, имя, отчество)

« 12 » 06 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

Содержание

	Стр.
Введение	3
1 Существующие подходы расчета и моделирования распространения мутности в речном потоке	4
1.1 Малые и средние реки	4
1.2 Крупные реки	5
2 Построение алгоритмов расчета и моделирования изменения мутности в речном потоке	6
2.1 Метод ГГИ	6
2.2 Метод Караушева	12
2.3 Расчет распространения зон мутности при дампинге. Пространственная модель	17
3 Апробация алгоритмов расчета и моделирования изменения мутности в речном потоке	26
3.1 Метод ГГИ	26
3.2 Метод Караушева	32
3.3 Расчет распространения зон мутности при дампинге. Пространственная модель	38
4 Сравнение результатов	39
Заключение	43
Список использованных источников	44

ВВЕДЕНИЕ

Мутность воды – это характеристика уменьшения прозрачности из-за воздействия внутренних и сторонних факторов. В мутной воде находятся твердые частицы, которые не растворяются, а оседают на дно.

При планировании любых водохозяйственных мероприятий учет качества воды имеет, как правило, не меньшее значение, чем количественная оценка ее ресурсов.

Моделирование распределения мутности воды вдоль рек демонстрирует вклад основных процессов, определяющих поведение взвешенных частиц в потоке, исключая влияние локальных факторов. Актуальность исследований увеличивается в связи с антропогенным воздействием на водные объекты, среди которых наиболее сильное увеличение мутности вызывают добыча россыпей в долинах рек, работа землеройной техники в руслах. Для успешного расчета и предотвращения негативного влияния поступления дополнительной мутности в водотоки необходимо создание четких, универсальных алгоритмов оценки переноса взвешенных частиц.

В связи с вышеизложенным целью исследования является создание всеобщих алгоритмов расчета изменения мутности в речном потоке.

Для достижения цели исследования необходимо решить следующие задачи:

- а) Изучить методы расчета мутности
- б) Составить алгоритмы расчета
- в) Произвести расчеты по созданным алгоритмам
- г) Сравнить результаты и определить наилучший метод.

1 Существующие подходы расчета и моделирования распространения мутности в речном потоке

1.1 Малые и средние реки

Средними реками называются равнинные реки, бассейны которых располагаются в одной гидрографической зоне, имеющие площадь от 2000 до 50000 км², гидрологический режим которых свойственен для рек этой зоны.

Малыми реками называются реки, бассейны которых располагаются в одной гидрографической зоне, имеют площадь не более 2000 км² и гидрологический режим которых под влиянием местных факторов может быть не свойственен для рек этой зоны.

Метод расчета распространения поля мутности в малых реках разработан в Государственном гидрологическом институте (ГГИ). В малых водотоках работа землеройной техники приводит к равномерному распределению технологической мутности в исходном створе, и трансформация поля мутности происходит по длине реки в основном результате осаждения частиц. Расчет ведется для величины превышения мутности над фоновыми значениями в предположении, что фоновая мутность соответствует гидравлическим характеристикам потока и не приводит к заилению русла.

В связи с тем, что при планировании водохозяйственных мероприятий качество воды имеет большое значение, Анатолий Васильевич Караушев провел большой объем исследований по проблемам загрязнения и самоочищения водных объектов. В этих исследованиях особое внимание уделялось учету гидрохимических, гидродинамических и гидрологических факторов. Исследования проводились на основе изучения гидролого-гидродинамических процессов переноса веществ и процессов самоочищения при учете гидрохимического фона.

Научно-исследовательская работа А.В. Караушева связана с изучением речной гидравлики, динамики озер и водохранилищ; проблем движения наносов и формирования русел; вопросов разбавления сточных вод и самоочищения рек и водоемов. Описанные практические методы содержат формулы, последовательность вычисления по которым не представляет собой четкого алгоритма действий.

В данной работе по методу Караушева буду проверять алгоритм на средней реке Белая. А метод ГГИ рассчитан для малой реки Большой Вени.

1.2 Крупные реки

Большими реками называются равнинные реки, имеющие бассейн площадью более 50000 км², а также реки преимущественно горные с площадью водосбора более 30000 км². Как правило, их бассейны располагаются в нескольких географических зонах, а гидрологический режим не свойственен для рек каждой географической зоны в отдельности.

Для больших рек с существенными скоростями течения рекомендуется метод НГАВТ, разработанный на основании решения системы уравнений турбулентной диффузии Афанасьевым С.В. При этом концентрация взвешенных веществ рассматривается как функция морфометрических характеристик расчетной области, средней скорости течения и гидравлической крупности частиц, образующих взвесь. Согласно этому методу, расчетное поле, находящееся в зоне влияния гидротехнических работ, представляется в виде конечных элементов с условно одинаковыми значениями глубины и скорости. Далее последовательно для этих элементов по эмпирическим формулам и графикам рассчитываются и снимаются необходимые для дальнейших вычислений величины.

2 Построение алгоритмов расчета и моделирования изменения мутности в речном потоке

2.1 Метод ГГИ

Расчет распространения мутности методом ГГИ в малом водотоке ведется последовательно по этапам:

- расчет стартовой мутности в створе производства земляных работ и расчет времени воздействия пятна мутности на участок реки в пределах его распространения;

- расчет зон распространения частиц грунта разной крупности вниз по течению от створа производства земляных работ;

- расчет массы грунта, оседающего по участкам реки ниже створа производства земляных работ, и расчет изменения мутности вниз по реке;

- расчет толщины слоя наилка, образовавшегося в результате производства земляных работ, и массы грунта, отложившегося на единицу площади дна водотока (плотности заиления).

На этапе 1 исходными данными для расчета служат:

- объем перемещаемого (извлекаемого) грунта;
- производительность землеройной техники;
- характеристика механического состава грунта;
- процент уноса грунта;
- морфометрические характеристики реки (ширина и глубина);
- скорость течения.

Расход воды в реке q (м³/с) рассчитывается по формуле:

$$q = b \cdot h \cdot v,$$

где b – ширина реки, м;

h – средняя глубина реки, м;

v – средняя скорость течения, м/с.

Средняя технологическая мутность в створе перехода определяется по формуле:

$$\Delta P = \frac{g \cdot \rho \cdot z \cdot 10^4}{q},$$

где ΔP – средняя дополнительная мутность в створе работ, г/м³;

g – производительность землеройной техники, м³/с;

z – процент уноса грунта;

ρ и q – объемная масса грунта (т/м³) и расход воды (м³/с) соответственно.

Объемная масса грунта в русле в естественном состоянии ρ_1 определяется по данным инженерно-геологических изысканий или в соответствии с имеющейся характеристикой механического состава грунта по таблицам, представленным в работе.

Время воздействия дополнительной мутности на водоток определяется по формуле:

$$\tau = \frac{W}{g},$$

где W – объем перемещаемого грунта, м³;

g – производительность землеройной техники, м³/с.

Для второго этапа расчета исходными данными служат:

- гранулометрический состав грунта (по фракциям, в % массы);
- стандартная гидравлическая крупность частиц расчетного диаметра;
- температура воды;
- температурный поправочный коэффициент к значению гидравлической крупности;
- морфометрические характеристики реки (ширина и глубина);
- скорость течения.

Границами расчетных зон распространения мутности принимаются створы, до которых происходит полное оседание на дно выделенных фракций грунта.

Гидравлическая крупность частиц в расчетных условиях w рассчитывается по формуле:

$$w = w_0 \cdot k_T,$$

где w_0 – гидравлическая крупность частиц в стандартных условиях, м/с;

k_T – поправочный температурный коэффициент.

Нижние по течению границы расчетных зон определяются по формуле:

$$L = h \cdot v/w,$$

где L – расстояние от створа работ, м;

h – глубина, м;

w – гидравлическая крупность для нижней границы фракции грунта в расчетных условиях, м/с.

Для третьего этапа расчета исходными данными служат результаты расчета первых 2-х этапов.

Поступающая в поток при разработке карьера масса грунта G рассчитывается по формуле:

$$G = W\rho_1z/100,$$

где W – объем перемещаемого грунта, м³;

ρ_1 – объемная масса грунта в русле в естественном состоянии (т/м³) и z – процент уноса грунта.

Для каждой зоны l рассчитывается масса грунта в каждой фракции G_{il}' , осевшая в i -той зоне:

$$G_{il}' = G_i \left(\frac{L_i}{L} \right) - \sum G_{i(l-n)}'$$

где G_i – масса грунта, поступившая в поток в i -той, фракции, т;

$\sum G_{i(l-n)}'$ – масса грунта данной фракции, осевшая в предыдущих расчетных зонах выше по течению, т;

L_i – длина расчетной зоны, м;

L – расстояние от створа работ до створа полного оседания расчетной фракции, м.

Суммированием $\sum G_{il}'$ получаем массу грунта, осевшую в каждой зоне.

Далее рассчитывается интегральная сумма массы осевшего грунта в русле от створа перехода до расчетного створа.

Разность между всей массой грунта, поступившей в поток, и массой грунта, осевшей к расчетному створу, дает массу транзитного грунта в створе $G_{L(\text{транзит})}$.

Полная дополнительная мутность по расчетным створам при разработке карьера рассчитывается по формуле:

$$\mu' = \tau \left(\frac{10^2 G_{L(\text{транзит})}}{3,6} \right) / q,$$

где τ – время разработки карьера;

q – расход воды, 10^2 и $3,6$ – множители для согласования размерности времени в значениях производительности техники, продолжительности работ и расхода воды, и для перехода к размерности г/м³ (мг/л).

Для последнего четвертого этапа расчета исходными данными служат рассчитанные значения массы отложившегося грунта по зонам при разработке грунта.

С учетом гранулометрического состава отложившихся фракций определяется по таблице объемная масса отложений (для естественного уплотнения состояния).

Принимая во внимание то, что отложения являются свежими, вносится поправка $k_{\text{разрыхл}}$ на не уплотнённость отложений:

$$\rho_2 = \rho / k_{\text{разрыхл}}.$$

Далее определяется объем отложений (W , м³) в расчетной зоне:

$$W = G / \rho_2.$$

Площадь дна реки в пределах расчетной зоны определяется по формуле:

$$F = L \cdot b.$$

где F – площадь, м²;

L – длина зоны, м;

b – ширина реки, м.

Средний слой наилка δ (мм) в зоне определяется по формуле:

$$\delta = \frac{W_i}{F} * 1000,$$

где 1000 – множитель для перехода к размерности в мм.

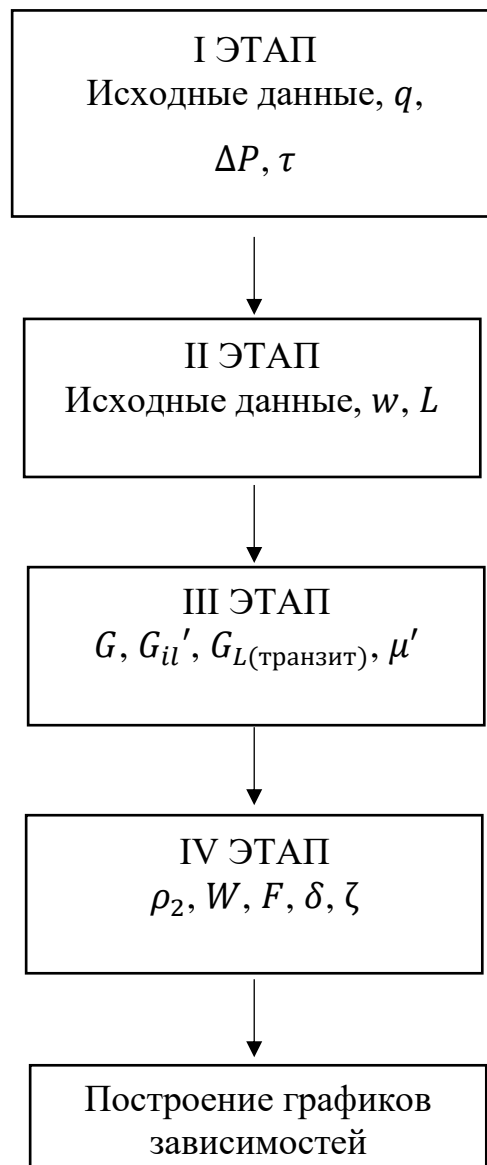
Удельная плотность заиления дна в зоне (ζ , мг/см²) определяется по формуле:

$$\zeta = G / F.$$

Значения толщины наилка и удельной плотности заиления рассчитаны как средние в зоне, поэтому эти значения необходимо относить к створу реки в середине зоны.

В предположении, что оседание частиц происходит равномерно по длине реки, график зависимости изменения величин толщины наилка и плотности заиления с расстоянием от створа работ позволяет получить эти значения в любом створе в пределах участка воздействия.

Блок-схема алгоритма расчета методом ГГИ.



2.2 Метод Караушева

Алгоритм расчета осаждающих загрязняющих взвешенных веществ в речных потоках методом Караушева составляется из последовательных вычислений.

1. Берем исходные данные для следующих величин: ширина потока B_0 , средняя глубина потока в пределах участка H и средняя скорость на участке V_{cp} . Также берем естественный расход воды Q_e и расход наносов Q_{cm} . Из взятых данных считаем действующий расход по формуле:

$$Q_d = B_0 H V_{cp}.$$

Если сточные воды распространяются по всему сечению реки, то Q_d считаем по следующей формуле:

$$Q_d = Q_{cm} + Q_e.$$

2. Далее из исходных данных берем среднюю гидравлическую крупность частиц u_i , для упрощения вычисления расчет ведется по двум фракциям i и $i+1$, на которые делятся все транспортируемые рекой естественные взвешенные наносы, т.е. есть расчетная фракция и все остальные фракции. Это следует учитывать и в процентном соотношении фракций, сумма которых равна 100 % – $a_{iизм}$ и $a_{i+1изм}$.

3. Считаем коэффициент Шези по формуле Штиклера–Маккавеева:

$$C = 33 \left(\frac{H}{d} \right)^{1/6},$$

где d – средний диаметр частиц.

4. Задаем расстояние потока x , т.е. на каком расстоянии хотим рассчитать концентрацию веществ.

5. Следующим шагом рассчитываем безразмерную величину фракций i и $i+1$:

$$G_i = \frac{u_i}{V_{cp}} ; \quad G_{i+1} = \frac{u_{i+1}}{V_{cp}} .$$

6. Гидромеханический параметр Γ_i (Γ_{i+1}) является функцией коэффициента Шези и безразмерной величины G_i , находится этот параметр по табл. 1.

Таблица 1– Таблица функции $\Gamma(C, G)$

G	C											
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
0,0001	0,998	0,998	0,998	0,997	0,995	0,992	0,99	0,988	0,986	0,983	0,98	0,977
0,003	0,95	0,924	0,894	0,859	0,819	0,778	0,735	0,69	0,645	0,601	0,558	0,519
0,004	0,935	0,899	0,861	0,815	0,766	0,714	0,665	0,612	0,56	0,512	0,465	0,422
0,005	0,92	0,876	0,827	0,774	0,716	0,655	0,601	0,543	0,486	0,435	0,387	0,344
0,006	0,904	0,854	0,797	0,736	0,673	0,607	0,55	0,484	0,428	0,375	0,329	0,288
0,007	0,89	0,833	0,767	0,701	0,63	0,562	0,496	0,433	0,375	0,326	0,281	0,243
0,008	0,875	0,812	0,741	0,667	0,591	0,518	0,45	0,388	0,331	0,283	0,24	0,205
0,009	0,86	0,79	0,713	0,633	0,554	0,478	0,41	0,348	0,292	0,246	0,205	0,174
0,01	0,845	0,77	0,687	0,604	0,52	0,444	0,373	0,312	0,259	0,214	0,177	0,149
0,02	0,718	0,599	0,479	0,377	0,29	0,219	0,169	0,129	0,099	0,079	0,066	0,057
0,03	0,608	0,464	0,337	0,241	0,168	0,122	0,084	0,061	0,044	0,033	0,026	0,021
0,04	0,517	0,368	0,254	0,168	0,11	0,077	0,052	0,036	0,026	0,02	0,015	0,011
0,05	0,436	0,289	0,185	0,11	0,069	0,044	0,028	0,019	0,014	0,0101	0,0075	0,0062
0,06	0,376	0,236	0,141	0,082	0,049	0,029	0,0188	0,0132	0,0089	0,0062	0,0045	0,0034
0,07	0,323	0,188	0,106	0,056	0,032	0,0201	0,0124	0,0084	0,0052	0,0035	0,0027	0,0021
0,08	0,28	0,152	0,079	0,041	0,0231	0,0136	0,0084	0,0052	0,003	0,0023	0,0015	0,0012
0,09	0,241	0,124	0,061	0,031	0,0175	0,0097	0,0058	0,0035	0,0022	0,0014	0,00094	0,00066
0,1	0,207	0,1	0,044	0,023	0,0123	0,0061	0,0038	0,0024	0,00143	0,0009	0,00056	0,00041
0,2	0,06	0,017	0,006	0,002	0,00077	0,00033	0,00014					

7. Коэффициент k_i определяется в зависимости от гидравлической крупности частиц и гидромеханического параметра Γ_i для i -й фракции:

$$k_i = \frac{u_i \Gamma_i}{1 - \Gamma_i} ,$$

где Γ – полное значение гидромеханического параметра наносов, который в случае деления частиц на две фракции вычисляется по формуле:

$$\Gamma = \frac{1}{\frac{a_{iuz}}{100\Gamma_i} + \frac{a_{i+1uzm}}{100\Gamma_{i+1}}}.$$

8. Для дальнейших расчетов понадобится рассчитать число Фруда, используя формулу:

$$Fr = \frac{V^2}{gH}.$$

9. Находим значение N – безразмерное характеристическое число турбулентного потока и b – коэффициент, принимающий следующие значения: $b=0,65$ при $20 < C \leq 80$, $b=0,45$ при $10 \leq C \leq 20$.

10. Следующим шагом идет расчет общей мутности взмыва по формуле:

$$S_{взм} = bN \cdot Fr.$$

11. Далее вычисляется общая мутность (концентрация), соответствующая транспортирующей способности потока S_{mp} в области распространения загрязненных вод:

$$S_{mp} = aS_{взм}\Gamma.$$

где a – корректирующий множитель, принимают $a = 1$.

12. Вычислив S_{mp} , можно определить частное значение мутности i -й фракции, т. е. S_{mpi} по формуле:

$$S_{mpi} = a_{iuz} S_{mp} .$$

13. Рассчитываем начальную концентрацию по формуле:

$$S_{начi} = \frac{Q_{cm} S_{cmi}}{V_{cp} H B_{\delta}} .$$

14. Заканчиваются расчеты определением концентрации взвешенных веществ по длине потока x относительно частной фракции:

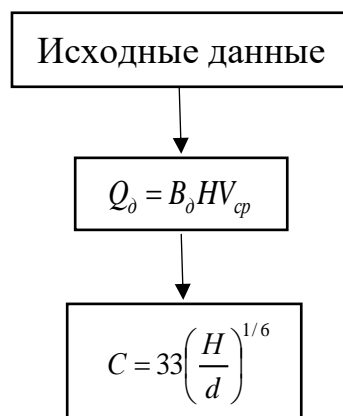
$$S_{xi} = S_{mpi} + (S_{начi} - S_{mpi}) \exp\left(-\frac{B_{\delta}(u_i + k_i)}{Q_{\delta}} x\right) .$$

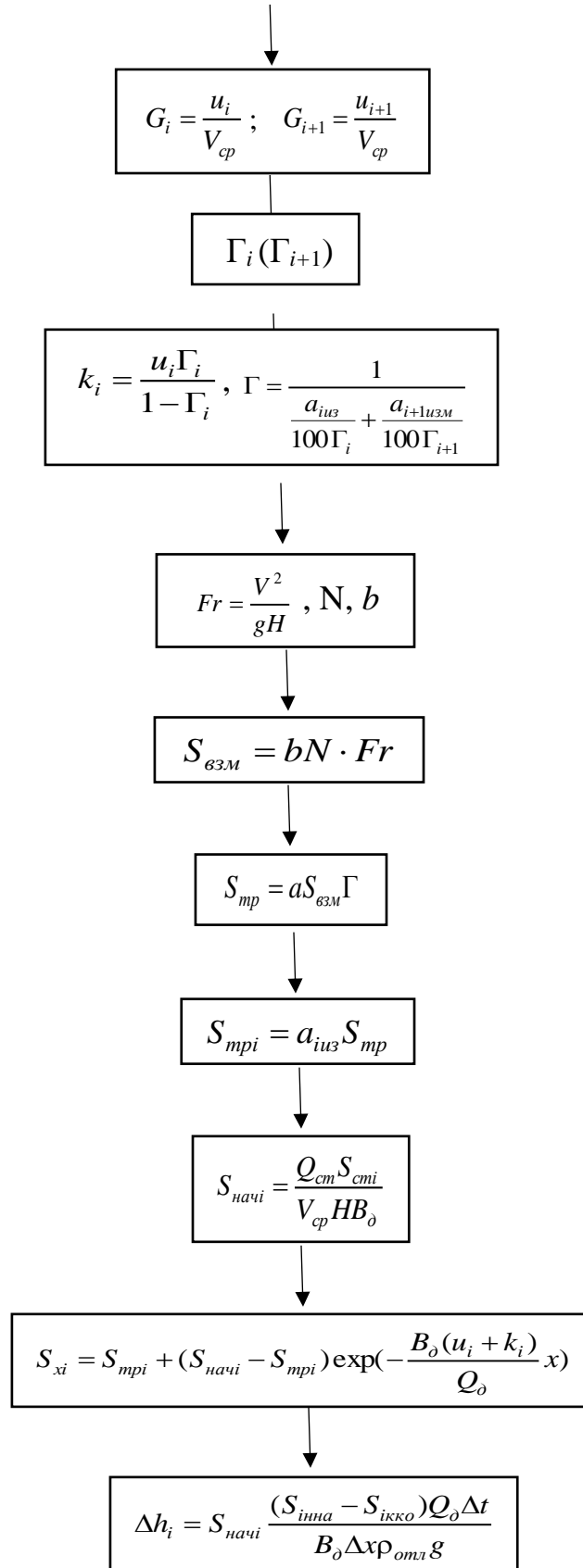
15. Рассчитав S_i вдоль x , находят значения $S_{iнач}$ и $S_{iкон}$, т. е. концентрацию расчетной фракции в начале и конце каждого из таких участков. Эти данные используются для определения слоя отложений или размыва отложений (наносов) Δh_i расчетной i -й фракции за время Δt на участке длиной Δx

$$\Delta h_i = S_{начi} \frac{(S_{iнач} - S_{iкон}) Q_{\delta} \Delta t}{B_{\delta} \Delta x \rho_{отл} g} .$$

Здесь $\rho_{отл}$ – плотность грунта, кг/м³; Δt – расчетный интервал времени, с. Величина Δh_i характеризует приращение за время Δt слоя h отложений (м), сформированного за счет частиц расчетной фракции.

Блок-схема алгоритма расчета методом Караушева.





2.3 Расчет распространения зон мутности при дампинге. Пространственная модель

Под дампингом понимается поверхностный сброс в районе подводной свалки грунта, вынутого при дноуглублении и транспортируемого шаландами или самоотвозными землесосами.

Исходные данные для расчета.

Технологические данные:

– дноуглубление планируется выполнить самоотвозным землесосом «Профессор Горюнов» с последующим сбросом из трюма в подводный морской отвал;

– норма загрузки трюма землесоса грунтом III группы по трудности (песок) составляет 4500 м³ в состоянии естественного сложения;

– по данным производственной организации - владельца судна время опорожнения трюма землесоса на отвале.

Данные о природных условиях на подводном отвале:

– глубина на отвале;

– данные о течении в районе отвала;

– данные о величинах коэффициентов горизонтальной K_H и вертикальной K_z диффузии.

Данные о физико-механических свойствах грунтов дноуглубления:

– объемный вес грунта в состоянии естественного сложения;

– удельный вес частиц грунта;

– осредненный гранулометрический состав грунтов дноуглубления.

Далее имея все данные, мы рассчитываем массу грунта, переходящего во взвешенное состояние по формуле:

$$G = p \cdot k \cdot V \frac{\gamma - \gamma_B}{\gamma_T - \gamma_B} \cdot \gamma_T,$$

где G – масса грунта, перешедшего во взвешенное состояние, т;

p – содержание в грунте частиц размером менее 0,1 мм, образующих зону повышенной мутности;

k – коэффициент перехода грунта во взвешенное состояние при дампинге;

V – норма загрузки грунтоотвозного судна грунтом в пересчете на объем в состоянии естественного сложения, м³;

γ – объемный вес грунта в состоянии естественного сложения, т/м³;

γ_B – объемный вес воды, равный 1 т/м³; γ_T – объемный вес частиц грунта, т/м³.

Коэффициент перехода грунта во взвешенное состояние k рассчитывается по зависимости:

$$k = 6.214 \frac{\sqrt{d-h}}{c} \left(\frac{1}{L} + \frac{1}{b} \right),$$

где d – глубина воды на подводном отвале, м;

h – осадка грунтового судна в грузу, м;

c – удельное сцепление грунта, Па;

L – длина створки днищевого люка грунтоотвозного судна или длина трюма у грунтоотвозного судна с раскрывающимся корпусом типа «гидроклапп», м;

b – средняя за время разгрузки ширина раскрытия днищевых люков (или трюма для судов типа «гидроклапп»), м. Для судов с раскрывающимся корпусом ее значение принимается равным половине ширины щели при максимальном раскрытии трюма.

Для люковых грунтоотвозных судов средняя за время разгрузки ширина раскрытия днищевых люков рассчитывается по выражению:

$$b = 2B_0 \left[\frac{T_0}{T_{\text{раз}}} \left(1 - \frac{1}{\alpha} \sin \alpha \right) + \frac{T_{\text{раз}} - T_0}{T_{\text{раз}}} (1 - \cos \alpha) \right],$$

где B_0 – ширина створки днищевого люка, м;

T_0 – время полного открытия створок днищевых люков, с;

$T_{\text{раз}}$ – время опорожнения трюма, с;

α – угол поворота створки днищевого люка до его полного открытия, радиан.

Для дальнейших действий нам необходимо рассчитать эффективную скорость седиментации взвеси $V_{\text{ос}}$ по формуле:

$$V_{\text{ос}} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{\text{ос}i} p_i}{p},$$

где n – число выделенных фракций частиц грунта размером менее 0,1 мм;

$V_{\text{ос}i}$ – гидравлическая крупность отдельных n -фракций частиц, определяется по таблице 2, см/с;

p_i – весовое содержание в грунте отдельных n -фракций частиц размером менее 0,1 мм, в долях единицы;

p – весовое суммарное содержание в грунте размером менее 0,1 мм, в долях единицы.

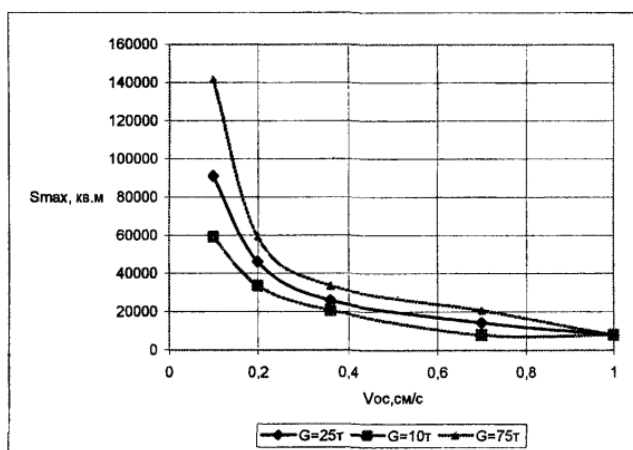
Таблица 2 – Гидравлическая крупность взвеси, $V_{\text{ос}i}$, см/с

Диаметр частиц, мм	Температура воды, град.				
	5	10	15	20	25
0,001	0,000059	0,000069	0,000079	0,000089	0,000100
0,005	0,00148	0,00172	0,00197	0,00223	0,00250
0,010	0,00593	0,00689	0,00784	0,00888	0,00997
0,015	0,0133	0,0154	0,0176	0,0199	0,0223
0,02	0,0235	0,0272	0,0311	0,0351	0,0394
0,03	0,0525	0,0606	0,0691	0,0780	0,0874
0,04	0,0923	0,1064	0,1212	0,1366	0,1527
0,05	0,1426	0,1640	0,1864	0,2097	0,2340
0,06	0,203	0,233	0,264	0,296	0,330
0,07	0,272	0,312	0,353	0,395	0,439
0,08	0,350	0,400	0,452	0,506	0,560
0,09	0,437	0,498	0,561	0,626	0,692
0,1	0,530	0,604	0,679	0,755	0,833

Следующим шагом является определение основных характеристик мутности.

Наибольшие площади пятен поверхностных зон мутности S_{max} , ограниченные изолиниями с концентрацией, превышающей фоновую на 0,75 мг/л (S_{max1}) и на 0,25 мг/л (S_{max2}), определяем с использованием графиков рисунка 1.

а)



б)

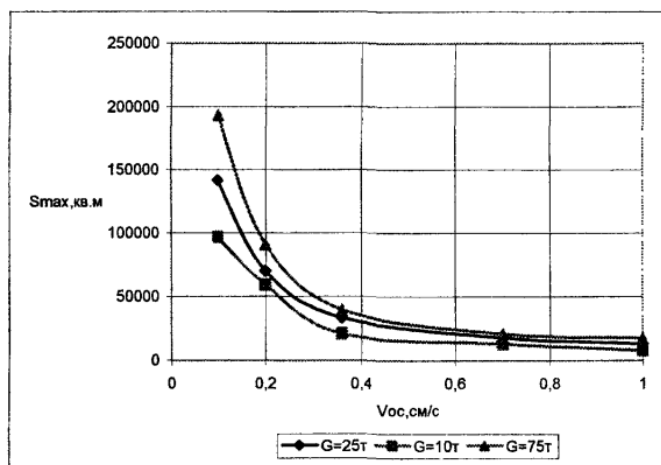
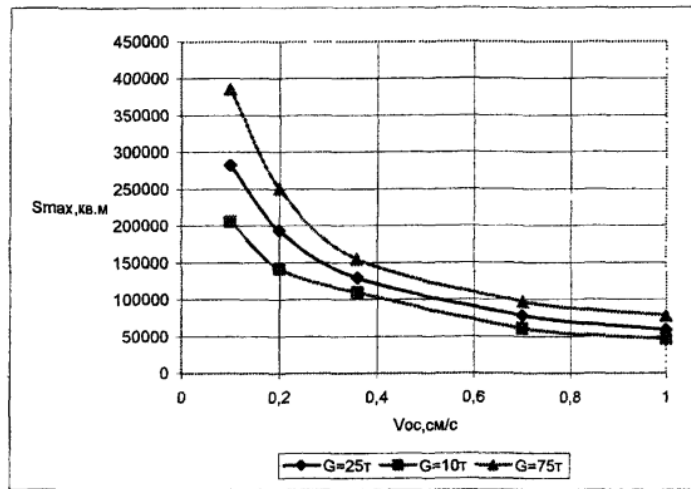


Рисунок 1 – Наибольшие площади S_{max} зон мутности на поверхности для ПДК=0,75мг/л (а) и для ПДК>0,25мг/л (б) при дампинге из трюма землесоса.

Аналогично по графикам рисунка 2 определяем наибольшую площадь пятна S_{max} зоны мутности на горизонте $d/2$, ограниченного изолинией с концентрацией, превышающей фоновую на 0,75 мг/л и на 0,25 мг/л.

а)



б)

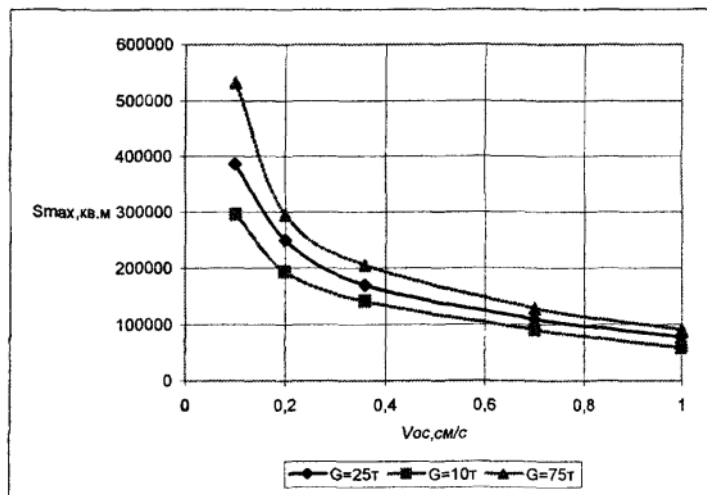


Рисунок 2 - Наибольшие площади S_{max} зон мутности на глубине $d/2$ для ПДК=0,75мг/л (а) и для ЛДК-0,25мг/л (б) при дампинге из трюма землесоса

Время $T_{S_{max}}$ образования на поверхности акваторий зон мутности наибольших размеров определяется с использованием графиков рисунка 3. Выходными данными также служат значения V_{oc} и G . Тогда из графиков, интерполируя, определяем время $T_{S_{max}}$, соответствующее образованию на поверхности пятна зоны мутности наибольших размеров, ограниченного

изолинией с концентрацией, превышающей фоновую на 0,75 мг/л и на 0,25 мг/л.

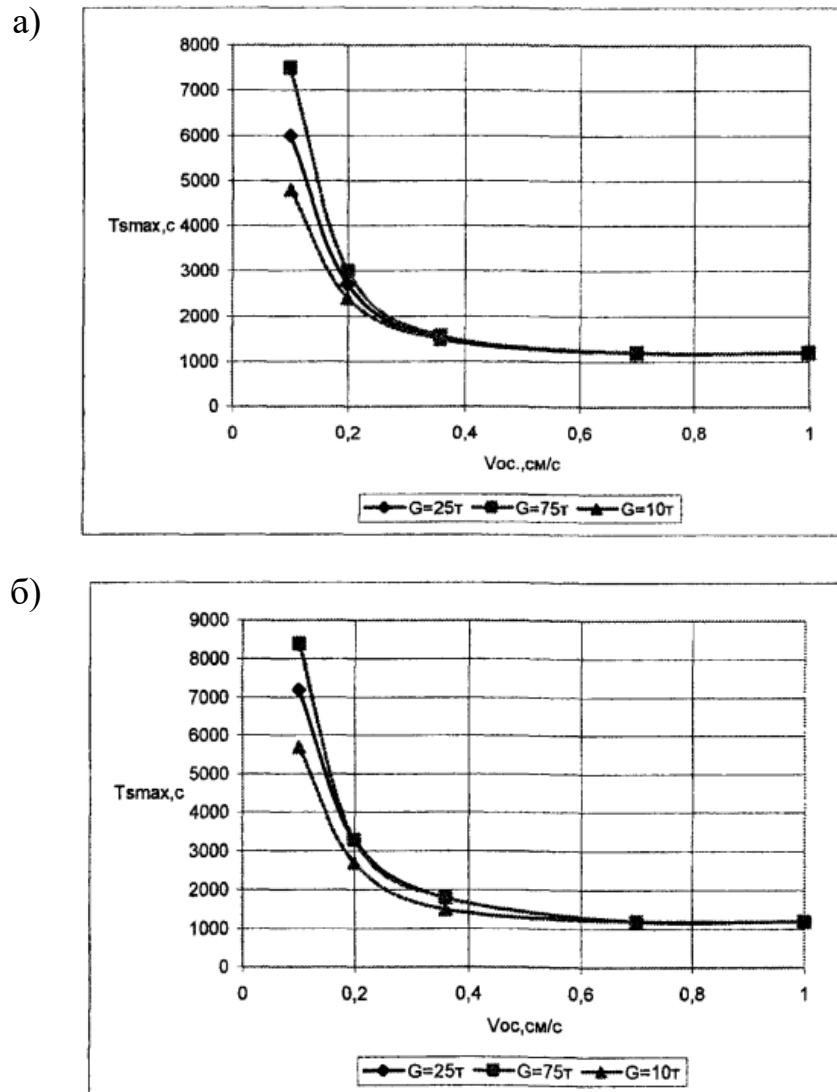
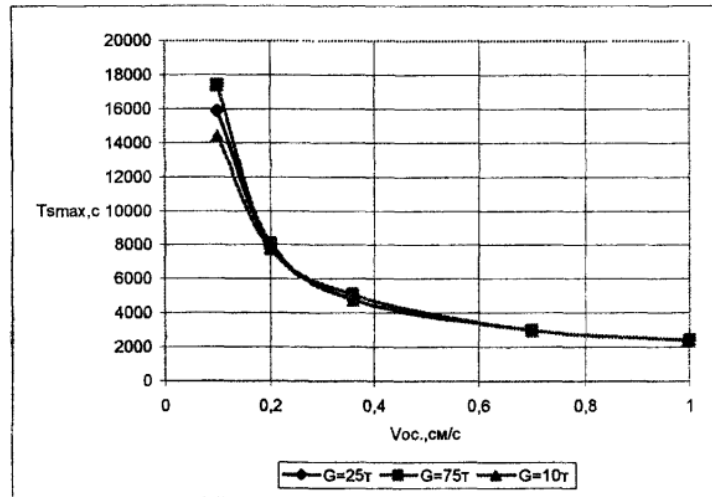


Рисунок 3 – Время T_{smax} образования на поверхности зон мутности наибольших размеров для ПДК=0,75мг/л (а) и ПДК-0,25мг/л (б) дампинге из трюма землесоса

Аналогично по графикам рисунка 4 определяем наибольшую площадь пятна T_{smax} зоны мутности на горизонте $d/2$, ограниченного изолинией с концентрацией, превышающей фоновую на 0,75 мг/л и на 0,25 мг/л.

а)



б)

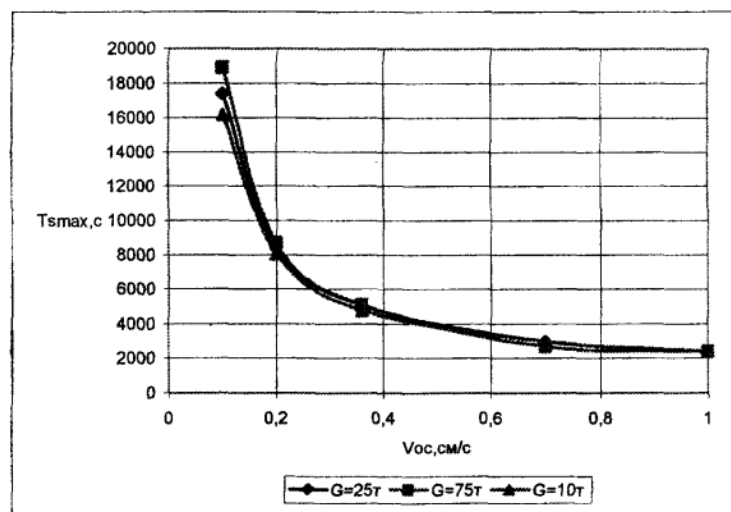
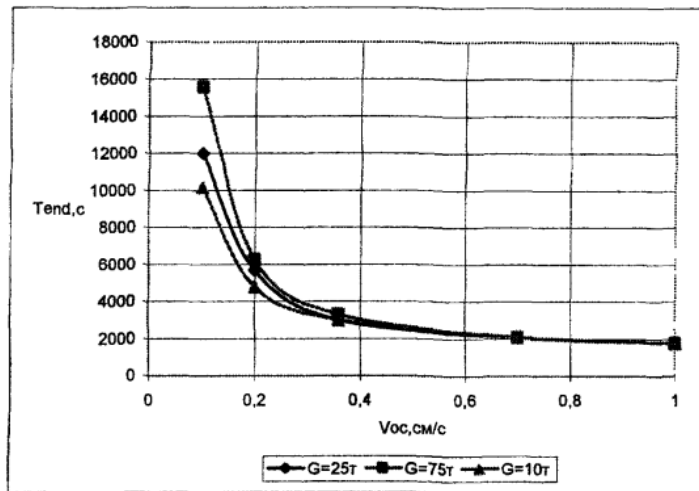


Рисунок 4 – Время T_{smax} образования на глубине $d/2$ пятна взвеси наибольших размеров для ПДК=0,75мг/л (а) и ПДК~0,25мг/л (б) при дампинге из трюма землесоса

По графикам на рисунке 5 определяем T_{end} существования, поверхностного пятна зоны мутности, ограниченного изолинией с концентрацией, превышающей фоновую на 0,75 мг/л и на 0,25 мг/л. Также определяем по графикам с рисунка 6 T_{end} на глубине $d/2$.

а)



б)

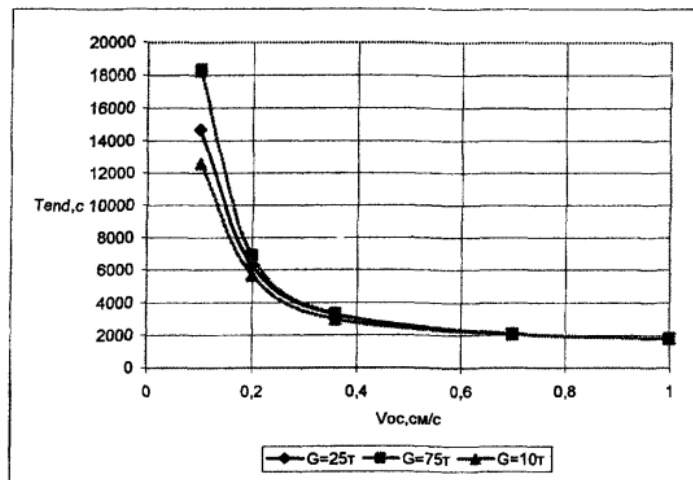
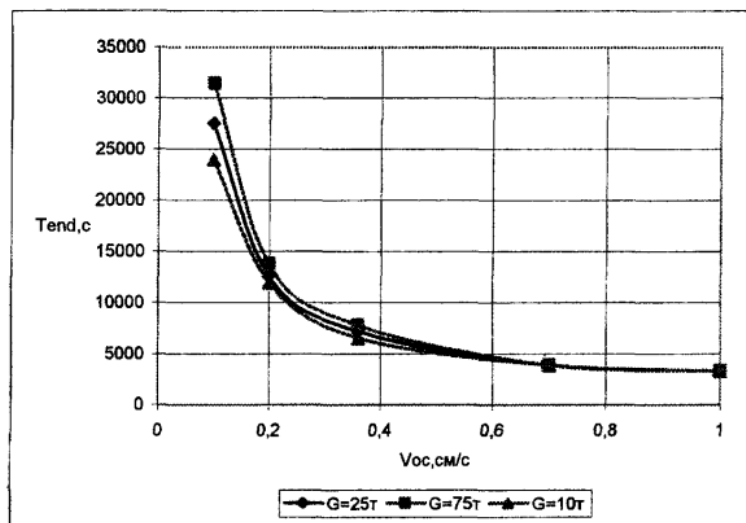


Рисунок 5 – Время T_{end} существования зон мутности на поверхности для ПДК~0,75мг/л (а) и для ПДК=0,25мг/л (б) при дампинге из трюма землесоса.

а)



б)

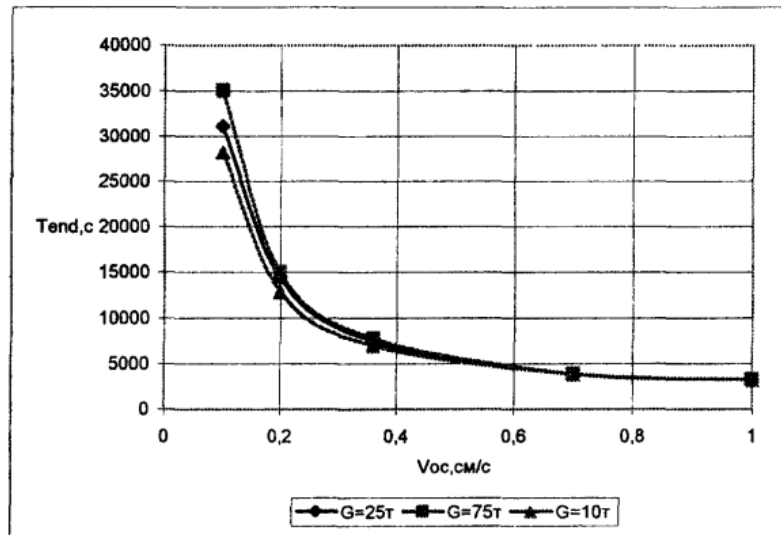


Рисунок 6 – Время T_{end} существования зон мутности на глубине $d/2$ для ПДК=0,75мг/л (а) и для ПДК=0,25мг/л (б) при дампинге из трюма землесоса.

3 Апробация алгоритмов расчета и моделирования изменения мутности в речном потоке

3.1 Метод ГГИ

В качестве примера приведен расчет распространения пятна мутности по длине малой реки Большой Вени ниже створа разработки поперченной траншеи. Река в северно-восточной части острова Сахалин. Исток находится на юго-восточных склонах горы Даахурия гор Даги. Впадает в Ныйский залив Охотского моря. Длина водотока, по данным государственного водного реестра – 46 км. Водосборная площадь составляет 198 км².

Исходными данными являются объем разработки грунта, производительность техники, параметры сечения русла реки и скорость течения, механический состав разрабатываемого грунта.

Расчет выполняется поэтапно, результаты расчета сведены в таблицы 3–6.

Таблица 3 – Расчет стартовой мутности и продолжительности воздействия для р. Большой Вени

Объем извлекаемого грунта, $\Sigma W_{гр}$	Производительность машины при разработке грунта, гразг		Объемная масса извлекаемого грунта, ρ	Коэффициент взмучивания грунта, z	Ширина русла, b	Средняя глубина в створе, h	Средняя скорость течения, V	Расход воды в русле, q	Средняя дополнительная мутность в створе работ, ΔP	Среднее время воздействия повышенной мутности на участках реки
	м3/смена	м3/с								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5242,6	413	0,0115	0,800	3,2	21	2,7	0,20	11,3	25,96	126,94

Таблица 4 – Расчет зон осаждения для р. Большой Вени

№ строки	Размер фракций частиц, $d-d$	Содержание фракции		Расчетный диаметр фракций, d	Температура воды, T	Темп. поправочны й коэф. на условия работ, K_t	Гидравлическая крупность фракций, w		Средняя глубина потока, h	Средняя скорость потока, V	Границы зоны полного осаждения фракций (от створа перехода), L	№ границы зоны
		p_i	Σp_i				при $T=15^\circ C$	в рабочих условиях				
	мм	%		мм	$^\circ C$		м/с		м	м/с	м	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	>10	0	0	0	15	1	0,49	0,49	2,7	0,2	1,1	1
2	10-5	0	0	0	15	1	0,35	0,35	2,7	0,2	1,5	2
3	5-2	0	0	0	15	1	0,21	0,21	2,7	0,2	2,6	3
4	2-1	0	0	0	15	1	0,12	0,12	2,7	0,2	4,5	4
5	1-0,5	0	0	0	15	1	0,06	0,06	2,7	0,2	9,0	5
6	0,5-0,2	10	10	0,2	15	1	0,02	0,02	2,7	0,2	27,0	6

7	0,2-0,1	15	25	0,1	15	1	0,01	0,01	2,7	0,2	54,0	7
8	0,1-0,05	15	40	0,05	15	1	0,00195	0,00195	2,7	0,2	276,9	8
9	0,05-0,01	25	65	0,01	15	1	0,000078	0,000078	2,7	0,2	6923,1	9
10	0,01-0,005	22	87	0,005	15	1	0,00002	0,00002	2,7	0,2	27000,0	10
11	0,005-0,001	13	100	0,001	15	1	0,00000078	0,00000078	2,7	0,2	692307,7	11

Таблица 5 – Расчет величины средней дополнительной мутности при разработке грунта

№ строки	Доп. мутность в створе работ, ΔР	Масса грунта поступающая в поток, G	Время разработки грунта, τ	Расход воды в русле, q	Фракция частиц, d-d	Содержание фракций		Масса грунта фракции, поступающая в поток, Gi	Масса грунта каждой фракции, осевшей в зоне											Масса осевшего грунта в створе работ до расчетного створа интегральная сумма, ΣGiL	Масса осевшего грунта в русле от створа работ до расчетного створа интегральная сумма, ΣGiL	Масса транзитного грунта в створе работ, GiL(транзит)	Полная дополнительная мутность по расчетным створам при разработке грунта, μ'	Положение расчетного створа (от створа работ), L	Среднее время воздействия повышенной мутности на участка реки
						ri	Σri		$G'_{ii} = Gi \left(\frac{Li}{L} \right) - \Sigma G'_{i(l-n)}$																
									1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11						
	г/м3	т	смен.	м3/с	мм	%		т	т											т	т	т	г/м3	м	ч
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
																									126,9
1	25,96	134,21	12,69	11,34	>10	0	0	0,0	0,0											1,0	1,0	133,2	41,4	1,10	
2			12,69	11,34	10-5	0	0	0,0	0,0	0,0										0,4	1,5	132,7	41,3	1,54	
3			12,69	11,34	5-2	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0									1,0	2,4	131,8	41,0	2,57	

4			12,69	11,3 4	2-1	0	0	0,0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0							1,8	4,3	129,9	40,4	4,50	
5			12,69	11,3 4	1-0,5	0	0	0,0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0						4,3	8,5	125,7	39,1	9,00	
6			12,69	11,3 4	0,5- 0,2	10	10	13,4	0, 5	0, 2	0, 5	1, 0	2, 2	8, 9					17,1	25,6	108,6	33,8	27,00	
7			12,69	11,3 4	0,2- 0,1	15	25	20,1	0, 4	0, 2	0, 4	0, 7	1, 7	6, 7	10 ,1				12,2	37,8	96,4	30,0	54,00	
8			12,69	11,3 4	0,1- 0,05	15	40	20,1	0, 1	0, 0	0, 1	0, 1	0, 3	1, 3	2, 0	16 ,2			17,5	55,3	78,9	24,5	276,92	
9			12,69	11,3 4	0,05- 0,01	25	65	33,6	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 1	0, 1	1, 1	32 ,2		39,6	95,0	39,2	12,2	6923,08	
10			12,69	11,3 4	0,01- 0,005	22	87	29,5	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 2	7, 3	22 ,0		22,5	117,4	16,8	5,21	27000,0 0	
11			12,69	11,3 4	0,005 - 0,001	13	100	17,4	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 0	0, 2	0, 5	16 ,8	16,8	134,2	0,0	0,0	692307, 69	
12								134,2	1, 0	0, 4	1, 0	1, 8	4, 3	17 ,1	12 ,2	17 ,5	39 ,6	22 ,5	16 ,8	134,2				

Таблица 6 - Расчет толщины наилка и плотности заиления

№ строки	Нижняя граница расчетной зоны (от створа работ), L	Основная фракция отложившегося грунта в расчетных зонах, d-d	Общая масса (по зонам) отложившегося грунта, $\sum G_i$	Плотность грунта в естественном состоянии, ρ_d	Коэф. разрыхления грунта, K	Плотность отложенной фракции i, ρ_i	Объем заиления, W_i	Площадь расчетного участка заиления, F	Положение расчетного створа (от створа работ), I	Средний слой наилка в зоне, δ	Удельная плотность заиления дна в зоне, ζ
	м	мм	т	т/м ³		т/м ³	м ³	м ²	м	мм	мг/см ²
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
									0,0		

1	1,10	>10	1,0	2,1	1,17	1,7949	0,5824	23,1	0,0	25,17	4516,885
2	1,54	10-5	0,4	2	1,16	1,7241	0,2425	32,4	0,0	7,49	1290,539
3	2,57	5-2	1,0	1,9	1,15	1,6522	0,5905	54,0	0,0	10,94	1806,754
4	4,50	2-1	1,8	1,8	1,14	1,5789	1,1586	94,5	0,0	12,26	1935,808
5	9,00	1-0,5	4,3	1,7	1,13	1,5044	2,8373	189,0	0,0	15,01	2258,443
6	27,00	0,5-0,2	17,1	1,5	1,12	1,3393	12,7485	567,0	13,5	22,48	3011,257
7	54,00	0,2-0,1	12,2	1,3	1,1	1,1818	10,3143	1134,0	40,5	9,10	1074,928
8	276,92	0,1-0,05	17,5	1,2	1,08	1,1111	15,7821	5815,4	165,5	2,71	301,540
9	6923,1	0,05-0,01	39,6	1	1,08	0,9259	42,8177	145384,6	3600,0	0,29	27,270
10	27000,0	0,01-0,005	22,5	0,9	1,08	0,8333	26,9537	567000,0	16961,5	0,05	3,961
11	692307,7	0,005-0,001	16,8	0,8	1,08	0,7407	22,6353	14538461,5	359653,8	0,00	0,115

Используя данные из таблицы 6, строим графики зависимости изменения величин толщины наилка и плотности заиления с расстоянием от створа.

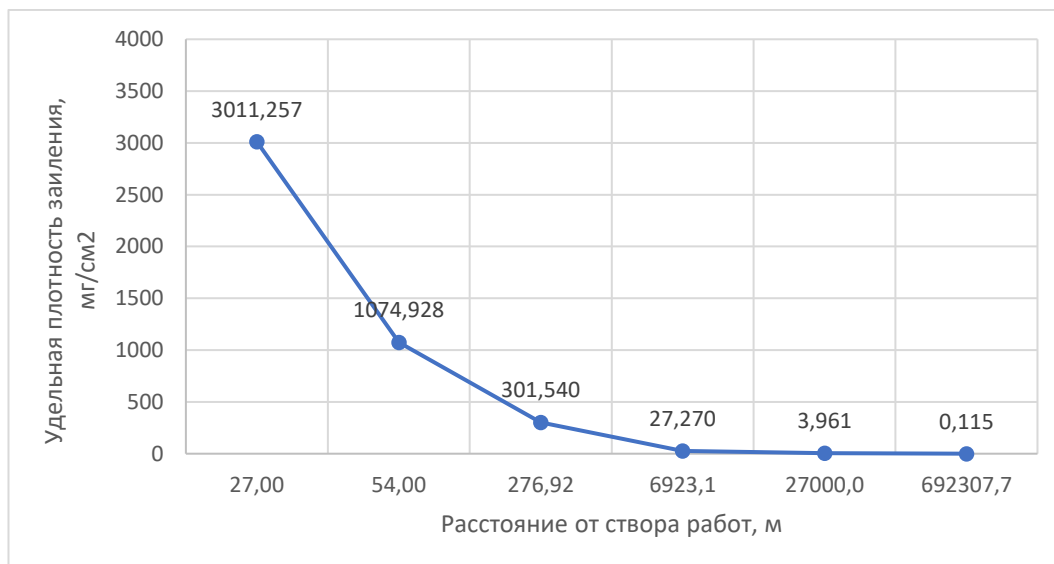


Рисунок 7 - График изменения удельной плотности заиления по длине р. Большой Вени вниз по течению от створа работ.



Рисунок 8 - График изменения толщины наилка по длине р. Большой Вени вниз по течению от створа работ.

3.2 Метод Караушева

Для апробации алгоритма была взята река Белая, которая находится на Южной Урале и в Предуралье. Река является левым и самым крупным притоком Камы. Ее длина 1430 км, а площадь водосборного бассейна – 142000 км² (рис. 9). Глубины до 2 метров. Водоем проходит через Башкортостан и часть Татарстана. Общее направление – северо-запад-запад. В верхней половине присутствует колоссальная петля на юго-запад. Питание – талые воды. Средний расход воды – 840 м³/сек. Притоков 42 (не считая ручьев). Значительные – Нугуш, Тайрук, Ашкадар, Уршак и Дёма. Самые крупные Нугуш и Ашкадар. Река вскрывается в середине апреля. Паводки довольно высокие (изменение уровня – до 11 метров). Скорость размыва берегов – выше среднего норматива (5-10 метров в год). В низовьях поток имеет мягкие борта долины. Он изобилует озерами-старницами и протоками. Те постепенно эволюционируют в эстуарий.

Исток реки Белая – точка на массиве Иремель, расположенная на болотах. К востоку от одноименной горы. Не очень далеко от устья реки Урал. Административно местность принадлежит Белорецкому району. Гидрологический объект представляет собой красиво огороженный ручеек незначительной ширины.

Устье реки Белая – ее соединение с Камой. Ширина его – 1 200 метров. Левый берег – густо заросшая тростником группа островов длиной от 350 до 3 300 метров. Правый – песчаное займище, покрытое густым пойменным лесом и высоким травостоем. Запутанный эстуарий территориально принадлежит Актанашскому району Татарстана, а вот правая («коренная») кромка – уже Каракулинскому району Удмуртской республики.

От истока река Белая петляет между болот, по каньону когда-то «проточенному» в возвышенной местности Южного Урала. Разбив его на отдельные взгорья-останцы. Сужения и расширения на этом этапе течения чередуются. Ширина вплоть до Белорецкого водохранилища не превышает 40

м, а ниже – 60 м. На высоких обрывах просматривается лесостепной ландшафт – луга и поля чередуются с очагами смешанного леса, где явно преобладают сосна, ольха и береза. А на нижней террасе – широколиственные естественные дендрарии. Широкая пойма и финал юго-западной петли появляются в степной зоне, в районе Бугульчана.

После этого фрагмента течение реки Белая строго северное. А ширина уже превышает 100 метров. Ведь поток вбирает в себя к тому времени около 50 ручьев. Перекаты и порожки продолжают. Самые заметные – до 207-го километра хода. Это западная половина национального парка Башкирия. Покинув пределы парка, течение реки Белая попадает в значительное расширение – Юмагузинское водохранилище. На следующем отрезке продолжает меандрировать, выходя из высокой теснины в окружение степных холмов. При этом коренная сторона остается выше противоположной. На речных краях можно встретить большие валуны. Позже вогнутые берега излучин начинают размываться. Ниже соединения с гигантом-Нугушем водоем становится вширь уже 200 метров.

Он полого врезан в равнину. Бассейн реки Белая, поглощая Тайрук, становится полноводнее. На водном урезе продолжает преобладать галька – до самой Уфы. После разговора пойдет уже о типично равнинном водотоке. У него то тут то там начинают появляться более обширные и причудливые озера-старицы. От Бирска приобретает строго западный ориентир. «Тело» реки разлетается на рукава. Все большими становятся острова. За Дюртюли объект начинает граничить по правую руку с дремучими широколиственными зарослями. Это – нижний бассейн. Река Белая становится неразличимой в своих колоссальных старицах. Вместе с ними (водной массой более чем километровой ширины) она выливается в Каму.

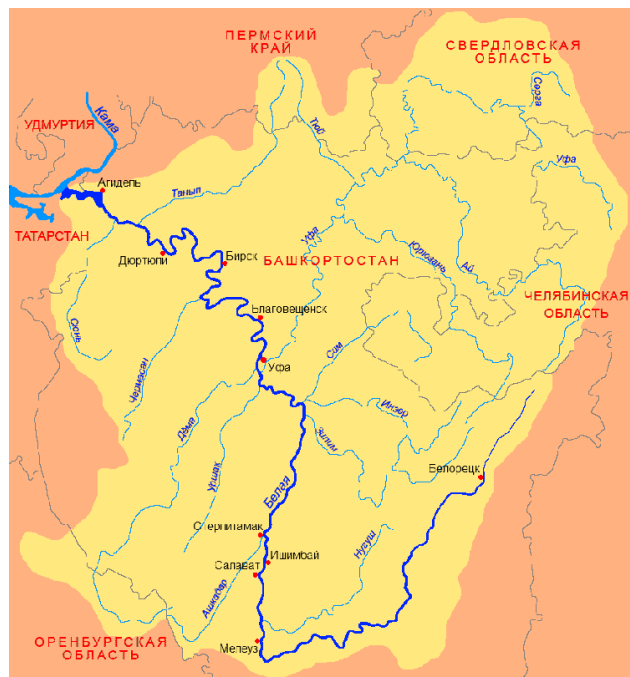


Рисунок 9- Водосборный бассейн реки Белая.

На реке были сделаны измерения, позволявшие рассчитать концентрацию осаждающих загрязняющих взвешенных веществ методом Караушева. В таблицах представлен фрагмент расчета.

а)

Ширина струи средняя на участке	B	25										
Средняя глубина потока в пределах участка	H	2,45										
Скорость потока на участке	Vcp	0,45										
Расход наносов	Qст	39,9										
Расход воды	Qд	27,56										
Естественная мутность потока	Qe	3,25										
Расчетная гидравлическая крупность	ui	0,00000079	0,00002013	0,00007852	0,00194293	0,00699	0,019879	0,061531	0,116316	0,187	0,3	0,424
	ui+1	0,11	0,12	0,14	0,16	0,18	0,22	0,26	0,30	0,36	0,42	
Процентное содержание фракции		0	0	0	0	0	42,61	10,89	9,86	13,77	12,23	10,64
	ai изм	0	0	0	0	0	42,61	53,5	63,36	77,13	89,36	100
	ai+1 изм	100	100	100	100	100	57,39	46,5	36,64	22,87	10,64	
Коэффициент Шези	C	16	56									
Расстояние	x	5										
	Gi	0,00000	0,00004	0,00017	0,00432	0,01553	0,04418	0,13674	0,25848	0,41556	0,66667	
	Gi+1	0,24839	0,27598	0,31046	0,35420	0,41064	0,48393	0,57073	0,67481	0,80444	0,94222	
Гидромеханический параметр	Гi	0,998	0,998	0,920	0,874	0,674	0,300	0,042	0,017	0,017	0,017	
	Гi+1	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	
	ki	0,000	0,010	0,001	0,014	0,014	0,009	0,003	0,002	0,003	0,005	0,000
Полное значение	Г	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,028	0,025	0,017	0,017	0,017	
Число Фруда	Fr	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	
Безразмерное хар-ское число турбулентного потока	N	28,60										
	b	0,45										
Мутность взмыва	Sвзм	0,108										
Транспортирующая способность потока	Стр	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,00	0,00	0,00	0,00	
Частное значение мутности	stri	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,131	0,145	0,117	0,142	0,165	
	scti	0	0	0	0	0	0	11,3	15,8	19,2	23,3	26,7
Концентрация веществ, отн. к i-ой фракции	snачi	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	16,3581	22,8724	27,7943	33,7295	38,6514
	sxi	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0159	12,2611	13,4223	11,8115	8,5746	5,6501

б)

Ширина струи средняя на участке	B	25										
Средняя глубина потока в пределах участка	H	2,45										
Скорость потока на участке	V _{ср}	0,45										
Расход наносов	Q _{ст}	39,9										
Расход воды	Q _д	27,56										
Естественная мутность потока	Q _е	3,25										
Расчетная гидравлическая крупность	u _i	0,00000079	0,00002013	0,00007852	0,00194293	0,00699	0,019879	0,061531	0,116316	0,187	0,3	0,424
	u _{i+1}	0,11	0,12	0,14	0,16	0,18	0,22	0,26	0,30	0,36	0,42	
Процентное содержание фракции		0	0	0	0	0	42,61	10,89	9,86	13,77	12,23	10,64
	a _i изм	0	0	0	0	0	42,61	53,5	63,36	77,13	89,36	100
	a _{i+1} изм	100	100	100	100	100	57,39	46,5	36,64	22,87	10,64	
Коэффициент Шези	C	16	56									
Расстояние	x	10										
	G _i	0,00000	0,00004	0,00017	0,00432	0,01553	0,04418	0,13674	0,25848	0,41556	0,66667	
	G _{i+1}	0,24839	0,27598	0,31046	0,35420	0,41064	0,48393	0,57073	0,67481	0,80444	0,94222	
Гидромеханический параметр	G _i	0,998	0,998	0,920	0,874	0,674	0,300	0,042	0,017	0,017	0,017	
	G _{i+1}	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	
	k _i	0,000	0,010	0,001	0,014	0,014	0,009	0,003	0,002	0,003	0,005	0,000
Полное значение	Г	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,028	0,025	0,017	0,017	0,017	
Число Фруда	Fr	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	
Безразмерное хар-ское число турбулентного потока	N	28,60										
	b	0,45										
Мутность взмыва	S _{взм}	0,108										
Транспортирующая способность потока	Стр	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	
Частное значение мутности	стр _i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,131	0,145	0,117	0,142	0,165	
	сет _i	0	0	0	0	0	0	11,3	15,8	19,2	23,3	26,7
Концентрация веществ, отн. к i-ой фракции	снач _i	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	16,3581	22,8724	27,7943	33,7295	38,6514

	sxi	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0298	9,1993	7,8967	5,0667	2,2719	0,8259
--	-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

в)

Плотность грунта	p	0,5										
Расчетный интервал времени, с	dt	1										
слой отложений, м	dh	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,138	0,248	0,303	0,283	0,217

Таблица 7 – Фрагмент расчета концентрации взвешенных веществ по длине потока x относительно частной фракции: а) $x = 5$ м; б) $x = 10$ м; в) слой отложений через 1 сутки

3.3 Расчет распространения зон мутности при дампинге. Пространственная модель

Одним из методов расчета распространения зон мутности при дампинге является пространственная модель. Ее основным принципом является определение наибольших площадей пятен и время достижения зоны мутности. Используя графики, мы можем определить эти значения, но расписав метод я обнаружила что он предназначен только для вычислений в акватории, где нет течения и переносов. Поэтому метод не подходит для вычисления на реках, его мы опровергаем.

4 Сравнение результатов

В ходе выполнения исследования составлен методологический алгоритм расчета осаждения загрязняющих взвешенных веществ в речных потоках по методу, разработанному А.В. Караушевым и алгоритм расчета распространения мутности в малых водотоках методом ГГИ.

Метод Караушева, изложенный в первоисточнике, достаточно сложен для практического применения, но предлагаемый алгоритм является технологической основой, которая ориентирована на четкую последовательность действий, приводящую к результату.

Метод ГГИ для практического применения гораздо проще, ведь в первоисточнике сразу расписано все поэтапно.

Для того чтобы сравнить результаты, взяты данные по реке Белая и подставлены в алгоритм расчета методом Караушева. Полученные результаты приведены в таблицах (табл. 8).

По этим таблицам видно, что концентрация веществ по данным р. Белая получается очень большая, хотя, рассчитывая методом ГГИ, максимальный слой наилка составил 25,17 мм.

Исходя из расчетов, можно сделать вывод, что метод ГГИ проще и доступнее других методов. Сразу нам были даны шаги расчетов, вместе с примерами, что упростило расчеты.

a)

Ширина струи средняя на участке	B	21										
Средняя глубина потока в пределах участка	H	2,7										
Скорость потока на участке	V _{ср}	0,2										
Расход наносов	Q _{ст}	39,9										
Расход воды	Q _д	11,34										
Естественная мутность потока	Q _е	11,3										
Расчетная гидравлическая крупность	u _i	0,00000078	0,00002	0,000078	0,00195	0,01	0,02	0,06	0,12	0,21	0,35	0,49
	u _{i+1}	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,1800	0,15774	0,140225	0,490000	0,00000078	
Процентное содержание фракции		0	0	0	0	0	42,61	10,89	9,86	13,77	12,23	10,64
	a _i изм	0	0	0	0	0	42,61	53,5	63,36	77,13	89,36	100
	a _{i+1} изм	100	100	100	100	100	57,39	46,5	36,64	22,87	10,64	
Коэффициент Шези	C	16	56									
Расстояние	x	5										
	G _i	2,45000	1,75000	1,05000	0,60000	0,30000	0,10000	0,05000	0,00975	0,00039	0,00010	
	G _{i+1}	1,04167	1,04167	1,04167	1,04167	1,04167	0,90000	0,78872	0,70113	2,45000	0,00000	
Гидромеханический параметр	Г _i	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,001308	0,019	0,23	0,6314	0,6314	
	Г _{i+1}	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	
	k _i	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,036	0,360	0,600	0,000
Полное значение	Г	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002439822	0,003916459	0,008358584	
Число Фруда	Fr	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	
Безразмерное хар-ское число турбулентного потока	N	28,60										
	b	0,45										
Мутность взмыва	S _{взм}	0,019										
Транспортирующая способность потока	S _{тр}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Частное значение мутности	s _{тp<i>i</i>}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,003	0,006	0,015	
	s _{с<i>t</i>i}	0	0	0	0	0	0	11,3	15,8	19,2	23,3	26,7
Концентрация веществ, отн. к i-ой фракции	s _{нач<i>i</i>}	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	39,7593	55,5926	67,5556	81,9815	93,9444
	s _{х<i>i</i>}	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	35,8554	39,1784	2,4201	0,3327	93,9438

б)

Ширина струи средняя на участке	B	21										
Средняя глубина потока в пределах участка	H	2,7										
Скорость потока на участке	Vcp	0,2										
Расход наносов	Qct	39,9										
Расход воды	Qд	11,34										
Естественная мутность потока	Qe	11,3										
Расчетная гидравлическая крупность	ui	0,00000078	0,00002	0,000078	0,00195	0,01	0,02	0,06	0,12	0,21	0,35	0,49
	ui+1	0,13	0,14	0,16	0,18	0,21	0,2460	0,29250	0,350000	0,420000	0,49000000	
Процентное содержание фракции		0	0	0	0	0	42,61	10,89	9,86	13,77	12,23	10,64
	ai изм	0	0	0	0	0	42,61	53,5	63,36	77,13	89,36	100
	ai+1 изм	100	100	100	100	100	57,39	46,5	36,64	22,87	10,64	
Коэффициент Шези	C	16	56									
Расстояние	x	10										
	Gi	0,00000	0,00010	0,00039	0,00975	0,05000	0,10000	0,30000	0,60000	1,05000	1,75000	
	Gi+1	0,63102	0,70113	0,78872	0,90000	1,04167	1,23000	1,46250	1,75000	2,10000	2,45000	
Гидромеханический параметр	Гi	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,001308	0,019	0,23	0,6314	0,6314	
	Гi+1	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	
	ki	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,036	0,360	0,600	0,000
Полное значение	Г	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002439822	0,003916459	0,008358584	
Число Фруда	Fr	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	
Безразмерное хар-ское число турбулентного потока	N	28,60										
	b	0,45										
Мутность взмыва	Sвзм	0,019										
Транспортирующая способность потока	Str	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Частное значение мутности	stri	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,003	0,006	0,015	
	seti	0	0	0	0	0	0	11,3	15,8	19,2	23,3	26,7
Концентрация веществ, отн. к i-ой фракции	сначи	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	39,7593	55,5926	67,5556	81,9815	93,9444

	sxi	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	12,8111	3,1048	0,0076	0,0145	0,0108
--	-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	--------	--------	--------	--------

в)

Плотность грунта	p	0,5										
Расчетный интервал времени, с	dt	1										
слой отложений, м	dh	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,507	0,794	0,053	0,007	2,068

Таблица 8 - Фрагмент расчета концентрации взвешенных веществ по длине потока x относительно частной фракции: а) $x = 5$ м; б) $x = 10$ м; в) слой отложений через 1 сутки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения исследования были получены следующие результаты:

- а) Исследованы методы расчета распределения мутности
- б) Построены алгоритмы расчетов
- в) Посчитаны данные, исходя из алгоритмов методов

Существует большое количество расчета мутности, однако выбранные в исследовании методы показали, что не все подходят для расчета в речной сети и не все методы легкие для понимания.

Проделанная работа позволяет сделать вывод о том, что из всех перечисленных методов, наиболее элементарнее является метод ГГИ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Временные указания по оценке повышения мутности при землечерпательных работах, проводимых для обеспечения транзитного судоходства на реках и учету ее влияния на качество воды и экологию гидробионтов. М.: МРФ РСФСР, 1986. – 59 с.

2 Караушев А. В. Методические основы оценки антропогенного влияния на качество поверхностных вод. – Ленинград.: Гидрометеиздат, 1981.

3 Караушев А. В. Теория и методы расчетов наносов и качества вод в реках и водоемах. Избранные труды. – Санкт-Петербург, 2013.

4 Добыча нерудных строительных материалов в водных зонах. Учет руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров. – СПб.: Издательство «Глобус», 2012. – 140 с.

5 Методические указания по расчету распространения зон мутности при дноуглублении и дампинге на акваториях ВМФ. ВРДС 12-05-03.: Москва, 2003.

6 Река Белая

<https://gotonature.ru/1872-reka-belaja.html>

