Методические аспекты проведения ОВОС объектов гидроэнергетики

Корнеев В.Н. , Гертман Л.Н.
РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»

В связи с необходимостью обеспечения энергетической безопасности Республики Беларусь начаты работы по проектированию гидроэлектростанций (ГЭС) на водных объектах. Республика Беларусь в настоящее время имеет дефицит по обеспечению потребителей электроэнергией, и как следствие возрастает зависимость от иностранных энергоносителей.

Использование гидроэнергетического потенциала (в наибольшей степени за счет рек Западная Двина, Неман, Днепр) является первостепенной задачей.

В рамках обоснования размещения и проектных решений по планируемым ГЭС необходимо проведение оценки их воздействия на окружающую среду (ОВОС), при условии что строительства здесь
«плотины высотой 2 метра и более, водохранилища с площадью зеркала 2 квадратных километра и более при нормальном подпорном уровне»
(Закон 9 ноября 2009 г. № 54-З О государственной экологической экспертизе)

Для методического обеспечения разработки оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) объектов гидроэнергетики разработан проект ТКП «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила определения прогнозных количественных и качественных характеристик водного режима при создании плотин и водохранилищ на реках»

Основными задачами при проведении прогноза количественных и качественных характеристик водного режима при создании плотин и водохранилищ на реках, являются:

- **оценка и прогноз изменения гидрологического и гидрогеологического режимов;**
- **оценка и прогноз скоростного режима течений и русловых процессов, включая движение наносов, понижения уровней в нижнем бьефе;**
- **оценка и прогноз переработки берегов водохранилища;**
- **оценка и прогноз возможного заиления водохранилища;**
- **оценка ледовых явлений и прогноз их воздействия на проектируемые сооружения;**
- **оценка и прогноз качества воды при создании водохранилища;**
- **оценка вероятных чрезвычайных (аварийных) ситуаций, в том числе прогноз движения волны прорыва плотины.**

Апробация системы математических моделей при проведении ОВОС размещения Витебской ГЭС на р. Западная Двина показало ее практическую применимость при проведении ОВОС размещения плотин на на реках Беларуси.

Научная и практическая новизна заключается в том, что из всего многообразия математических моделей, описывающих перечисленные процессы, научно обоснованы наиболее приемлемые математические модели для проведения ОВОС при создании плотин на реках Беларуси при размещении на них ГЭС, разработаны эффективные алгоритмы расчетов и визуализации их результатов с использованием современных информационных технологий.

На примере ОВОС Витебской ГЭС на р. Западная Двина и ОВОС Немновской ГЭС на р. Неман впервые апробирован весь комплекс расчетов, исходя из требований проведения ОВОС в Республике Беларусь, а в перспективе – согласно требованиям Стратегической экологической оценки (СЭО).

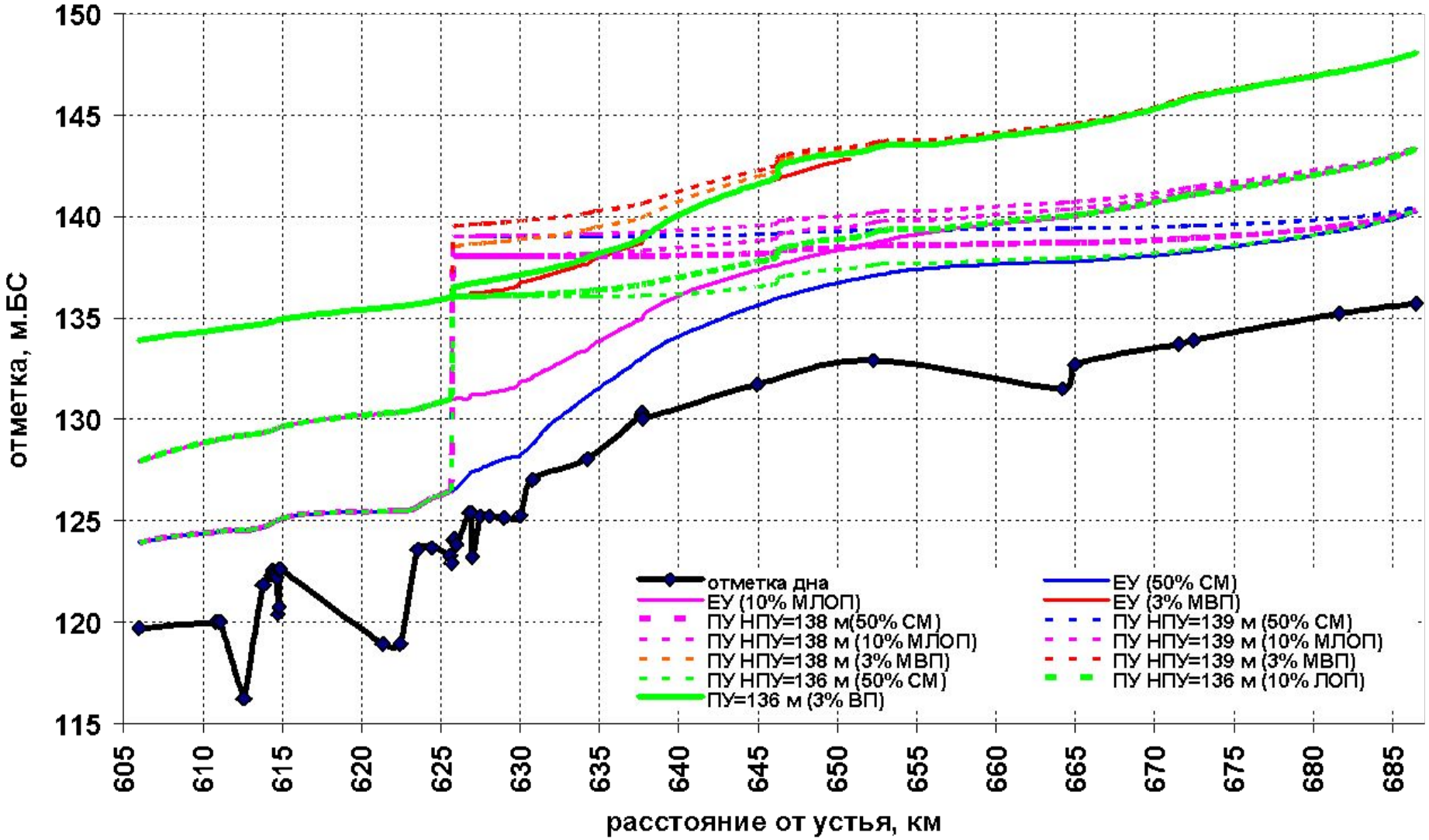
Исходными данными для оценки и прогноза являются:

- значения расходов и уровней воды, заданных вероятностей превышения;
- отметки нормального подпорного уровня и форсированного подпорного уровня водохранилища;
- картографическая информация (карты местности с масштабом 1:25000 и крупнее);
- морфометрическая информация по руслу и пойме реки (координаты и отметки точек поперечных сечений по руслу и пойме реки и значения локальных коэффициентов шероховатости по смоченному периметру поперечных сечений);
- результаты расчетов водохозяйственных балансов для створа гидроузла гидроэлектростанций с учетом различных режимов ее функционирования;
- данные наблюдений за стоком взвешенных и влекомых наносов;
- данные гидрохимических наблюдений за качеством воды в реке на участке размещения плотины;
- данные наблюдений за ледовыми явлениями;
- данные наблюдений скоростей и направлений ветров и продолжительности действия ветра в районе размещения водохранилища;
- геологическая и гидрогеологическая информация по району строительства плотины.

Оценка изменений гидрологического режима водного объекта при сооружении плотин на реках

Для описания процесса движения речного потока используются, в основном, полные уравнения Сен – Венана. Для учета особенностей конкретных водных объектов уравнения движения дополняются параметрами, позволяющими учесть эти особенности.

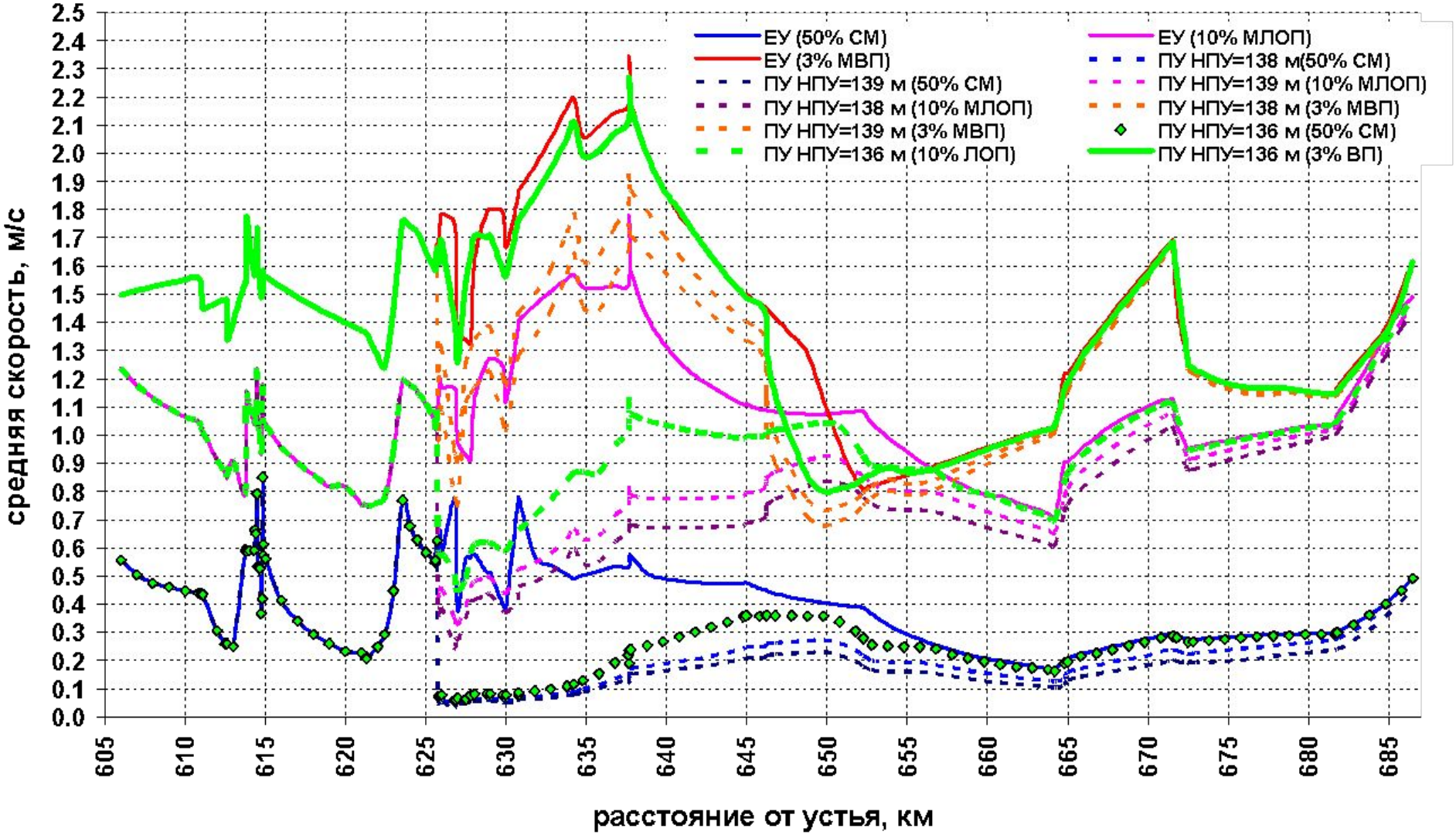
Для моделирования стационарного водного режима водотока в естественном состоянии и в проектном (определение кривой подпора для верхнего бьефа) можно использовать уравнение неравномерного движения воды



Расчетные уровни воды в реке Западная Двина на участке размещения Витебской ГЭС (естественные и проектные условия)

Определение характеристик скоростного режима течений

Наиболее эффективными методами для определения характеристик скоростного режима течений при различных гидрологических режимах являются методы, основанные на использовании полуэмпирических зависимостей для расчетов в живом сечении водотока местных продольных осредненных скоростей течения воды. Полуэмпирические зависимости для расчетов продольных скоростей приведены в работах Коваленко Э.П., Рогуновича В.П., Васильченко Г.В., Казмирука В.Д., Николаева Б.М., Анельгольма Н.К., Прандтля Л.



Расчетные средние скорости течения воды в реке Западная Двина на участке размещения плотины Витебской ГЭС (естественные и проектные условия)

Оценка переработки берегов водохранилищ ГЭС

Рассмотрены методы Е.Г. Качугина, Н.Е. Кондратьева, Б.А. Пышкина, В.К. Гречищева, Г.С. Золотарева, Левкевича В.Е. В базовую модель целесообразно включение расчетных зависимостей Н.Е. Кондратьева

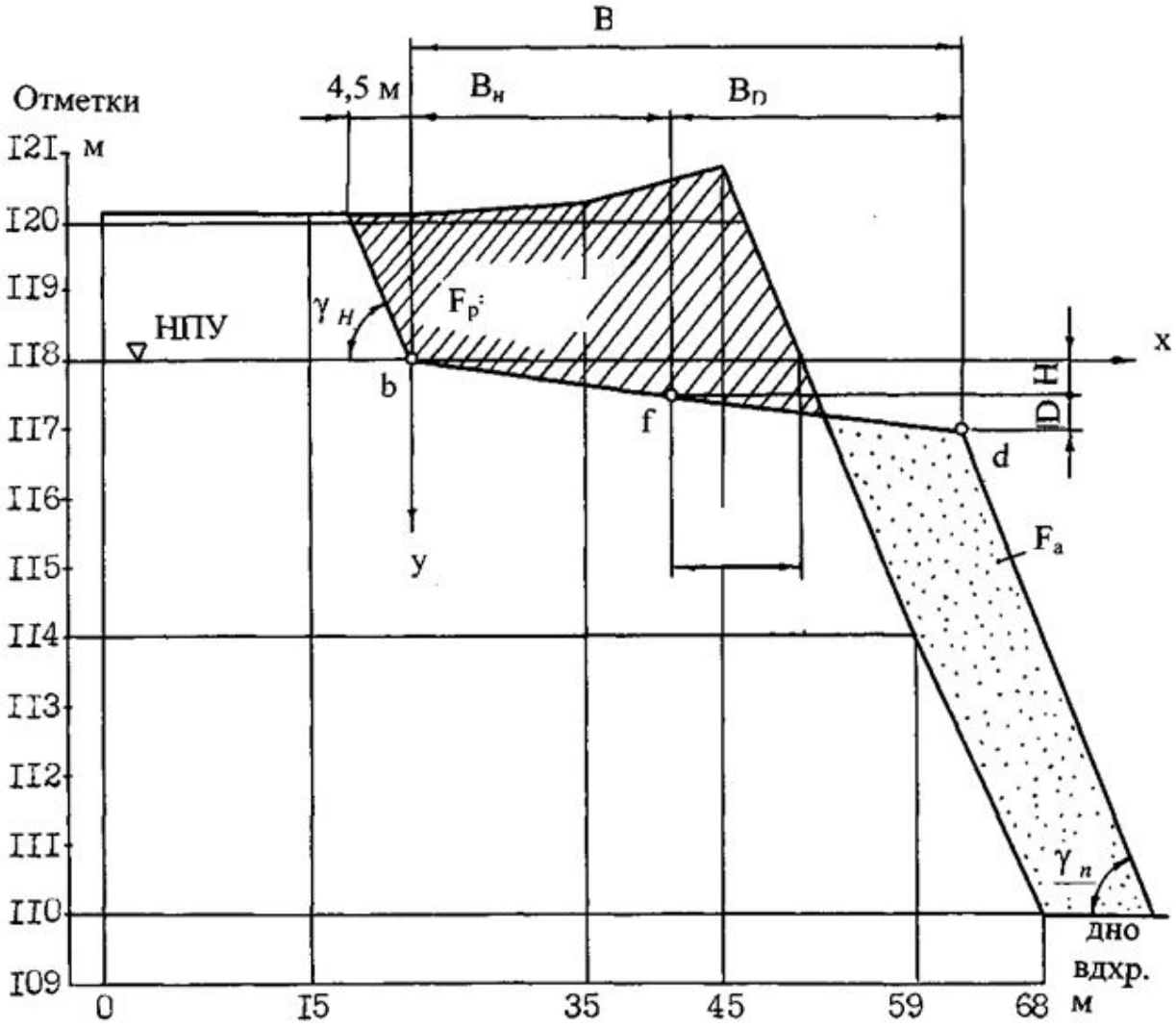


Таблица 2 - Алгоритм расчета прогноза переформирования берегов водохранилища

№ п/п	Определяемый параметр	Расчетная формула	Примечания
1	Средняя длина волн при ветровом разгоне	$\bar{\lambda} = \frac{gT^2}{2\pi}$ (5.1)	средний период волн (T) определяется с помощью графиков [24] по значениям параметров $\frac{gt}{V_w}$ и $\frac{gL}{V_w^2}$, g - ускорение свободного падения, м/с²; t – продолжительность действия ветра, с; V – расчетная скорость ветра, м/с, принимается максимальная на основании данных наблюдений. L – разгон волн, м, определяется по для каждого расчетного створа по топографическим материалам.
2	Проверка условий глубоководности расчетного створа	$d > 0{,}5\bar{\lambda}$ (5.2)	d - глубина воды в водохранилище при расчетном уровне, если условие не выполняется – происходит разрушение волн, средняя высота волны $\bar{h}=0$, абразивного формирования не происходит
3	Определение расчетной высоты волны	$h_{1\%} = k_{1\%}\bar{h}$ (5.3)	$k_{1\%}$ - коэффициент пересчета, принимаемый по графику [24] в зависимости от величины $\frac{gL}{V_w^2}$
4	Определение ширины профиля береговой отмели	$B = B_n + B_D$ (5.4)	B_n – ширина криволинейного участка профиля отмели по горизонтали, м; B_D – ширина прямолинейного участка профиля отмели, м.
5	Определение профиля береговой отмели	$x = \frac{y^2}{K} + \frac{y}{m_n}$, (5.5) $B_n = \frac{H^2}{K} + \frac{H}{m_n}$ (5.6) $B_D = D\left(\frac{2H}{K} + \frac{1}{m_D}\right)$ (5.7)	D – величина сработки уровня водохранилища, м; K - коэффициент, рассчитываемый по формуле: $K = 20\frac{m_n m_D}{m_n - m_D}$ Величины m_n и m_D принимаются в зависимости от крупности частиц грунтов береговых откосов по таблице 3 [24]. H – глубина размывающего действия волны на краю отмели определяется по формуле [25]: $H = 0{,}64h_{1\%}\,arcsh(8{,}1h_{1\%})$

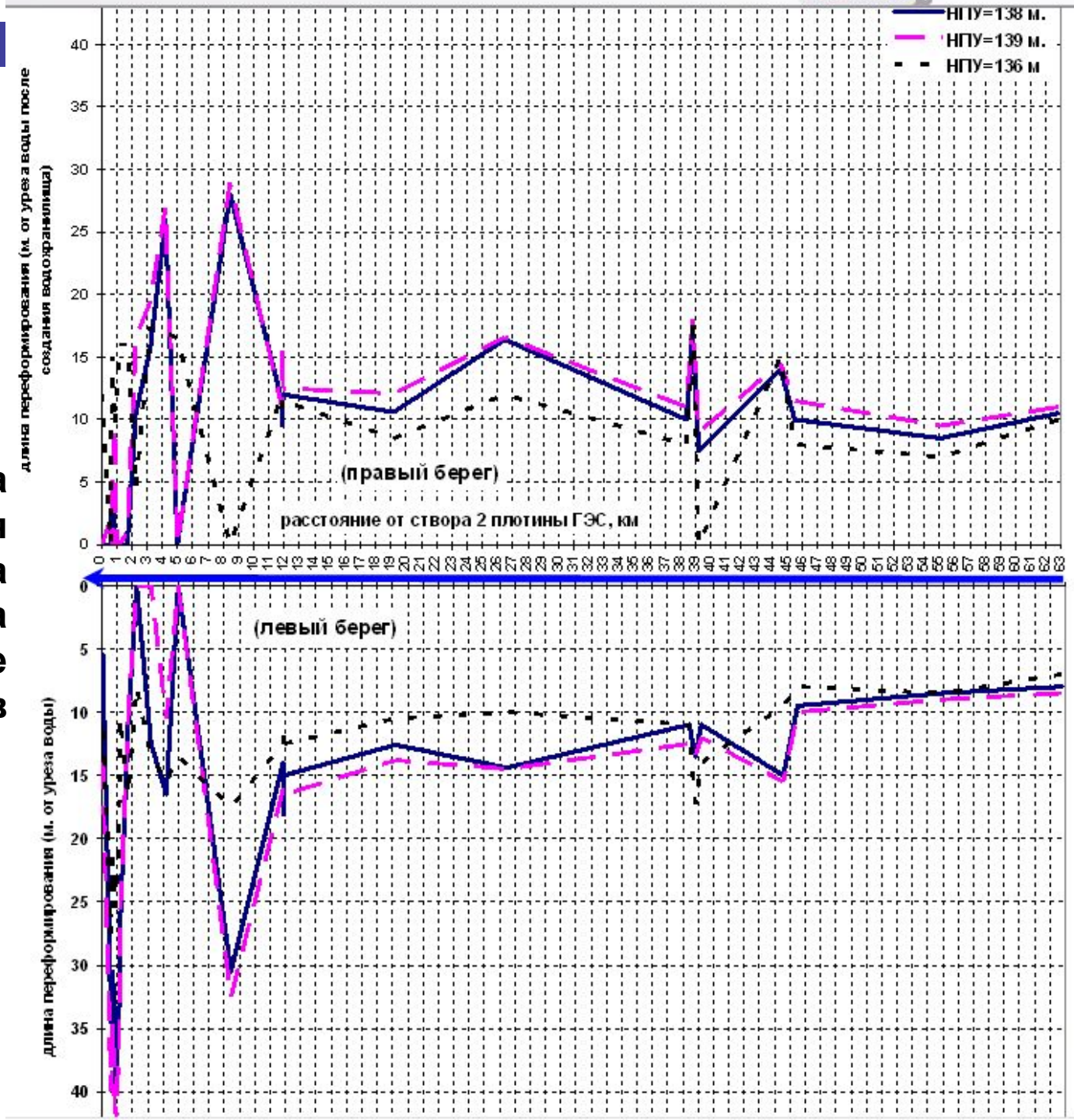
Продолжение таблицы 2

№ п/п	Определяемый параметр	Расчетная формула	Примечания
6	Построение профиля береговой деформации в надводной части берега	Определяется согласно углу естественного откоса грунта берега в сухом состоянии $tg\gamma_c$	Принимается по данным геологических изысканий
7	Построение профиля береговой деформации в подводной части берега	Определяется согласно углу естественного откоса грунта под водой $tg\gamma_H$	Принимается по данным гидрогеологических изысканий
8	Построение итогового профиля берега водохранилища с учетом прогнозируемых деформаций (переформирование)	Определяется путем наложения профиля, определенного по пп.5,6,7 на первоначальный профиль берега таким образом, чтобы отношение объема аккумуляции к объему разрушения было равно принятому коэффициенту аккумуляции.	Для водохранилищ Беларуси коэффициент аккумуляции принимается равным 0,74 (глинистые грунты) - 0,8 (песчаные и супесчаные грунты).

Таблица 3 – Характеристики профиля устойчивой береговой отмели

Порода	d_0, мм	m_n	m_D	n/d_0
Ил	0,001 – 0,01	-	-	-
Пыль	0,01 – 0,1	0,005	0,001	100
Песок мелкий	0,1 – 0,25	0,03	0,005	70
Песок средний	0,25 – 0,50	0,07	0,01	70
Песок крупный	0,50 – 1,0	0,14	0,02	70
Гравий мелкий	1,0 – 2,0	0,19	0,03	45
Гравий средний	2,0 – 5,0	0,21	0,05	45
Гравий крупный	5,0 – 10,0	0,25	0,08	25
Галечник мелкий	10 – 20	0,30	0,10	11
Галечник средний	20 – 50	0,36	0,15	6
Галечник крупный	50 – 100	0,40	0,20	4

Оценка воздействия водохранилища Витебской ГЭС на переформирование берегов



Изменение гидрогеологического режима территорий, включая изменение уровней грунтовых вод при размещении плотин на реках рассчитывается по системе уравнений, учитывающих различные гидрогеологические условия:

- **горизонтальное положение водоупора;**
- **наклонное положение водоупора;**
- **сложные гидрогеологические условия.**

Таблица 1 – Обобщенная сводка формул математической модели для расчета подпора грунтовых и напорных подземных вод в зоне влияния водохранилища (при установившейся фильтрации)

п/п	Гидрогеологические условия участка	Расчетная формула, обозначения	Номер формулы и рисунка
1.	Горизонтальный водоупор (участок между долинами двух рек). Грунтовые воды	$y=\sqrt{h^2+(H_2^2-H_1^2)\frac{L-x}{L}+(h_2^2-h_1^2)\frac{x}{L}}$ где y, h – отсчитанные от поверхности водоупора ординаты кривой депрессии соответственно для подпорного и неподпорного грунтового потока в точке с координатой x; H_1, H_2 – высоты над поверхностью водоупора уровня воды в долине А до и после заполнения водохранилища; h_1, h_2 – высоты над поверхностью водоупора уровня воды в долине Б до и после заполнения водохранилища в долине А; x – расстояние расчетного сечения от уреза водохранилища в долине А; L – расстояние между урезом водохранилища А и урезом в долине Б.	(4.1) Рисунок 1
2.	Горизонтальный водоупор (долина реки Б является заливом водохранилища на реке А). Грунтовые воды	$y=\sqrt{h^2+H_2^2-H_1^2+(H_1^2-h_1^2)\frac{x}{L}}$ Обозначения те же, что и в (9.1)	(4.2) Рисунок 1
3.	Горизонтальный водоупор (влияние подпора, создаваемого водохранилищем в долине А, не отражается на уровнях в долине Б из-за ее удаленности). Грунтовые воды	$y=\sqrt{h^2+(H_2^2-H_1^2)\frac{L-x}{L}}$ Обозначения те же, что и в (9.1)	(4.3) Рисунок 1
4.	Горизонтальный водоупор. Зона, в которой определяется подпор, очень мала по сравнению с областью питания грунтового потока (x<0,1L). Грунтовые воды	$y=\sqrt{h^2+H_2^2-H_1^2}$ Обозначения те же, что и в (9.1)	(4.4) Рисунок 1
5.	Горизонтальный водоупор (влияние подпора, создаваемого водохранилищем в долине А, не отражается на уровнях в долине Б из-за ее удаленности). Напорные воды	$y=h+(H_2-H_1)\frac{L-x}{L}$ Обозначения те же, что и в (9.1)	(4.5) Рисунок 1
6.	Горизонтальный водоупор, верховая граница потока подземных вод удалена от водохранилища на значительное расстояние. Напорные воды	$y=h+H_2-H_1$ Обозначения те же, что и в (9.1)	(4.6) Рисунок 1

Продолжение таблицы 1

п/п	Гидрогеологические условия участка	Расчетная формула	Номер формулы и рисунка
7.	Горизонтальный водоупор, радиальный поток. Грунтовые воды (без учета инфильтрации)	$y=\sqrt{(h^2-H_1^2)\left(\frac{h_1^2-H_2^2}{h_1^2-H_1^2}\right)+H_2^2}$ Обозначения те же, что и в (9.1)	(4.7) Рисунок 1
8.	Горизонтальный водоупор, радиальный поток. Напорные воды	$y=(h-H_1)\frac{h_1-H_2}{h_1-H_1}+H_2$ Обозначения те же, что и в (9.1)	(4.8) Рисунок 1
9.	Наклонный водоупор. Грунтовые воды	$\varphi\left(\frac{y}{h_0}\right)=\varphi\left(\frac{h}{h_0}\right)+\varphi\left(\frac{H_2}{h_0}\right)-\varphi\left(\frac{H_1}{h_0}\right)$ где h_0 – приведенная мощность грунтового потока; φ - функция, зависящая от отношения глубин потока к его приведенной мощности, определяемая по таблицам; обозначения остальных показателей те же, что и в (9.1)	(4.9) Рисунок 2
10.	Наклонный водоупор (уклон водоупора <0,01). Грунтовые воды	$y=\sqrt{\frac{Z^2}{4}+H_2^2+h^2-H_1^2+Z(h+H_1-H_2)}-\frac{Z}{2}$ (при прямом уклоне Z принимается со знаком «+», а при отрицательном – со знаком «-») где Z – разность отметок водоупорного ложа между урезом водохранилища и расчетным сечением, причем для обратного уклона водоупора (имеющего наклон поверхности, обратный падению уровня грунтовых вод) величина Z принимается отрицательной; обозначения остальных показателей те же, что и в (9.1) Формула применима в том случае, если соблюдается условие $H_1>\frac{Z}{2}$.	(4.10) Рисунки 2, 3
11.	Горизонтальный водоупор, двухслойный пласт. Грунтовые воды	$y=\sqrt{m_{пр}^2+2m_{пр}(h+H_2-H)+h^2+H_2^2-H_1^2}-m_{пр}$ где $m_{пр}$ – приведенная мощность; обозначения остальных показателей те же, что и в (9.1)	(4.11) Рисунок 3
12.	Горизонтальный водоупор, неоднородный пласт. Грунтовые воды	$(K_H^{II}H_1+K_H^{I}h)(h-H_1)=(K_H^{II}H_2+K_H^{I}y)(y-H_2)$ где K_H^{II} и K_H^{I} – средние коэффициенты фильтрации пласта в начальном сечении до и после подпора; K_P^{II} и K_P^{I} – средние коэффициенты фильтрации пласта в расчетном сечении до и после подпора; обозначения остальных показателей те же, что и в (9.1)	(4.12) Рисунок 4

Продолжение таблицы 1

13.	Наклонный водоупор, неоднородный пласт. Грунтовые воды	$y = \sqrt{\left(\frac{a-b+H_1}{2}\right)^2 + \frac{K}{K_1} l' I (H_1 + h)} + \frac{a-b-H_1}{2}$ где y и H_1 – мощности водоносного горизонта после подпора, соответственно, в расчетном и начальном его сечениях, при расстоянии l' между ними; h и H_1 – мощность водоносного горизонта до подпора, соответственно, в расчетном и начальном его сечениях; a – отметка подпорного уровня воды в водохранилище; b – отметка водоупора в расчетном сечении; I – уклон водоупора; K и K_1 – средние коэффициенты фильтрации слоев пород рассматриваемого участка до и после подпора, определяющиеся по формуле $K = \frac{K'm' + K'm' + ... + K'm' + K''m'' + K''m'' + ... K''m''}{\sum m' + \sum m''}$, г де K'_1, K'_2 ... – коэффициенты фильтрации слоев грунта, соответственно, мощностью m'_1, m'_2, ... K''_1, K''_2 ...– коэффициенты фильтрации слоев мощностью m''_1, m''_2 .	(4.13) Рисунок 4
14.	Горизонтальный водоупор, пласт неоднородный по простиранию, поток с непараллельными линиями тока, наличие верховой границы с постоянным напором. Грунтовые воды	$y_{n+} = \sqrt{\frac{h_1^2 - H_2^2}{h_1^2 - H_1^2}(h_{n+}^2 - h_n^2) + y_n^2}$ (расчет производится по схеме “от сечения к сечению”) где H_1 и H_2 – соответственно мощность водоносного пласта до подпора и при подпоре в начальном сечении; h_n и y_n – то же, в сечении n; h_{n+1} и y_{n+1} – то же, в сечении $n+1$; h_1 – напор на верховой границе потока.	(4.14) Рисунок 1
15.	Горизонтальный водоупор, пласт неоднородный по простиранию, плоский поток, наличие верховой границы с постоянным напором. Грунтовые воды	$y_{n+} = \sqrt{h_{n+}^2 + (y_n^2 - h_n^2)\frac{L - x_{n+}}{L - x_n}}$ (расчет производится по схеме “от сечения к сечению”) где L – расстояние от берега водохранилища до верховой границы с постоянным напором; x_n и x_{n+1} – соответственно расстояния от берега водохранилища до сечений n и $n+1$.	(4.15) Рисунок 1
16.	Горизонтальный водоупор, пласт неоднородный по простиранию, плоский поток, верховая граница удалена от водохранилища и расчетных сечений на значительное расстояние. Грунтовые воды	$y_{n+} = \sqrt{h_{n+}^2 + y_n^2 - h_n^2}$ (расчет производится по схеме “от сечения к сечению”) Обозначения показателей те же, что и в (9.15)	(4.16) Рисунок 1

Движение наносов и прогноз возможного заиления водохранилища

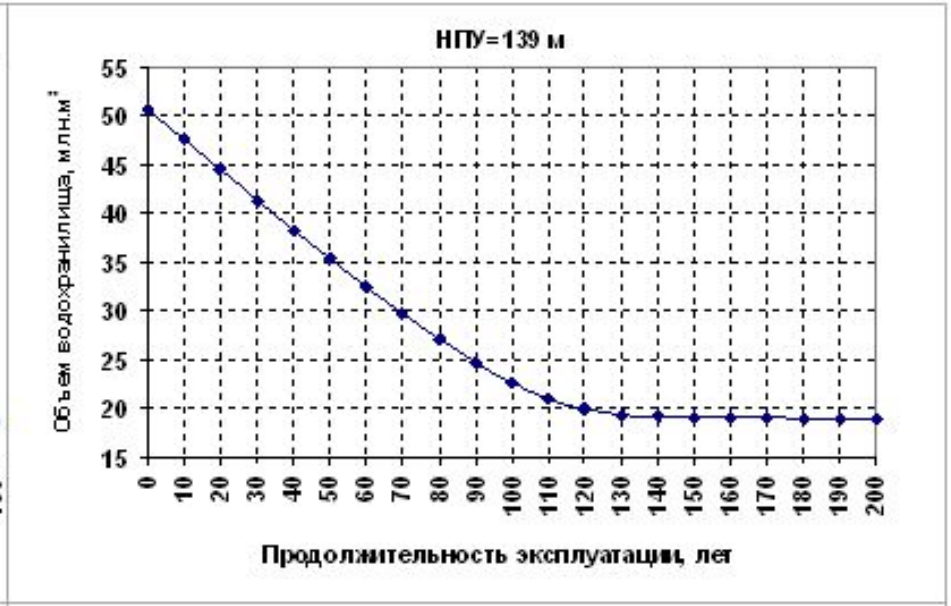
Рассмотрены методы расчетов Г.И Шамова, А.В. Караушева, В.С Лапшенкова, И.И. Леви, Н.Е. Кондратьева и др.

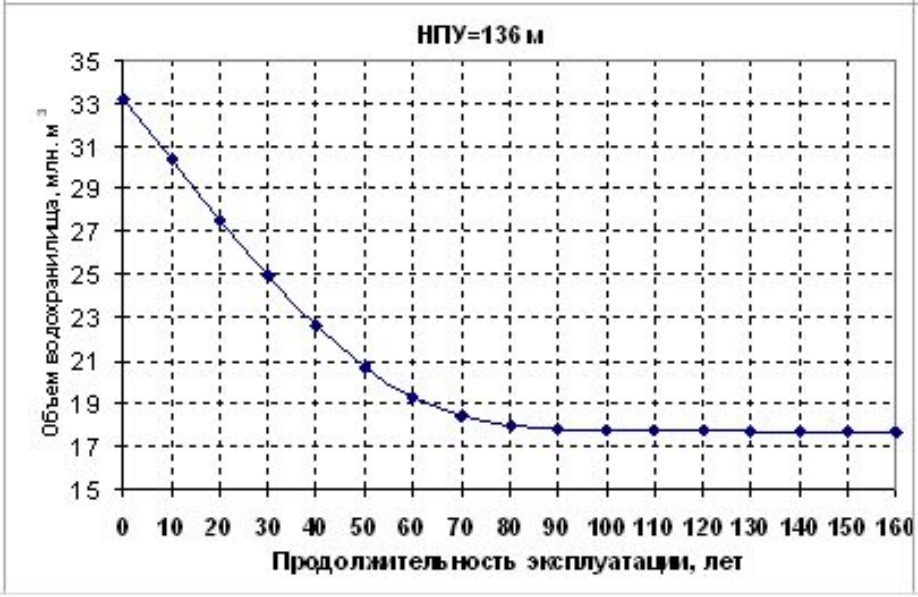
1. Для оценки интенсивности процессов седиментации следует использовать критерий условной заиляемости с учетом объемов отложений связанных с переработкой берегов. При величине условной заиляемости более *300 лет для крупных водохранилищ, 200 лет для средних и 100 лет для малых* интенсивность заиления оценивается как невысокая и дальнейшие расчеты не производятся. При меньших величинах условной заиляемости требуется проведение расчетов хронологического хода заиления с учетом выноса наносов за пределы водохранилища со сбрасываемой в нижний бьеф водой.

2. Расчеты хронологического хода заиления следует производить с использованием зависимостей по способу Шамова при устройстве русловых водохранилищ. При устройстве водохранилищ озерного типа расчет следует производить по методике расчетов Караушева. Такой подход обеспечивает определенный запас надежности при проведении расчетов и позволяет учесть условия стока наносов.

3. Детальный расчет заиления водохранилищ по участкам следует проводить при необходимости получения оценки влияния последствий отложения наносов на работу гидротехнических сооружений, обеспечения условий судоходства, состояние рекреационных зон. Расчет следует производить проводить балансовым методом с пофракционным учетом перемещения наносов включая частичный сброс наносов в нижний бьеф водохранилищ.

Динамика прогнозного снижения обьема водохранилища Витебской ГЭС для НПУ=138,0 м и НПУ=139,0 м, а также для альтернативного варианта при НПУ=136,0 м приведена на рисунке 8.





Во весь экран

Вернуть обычный

Прогноз качества воды

Долгосрочное прогнозирование качества воды при создании водохранилища должно включать:

- анализ современного состояния качества воды водотока,
- установление расчетного объема водохранилища,
- прогноз поступления загрязняющих веществ в водохранилище из различных источников,
- прогноз концентраций веществ в водохранилище,
- разработку рекомендаций по рациональному использованию и охране вод.

При разработке прогноза формирования качества воды, водной экосистемы с учетом влияния различных источников загрязнения в проектных условиях данные предпроектных изысканий должны использоваться как фоновые.

При прогнозе устанавливаются три периода:

- наполнение водохранилища (обычно 1, реже 2 весенних сезона),
- достижение устойчивого гидрохимического режима с предельной минерализацией (до 3-5 лет),
- регулярная эксплуатация водохранилища (неопределенно долгое время).

Основу математической модели прогноза качества воды составляет метод солевого баланса

Метод солевого баланса применяется для общей минерализации воды и содержанию отдельных ионов. Основой для расчета является количественный учет воды и растворенных в ней солей, тем или иным путем поступающий в водохранилище $S_{пост}$ и расходуемый из него $S_{расх}$.

$$S_{пост} = S_{расх} \pm \Delta S. \qquad (8.1)$$

Через промежуток времени T количество солей в водохранилище S_T при практических расчетах определяется из уравнения:

$$S_T = \left[S_0 + S_{пр} + S_{гр} - (S_{ст} + S_{фил} + S_{заб})\right] + S_{зол} \pm (S_{ло} + S_{ос-раств} + S_{бр} + S_{бер}), \qquad (8.2)$$

где S_0 – количество солей, находящихся в начальный момент времени,

$S_{пр}$ – количество солей, вносимых притоками,

$S_{гр}$ – количество солей, вносимых с грунтовыми водами,

$S_{ст}$ – количество солей, выносимых со стоком,

$S_{фил}$ – количество солей, выносимых при фильтрации через плотину,

$S_{заб}$ – количество солей, выносимых при заборе для водопользования,

$S_{зол}$ – количество солей, вносимых с атмосферными осадками и пылью,

$S_{ло}$ – количество солей при ледообразовании и ледотаянии,

$S_{ос-раств}$ – количество осажденных и растворенных солей,

$S_{бр}$ – количество солей, усвоенных и выделенных при биологических процессах,

$S_{бер}$ – количество солей при потерях и растворении в береговой полосе при колебаниях уровня водохранилища.

При практических расчетах из-за недостатка данных принимают $S_{гр} = S_{фил}$ и учитывают только первую часть уравнения, заключенную в квадратные скобки.

Для определения прогнозной концентрации используется следующая зависимость:

$$C_T = \frac{C_0 V_0 + C_{пр} V_{пр} - C_{от} V_{от}}{V_0 + V_{пр} - V_{от} - U}, \qquad (8.3)$$

где C_0 – начальная концентрация загрязняющих веществ в водохранилище, мг/дм^3;

$C_{пр}$ – концентрация загрязняющих веществ в притоке к водохранилищу мг/дм^3;

$C_{от}$ – концентрация загрязняющих веществ в оттоке от водохранилища мг/дм^3;

$V_о$ – начальный объем водохранилища, м^3;

$V_{пр}$ – объем притока, м^3;

$V_{пр}$ – объем оттока, м^3;

U – объем воды, испаряющейся за данный период с водной поверхности водохранилища, за вычетом осадков, выпадающих ха это же время на зеркало водохранилища.

Концентрация ионов стока воды из водохранилища $C_{от}$. определяется из условия, что за период T в водохранилище происходит полное перемешивание и $C_{от}$ меняется линейно:

$$C_{от} = \frac{C_0 V_0 + C_{пр} V_{пр} - 0{,}5 C_0 V_{от}}{V_0 + V_{пр} - 0{,}5 V_{от} - U}. \qquad (8.4)$$

При отсутствии данных по объемам воды, испаряющихся с водной поверхности, используется зависимость Н.М. Бочкова:

$$C_{от} = \frac{C_0 V_0 + C_{пр} V_{пр}}{V_0 + V_{пр}}. \qquad (8.5)$$

Для прогноза концентраций *минеральных, биогенных и органических веществ* в водохранилище используется метод, основанный на расчете смешения и разбавления вод [116]:

$$C = C_{\Phi} + \frac{G_i - C_{\Phi} W_i e^{-k\tau_i}}{\gamma_i W_{\Phi} + W_i}, \qquad (8.6)$$

где C – средняя за расчетный период концентрация загрязняющего вещества в расчетном створе, мг/дм^3;

C_{Φ} – средняя за расчетный период концентрация загрязняющего вещества в фоновом створе (за фоновый створ принимается створ в реке выше водохранилища), мг/дм^3,

W_{Φ} – расход 95 % вероятности превышения в фоновом створе, м^3,

G_i – суммарное количество загрязняющего вещества, поступающего в водохранилище от i-того источника загрязнения за расчетный период, г,

W_i – расход i-того источника загрязнения за расчетный период, м^3,

γ_i – коэффициент смешения,

k – коэффициент скорости самоочищения воды от загрязняющего вещества, 1/сут, определяется по таблицам 8,9 [138],

τ_i – время добегания воды от i-того источника загрязнения до расчетного створа, сут.

Для прогноза изменения качества воды в нижнем бьефе водохранилища используется *аналитическая зависимость, характеризующая процессы биохимического окисления органических соединений (самоочищения)* [116]:

$$C = C_p e^{-kt}, \qquad (8.7)$$

где C – концентрация вещества в нижнем бьефе водохранилища;

C_p – концентрация вещества в реке, питающей водохранилище;

k – коэффициент скорости самоочищения воды водохранилища от загрязняющего вещества, 1/сут;

t – время (сутки) однократной замены водной массы водохранилища или реки на его участке (условный показатель водообмена), вычисляемое по объему стока реки за сутки ($м^3$/сут).

Условный показатель t водообмена – время, в течение которого произошла бы замена водной массы водохранилища, если бы воды притока не смешивались с водами водохранилища, а вытесняли их к створу вытекающих из него вод.

Органические вещества в зависимости от скорости превращения в природных водах подразделяются на 3 группы: «биологически мягкие» (k>0,3); «промежуточная группа веществ» (k=0,3–0,05); «биологически жесткие» (k<0,05).

Оценка ледовых явлений

Таблица 7 – Сводка итоговых формул математической модели оценки ледовых явлений

Наименование оценки (вида воздействия)	Расчетные зависимости	Обозначения в расчетных зависимостях
1. Прогноз максимальных зажорных и заторных уровней	Согласно П1-98 к СНиП 2.01.14-83 с проверкой условия $\Delta H = h_{Q_{\text{л}}}\left[(\alpha^{1,5}+1)^{0,4}-1\right]+0,9t_{\text{л}}$ (зажорным или заторным считается подъем, значение которого превышает значение ΔH при сплошном однослойном скоплении льдин)	$\alpha = n_{\text{л}} / n_{\text{р}}$, $n_{\text{л}}$ - коэффициент шероховатости низа льда (составляет 0,030 осенью и 0,015 весной); $n_{\text{р}}$ - коэффициент шероховатости русла; $h_{Q_{\text{л}}}$ - глубина реки при отсутствии ледовых явления, соответствующая уровню $H_{Q_{\text{л}}}$; $t_{\text{л}}$ - толщина льдин.
	Ежегодная вероятность превышения максимальных зажорных (заторных) уровней определяется по формуле: $P = \frac{m}{n+1}100\%$	m – порядковый номер членов ряда превышения уровней, расположенных в убывающем порядке; n – общее число членов ряда.
2. Динамическое давление при ударе свободно плавающих льдин под углом φ<80°	$P_{\text{д}} = cKV_{\text{ср}}\sqrt{\frac{lb}{\eta lb+\lambda\delta^2}}$ (9.1)	$V_{\text{ср.}}$ – средняя скорость движения льдин, м/с; δ - толщина льда, м, принимается максимальной по данным наблюдений; b и l – ширина и длина льдин (ширина реки для среднемноголетних условий и максимальное расстояние прямолинейного участка выше по течению); K, с(сек т/м³) и λ - коэффициенты, принимаемые по справочным данным для условий начальной стадии ледохода при коротком потеплении (K=6; c=136; λ=500) и условий наивысшего уровня ледохода или на уровне начальной стадии ледохода при длительном таянии (K=4,3; c=136; λ=1000); η - отношение тригонометрических функций угла φ (cos²φ/tg²φ), при средней величины угла φ=45° η=0,5.

Продолжение таблицы 7

Наименование оценки (вида воздействия)	Расчетные зависимости	Обозначения в расчетных зависимостях
3. Давление (в тоннах), воспринимаемое сооружением от навала ледяного поля вследствие ветра или течения	$P_{\text{н}} = \left(0,3+\frac{1}{1000}\right)V_{\text{ср}}^2 B$ (9.2)	B – при ширине ледяного поля; L<1200 - длина ледяного поля; $V_{\text{ср.}}$ – средняя скорость движения льдин, м/с
4. Статическое давление ледяного покрова вследствие термического расширения сплошного ледяного покрова (т/пог.м)	При протяженности $L_{\text{л}}$ ледяного покрова между сооружением и противоположным ему упором покрова менее 50 м $P_T = 0,9\delta(t_0+1)\sqrt{\frac{t_0}{s}(t_0+1)^2}$ (9.3) При протяженности $L_{\text{л}}$ ледяного покрова от 50 м до 150....м определяется в тоннах на погонный метр при соответствующей толщине ледяного покрова δ и длине ледяного покрова $L_{\text{П}}$ для условий наиболее тяжелых температурных изменений согласно таблицы 8.	δ - толщина льда, м, принимается максимальной по данным наблюдений; t_0 – наибольшее возможное непрерывное повышение температуры ледяного покрова в градусах в течение s часов, принимаемое равным $0,35t$, t - повышение температуры воздуха за этот же период времени; s - наиневыгоднейшая длительность непрерывного повышения температуры воздуха в часах, при отсутствии метеорологических данных о величине s принимается $\frac{t_0}{s}=\frac{6}{t}$
5. Вертикальное (поднимающее, выдергивающее) воздействие, передаваемое сооружению примерзающим к нему ледяным покровом при повышении уровня воды под ним	Определяется по зависимости: $P_{\text{в}} = \frac{300\delta^2}{\ln\left(\frac{50\delta}{D}\right)}$ (9.4)	D – диаметр сваи или опоры. δ - толщина льда, м, принимается по данным наблюдений;

Математическая модель оценки ледовых явлений

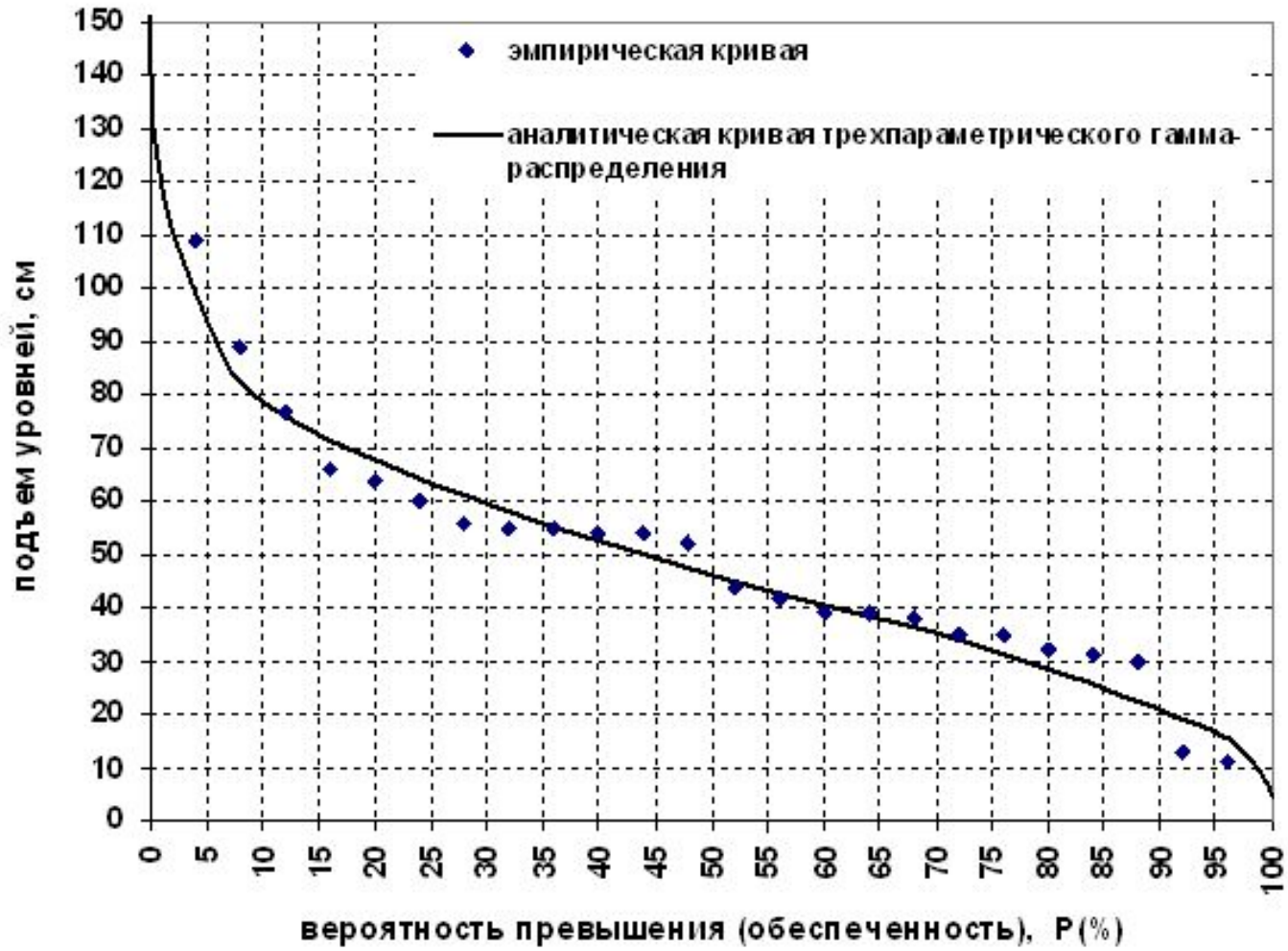


Рисунок 7.2 - Пример результатов расчетов эмпирической и аналитической кривых вероятностей распределения воздействия заторных явлений на р.Вилия для створа н.п.Михалишки (C_v=0,47; C_s=1,5C_v)

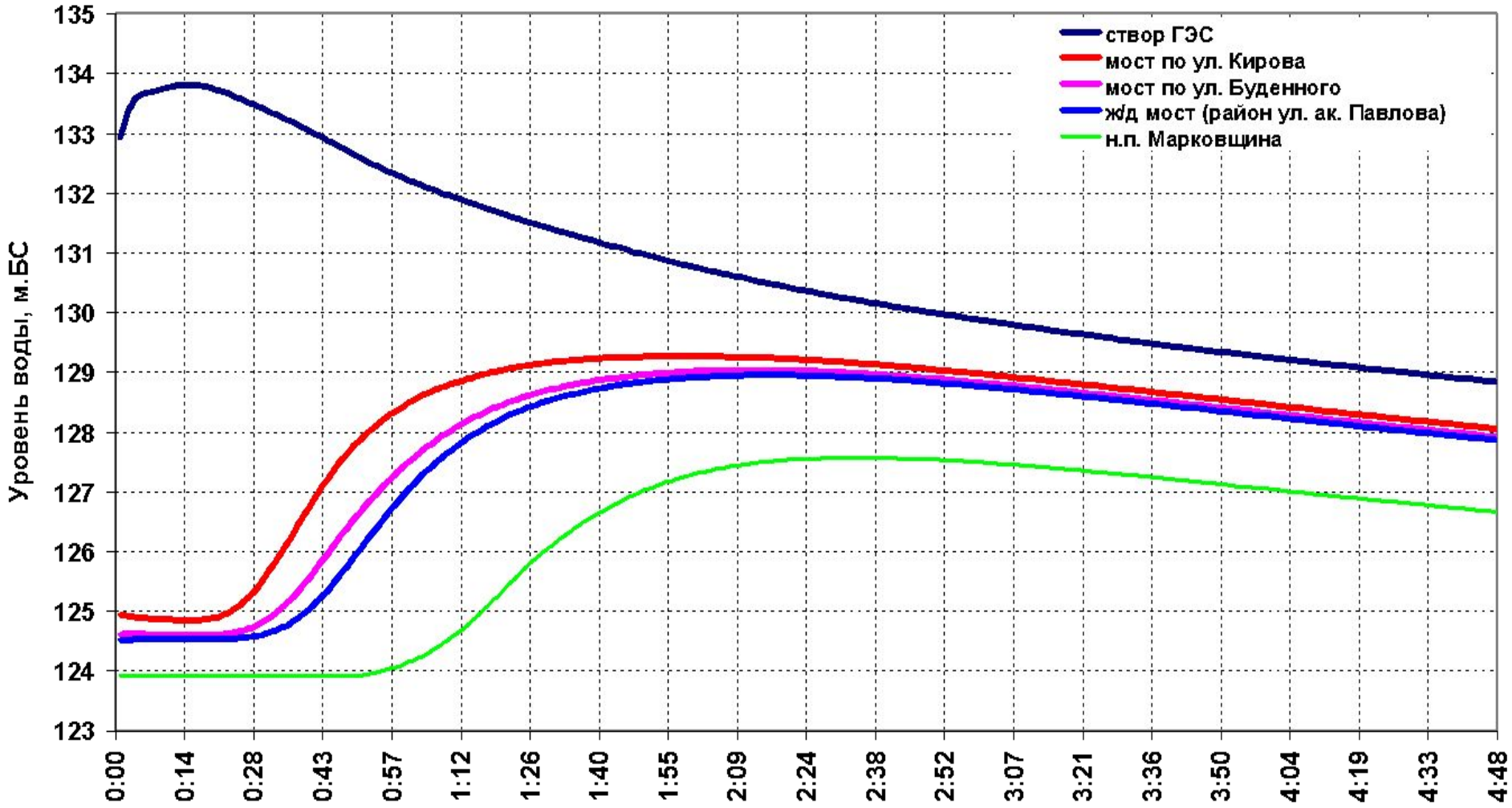
Оценка вероятных чрезвычайных (аварийных) ситуаций и их последствий, оценка зон вероятного затопления

Основной чрезвычайной ситуацией при размещении плотин на реках может являться разрушение плотины. Поэтому математическая модель предназначена для прогноза движения волны прорыва в случае аварии или разрушения гидроузла ГЭС.

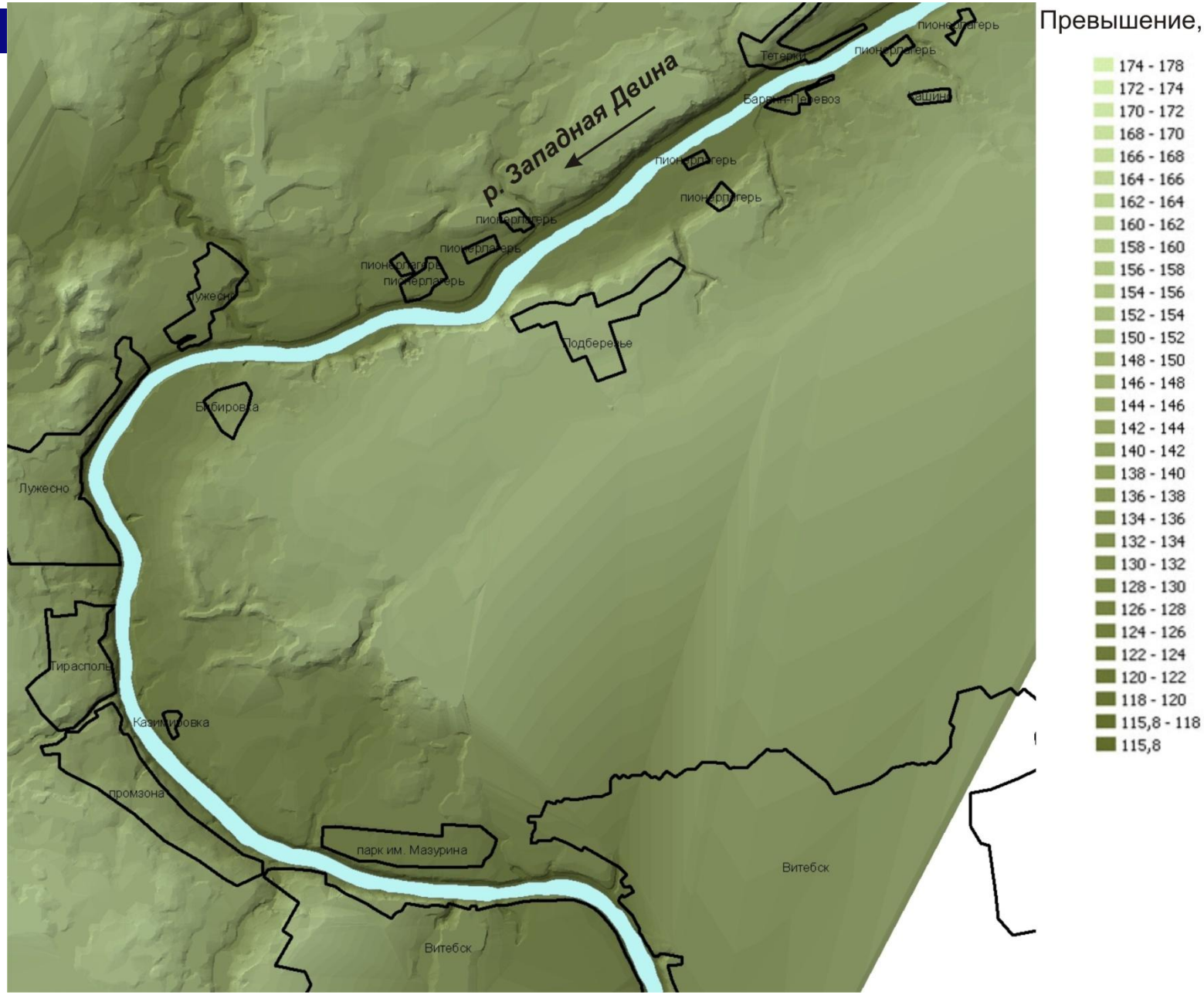
Движение волны прорыва, возникающей при разрушении плотины, является модифицированным течением неустановившегося движения воды в открытых руслах и относится к классу сверхкритических (бурных) течений с появлением прерывных волн и описывается уравнениями Сен-Венана в форме для непрерывных и разрывных течений в зависимости от числа Фруда.

Исходная морфометрическая информация должна включать координаты поперечных сечений русла и поймы по водохранилищу и участку реки выше окончания кривой подпора водохранилища, а также по участку реки в нижнем бьефе, с максимальной длиной участка, на который может распространиться влияние волны прорыва, локальные вдоль участков периметра коэффициенты шероховатости
Визуализация зон вероятного затопления территории осуществляется с помощью цифровой модели на картографической основе масштаба 1:25 000 или крупнее.
На цифровой модели отображаются следующие дополнительные характеристики территории:

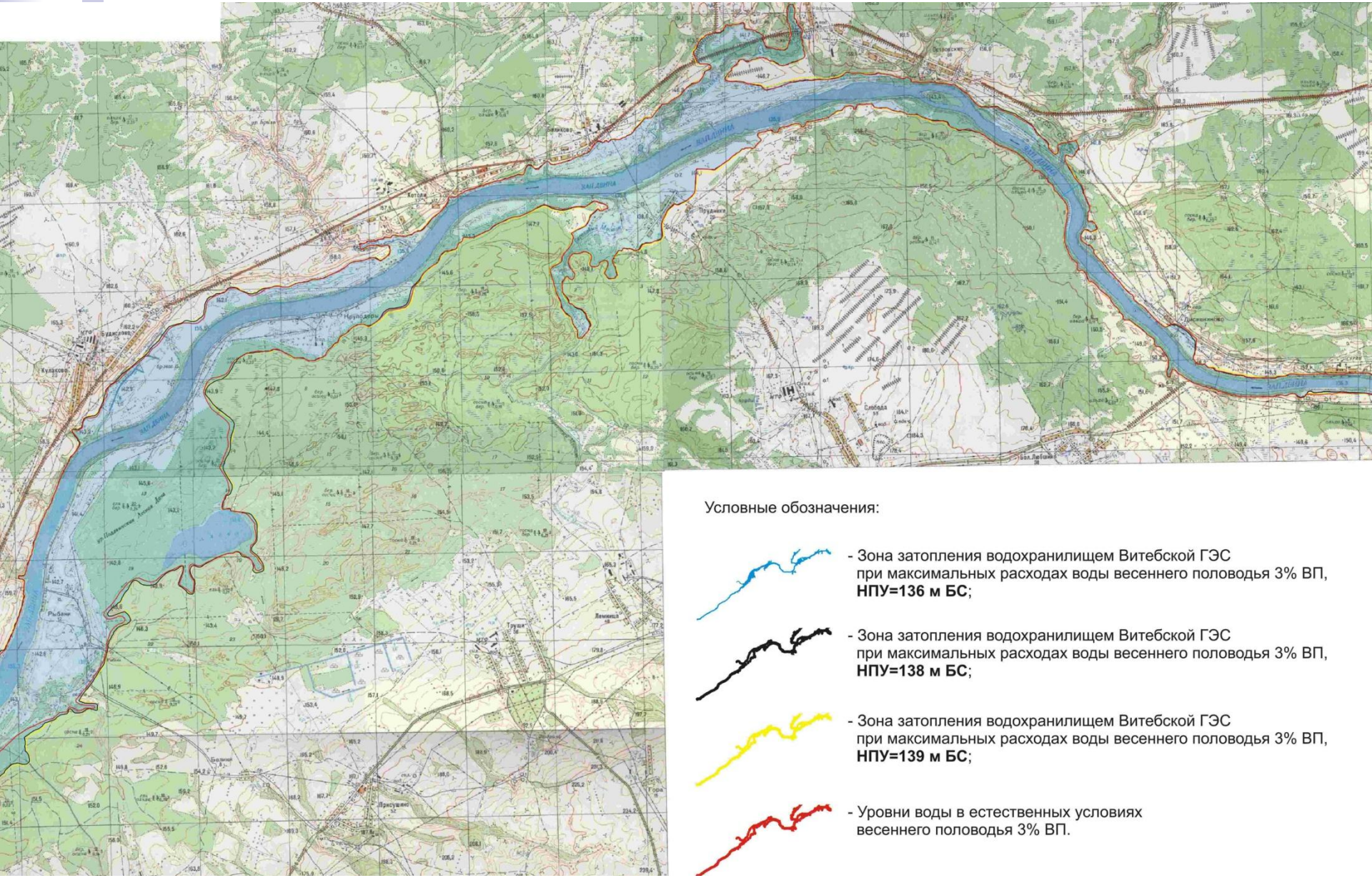
- глубина воды на затопленной территории;
- скорость течения воды по пойме и другим затапливаемым территориям;
- направления течения воды по затопленной территории;
- время стояния воды на затапливаемой территории;
- время подхода волны при прорыве плотины.



Изменения уровней воды в нижнем бьефе Витебской ГЭС при прорыве плотины в условиях среднемеженных расходов воды 50% ВП, НПУ=138 м



Пример цифровой модели рельефа местности для визуализации зон затопления



Пример построения зон затопления в верхнем бьефе Витебской ГЭС

Спасибо за внимание