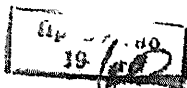


551.49
К 64

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Н. Е. КОНДРАТЬЕВ

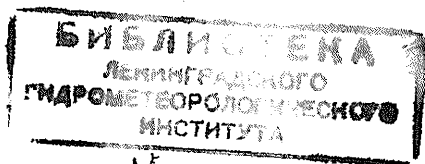


РАСЧЕТЫ

БЕРЕГОВЫХ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЙ
НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ

(ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ)

147235



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1960

АННОТАЦИЯ

В книге изложены методы расчета и прогноза береговых переформирований, вызванных действием ветровых волн на водохранилищах озерного типа. Задача книги — оказать непосредственную помощь при прогностических расчетах. В книге даны ссылки на литературу по теоретическим основам метода.

Все частные расчеты иллюстрируются примерами, которые в своей совокупности представляют решение одной полной задачи составления конкретного прогноза.

В приложениях даны все необходимые справочные материалы.

Книга рассчитана на инженеров-гидротехников, гидрологов, геологов и других практических работников, сталкивающихся с проблемой прогнозирования береговых деформаций на водохранилищах.

Кондратьев Николай Евгеньевич

Отв. редактор *А. И. Чеботарев*

Редакторы: *Л. А. Чепелкина, М. М. Ясногородская*

Техн. редактор *А. Н. Сергеев*

Корректор *Б. А. Минц*

Сдано в набор 24/IX 1959 г.

Подписано к печати 18/I 1960 г.

Бумага 60 × 92¹/₁₆.

Бум. л. 2 + 8 вкл.

Печ. л. 6.

Уч.-изд. л. 5,95.

Тираж 2000 экз.

М-20521.

Индекс МЛ-339.

Гидрометеорологическое издательство, Ленинград, В-53, 2-я линия, д. № 23.

Заказ № 348.

Цена 4 руб.

Типография № 8 УПП Ленсовнархоза, Ленинград,

Прачечный пер., д. 6.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемое пособие имеет целью дать проектировщикам в кратком изложении расчетные рекомендации для практического определения величины переформирований берегов водохранилищ на заданный календарный срок. В нем излагается методика определения исходных сведений о природных и водохозяйственных условиях формирования берегов, даются способы непосредственных расчетов деформаций в заданных условиях и способы учета возможных отклонений размеров деформаций от наиболее вероятных. Таким образом, методика, взятая в целом, имеет расчетно-прогностический характер.

Приведенный автором материал является практическим итогом, обобщающим теоретические и расчетные работы в указанной области, выполненные в Государственном гидрологическом институте (ГГИ) на основе натуральных наблюдений, накопленных обсерваториями Гидрометслужбы. В задачу настоящего издания не входило изложение теоретических предпосылок методики, выводов расчетных формул и приведения использованных натуральных материалов.

Все теоретические исследования уже опубликованы, а расчетные и натурные материалы наблюдений находятся в архиве ГГИ.

Текст пособия в первом варианте был доведен до сведения ряда проектных организаций и отдельных работников-практиков. При составлении настоящего пособия были учтены по мере возможности все полученные замечания. Упрощения и значительного сокращения объема расчетов с одновременным расширением диапазона размеров учитываемого волнения удалось достигнуть введением некоторых дополнительных допущений, которые, по-видимому, не смогут заметно снизить точность получаемых результатов. В соответствии с высказанными пожеланиями приводимые в тексте примеры составлены так, что в своем сочетании они образуют полный расчет одного случая, изложенный в той последовательности, в которой этот расчет осуществляется на практике.

На вопрос о точности метода прогнозирования трудно ответить вполне обоснованно. Очевидно, что подобные расчеты не относятся к категории точных. По надежности исходных данных и по теоретической обоснованности расчетных схем их можно сопоставить с инженерными расчетами, оперирующими с подобными же понятиями. К таким понятиям можно отнести, например, неустойчивые

характеристики гидрологического и климатического режима или трудно определяемые способности горных пород и некоторых строительных материалов сопротивляться механическим нагрузкам и действию текущей воды.

В подобных инженерных расчетах, весьма распространенных и оправданных практикой (таких, как расчет устойчивости подпорных стенок, плотин, портовых сооружений и т. д.), недостаток точности расчета восполняется введением коэффициентов запаса. Подобным же образом следует поступать и при прогнозировании береговых переформирований. Однако к установлению этих коэффициентов необходим иной подход.

В инженерной практике ошибка в расчетах может привести к разрушению сооружения, что, безусловно, недопустимо. В прогнозах береговых переформирований лишь весьма грубые просчеты могут привести к катастрофическим последствиям. Поскольку процесс переформирования берегов развивается в течение десятилетий и столетий, неточности расчетов могут быть своевременно обнаружены и катастрофы предотвращены.

Надежность расчета береговых переформирований должна выражаться в запасе сроков и соответствующем выборе обеспеченности деформаций. Так, при выборе мест для расположения ответственных сооружений, срок амортизации которых равен T лет, можно рекомендовать учитывать береговые деформации, соответствующие сроку $2T$ лет и обеспеченности 5% . С такой же осторожностью следует поступать при решении вопроса о сроках переноса существующих населенных пунктов и определении мест их расположения. Вместе с тем при решении вопроса об использовании территорий для сельскохозяйственных потребностей вряд ли целесообразно вводить какой-либо запас в расчеты и считаться с деформациями иными, кроме наиболее вероятных.

Настоящее пособие составлено старшим научным сотрудником ГГИ Н. Е. Кондратьевым и одобрено Ученым советом ГГИ.

ВВЕДЕНИЕ

1. При образовании водохранилища путем создания в реке подпора в первый период его существования в положении берегов оказываются надпойменные террасы, склоны или иные геоморфологические элементы речной долины. Под действием новых активных факторов, в первую очередь под действием ветровой волны, эти элементы теряют свою устойчивость и начинают переформировываться, образуя береговую отмель¹, в пределах которой происходит перестройка волны и частичное гашение ее энергии. Этот процесс завершается образованием пологой устойчивой береговой отмели, в пределах которой гасится вся волновая энергия, переходившая раньше в работу разрушения берега.

Волнением разрушаются геоморфологические образования, уклон которых в сторону водоема больше уклона устойчивой отмели. В таких случаях вновь образованная береговая отмель состоит из абразионной части bc (рис. 1), врезанной в первоначальный берег, и аккумулятивной части cd , построенной из переработанных волной материалов разрушения берега, заключенных первоначально в объеме разрушения abc . Поскольку в этом объеме могли содержаться мелкие глинистые и иловатые частицы, а также легкая органическая примесь, т. е. материал, легко переносимый течением за границы береговой отмели, то объем аккумуля-

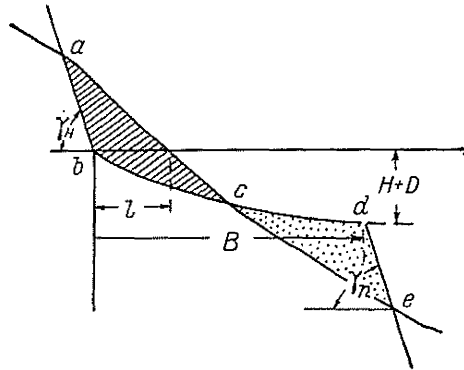


Рис. 1. Схема береговой отмели.
 B — ширина береговой отмели; d — край береговой отмели; $H + D$ — глубина на краю береговой отмели; ab — надводный береговой склон; de — подводный береговой склон; l — смещение береговой линии.

¹ Подробную расшифровку терминов и обозначений см. в приложении X.

муляции cde будет обычно несколько меньше объема разрушения abc . Отношение объема аккумуляции к объему разрушения называем коэффициентом аккумуляции δ .

В каждом отдельно взятом профиле неравенство объемов аккумуляции и разрушения может вызываться, помимо указанной выше причины, еще и перемещением материалов разрушения вдоль берега, поэтому коэффициент аккумуляции будет соответствовать своему содержанию тогда, когда величина его определена по ряду смежных профилей участка берега значительной протяженности.

2. При проектировании водохранилища, а также в процессе его эксплуатации возникает потребность в прогнозировании переформирования его берегов. Составление такого прогноза на заданный срок связано с последовательным решением следующих задач:

а) Расчет волнового режима водохранилища применительно к заданному участку берега и представление его в виде, удобном для использования в дальнейших расчетах (глава I).

б) Расчет профиля устойчивой береговой отмели для заданного участка берега при известных характерных значениях высоты волны и заданной величине сработки водохранилища (глава II).

в) Расчет береговых переформирований, вызванных действием одного шторма, определяемого отметкой уровня воды, продолжительностью шторма, расчетной высотой волны и расчетной мощностью последней. Расчет береговых переформирований, вызванных действием характерного цикла штормов (глава III).

г) Прогноз наиболее вероятных береговых переформирований на заданный срок и оценка возможных отклонений от этих наиболее вероятных переформирований (глава IV).

Глава I

РАСЧЕТ ВОЛНОВОГО РЕЖИМА ВОДОХРАНИЛИЩА

3. Задача по расчету волнового режима водохранилища состоит из следующих элементов:

- а) анализа ветрового режима района будущего водохранилища,
- б) расчета элементов волны по заданным скорости и направлению ветра и составление волновой характеристики для заданного участка побережья,
- в) расчета волнового режима для заданного участка побережья водохранилища.

Ветровой режим проектируемого водохранилища

4. Для оценки ветрового режима проектируемого водохранилища используются наблюдения над ветром на метеорологических станциях, расположенных в районе будущего водохранилища. Эти материалы представляются в виде исходной таблицы повторяемости ветров, построенной по 16 румбам и по интервалам скорости ветра. В таблице, приведенной в качестве примера (приложение I), отсутствуют данные об особенно сильных, редко повторяющихся ветрах. Такое положение часто встречается и объясняется, с одной стороны, краткостью существующих рядов наблюдений, а с другой, — ограниченным распространением в прошлом приборов, способных измерять скорости ветра, превышающие 20 м/сек. Для получения данных о ветрах большой скорости и малой повторяемости приходится прибегать к экстраполяции. Пример такой экстраполяции дан на рис. 2. В двойной логарифмической шкале построена кривая суммарной по всем румбам обеспеченности P ветров различной силы (последняя графа приложения I) и продолжена в сторону малых обеспеченностей. При решении этой задачи могут быть применены и более совершенные методы экстраполяции.

Окончательная расчетная таблица повторяемости ветра (приложение II) строится начиная с последней графы, которая по сравнению с соответствующей графой исходной таблицы дополнена данными о суммарной повторяемости ветров большой скорости, полученными экстраполяцией. Распределение ветров большой скорости

по румбам принимается таким же, как распределение наиболее сильных, достаточно хорошо представленных в исходной таблице ветров.

Соотношение повторяемостей всех сильных ветров от 19 м/сек. и выше в расчетной таблице (приложение II) принято таким же, как и для ветров со скоростью 16—18 м/сек.

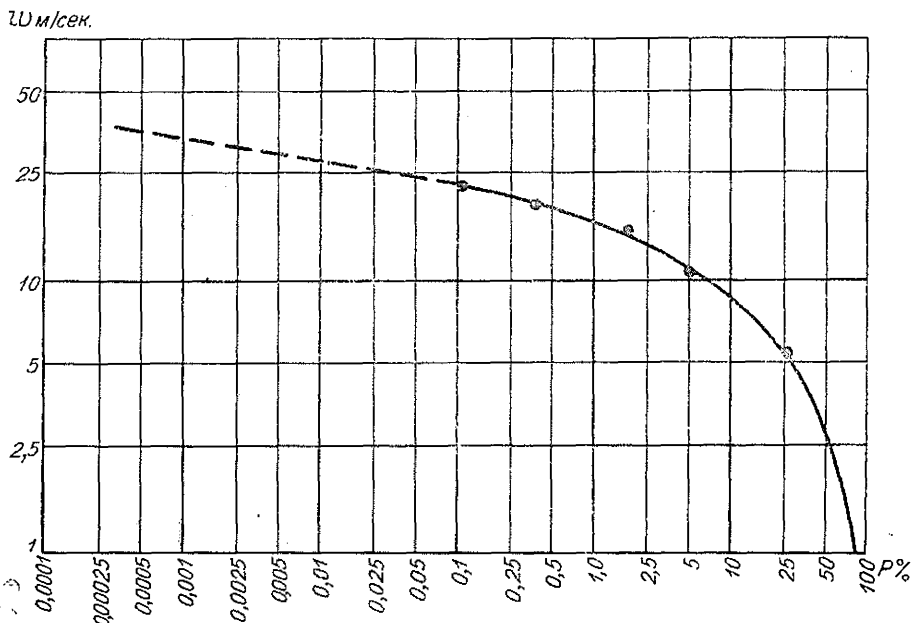


Рис. 2. Кривая обеспеченности скорости ветра. Пунктирная часть кривой получена экстраполяцией.

Основные статистические характеристики ветрового режима достаточно устойчивы на земной поверхности, поэтому ветровой режим для всего водохранилища может быть установлен по данным наблюдений одной-двух метеорологических станций с достаточно длинными и надежными рядами наблюдений.

Расчет элементов волны и составление волновых характеристик

5. Высота волны h в заданной точке водохранилища, при скорости ветра на высоте 10 м над водной поверхностью w_{10} и заданном его направлении, определяется следующим образом.

Строится профиль дна водохранилища, проходящий через заданную точку в направлении действующего ветра. Профиль разбивается на участки, в пределах каждого из которых глубина может считаться постоянной, равной H_n . Высота волны h_{n+1} в конце каждого участка, имеющего длину Δs , определяется по графикам А. П. Браславского

(приложение XI) по заданной высоте волны в начале этого участка h_n . Для этого на графике, соответствующем заданной скорости ветра w_{10} , находим по вертикальной шкале величину h_n и, двигаясь по соответствующей горизонтальной линии, находим точку пересечения этой линии с кривой, построенной для глубины H_n . Откладывая от точки пересечения по той же горизонтали далее величину Δs , находим вертикаль, точка пересечения которой с той же кривой H_n и дает на вертикальной шкале значение h_{n+1} (рис. 3).

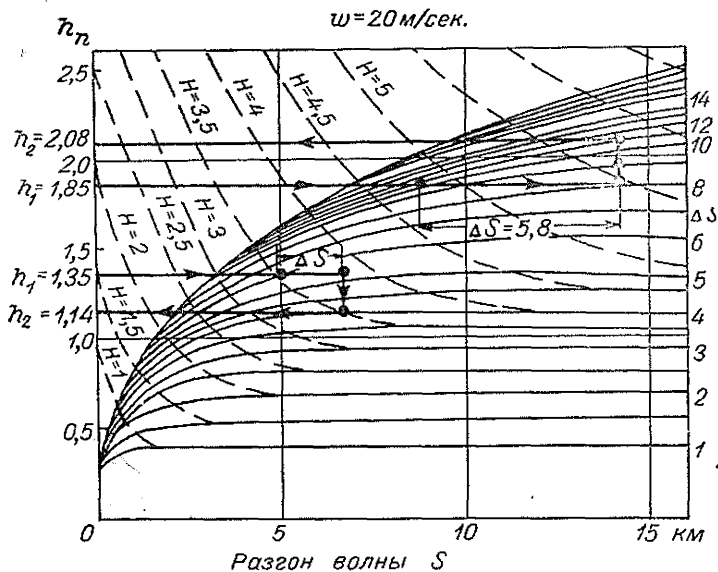


Рис. 3. Схема определения по графикам Браславского высоты волны h_2 в конце участка разгона Δs по заданной высоте волны в начале участка h_1 и по заданной глубине H в пределах участка.

Пример 1. $w_{10}=20$ м/сек., $H_n=11$ м, $h_n=1,85$ м, $\Delta s=5,8$ км. По графику, следуя указанным на рис. 3 построениям, получаем $h_{n+1}=2,08$ м.

2. $w_{10}=20$ м/сек., $H_n=3,5$ м, $h_n=1,35$ м, $\Delta s=1,7$ км, высота волны в конце участка по графику $h_{n+1}=1,14$ м.

Переходя таким образом от участка к участку и принимая каждый раз вычисленную высоту в конце предыдущего участка за начальную высоту волны для последующего участка, находим последовательные изменения высоты волны по всей длине разгона. Высоту волны в начале первого участка принимаем равной нулю.

6. Некоторого ускорения расчета можно достигнуть, используя следующую формулу, дающую высоту волны в конце участка, дно которого имеет постоянный уклон:

$$h = h' + (h'' - h') \xi, \quad (1)$$

где h' — высота волны в конце участка, вычисленная согласно п. 5 по средней глубине участка $H_{\text{ср}}$; h'' — то же, вычисленная по глубине H_k в конце участка; ξ — поправочный коэффициент, зависящий от длины участка и определяемый по графику (рис. 4).

Расчет по этой формуле сводится в таблицу, форма которой с примерным расчетом приводится в приложении III. Примерный расчет

сделан для $w_{10} = 20$ м/сек. В первой графе таблицы дана нумерация участков в направлении распространения волны. В следующих графах, отмеченных значком " , даны значения глубины H'' на границах участков и значком ' — средняя глубина на участке. В четвертой графе выписаны длины участков Δs , в пятой — значения коэффициента ξ , определенные по графику (рис. 4). В следующих двух графах выписаны значения высот волн h'' и h' , определенных по графикам А. П. Браславского, как это указывалось в п. 5. В последней графе даны значения h , вычисленные по формуле (1).

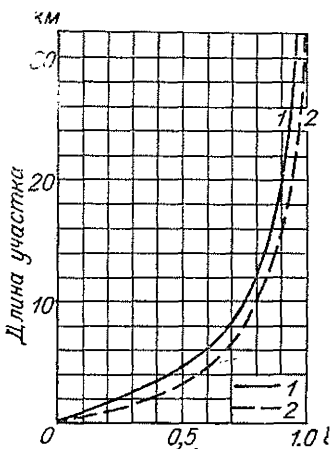


Рис. 4. Поправочный коэффициент ξ к формуле (1).

1 — глубина увеличивается,
2 — глубина уменьшается.

7. Графики А. П. Браславского дают непосредственно высоту волны обеспеченностью $P = 1\%$. В расчет береговых переформирований вводится расчетная волна обеспеченностью около 15% , для перехода к которой

к высоте волны, полученной по графику, следует вводить поправочный коэффициент 0,7.

8. Расчет высоты волны для заданного участка побережья производится применительно к точке А, расположенной в средней части участка, приблизительно на краю будущей отмели (рис. 5). Через эту точку проводятся лучи по тем из 16 румбов, которые обращены в сторону водоема. Каждому из этих румбов соответствует свой угол подхода φ . По каждому из этих направлений определяется высота волны для расчетных скоростей ветра 5, 10, 20, 30 м/сек. согласно пп. 5, 6 и 7.

Результат расчета представляется в виде графика зависимости высоты волны от скорости ветра для всех расчетных направлений (рис. 6), который будем называть волновой характеристикой участка берега.

Волновой режим участка берега водохранилища

9. Волновой режим участка берега водохранилища определяется на основании расчетной таблицы распределения ветра (приложение II) и волновых характеристик рассматриваемого участка берега (рис. 6).

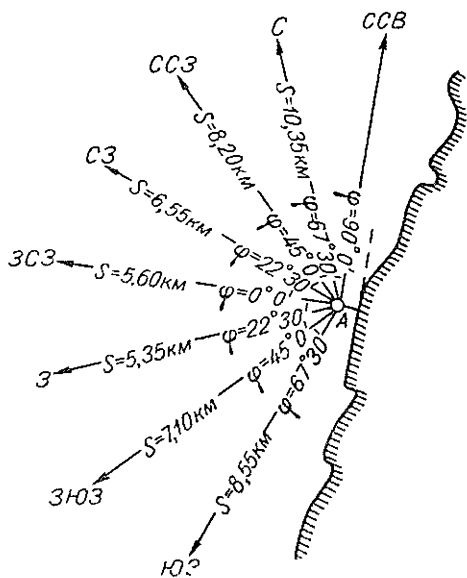


Рис. 5. Плановая схема подхода волн к береговой отмели для построения волновой характеристики участка берега.

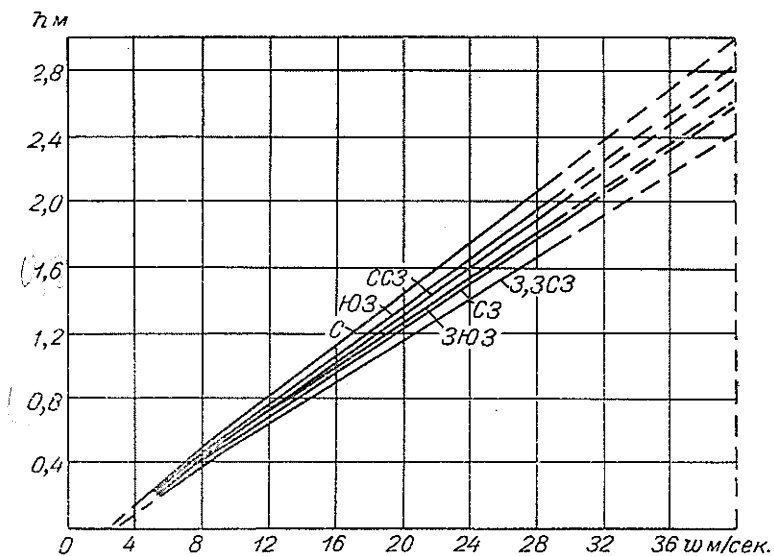


Рис. 6. Волновая характеристика участка берега.

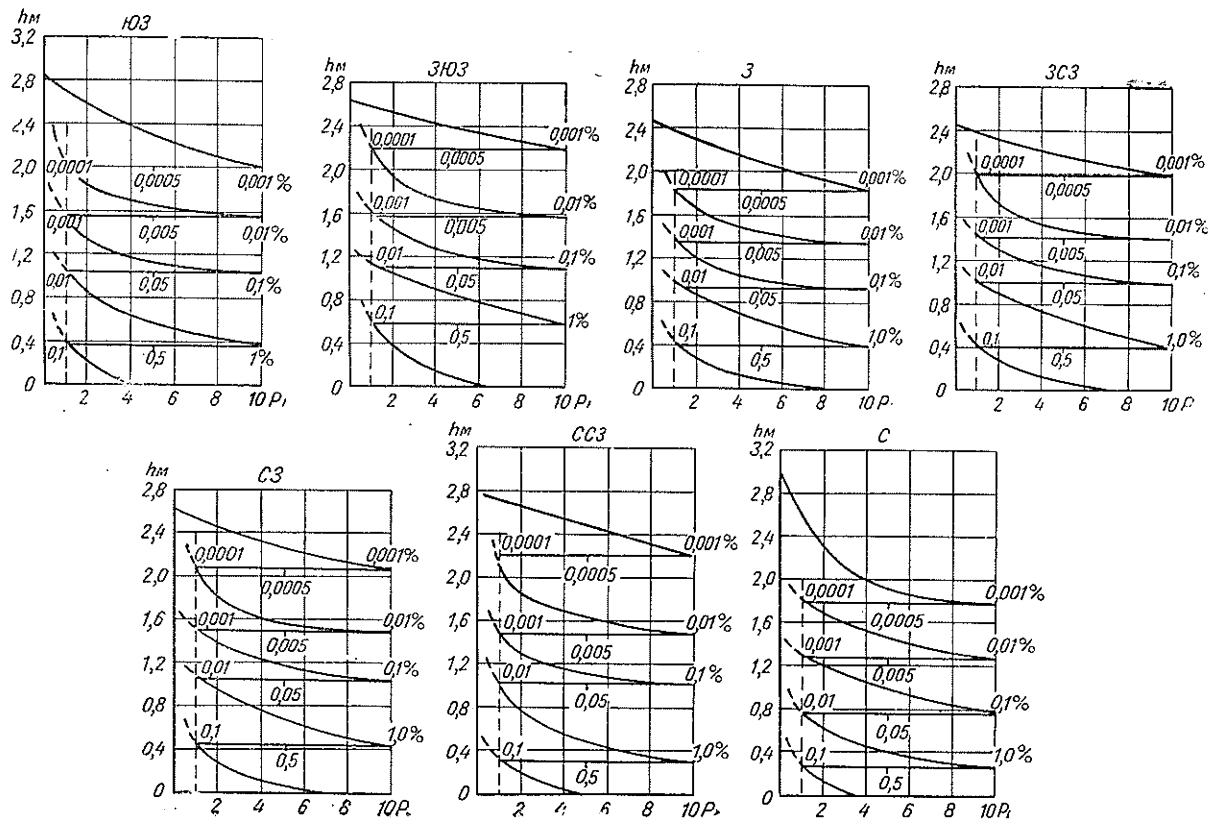


Рис. 7. Частные кривые обеспеченности высоты волны по отдельным румбам.



Он выражается кривыми обеспеченности высот волн, построенными расчетным путем. Расчет в табличной форме (приложение IV) выполнен для тех румбов, которые обращены в сторону водоема и показаны на рис. 5.

В первой графе таблицы даются границы интервалов скорости ветра по расчетной таблице (приложение II), расположенные в убывающем порядке. В последующих графах для каждого из румбов выписывается из той же таблицы повторяемость p ветра данного интервала скоростей. Обеспеченность P нижней границы каждого интервала вычисляется последовательным суммированием повторяемости всех вышерасположенных интервалов. По волновым характеристикам (рис. 6) определяется расчетная высота волны h (см. п. 7), соответствующая этой нижней границе.

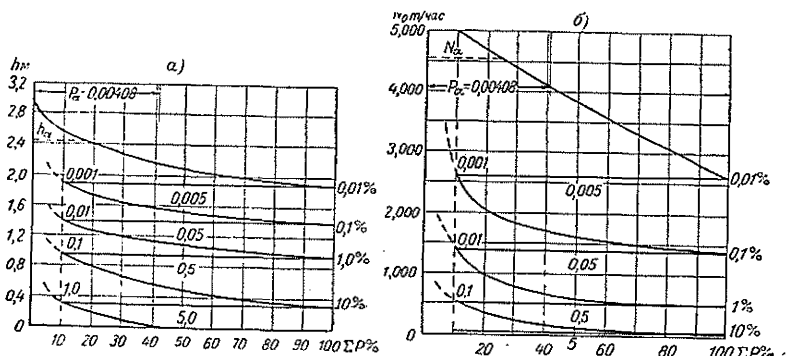


Рис. 8. Суммарная кривая обеспеченности высоты волны (а) и кривая средневзвешенной мощности волн заданной обеспеченности P (б). а) $h_\alpha = 2.44$ (среднее для интервала), б) $N_\alpha = 4560$ (среднее для интервала).

Приложение IV позволяет построить кривые распределения высот волн для каждого из румбов (рис. 7). Для того чтобы пользоваться этими кривыми с равным удобством как в области малых, так и в области больших обеспеченностей, разные части кривых построены в различных, последовательно увеличивающихся масштабах.

10. На основании частных графиков обеспеченности волнения (рис. 7) строится суммарный график обеспеченности путем суммирования по всем расчетным румбам частных обеспеченностей для волн заданной высоты.

Суммарная обеспеченность P приведена в последней графе приложения V, а график суммарной обеспеченности — на рис. 8 а.

Волны, подходящие к краю береговой отмели под углом φ и имеющие на подходе высоту h м, переносят в единицу времени на единицу длины береговой линии (один метр) энергию в количестве

$$\bar{N}_0 = 795h^{2.5} \cos \varphi \text{ т/час.} \quad (2)$$

Эту величину назовем средней расчетной мощностью волны.

Каждой высоте волны h_i , имеющей суммированную по всем румбам обеспеченность P_i , соответствует и свое значение средне-взвешенной мощности \bar{N}_i , определяемое по формуле

$$\bar{N}_i = 795 h_i^{2.5} \frac{\sum_j p_j \cos \varphi_j}{\sum p_j} \quad (3)$$

Входящие в эту формулу величины p_j есть повторяемости волн, лежащих в достаточно малом интервале высот Δh , равном, например, 0,1 м, и содержащим внутри себя значение h_i . Определение p_j производится по графикам обеспеченности (рис. 7), как Δp_j , соответствующая заданному значению Δh . Суммирование производится по всем румбам (рис. 7).

Значения \bar{N}_0 приведены в предпоследней графе приложения V. На рис. 8 б дан график значений \bar{N}_0 для волн различной обеспеченности (горизонтальная шкала). Заметим, что этот график не является кривой обеспеченностей значений \bar{N}_0 , но выражает значение \bar{N}_0 для волн заданной обеспеченности.

11. Характеристики волнения, представленные частными и суммарной кривыми обеспеченности (см. рис. 7 и 8), являются достаточно полными, но они неудобны для практического использования при прогнозе переформирования берегов. В целях упрощения будем характеризовать волновой режим участка берега высотой волны h_i и средневзвешенной мощностью \bar{N}_i для штормов, имеющих условную продолжительность 12 час. и повторяющихся 1, 10, 100 и 1000 раз в 50 лет. Эти штормы и их количественные характеристики h_i и \bar{N}_i обозначим соответственно индексами α , β , γ и δ , или вообще индексом i . Повторяемость штормов p_i выражается следующей формулой:

$$p_i = \frac{i}{\Omega} \% \quad (4)$$

Здесь i для штормов α , β , γ , δ равно соответственно 1, 10, 100, 1000; Ω — продолжительность в днях сезона волнения, т. е. число дней в году, когда водоем свободен от льда и на нем может возникать волнение. В частности, для $\Omega = 245$ дням повторяемость p_i и обеспеченность P_i для штормов α , β , γ , δ имеют значения, приведенные в табл. 1.

Располагая значениями P_i , находим по графику (рис. 8) значения высоты волны h_i и средневзвешенные мощности \bar{N}_i для указанных штормов. Эти величины определяются как средние для ве-

Таблица I

	Шторм			
	α	β	γ	δ
Повторяемость в числе штормов за 50 лет	1	10	100	1000
Обеспеченность в числе штормов за 50 лет	1	11	111	1111
Повторяемость $P\%$	0,00408	0,0408	0,408	4,08
Обеспеченность $P\%$	0,00408	0,0449	0,453	4,53

личин, лежащих в соответствующем интервале обеспеченностей. Так, для случая, изображенного на рис. 8, будем иметь:

$$h_{\alpha} = 2,44 \text{ м} \quad \bar{N}_{\alpha} = 4560 \text{ т/час.}$$

$$h_{\beta} = 1,72 \text{ м} \quad \bar{N}_{\beta} = 2040 \text{ т/час.}$$

$$h_{\gamma} = 1,24 \text{ м} \quad \bar{N}_{\gamma} = 950 \text{ т/час.}$$

$$h_{\delta} = 0,75 \text{ м} \quad \bar{N}_{\delta} = 300 \text{ т/час.}$$

Таким образом, характеристика волнового режима участка берега водохранилища свелась к приведенным выше восьми показателям. Более слабые штормы не оказывают существенного влияния на береговые переформирования и в расчет не вводятся.

Под обозначениями α , β , γ , δ , или вообще i , будем в дальнейшем понимать число штормов указанной силы, например, выражением $\beta = 8$ будем обозначать восьмикратное повторение штормов β .

РАСЧЕТ ПРОФИЛЯ УСТОЙЧИВОЙ БЕРЕГОВОЙ ОТМЕЛИ

12. Линия профиля устойчивой береговой отмели состоит из двух участков: из криволинейного участка bf (рис. 9), распространяющегося от уреза воды при расчетном уровне до глубины H , измеренной при том же уровне и равной глубине размывающего действия расчетной волны, и из прямолинейного участка fd имеющего уклон, равный уклону касательной к кривой bf в точке f

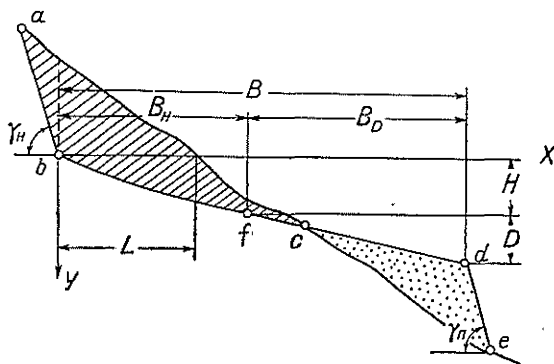


Рис. 9.

и распространяющегося до глубины $H + D$, где D -- величина сработки водохранилища.

13. Кривая bf строится по уравнению

$$x = \frac{y^2}{K} + \frac{y}{m_n}, \quad (5)$$

где K -- параметр, имеющий линейную размерность в метрах, выражается формулой

$$K = \frac{20m_n m_o}{m_n - m_o}. \quad (6)$$

Положение координатных осей показано на рис. 9. Ось X совмещается с линией наивысшего расчетного уровня, ось Y направлена вертикально вниз.

Параметры m_n и m_o , входящие в формулы (5) и (6), представляют уклон пляжа, т. е. уклон береговой отмели на уресе (m_n) и уклон отмели, условно определяемый на глубине 10 м (m_o). Эти параметры зависят от диаметра d крупности частиц, формирующих соответствующую часть отмели, и берутся из таблицы (приложение VI).

В приложении VII даны координаты точек кривой профиля устойчивой отмели, вычисленных по формуле (5) для наиболее распространенных значений m_n и m_o .

Так как при формировании отмели из материала разрушенного берега происходит сортировка этого материала по крупности, в процессе которой наиболее крупные фракции собираются у уреза воды, а мелкие относятся к краю отмели, то m_n определяется по крупным фракциям d_n , содержащимся в размытом волнами материале, а m_o — по мелким фракциям d_o .

Для определения величины d_n и d_o следует построить кривую гранулометрического состава (рис. 10), характеризующую весь объем разрушения. Из всего состава фракций нужно исключить частицы диаметром меньше 0,05 мм, полагая, что эти фракции как наиболее подвижные, не участвуя в формировании отмели, будут вынесены течениями за границы последней. Среднюю крупность из 30% наиболее мелких оставшихся фракций следует принять за d_o , среднюю крупность из 10% наиболее крупных фракций — за d_n .

Если через $P_{0,05}$ обозначить процентное содержание частиц, имеющих диаметр меньше 0,05 мм, то значения P_o и P_n , соответствующие диаметрам частиц меньше d_o и d_n , можно вычислять по приближенным формулам:

$$P_o = 0,85P_{0,05} + 15,$$

$$P_n = 0,05P_{0,05} + 95. \quad (7)$$

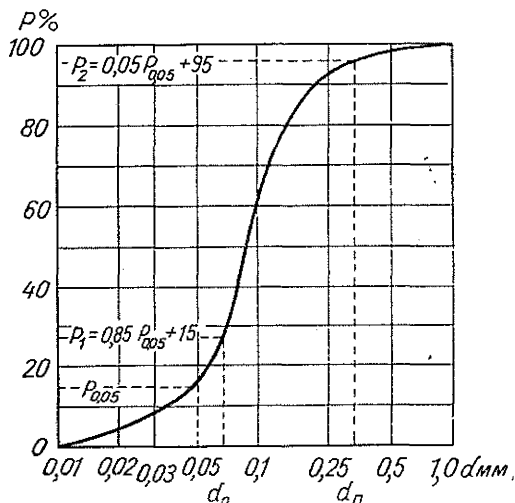


Рис. 10. Кривая гранулометрического состава объема разрушений.

Пользуясь кривой гранулометрического состава (рис. 10), по вычисленным значениям P_0 и P_n находим соответствующие диаметры d_0 и d_n .

Изложенный способ поясняет принципы выбора значений m_0 и m_n . Пользоваться этим способом формально следует при сложном геологическом строении берегового склона. В простых случаях и при обычном отсутствии детальных геологических данных приходится ограничиваться оценкой величины m_0 и m_n на глаз.

Пользуясь приведенными выше обозначениями, напишем в следующем виде выражение для коэффициента аккумуляции:

$$\delta = 100 - P_{0,05} \quad (8)$$

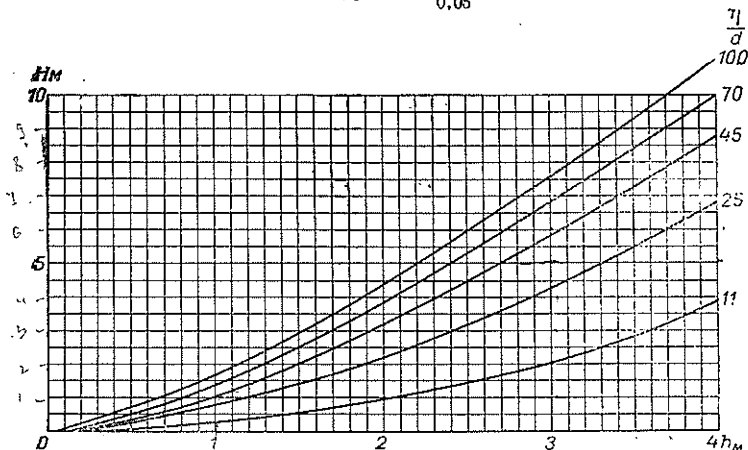


Рис. 11. Зависимость глубины размывающего действия волны H от высоты волны h при различных значениях параметра $\frac{\eta}{d_0}$.

14. Глубина размывающего действия волны¹ H в метрах определяется по приближенной формуле

$$H = 0,64h \operatorname{arsh} 8,1h, \quad (9)$$

где h — высота волны в метрах.

Для облегчения вычисления по этой формуле приводим табл. 2.

h м	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
H м	0,68	1,72	3,00	4,35	5,80	7,30	8,85	10,40

Несколько большую точность дает график зависимости величины H от высоты волны h и от показателя устойчивости частиц, формирующих край отмели $\frac{\eta}{d_0}$ (рис. 11). Значения показателя устойчивости, зависящие от d_0 , приведены в приложении VI.

¹ Подробную расшифровку обозначения H см. в приложении X.

15. Длину горизонтальной проекции криволинейного участка профиля отмели B_H (рис. 9) находим по формуле

$$B_H = \frac{H^2}{K} + \frac{H}{m_n}. \quad (10)$$

Длину горизонтальной проекции прямолинейного участка профиля отмели B_D (рис. 9) находим по формуле

$$B_D = D \left(\frac{2H}{K} + \frac{1}{m_n} \right). \quad (11)$$

Полная ширина береговой отмели будет

$$B = B_H + B_D. \quad (12)$$

Пользуясь формулами (5), (6), графиком (рис. 11) или упрощенной формулой (9), а также формулами (10) и (11), легко построить профиль береговой отмели bd (рис. 1 и 9) по заданным значениям расчетной высоты волны h , величине сработки водохранилища D и значениям уклонов пляжа m_n и отмели m_o .

Уклон подводного берегового склона, т. е. $\text{tg } \gamma_n$ (рис. 1 и 9), рекомендуется принимать равным 0,5. Уклон надводного берегового склона не следует брать более пологим, чем уклон берега в естественном его состоянии. Исключение могут составлять участки, где в результате изменения гидрогеологических условий можно ожидать развития новых оползней или иных геологических процессов (например, просадка лёссов). В этих случаях и при большой высоте берега, измеряемой десятками метров, устойчивость откосов становится самостоятельной проблемой, которая решается методами механики грунтов. В предварительных расчетах и при отсутствии надежных гидрогеологических материалов рекомендуется брать уклон надводного склона, т. е. $\text{tg } \gamma_n$ (рис. 1, 9), при сыпучих, легко размываемых грунтах равный 0,5, а при наличии прослоек из связных или полускальных пород — 1,0.

16. Положение береговой отмели относительно первоначального берега определяется путем совмещения соответствующих профилей, которое осуществляется следующим образом.

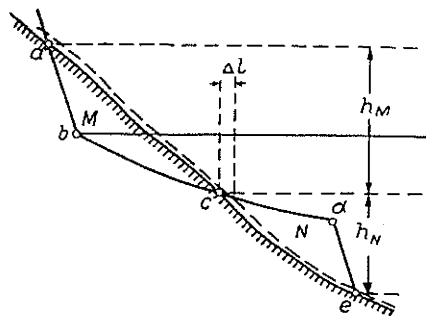


Рис. 12.

1) Вычерчивается профиль первоначального берега и на него наносится горизонт наивысшего расчетного уровня.

2) На прозрачной бумаге вычерчивается в том же масштабе профиль береговой отмели *abfde* с включением подводного и надводного береговых склонов (см. п. 12—15), на котором наносится тот же горизонт воды.

3) Профиль береговой отмели накладывается на профиль первоначального берега с совмещением общего горизонта. Профиль отмели передвигается по линии этого горизонта до такого положения, при котором отношение объема аккумуляции W_a к объему

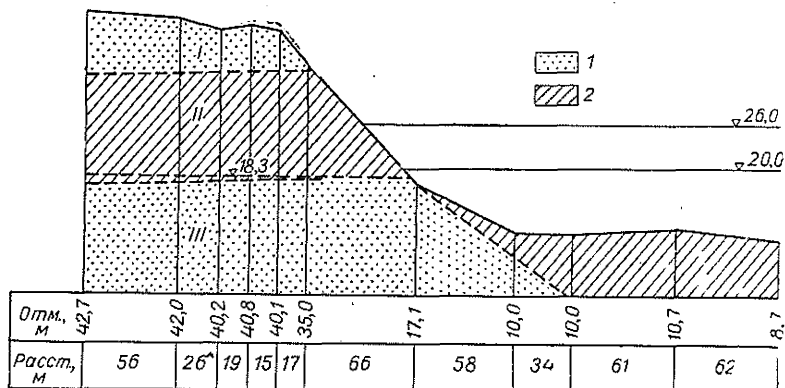


Рис. 13. Геологический профиль.

1 — песок, 2 — суглинок.

разрушения W_p будет равно принятому коэффициенту аккумуляции δ (см. п. 1 и 13). Это положение является искомым. Совмещенные профили имеют вид, представленный на рис. 9, по которому, в частности, может быть определена величина предельного смещения береговой линии L .

17. Для упрощения расчета рекомендуем после первого пробного наложения профилей, в результате которого получается первое приближенное значение объема разрушений M и объема аккумуляции N , переместить наложенный профиль в горизонтальном направлении на величину Δl , равную

$$\Delta l = \frac{N - \delta M}{h_N + \delta h_M} \quad (13)$$

Значения величин h_N и h_M ясны из рис. 12.

Если при первом наложении отношение $N : M$ хотя бы приблизительно равно δ , то поправка по формуле (13) может приниматься как окончательная. Окончательный объем разрушения будет равен

$$W = M + h_M \Delta l \quad (14)$$

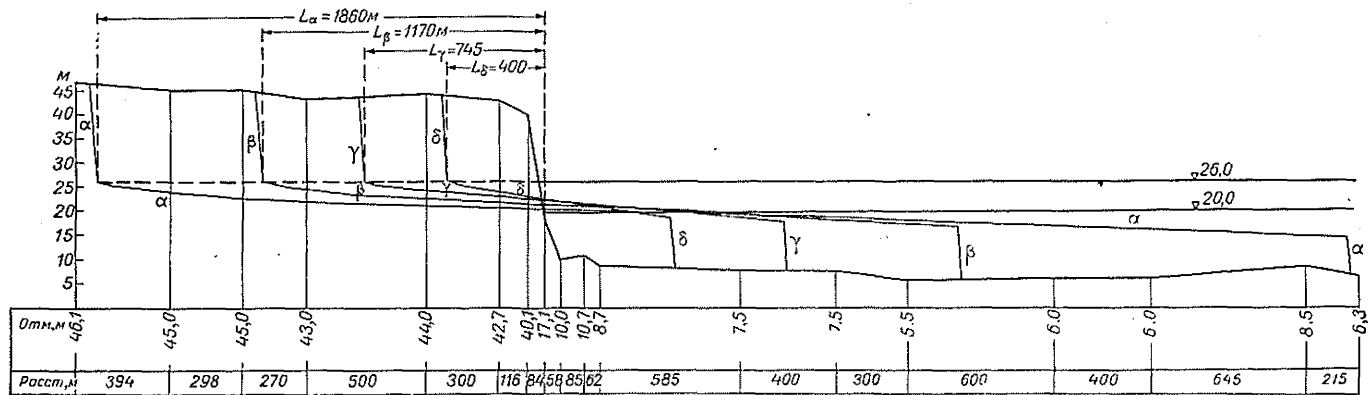


Рис. 14. Первоначальный профиль берега и наложение на него профилей устойчивых отmelей для штормов α , β , γ и δ .

Пример 1. Найдем положение устойчивой береговой отмели для берега, профиль которого и геологическое строение показаны на рис. 13 и 14. Расчетный (наивысший) уровень воды в водохранилище имеет отметку 26,0 м. Сработка водохранилища $D = 6,0$ м. Кривая обеспеченности уровней дана на рис. 15. Волновой режим характеризуется параметрами, приведенными в п. 11.

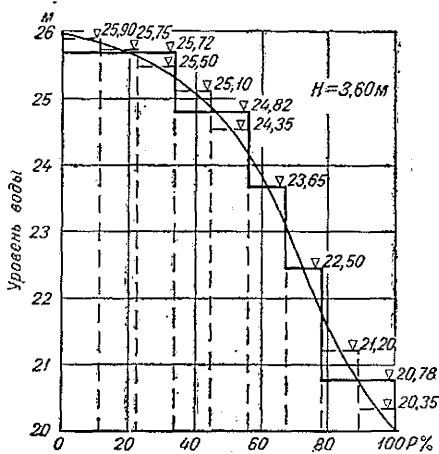


Рис. 15. Кривая обеспеченностей уровней воды и разбивка этой кривой на ступени для установления цикла штормов.

Профиль устойчивой отмели определяется по наибольшей высоте волны, т. е. по h_a . Однако при составлении прогноза приходится ввести в расчет и элементы береговой отмели, созданные и другими характерными штормами. Исходя из этого, определяем положения устойчивой береговой отмели для следующих значений высоты волны: $h_a = 2,44$, $h_b = 1,62$, $h_\gamma = 1,24$, $h_\delta = 0,75$.

Гранулометрический состав трех слоев отложений, образующих берег, дан на рис. 16, где сплошной линией показан гранулометрический состав, суммированный по двум верхним слоям, участвующим в формировании отмели, вычисленный в предположении, что в этой сумме верхний слой песка *I* составляет 36%, слой подстилающего его суглинка *II* — 64% и нижний слой песка *III* в формировании отмели не участвует. Располагая суммарной кривой распределения, находим

$$P_{0,05} = 18\%$$

$$P_0 = 0,85 \times 18 + 15 = 30\%$$

$$P_n = 0,05 \times 18 + 95 = 96\%$$

Отсюда по кривой гранулометрического состава находим

$$d_0 = 0,070, \quad d_n = 0,29.$$

Значения уклонов отмели и пляжа находим по приложению VI

$$m_0 = 0,001, \quad m_n = 0,07.$$

Коэффициент аккумуляции по формуле (8) равен

$$\delta = 100 - 18 = 82\%.$$

Глубину размывающего действия волны для четырех указанных выше значений h находим по рис. 11, учитывая, что для мелких частиц, формирующих край отмели, $\frac{\eta}{d} = 100$:

$$\begin{aligned} \text{при } h_a &= 2,44 \text{ м} & H_a &= 5,75 \\ \text{„ } h_p &= 1,72 \text{ м} & H_p &= 3,60 \\ \text{„ } h_\gamma &= 1,24 \text{ м} & H_\gamma &= 2,30 \\ \text{„ } h_s &= 0,75 \text{ м} & H_s &= 1,25 \end{aligned}$$

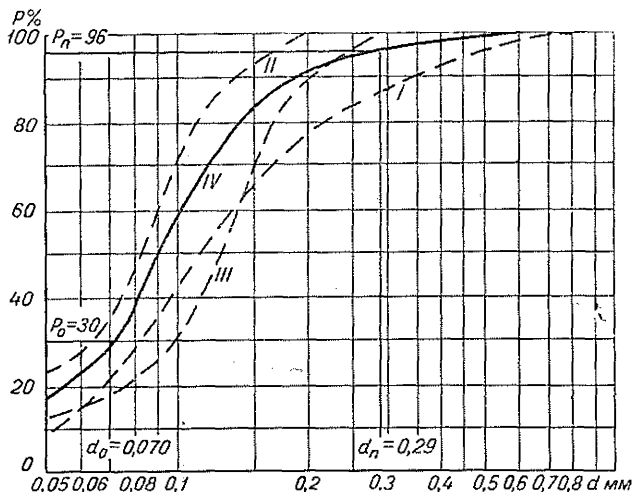


Рис. 16. Кривая гранулометрического состава объема разрушений к геологическому профилю (рис. 13).

I — гранулометрический состав верхнего слоя песков, II — гранулометрический состав слоя суглинков, III — гранулометрический состав песков нижнего слоя, IV — суммарная расчетная кривая гранулометрического состава.

По формулам (10) и (11) находим значение ширины отмели для криволинейного и прямолинейного участков профиля, учитывая, что в соответствии с формулой (6)

$$K = \frac{20 \times 0,07 \times 0,001}{0,07 - 0,001} = 0,0203.$$

Результат расчетов сведен в табл. 3.

Линию профиля береговой отмели строим по приложению VII для $m_n = 0,07$ и $m_o = 0,001$. Руководствуясь данными табл. 3 и принимая согласно п. 15 $\text{tg } \gamma_n = 0,5$ и $\text{tg } \gamma_n = 1,0$, строим весь профиль береговой устойчивой отмели для всех расчетных штормов (рис. 17).

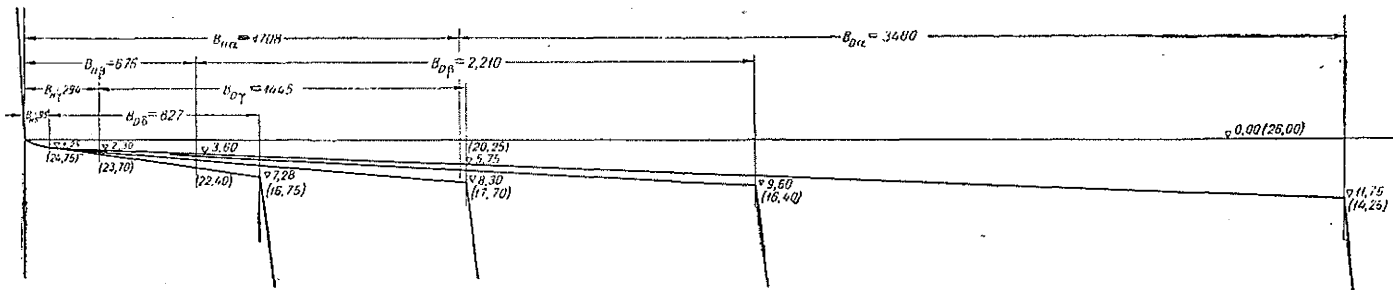


Рис. 17. Профили устойчивых отмелей для штормов α , β γ и δ .

Таблица 3

Шторм	H м	B_H м	B_D м	$B = B_H + B_D$ м	$H + D$
α	5,75	1708	3480	5188	11,75
β	3,60	676	2210	2886	9,60
γ	2,30	294	1445	1739	8,30
δ	1,25	95	827	922	7,25

Накладывая линии профиля береговой отмели и линию профиля первоначального берега так, как это указано в п. 16 и 17, находим следующие значения предельного объема разрушения W и предельного смещения береговой линии L (табл. 4 и рис. 14).

Таблица 4

Шторм	W м ²	L м
α	39750	1860
β	22830	1170
γ	13350	745
δ	6750	400

ЦИКЛ ШТОРМОВ И БЕРЕГОФОРМИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ОТДЕЛЬНОГО ШТОРМА И ЦИКЛА ШТОРМОВ

18. При составлении прогноза береговых переформирований возникает промежуточная задача — определение объема разрушения w_1^1 , соответствующего периоду существования водоема, выраженному или в измерителях времени t_1 (часы, годы) или в числе штормов i . Эта задача решается суммированием размывов нескольких последовательно действующих штормов, подобранных так, чтобы они достаточно полно характеризовали действительную или условно выбранную обстановку формирования берега. Такую группу штормов будем называть циклом штормов.

В рассмотренной ниже методике прогнозирования делается расчет действия цикла, составленного из штормов одинаковой силы (см. п. 11) и отображающего влияние на величину размыва только характера сработки водохранилища. Влияние на размыв разнообразия штормов учитывается дополнительно.

При составлении цикла штормов необходимо определить число штормов, соответствующее отметке уровней, и последовательность штормов в цикле.

Число штормов в цикле n должно возрасти с увеличением сработки водохранилища. Последнюю целесообразно оценивать отношением абсолютной величины сработки D к глубине размывающего действия волны H (см. п. 14). Для определения числа 12-часовых штормов можно рекомендовать следующую формулу:

$$n = 3,0 \left(1 + \frac{D}{H} \right). \quad (15)$$

Отметки уровней штормов определяются разбивкой кривой обеспеченности уровней (см. рис. 15) на n частей вертикальными равностоящими линиями.

Чередование штормов в цикле рекомендуется устанавливать в порядке нарастания уровней от низких к высоким.

¹ В дальнейшем изложении речь идет об объеме разрушения $W_p = w$.

В целях избежания неоправданных усложнений в расчетах рекомендуется объединить на общей средней отметке уровней те штормы, разность отметок которых не превышает 1 м.

Пример 2. Используем данные примера 1: $D = 6,0$ м и $H_6 = 3,6$ м.

По формуле (15) находим $n = 9$. Разбивка кривой обеспеченности уровней на 9 интервалов вертикальными (пунктирными) линиями показана на рис. 15. После объединения смежных штормов, разность уровней которых не превышает 1 м, и придания объединенным штормам средних отметок уровней получаем цикл штормов (на рис. 15 сплошная ступенчатая линия), приведенный в табл. 5.

Таблица 5

№ шторма	Отметка шторма, м	Продолжительность шторма, часы
1—2	20,78	24
3	22,50	12
4	23,65	12
5—6	24,82	24
7—8—9	25,72	36

19. Береговые переформирования, вызванные действием одного шторма, характеризуемого высотой волны, отметкой уровня и продолжительностью, рассматриваются как этап развития береговой отмели, завершающийся в конечном итоге образованием устойчивой отмели шириной B_H (см. п. 15). Рассматриваемый этап начинается при ширине береговой отмели b_0 и заканчивается при ширине b_k . В любой момент развития отмели, определяемой ее шириной b , линия профиля отмели выражается уравнением

$$x = \frac{b}{B_H} \left(\frac{y^2}{K} + \frac{y}{m_H} \right) \quad (16)$$

(обозначения см. п. 13).

Любое промежуточное положение береговой отмели относительно начального профиля берега определяется согласно п. 16 и 17. Каждому промежуточному положению береговой отмели соответствует свой объем разрушения w и своя величина смещения береговой линии l . Эти величины получают по графикам совмещенных профилей. Имея графическое выражение закона изменения величины w в зависимости от b , легко получить значение отношения $\Delta w : \Delta b$ для любого значения b , которое в дальнейшем будем обозначать w' .

20. Время Δt , в течение которого ширина береговой отмели возрастает от b_n до b_{n+1} под действием волны мощностью \bar{N}_0 (см. п. 10), определяется по формуле

$$\Delta t = \frac{\varepsilon B w'}{\bar{N}_0} \ln \frac{B - b_n}{B - b_{n+1}} \quad (17)$$

Это уравнение, решенное относительно b_{n+1} , будет выглядеть так:

$$b_{n+1} = B - (B - b_n) e^{-\frac{N_0 \Delta t}{\epsilon B w'}}. \quad (18)$$

Формулы (17), (18) применимы в таком интервале значений b , в котором величина w' может приблизительно считаться постоянной. Входящая в уравнение величина ϵ есть коэффициент сопротивления породы волновому воздействию, значения которого приводятся в приложении VIII. В расчет вводится средневзвешенное значение этого коэффициента, определенное для всего берегового массива.

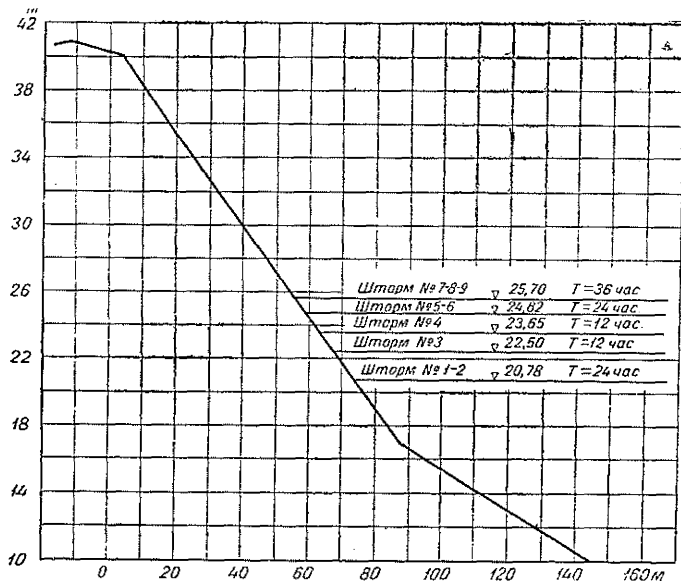


Рис. 18. Первоначальный профиль берега и положения уровней воды, соответствующие различным штормам цикла.

Последовательность расчета действия отдельного шторма и цикла штормов показана в следующем примере.

Пример 3. Рассчитаем берегоформирующее действие цикла штормов β , установленного в примере 2 (см. табл. 5). Размеры расчетной волны, форму начального профиля и его геологическое строение сохраним по примеру 1. Отсюда следует, в частности, что $H_{\beta} = 3,60$ м, $B_{\beta} = 676$ м, $\bar{N}_{\beta} = 2040$ т/час, $\delta = 0,82$.

Средневзвешенное значение коэффициента сопротивления ϵ , отнесенное ко всему береговому массиву, определяется на основании геологического профиля, приведенного на рис. 13, и частных значений этого коэффициента (приложение VIII).

Полагаем, как и в примере 1, что 36% разрушенного объема берега будет представлено песками. Эти пески будут перерабаты-

ваться волной в состоянии осыпи, для которой среднее значение $\varepsilon = 75 \text{ т/м}^2$. Будем считать, что из оставшихся 64% объема, представленного суглинками, 40% будет перерабатываться волной в ненарушенном состоянии, чему соответствует среднее значение $\varepsilon = 750 \text{ т/м}^2$, и 24% — в нарушенном состоянии, чему соответствует среднее значение $\varepsilon = 150 \text{ т/м}^2$. Исходя из этого, получаем следующее средневзвешенное значение $\bar{\varepsilon}$, которое и вводим во все дальнейшие расчеты:

$$\bar{\varepsilon} = 0,36 \times 75 + 0,40 \times 150 + 0,20 \times 750 = 363 \text{ т/м}^2.$$

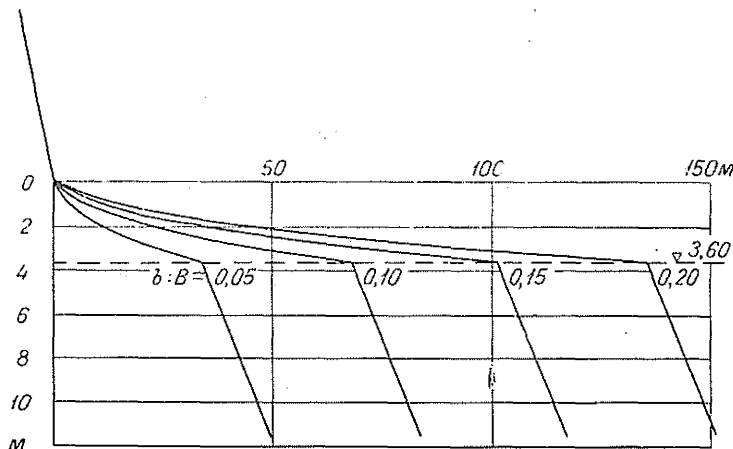


Рис. 19. Промежуточные профили береговой отмели, соответствующие различным значениям $b : B$ применительно к шторму β .

Для приведенных частных значений B , \bar{N} и $\bar{\varepsilon}$ уравнение (17) принимает следующее частное выражение:

$$\Delta t = 120\tau' \ln \frac{676 - b_n}{676 - b_{n-1}}.$$

Для уточнения и удобства графических построений первоначальный профиль берега (рис. 13 и 14) перестраиваем в более крупном масштабе в той его части, которая может быть подвергнута переработке в результате действия расчетного цикла штормов (рис. 18). На рис. 19 построены в том же масштабе промежуточные профили отмели по формуле (16) для ряда значений $b : B$.

После этих предварительных построений переходим к расчету действия отдельных штормов.

Шторм № 1—2. Волнение развивается на отметке 20,78 м и продолжается в течение 24 часов.

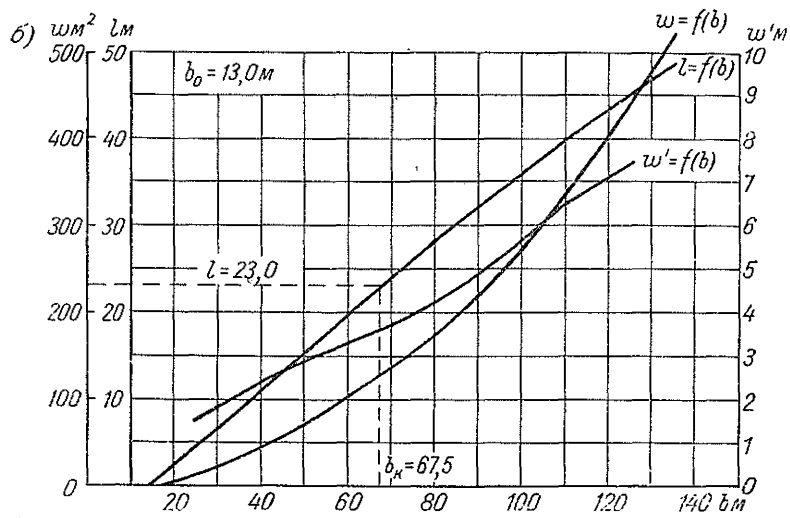
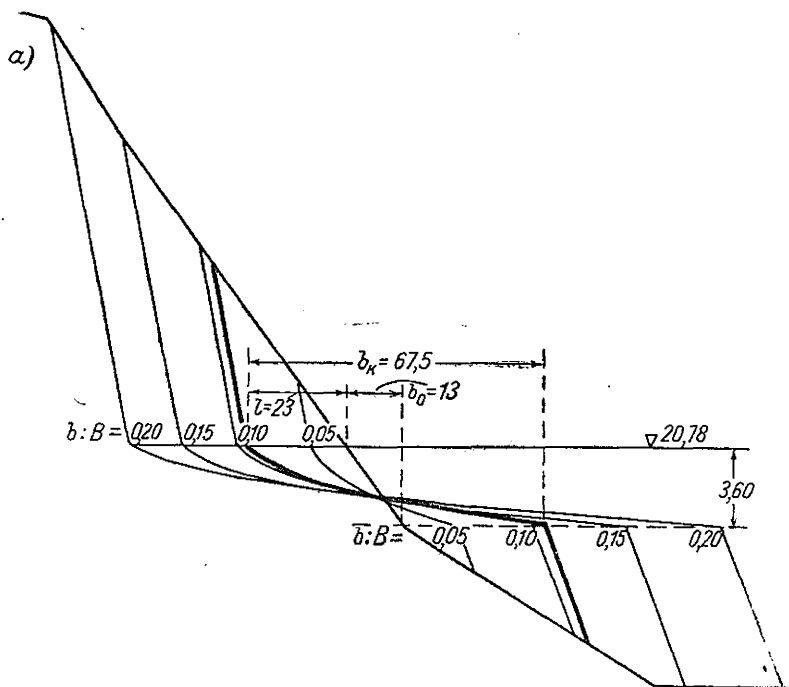


Рис. 20. Расчет действия штормов № 1—2.

Совмещаем промежуточные профили (рис. 19) с начальным профилем берега (рис. 18), накладывая горизонтальную ось первого профиля на горизонт воды 20,78 и соблюдая правила п. 16. Эти наложения, сделанные в первом приближении, показаны на рис. 20а. Этот чертеж целесообразно выполнить на прозрачной бумаге. Площади M и N , а также величины h_M и h_N (см. рис. 12, п. 17), полученные в результате первых наложений, приведены в табл. 6. В той же таблице дана величина смещения береговой линии l , полученной в первом приближении. Уточнить значения l и w можно путем вычисления по формулам (13) и (14).

Зависимости $w = f(b)$ и $l = f(b)$ графически представлены на рис. 20б. На том же рисунке дана зависимость $w' = f(b)$, полученная графически путем как отношение $\Delta w : \Delta b$. Последняя зависимость позволяет приступить к вычислению значения Δt по формуле (17) или по частному выражению этой формулы. Подсчет значений Δt и суммарных значений t , соответствующих различным заданным значениям b , приведен в табл. 7.

Расчет ведется по произвольно задаваемым достаточно малым интервалам значений b_n и b_{n+1} , причем первое значение b , которое будем обозначать b_0 , есть начальная ширина отмели, т. е. длина участка начального профиля берега, расположенного между урезом воды и глубиной действия волны H (рис. 20а и 21а). Как видно из табл. 7, значению $b = 60$ м соответствует $t = 19,02$ час., а значению $b = 70$ м — $t = 29,90$ час. Путем интерполяции находим, что времени $t = 24,0$ час. соответствует $b = 67,5$ м.

Эта величина и есть искомая конечная ширина отмели, образованная действием штормов № 1 и 2. Линию этого профиля находим по графику (рис. 19). Положение конечного профиля отмели относительно начального профиля берега находим по величине смещения береговой линии l по графической зависимости $l = f(b)$. Положение искомой отмели показано на рис. 20а.

Шторм № 3. Волнение развивается на отметке 22,50 м и продолжается 12 часов. Весь расчет ведется так же, как расчет действия штормов № 1—2, с той лишь разницей, что в качестве начального профиля берега принимается профиль, образовавшийся после штормов № 1 и 2, и что совмещение профиля берега и промежуточных профилей отмели производится при отметке уровня воды 22,50. Расчеты действия шторма № 3 приведены в табл. 8, а графические построения даны на рис. 21.

Подобным же образом делается расчет действия всех остальных штормов цикла.

На рис. 22 приведены последовательные стадии развития отмели.

Вся область окончательной переработки (рис. 22е) может быть разделена на три части: а) объем разрушения w , выделенный на рисунке штриховкой, б) область аккумуляции, выделенная на рисунке точками, и в) промежуточная область, ограниченная снизу пунктирной линией. Эта область была размыта первыми штормами цикла и закрыта

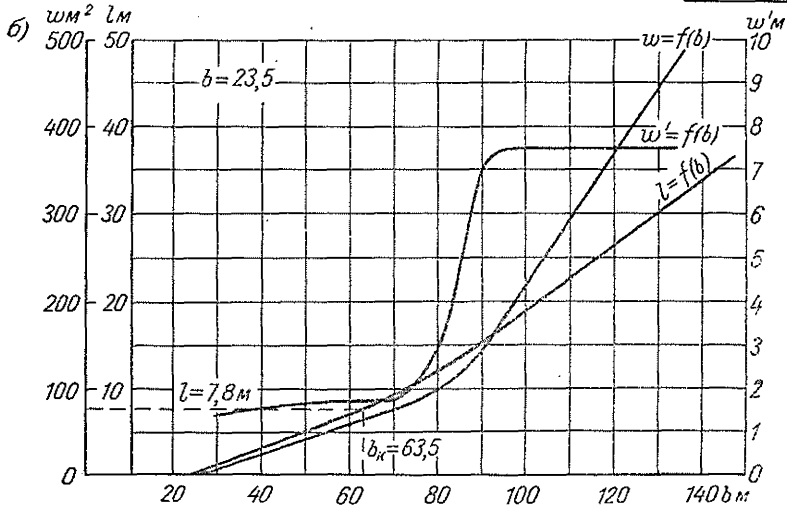
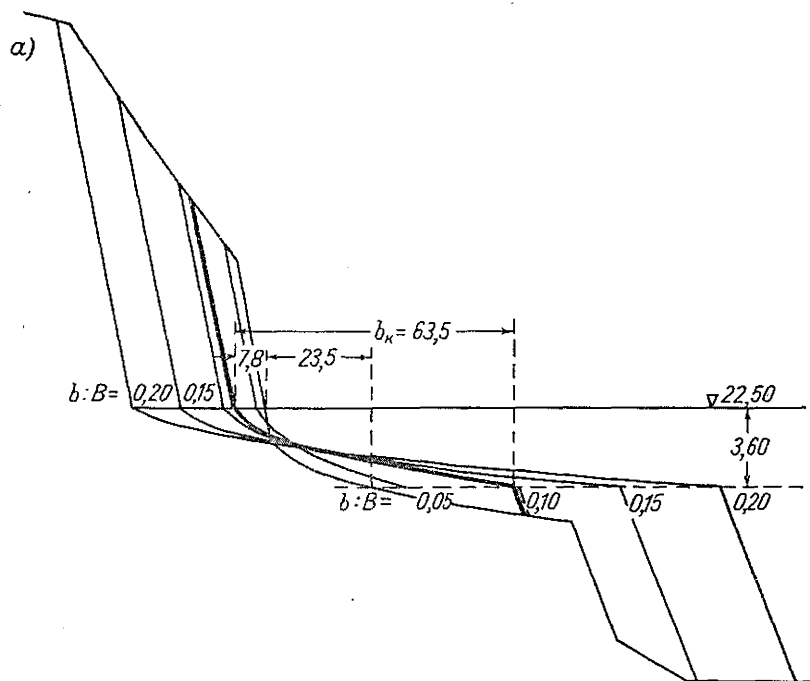


Рис. 21. Расчет действия шторма № 3.

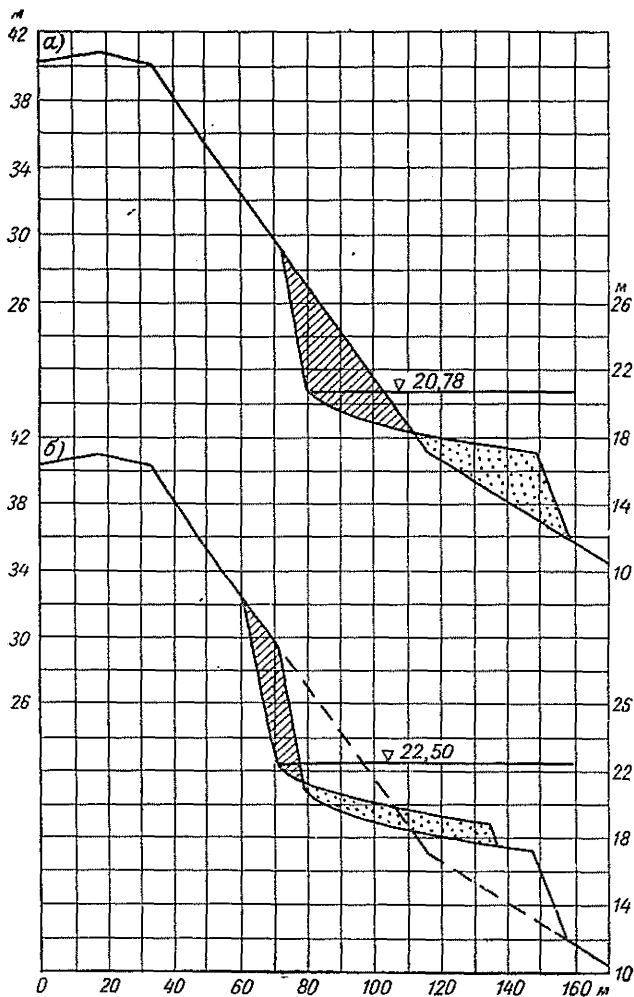


Рис. 22 а, б. Развитие береговой отмели в результате действия цикла штормов.
 а — шторм №-1-2, $T = 24$ часа; б — шторм № 3, $T = 12$ час.

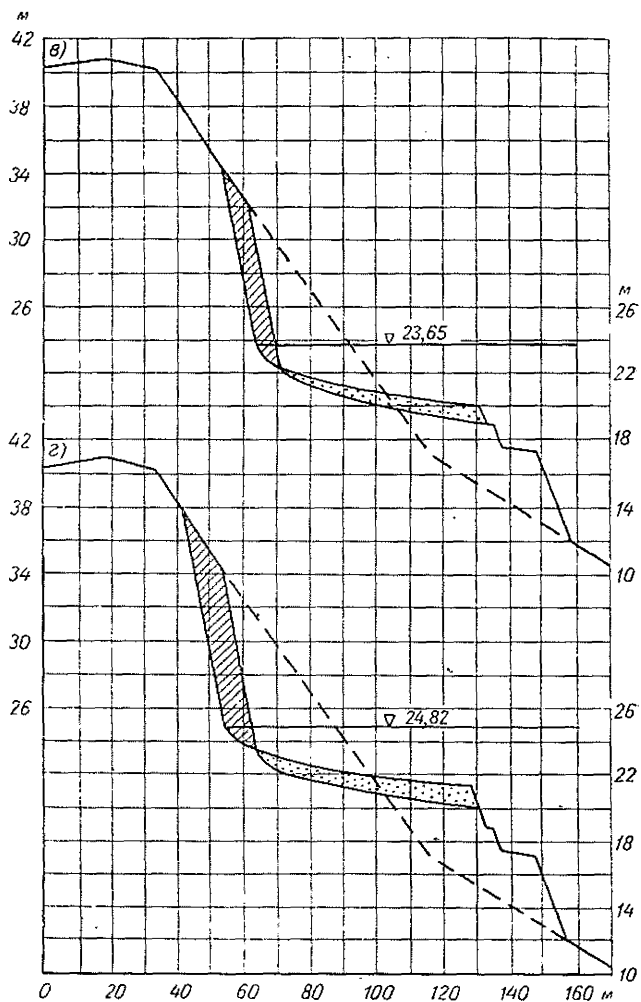


Рис. 22 а, з. Развитие береговой отмели в результате действия цикла штормов.
 а — шторм № 4, $T = 12$ час; з — шторм № 5–6, $T = 24$ часа.

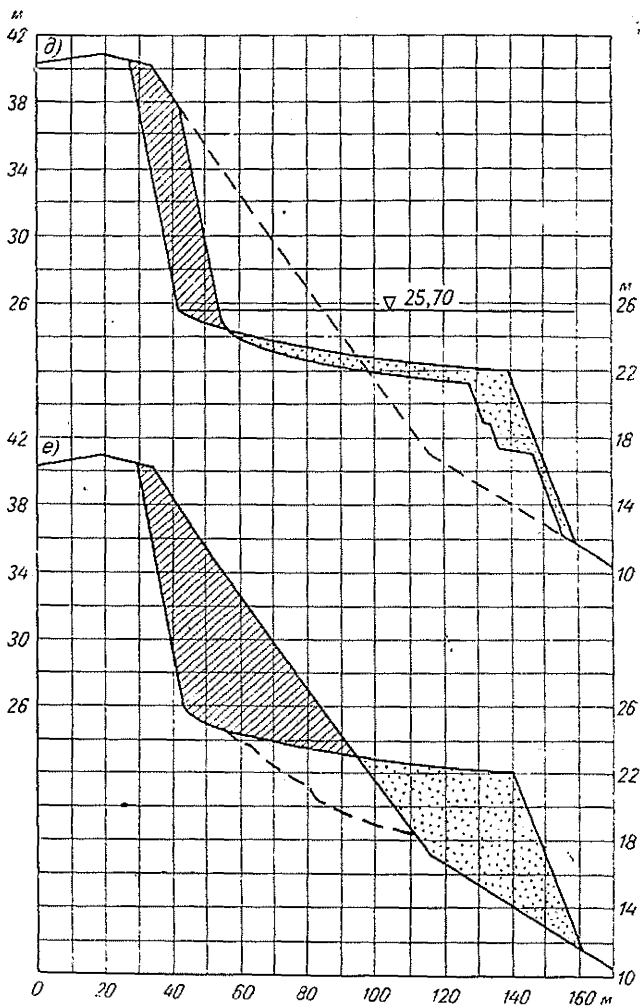


Рис. 22 *д, е*. Развитие береговой отмели в результате действия цикла штормов.
д — шторм № 7 — 9, $T = 36$ час., *е* — результат действия всего цикла штормов, $\Sigma T = 108$ час.

отложениями при последующих штормах. Площадь этой области не учитывается при определении объема разрушения W , соответствующего рассмотренному циклу штормов.

Вследствие недостаточной точности графических построений отношение непосредственно полученных объемов аккумуляции и разрушения оказалось не равным заданному коэффициенту аккумуляции $\delta = 0,82$.

Величины, полученные непосредственным расчетом, оказались равными (пользуясь обозначениями п. 17) $M = 431 \text{ м}^2$; $h_M = 17,5 \text{ м}$; $N = 310 \text{ м}^2$; $h_N = 11,1$; $l_1 = 44,0 \text{ м}$.

После внесения поправок по формулам п. 17 получаем

$$\Delta l = \frac{310 - 0,82 \times 431}{11,1 + 0,82 \times 17,5} = -1,73 \text{ м},$$

$$l = 44 - 1,73 = 42,3 \text{ м},$$

$$w = 431 - 1,73 \times 17,5 = 401 \text{ м}^2$$

Таблица 6

$b : B$	$b \text{ м}$	$M \text{ м}^2$	$h_M \text{ м}$	$N \text{ м}^2$	$h_N \text{ м}$	$l_1 \text{ м}$	$\Delta l \text{ м}$	$l \text{ м}$	$w \text{ м}^2$
0,05	33,8	27,2	5,4	22,7	3,4	7,8	+0,05	7,9	27,5
0,10	67,6	145	11,6	95,8	6,2	25,0	-1,48	23,5	128
0,15	101,4	306	16,3	222	8,5	37,8	-1,32	36,5	284
0,20	135,2	520	21,2	429	8,6	49,0	0,0	49,0	520

Таблица 7

$b \text{ м}$	$w' \text{ м}$	$\ln \frac{676 - b_n}{676 - b_{n+1}}$	$\Delta t \text{ час.}$	$t \text{ час.}$
13				0,0
	0,80	0,0122	1,17	1,17
20	1,50	0,0154	2,78	3,95
30	2,13	0,0156	3,99	7,94
40	2,66	0,0158	5,05	12,99
50	3,12	0,0161	6,03	25,90
70				

$$b_x = 60 + \frac{10 \times 4,98}{6,88} = 67,5$$

$$l = 23,0$$

Таблица 8

$b : B$	b м	M м ²	h_M м	N м ²	h_N м	l_1 м	Δl м	l м	w м ³
0,05	33,8	16	8,3	17,4	3,1	2,0	+0,4	2,4	19,5
0,10	67,6	90	11,4	54,5	3,6	9,5	-1,5	8,0	72,9
0,15	101,4	226	15,9	190,5	10,8	19,5	+0,2	19,7	229
0,20	135,2	448	19,3	40,5	10,80	30,5	+1,8	32,3	483

Таблица 9

b м	w' м	$\ln \frac{676 - b_n}{676 - b_{n+1}}$	Δt час.	t час.
23,5				0,00
30	1,35	0,0108	1,75	1,75
40	1,50	0,0156	2,80	4,55
50	1,61	0,0158	3,05	7,60
60	1,68	0,0161	3,25	10,85
70	1,70	0,0163	3,32	14,17

$$b_k = 60 + \frac{10 \times 1,15}{3,32} = 63,5 \text{ м}$$

$$l = 8,0$$

Глава IV

ПРОГНОЗ БЕРЕГОВЫХ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЙ

21. Располагая схематизированными выражениями волнового режима водохранилища и режима его уровней, используя уравнение (17), позволяющее определять берегоформирующее действие отдельного шторма, а также действие схематизированного цикла штормов, можно составить обоснованные прогнозы береговых переформирований на любой срок. Однако строго обоснованные приемы расчета связаны с выполнением трудоемких вычислений и построений и поэтому имеют лишь теоретический интерес.

Практические рекомендуемые расчетные приемы базируются на некоторых упрощающих предположениях, допустимость которых с точки зрения точности получаемых результатов находится в соответствии с точностью исходных данных, а также с практическими требованиями, предъявляемыми к расчетам. Составление прогноза сводится к выполнению двух последовательных расчетов:

а) расчета наиболее вероятного размыва, который должен ориентировать в размерах береговых переформирований в том случае, если в течение рассматриваемого перспективного срока реальное волнение будет в точности соответствовать волновому режиму, определенному путем обработки материалов натуральных наблюдений за ветром по предшествующему периоду (см. раздел II);

б) ориентировочной оценке возможных отклонений от наиболее вероятного размыва, вызванных случайным характером чередования штормов.

22. В основу расчетов объемов разрушения w , относящихся к отдельным срокам прогнозирования, измеряемым или годами t или соответствующим числом штормов i , кладется предположение, что объем разрушения w , полученный в результате многократного повторения одинаковых штормов i , равен

$$w_i = W_i (1 - e^{-x_i i}) \quad (19)$$

или, в случае выражения времени годами,

$$w_i = W_i (1 - e^{-x_i t}). \quad (20)$$

Формулы (19) и (20) используются в дальнейшем и в том случае, если отсчет времени (t или i) начинается не от нулевого значения объема разрушения, а с некоторого начального значения w_0 . В этом случае формула (19) будет иметь следующий вид:

$$w_i = W_i \left[1 - \left(1 - \frac{w_0}{W_i} \right) e^{-x_i i} \right]. \quad (21)$$

В дальнейшем формулу (21) будем распространять и на случай, когда разрушение берега в объеме w_0 произошло в результате действия любого шторма или любого сочетания штормов различной силы, а не только в результате действия штормов i .

23. Входящий в выражение показатель степени формул (19) и (20) коэффициент x определяется по формуле

$$x_i = -\frac{1}{i_1} \ln \left(1 - \frac{w_1}{W_i} \right). \quad (22)$$

В этой формуле i_1 и w_1 есть число штормов и соответствующий этому числу штормов объем разрушений, полученный путем расчета действия цикла штормов (см. раздел IV). Имея значение коэффициента x_i , определенного этим способом для штормов i , можно вычислить этот же коэффициент для любого иного шторма j , пользуясь формулой

$$x_j = x_i \frac{W_i \bar{N}_{0j} B_{Hi} (B_{Hj} - b_{0j})}{W_j \bar{N}_{0i} B_{Hj} (B_{Hi} - b_{0i})}. \quad (23)$$

В этой формуле W_i и W_j — предельный объем разрушения, соответствующий штормам i и j , помещенный с учетом сработки водохранилища (см. пример 1, табл. 4); \bar{N}_{0i} и \bar{N}_{0j} — средневзвешенная мощность волн штормов i и j [см. п. 10, формулу (3), и п. 11]; B_{Hi} и B_{Hj} — длина горизонтальной проекции криволинейного участка профиля береговой отмели, образованной штормами i и j (см. п. 15 и пример 1, табл. 3); b_{0i} и b_{0j} — ширина начальной отмели (см. пример 3 и рис. 20а и 21а).

Пример 4. Определить значения коэффициента x для штормов α , β , γ , δ , исходя из условий примеров № 1, 2 и 3.

Значение x_β определяем, пользуясь расчетным действием цикла штормов β (см. пример 3), из которого следует, что при $\beta_1 = 9$ объем разрушения $w_1 = 401 \text{ м}^2$. Кроме того, из примера 1 следует, что $W_\beta = 22830 \text{ м}^2$ (см. пример 1, табл. 4). Подставляя эти значения в формулу (22), получаем

$$x_\beta = -\frac{1}{9,0} \ln \left(1 - \frac{401}{22830} \right) = 0,01977.$$

Значения коэффициента x для остальных штормов определяем по формуле (23), в которой под штормом i понимается шторм β . Зна-

чения входящих в эту формулу величин приведены в табл. 10. В этой же таблице дан подсчет значений коэффициента α .

Таблица 10

j	\bar{N}_0 т/час	W м ²	B_H м	b_0 м	$B_H - b_0$ м	α
α	4560	39750	1708	21	1683	0,00255
β	2040	22830	677	13	664	0,00198
γ	950	13350	294	7	287	0,00157
δ	300	6750	95	5	90	0,00095

Расчет наиболее вероятного размыва

24. Объем наиболее вероятного разрушения за время T лет определяется по формуле (21) путем последовательного ее применения к группам одинаковых штормов, в своей совокупности представляющим всю картину наиболее вероятного волнения за указанный период. Разбивка на группы и чередование этих групп оказывает некоторое влияние на результат расчета, не меняя его существенно. Рекомендуемый ниже порядок расчета позволяет получить результат с небольшой затратой сил и с разумным запасом в сторону завышения объемов. Этот порядок состоит в следующем.

Прогнозы даются на сроки 12,5, 25, 50, 100 и 200 лет.

Первому из них соответствует следующая совокупность штормов: $\delta = 250$, $\gamma = 25$, $\beta = 2,5$, $\alpha = 0,25$. По формуле (21) определяем значение w_δ , соответствующее $\delta = 250$, и полагая в ней $w_0 = 0$, $W_i = W_\delta$ и $\alpha_i = \alpha_\delta$.

Полученное значение $w_{\delta=250}$ принимаем за w_0 и, исходя из этого, вычисляем по формуле (21) величину w_γ , соответствующую $\gamma = 25$, полагая в этой формуле $W_i = W_\gamma$ и $\alpha_i = \alpha_\gamma$. Полученный новый объем w_γ , являющийся результатом действия 250 штормов δ и 25 штормов γ , принимаем за w_0 для аналогичного дополнительного учета штормов β . Подобным же образом учитываем действие штормов α . Полученный таким образом размыв и есть размыв, соответствующий сроку $T = 12,5$ лет.

Переходя к расчету объема разрушения за срок $T = 25$ лет, поступаем подобным же образом, но начинаем расчет не с $w_0 = 0$, а с объема, полученного по расчету за 12,5 лет, и налагаем в той же последовательности размывы от дополнительных штормов, действующих в период между 12,5 и 25 годами, т. е. от 250 штормов δ , 25 штормов γ , 2,5 штормов β и 0,25 штормов α . Подобный же расчет производится для периодов $T = 50$, $T = 100$ и $T = 200$ лет. Результат расчета приводим в виде графика зависимости $w = f(T)$, пример которого приводится на рис. 23.

25. Форма поперечного профиля, соответствующего полученному расчетом значению w , и положение его относительно первоначаль-

ного профиля берега определяется путем построения промежуточных профилей для штормов α и наложением их на первоначальный профиль берега, согласно п. 19, применительно к отдельному шторму. Отличие заключается в том, что в этом случае промежуточные профили распространяются не только на криволинейную, но и на прямолинейную часть профиля, т. е. строятся с учетом сработки водохранилища D . Если абсциссу точки устойчивого профиля, соответствующего ординате z , обозначить через x_B , то абсцисса x_b точки проме-

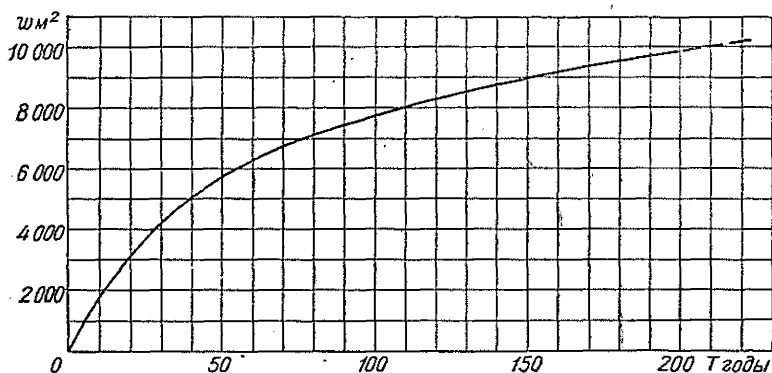


Рис. 23. Кривая наиболее вероятных размывов.

жуточного профиля, полная ширина которого равна b , для той же ординаты z равна

$$x_b = \frac{b}{B} x_B. \quad (24)$$

Пример 5. Рассчитать положение береговой отмели для условий, принятых в примерах 1—4, на сроки T , равные 12,5, 25, 50, 100 и 200 годам.

Расчет объемов разрушения w на указанные сроки для приведенных ниже значений W_i и x_i дан в табл. 11.

$$W_\alpha = 39750 \text{ м}^2 \quad x_\alpha = 0,00255$$

$$W_\beta = 22830 \text{ м}^2 \quad x_\beta = 0,00198$$

$$W_\gamma = 13350 \text{ м}^2 \quad x_\gamma = 0,00157$$

$$W_\delta = 6750 \text{ м}^2 \quad x_\delta = 0,00095$$

Расчет ведется по формуле (21). Каждая строка табл. 11 представляет расчет действия совокупности одинаковых штормов, указанной в графе 1. В графе 2 дается начальный объем разрушения w_0 и в последней — тот объем разрушения w_i , который получен в результате наложения на первоначальный объем результатов дей-

ствия указанной совокупности штормов. Полученный конечный разрыв переносится в начало следующей строки (графа 2) и рассматривается как начальный разрыв для последующей группы штормов.

Таблица 11

i	$w_0 \text{ м}^2$	$\frac{w_0}{W_i}$	$1 - \frac{w_0}{W_i}$	$e^{-x_i i}$	$\left(1 - \frac{w_0}{W_i}\right) e^{-x_i i}$	$\frac{w_i}{W_i}$	w_i
$T = 12,5 \text{ лет}$							
$\delta = 250$	0	0	1	0,788	0,788	0,212	1432
$\gamma = 25$	1432	0,108	0,892	0,962	0,858	0,142	1890
$\beta = 2,5$	1890	0,0826	0,917	0,995	0,910	0,090	2060
$\alpha = 0,25$	2060	0,0518	0,948	0,999	0,947	0,053	2110
$T = 25 \text{ лет}$							
$\delta = 250$	2110	0,312	0,688	0,788	0,543	0,457	3080
$\gamma = 25$	3080	0,233	0,767	0,962	0,739	0,261	3470
$\beta = 2,5$	3470	0,152	0,848	0,995	0,845	0,155	3540
$\alpha = 0,25$	3540	0,0890	0,911	0,999	0,910	0,090	3580
$T = 50 \text{ лет}$							
$\delta = 500$	3580	0,530	0,470	0,622	0,292	0,707	4640
$\gamma = 50$	4640	0,349	0,651	0,925	0,603	0,397	5300
$\beta = 5$	5300	0,232	0,768	0,991	0,762	0,238	5670
$\alpha = 0,5$	5670	0,143	0,857	0,999	0,856	0,144	5720
$T = 100 \text{ лет}$							
$\delta = 1000$	5720	0,848	0,152	0,387	0,0588	0,941	6350
$\gamma = 100$	6350	0,478	0,522	0,855	0,447	0,553	7350
$\beta = 10$	7350	0,323	0,677	0,980	0,664	0,336	7680
$\alpha = 1$	7680	0,194	0,806	0,998	0,804	0,195	7750
$T = 200 \text{ лет}$							
$\delta = 2000$	7750						7750
$\gamma = 200$	7750	0,582	0,418	0,730	0,306	0,694	9220
$\beta = 20$	9220	0,403	0,597	0,961	0,514	0,426	9710
$\alpha = 2$	9710	0,245	0,755	0,995	0,751	0,249	9880

Обратим внимание на то, что для случая $T = 200$ начальный объем w_0 оказался равным 7750 м². Он превосходил предельный объем разрушения для штормов δ , равный $W_\delta = 6750$ м². Это означает, что сформировалась отмель такого размера, при котором штормы δ уже не способны ее переформировывать. Поэтому указанный выше начальный объем размыва w_0 без изменения был перенесен в строку γ и дальнейший расчет был выполнен тем же способом, что и выше. Результаты расчета в виде кривой зависимости $w = f(T)$ приведены на рис. 23.

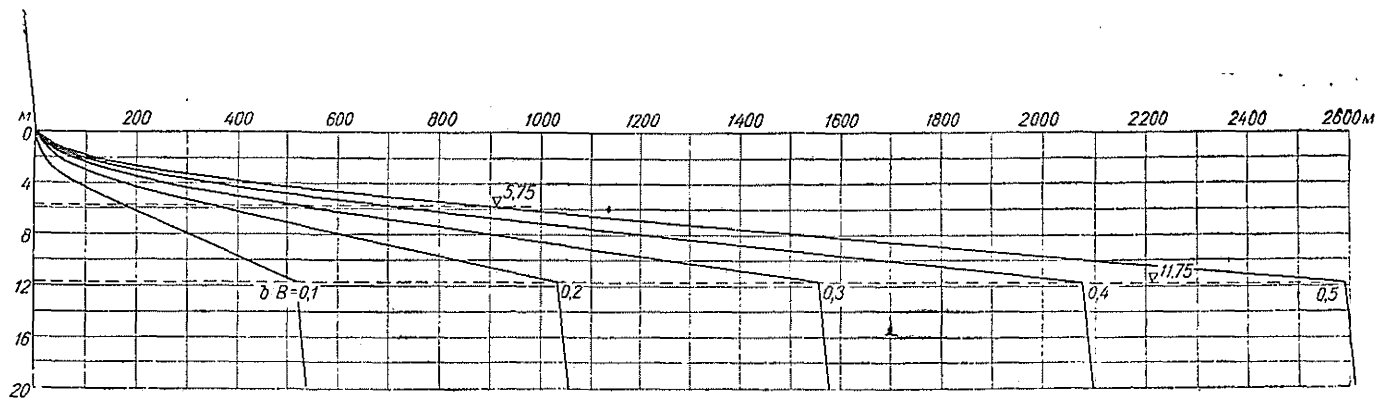


Рис. 24. Промежуточные профили развивающейся отмели.

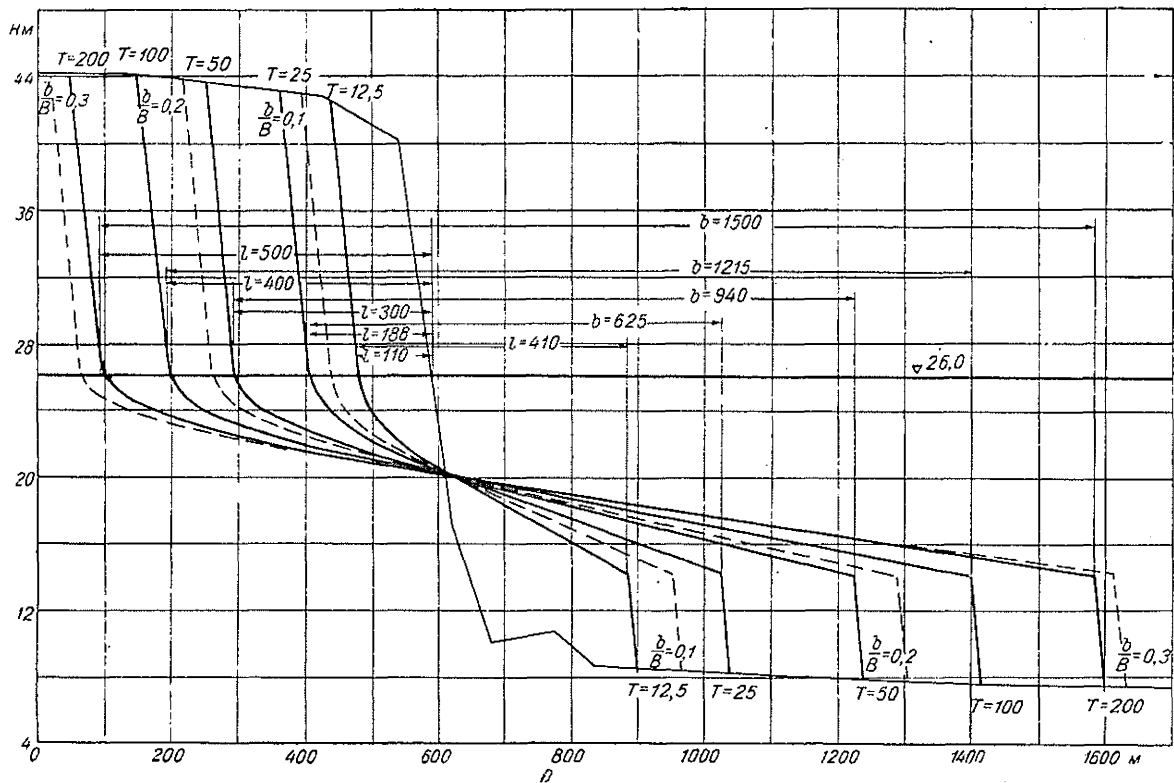


Рис. 25. Положение наиболее вероятной отдели на 12,5, 25, 50, 100 и 200 лет существования водохранилища.

Исходя из найденных значений w , определяем положение берегового профиля на указанные выше сроки прогнозирования. Для этого строим промежуточные профили береговой отмели, образованной штормом α , при сработке водохранилища $D = 6,0$ м, относя эти профили к различным значениям $b : B$. При этом построении используем предельный профиль, приведенный на рис. 17, и руководствуемся указаниями п. 19, выраженными уравнением (24). Эти промежуточные профили изображены на рис. 24. Наложение промежуточных профилей на первоначальный профиль берега выполняем так же, как при расчете отдельного шторма (см. п. 19 и пример 3).

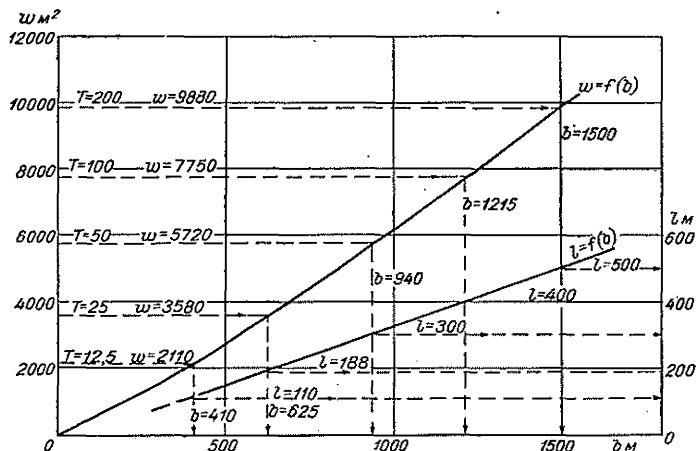


Рис. 26. Кривая зависимости объема разрушений w и смещений береговой линии l от ширины береговой отмели b .

Эти наложения, сделанные в первом приближении, показаны на рис. 25. В табл. 12 даны результаты первых приближений и расчетные поправки, полученные по формулам (13) и (14).

Таблица 12

$\frac{b}{B}$	b м	M м ²	h_M м	N м ²	h_N м	l_1 м	Δl м	l м	w м ²
0,1	520	3,360	23,2	1,997	11,0	180	-25,3	154,7	2,774
0,2	1040	7,575	24,0	4,674	12,0	370	-48,3	331,7	6,415
0,3	1560	10,820	24,0	8,187	12,6	540	-21,1	529,0	10,312
0,4	2080	14,480	24,0	11,455	13,6	710	-11,0	699,0	14,216

Исправленные значения l и w , приведенные в последних графах табл. 12, позволяют получить графическое выражение зависимостей $w = f(b)$ и $l = f(b)$, приведенное на рис. 26. Пользуясь этой зависимостью, находим значения b и l , соответствующие объемам

разрушений ω , определенных расчетом для принятых выше сроков прогнозов и приведенных в табл. 11 (жирные цифры в последней графе). Располагая этими значениями b , строим интерполяцией между профилями, приведенными на рис. 24, промежуточные профили, соответствующие срокам прогнозирования. Размещение этих профилей относительно первоначального профиля берега осуществляется путем смещения их начала относительно первоначального уреза воды на величину l . Это размещение показано на рис. 25. Так завершается прогноз наиболее вероятного размыва на указанные выше сроки.

Оценка возможных отклонений величины разрушений от наиболее вероятной

25. Наиболее вероятные объемы разрушения определялись на различные сроки прогнозирования, исходя из предположения, что режим волнения в течение этих сроков будет в точности соответ-

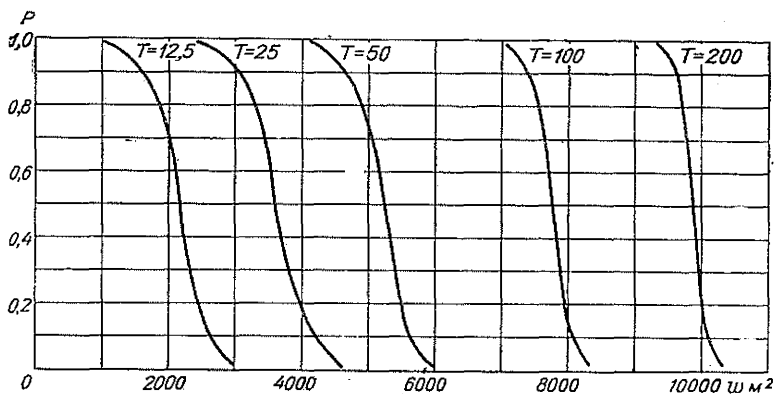


Рис. 27. Кривые обеспеченности объемов разрушения на 12,5, 25, 50, 100 и 200 лет существования водохранилища.

ствовать тому, который был установлен расчетным путем (см. раздел II). В действительности неизбежны количественные отклонения реально возникающих штормов от установленного расчетом порядка. Вследствие этого и действительные объемы разрушения будут отличаться от наиболее вероятных.

Чем больше отклонение действительного объема разрушения от наиболее вероятного, тем меньше вероятность такого отклонения. К действительным значениям объемов разрушения, отнесенным к определенному сроку прогнозирования, применимо понятие обеспеченности, причем отклонению объемов разрушения от наиболее вероятного в сторону уменьшения соответствуют наибольшие обеспеченности, а в сторону увеличения — меньшие обеспеченности.

Размер действительного объема разрушений, соответствующий заданному сроку прогнозирования T и заданной обеспеченности P ,

может быть выражен через равный ему объем наиболее вероятного разрушения посредством указания срока этого наиболее вероятного разрушения. Так, например, для $T=50$ годам объем разрушения, имеющий обеспеченность 0,90%, равен наиболее вероятному разрушению за 41,9 года. Таблица сроков наиболее вероятных разрушений, объем которых равен объемам действительных обрушений заданной обеспеченности, дана в приложении IX. Пользуясь этой таблицей и кривой объемов наиболее вероятных разрушений (рис. 23), можно построить кривые обеспеченности объемов разрушений на заданные сроки прогнозирования. Пример такой кривой применительно к условиям рассмотренных выше примеров дан на рис. 27.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев Н. Е. Потери волновой энергии на мелководье. Труды ГГИ, вып. 28 (82), 1951.
2. Браславский А. П. Расчет ветровых волн. Труды ГГИ, вып. 35 (89) 1952.
3. Кондратьев Н. Е. Расчет ветрового волнения и переформирования берегов водохранилищ. Гидрометеониздат. Л., 1953.
4. Кондратьев Н. Е. Расчет времени переформирования берегов водохранилищ. Труды ГГИ, вып. 49 (103), 1955.
5. Кондратьев Н. Е. Прогноз переформирования берегов водохранилищ под действием ветровой волны. Труды ГГИ, вып. 56 (110), 1956.
6. Судольский А. С. Сопротивление горных пород воздействию волн. Труды ГГИ, вып. 69, 1959.
7. Григорьева О. Г. Сопротивляемость берегов, сложенных связными и полускальными породами, волновому воздействию. Труды ГГИ, вып. 69, 1959.

ИСХОДНАЯ ТАБЛИЦА ПОВТОРЯЕМОСТИ ВЕТРОВ (p%)

Скорость ветра, м/сек.	С	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗ	ССЗ	Всего
1—5	2,532	3,347	5,632	5,590	4,633	4,819	4,960	3,124	2,126	1,725	2,415	3,560	5,330	5,234	4,635	3,175	62,837
6—10	0,863	1,146	1,784	1,803	1,018	1,523	1,178	0,661	0,404	0,410	1,219	1,966	1,947	1,943	1,663	1,154	20,682
11—15	0,094	0,177	0,281	0,163	0,110	0,139	0,099	0,099	0,048	0,152	0,249	0,545	0,358	0,407	0,270	0,145	3,439
16—18	0,029	0,109	0,079	0,029	0,021	0,037	0,035	0,021	0,007	0,044	0,106	0,226	0,158	0,214	0,189	0,097	1,401
19—22	—	0,007	—	—	—	0,007	—	0,007	—	0,007	0,029	0,070	0,022	0,044	0,022	0,021	0,236
23—26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,007	0,006	0,033	0,037	0,022	0,022	—	0,127
Штиль	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11,278
Итого	3,518	4,786	7,776	7,585	5,782	6,525	6,375	3,912	2,585	2,345	4,024	6,400	7,852	7,864	6,801	4,592	100,000

РАСЧЕТНАЯ ТАБЛИЦА ПОВТОРЯЕМОСТИ ВЕТРОВ ($p\%$)4
Заказ № 318

Скорость ветра, м/сек.	С	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю
1—5	2,532	3,347	5,632	5,590	4,633	4,819	4,960	3,124	2,126
6—10	0,863	1,146	1,784	1,803	1,018	1,523	1,178	0,661	0,404
11—15	0,094	0,177	0,281	0,163	0,110	0,139	0,202	0,099	0,048
16—18	0,029	0,109	0,079	0,029	0,021	0,037	0,035	0,021	0,007
19—22	0,0049	0,0184	0,0133	0,0049	0,0035	0,0062	0,0059	0,0035	0,0012
23—26	0,0023	0,0085	0,0062	0,0023	0,0016	0,0029	0,0027	0,0016	0,0006
27—34	0,00036	0,00136	0,00098	0,00036	0,00025	0,00046	0,00043	0,00025	0,00009
35—40	0,000009	0,000033	0,000024	0,000009	0,000006	0,000011	0,000010	0,000006	0,000002
Штиль	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Итого	3,526	4,807	7,796	7,593	5,787	6,525	6,384	3,910	2,587

Скорость ветра, м/сек.	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗ	ССЗ	Всего
1—5	1,725	2,415	3,560	5,330	5,234	4,635	3,175	62,837
6—10	0,410	1,219	1,966	1,947	1,943	1,663	1,154	20,682
11—15	0,152	0,249	0,545	0,358	0,407	0,270	0,145	3,439
16—18	0,044	0,106	0,226	0,158	0,214	0,189	0,097	1,401
19—22	0,0074	0,0178	0,0381	0,0266	0,0360	0,0319	0,0164	0,236
23—26	0,0034	0,0082	0,0176	0,0123	0,0167	0,0147	0,0076	0,1092
27—34	0,00054	0,0013	0,00279	0,00195	0,00264	0,00233	0,00120	0,0173
35—40	0,000013	0,000032	0,000068	0,000048	0,000064	0,000056	0,000029	0,00042
Штиль	—	—	—	—	—	—	—	11,278
Итого	2,342	4,016	6,356	7,834	7,853	6,806	4,596	100,000

49

РАСЧЕТ ВЫСОТЫ ВОЛНЫ h В КОНЦЕ УЧАСТКА Δs

№	H'' м	H' м	Δs км	ξ	h'' м	h' м	h м
	0				0		0
1	4,0	2,0	0,5	0,06	0,55	0,45	0,46
2	5,7	4,8	4,2	0,45	1,25	1,22	1,23
3	10,5	8,1	2,3	0,25	1,53	1,48	1,49
4	12,0	11,2	5,2	0,53	1,94	1,92	1,93
5	16,0	14,0	3,8	0,42	2,16	2,13	2,14
6	14,0	15,0	4,2	0,56	2,30	2,33	2,32
7	6,0	10,0	0,8	0,22	2,20	2,31	2,29
8	4,0	5,0	3,8	0,55	1,32	1,67	1,48
9	3,0	3,5	1,0	0,25	1,16	1,26	1,23
10	0,0	1,5	0,2	0,02	0,0	0,70	0,68

ПОВТОРЯЕМОСТЬ p И ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ P ВОЛНЕНИЯ РАЗЛИЧНОЙ СИЛЫ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

w м/сек.	Румб (угол подхода)	ЮЗ (67°30')	ЗЮЗ (45°)	З (22°30')	ЗСЗ (0°0')	СЗ (22°30')	ССЗ (45°)	С (67°30')
40	P ‰	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,00
40	h м	2,85	2,65	2,45	2,45	2,61	2,79	3,01
40—35	p ‰	0,00032	0,00068	0,00048	0,00064	0,00056	0,00029	0,00009
35	P ‰	0,00032	0,00068	0,00048	0,00064	0,00056	0,00029	0,00009
35	h м	2,45	2,28	2,10	2,10	2,24	2,39	0,58
34—27	p ‰	0,00130	0,00297	0,00195	0,00264	0,00233	0,00120	0,00036
27	P ‰	0,00162	0,00365	0,00243	0,00328	0,00289	0,00149	0,00045
27	h м	1,85	1,73	1,58	1,58	1,70	1,90	1,94
26—23	p ‰	0,0082	0,0176	0,0123	0,0167	0,0147	0,0076	0,0023
23	P ‰	0,0098	0,0212	0,0147	0,0200	0,0176	0,0091	0,0027
23	h м	1,55	1,45	1,32	1,32	1,42	1,51	1,63
22—19	p ‰	0,0178	0,0381	0,0266	0,0360	0,0319	0,0164	0,0049
19	P ‰	0,0274	0,0593	0,0413	0,0560	0,0495	0,0255	0,0076
19	h м	1,25	1,18	1,06	1,06	1,15	1,22	1,32
18—16	p ‰	0,106	0,226	0,158	0,214	0,189	0,097	0,029
16	P ‰	0,134	0,285	0,199	0,270	0,238	0,122	0,037
16	h м	1,03	0,97	0,87	0,87	0,95	1,00	1,08
15—11	p ‰	0,249	0,545	0,389	0,407	0,270	0,145	0,094
11	P ‰	0,383	0,830	0,588	0,677	0,508	0,267	0,131
11	h м	0,64	0,63	0,55	0,55	0,62	0,64	0,69
10—6	p ‰	1,219	1,966	1,947	1,943	1,663	1,154	0,863
6	P ‰	1,602	2,796	2,535	2,620	2,171	1,421	0,994
6	h м	0,26	0,24	0,22	0,22	0,23	0,25	0,27
5—1	p ‰	2,415	3,560	5,330	5,234	4,635	3,175	2,532
1	P ‰	4,017	6,356	7,865	7,854	6,806	4,596	3,526
1	h м	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

ТАБЛИЦА ВЫЧИСЛЕНИЙ СУММАРНОЙ

h м	$h^{2,5}$	ЮЗ $\cos \varphi = 0,383$			ЗЮЗ $\cos \varphi =$	
		P	p	$p \cos \varphi$	P	p
0	—	4,08	—	—	6,36	—
0,2	0,0179	2,04	0,75	0,28	3,17	1,21
0,4	0,1012	1,00	0,25	0,096	1,66	0,50
0,6	0,2789	0,460	0,157	0,0602	0,910	0,38
0,8	0,5724	0,271	0,078	0,030	0,504	0,152
1,0	1,00	0,148	0,060	0,023	0,245	0,122
1,2	1,578	0,0383	0,0267	0,0102	0,0565	0,0520
1,4	2,320	0,0157	0,0052	0,00199	0,0250	0,0097
1,6	3,242	0,00765	0,00320	0,00123	0,0090	0,0065
1,8	4,350	0,00204	0,00237	0,00091	0,00148	0,00045
2,0	5,660	0,000642	0,000128	0,000049	0,00096	0,00020
2,2	7,17	0,000472	0,000067	0,000026	0,000735	0,000098
2,4	8,91	0,000345	0,000060	0,000024	0,000546	0,000114
2,6	10,91	0,000222	0,000070	0,000027	0,000200	0,000271
2,8	13,12	0,000055	0,000108	0,000041	—	—
3,0	15,58	—	—	—	—	—

h м	$h^{2,5}$	СЗ $\cos \varphi = 0,924$			ССЗ $\cos \varphi =$	
		P	p	$p \cos \varphi$	P	p
0	—	6,85	—	—	4,60	—
0,2	0,0179	2,50	1,10	1,01	1,76	0,73
0,4	0,1012	1,18	0,39	0,36	0,835	0,300
0,6	0,2789	0,534	0,130	0,120	0,328	0,142
0,8	0,5724	0,359	0,077	0,071	0,187	0,036
1,0	1,00	0,172	0,130	0,120	0,118	0,041
1,2	1,578	0,0390	0,0176	0,0163	0,0300	0,0142
1,4	2,320	0,0187	0,0077	0,0071	0,0128	0,0040
1,6	3,242	0,00626	0,00517	0,00475	0,00669	0,00280
1,8	4,350	0,00106	0,00030	0,00028	0,00082	0,00072
2,0	5,660	0,000743	0,000106	0,000098	0,000457	0,000070
2,2	7,17	0,000587	0,000073	0,000067	0,000354	0,000032
2,4	8,91	0,000410	0,000103	0,000095	0,000278	0,000040
2,6	10,91	0,000060	0,000420	0,000388	0,000200	0,000052
2,8	13,12	—	—	—	—	—
3,0	15,58	—	—	—	—	—

ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ВОЛНЕНИЯ

0,701	3 cos φ = 0,924			3С3 cos φ = 1,000		
<i>p</i> cos φ	<i>P</i>	<i>p</i>	<i>p</i> cos φ	<i>P</i>	<i>p</i>	<i>p</i> cos φ
—	7,85	—	—	7,90	—	—
0,85	2,84	1,43	1,32	2,84	1,35	1,35
0,35	1,15	0,55	0,51	1,32	0,67	0,67
0,27	0,476	0,120	0,111	0,585	0,139	0,139
0,107	0,270	0,100	0,092	0,366	0,119	0,119
0,086	0,084	0,073	0,067	0,100	0,101	0,101
0,0364	0,0238	0,0100	0,0092	0,0326	0,0120	0,0120
0,0068	0,0087	0,0059	0,0054	0,0132	0,0071	0,0071
0,0046	0,00112	0,00125	0,00115	0,00160	0,00195	0,00195
0,00032	0,000697	0,000100	0,000092	0,00090	0,00024	0,00024
0,00014	0,000535	0,000070	0,000065	0,000716	0,000088	0,000088
0,000069	0,000387	0,000086	0,000079	0,000532	0,000101	0,000101
0,000080	0,000144	0,000232	0,000224	0,000200	0,000331	0,000331
0,000190	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—

0,701	C cos φ = 0,383			\bar{N}_0	Σ <i>P</i>
<i>p</i> cos φ	<i>P</i>	<i>p</i>	<i>p</i> cos φ		
—	3,52	—	—	0	41,16
0,51	1,35	0,61	0,23	10,98	16,5
0,210	0,572	0,268	0,103	63,0	7,717
0,100	0,210	0,002	0,039	159,0	3,503
0,025	0,028	0,030	0,011	349,0	2,055
0,028	0,0516	0,0192	0,074	628,0	0,9186
0,0100	0,0187	0,0115	0,044	1200,0	0,2389
0,0028	0,00572	0,00206	0,00079	1405,0	0,09982
0,00196	0,00305	0,00103	0,00039	1883,0	0,03537
0,00050	0,00111	0,00088	0,00034	1830,0	0,008107
0,000049	0,000177	0,000056	0,000021	3198,0	0,00423
0,000022	0,000127	0,000026	0,000010	4400,0	0,003194
0,000028	0,000097	0,000015	0,000006	6240,0	0,002110
0,000036	0,000077	0,000015	0,000006	6780,0	0,000759
—	0,000054	0,000019	0,000007	3940,0	0,000109
—	0,000005	0,000010	0,000019	4700,0	0,000005

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОФИЛЯ УСТОЙЧИВОЙ БЕРЕГОВОЙ ОТМЕЛИ

Породы	d мм	m_n	m_o	$\frac{q_1}{d}$
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
„ средний	0,25—0,50	0,07	0,01	70
„ крупный	0,50—1,0	0,14	0,02	70
Гравий мелкий	1,0—2,0	0,19	0,03	45
„ средний	2,0—5,0	0,21	0,05	45
„ крупный	5,0—10,0	0,25	0,08	25
Галечник мелкий	10—20	0,30	0,10	11
„ средний	20—50	0,36	0,15	6
„ крупный	50—100	0,40	0,20	4

КООРДИНАТЫ КРИВОЙ $x = \frac{y^2}{K} + \frac{y}{m_{II}}$ м

m_{II}	m_0	K	у м													
			0,25	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
0,005	0,001	0,0250	52,5	110,0	172,5	240,0	390	560	750	960	1190	1440	2000	2640	3370	4160
0,03	0,001	0,0207	11,4	28,7	52,1	81,6	158,8	259,7	386	535	708	907	1376	1940	2603	3352
0,03	0,005	0,120	8,8	18,7	29,7	41,7	68,8	100,0	135	175	219	267	375	500	642	800
0,07	0,001	0,0203	6,6	19,5	33,8	64,3	132,4	225,6	344	483	653	847	1303	1858	2520	3264
0,07	0,005	0,108	4,2	9,5	15,9	23,6	42,3	67,7	93,7	126	164	206	304	420	555	70
0,07	0,010	0,233	3,8	8,2	13,1	18,6	31,1	45,7	62,5	81,4	102,5	125	179	240	310	389
0,14	0,001	0,0201	4,9	16,0	33,3	56,9	122,7	212,3	329	469	635	826	1281	1834	2490	3243
0,14	0,005	0,104	2,4	6,0	10,8	16,8	32,4	52,8	78,1	108	143	183	277	390	523	674
0,14	0,01	0,215	2,1	4,7	8,0	11,8	21,2	32,8	46,9	63,2	81,9	103	152	210	277	354
0,14	0,02	0,467	1,9	3,6	4,6	9,3	15,5	22,8	31,2	40,7	51,2	62,8	89,3	120	155	194
0,19	0,001	0,0201	4,4	15,1	31,9	55,1	119,9	208,5	324,1	464	628	818	1271	1823	2477	3227
0,19	0,005	0,103	1,9	5,1	9,4	15,0	29,8	49,5	74,0	103	138	177	270	382	514	665
0,19	0,01	0,211	1,6	3,8	6,6	10,0	18,5	29,5	42,8	58,4	76,4	96,8	145	202	269	345
0,19	0,02	0,447	1,4	2,7	5,2	7,5	12,9	19,2	27,1	35,9	45,8	56,8	82,2	112,0	146	185
0,19	0,03	0,712	1,4	2,7	4,0	6,7	11,0	16,1	21,9	28,4	35,6	43,5	61,4	82,1	106	132
0,21	0,001	0,0201	4,3	14,8	31,6	54,6	119,1	207,5	323	462	627	816	1269	1820	2473	3223
0,21	0,005	0,102	1,8	4,8	9,6	14,5	29,1	48,6	72,9	102	136	175	268	380	512	663
0,21	0,01	0,210	1,5	3,8	6,2	9,5	17,8	28,6	41,7	57,1	75	95,2	143	200	267	343
0,21	0,02	0,442	1,3	2,9	4,8	7,0	12,2	18,6	26,0	34,6	44,4	55,2	80,4	110	144	183
0,21	0,03	0,700	1,3	2,7	4,4	6,2	10,4	15,2	20,8	27,1	34,2	41,9	59,5	80	103	131
0,21	0,05	1,312	1,2	2,6	4,0	5,5	8,8	12,6	16,7	21,1	26,0	31,2	42,8	56,0	70,7	86,8

КОЭФФИЦИЕНТ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ВОЛНОВОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ ϵ Т/М²

Породы	Ненарушенное залегание ϵ_1	Нарушенное состояние ϵ_2
Плотные скальные породы	> 10000	> 10000
Известняки, песчаники, алевролиты слабые	7000—5000	7000—5000
То же выветренные, сильно трещиноватые	5000—3000	5000—3000
Глины плотные	5000—3000	1500
„ тощие и трещиноватые	2000	500—300
Пески мелкозернистые слабо сцементированные	2000	200
„ „ „ сильно уплотненные	1000—500	100
„ слабо уплотненные	200	100—50
Суглинки	1000—500	200—100
Лёссовидные суглинки и супеси	300	100

СРОКИ НАИБОЛЕЕ ВЕРОЯТНЫХ ОБЪЕМОВ РАЗРУШЕНИЙ (года), СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ОБЪЕМАМ РАЗРУШЕНИЙ УКАЗАННЫХ ОБЕСПЕЧЕННОСТЕЙ Р

$T_{лет}$	$P \%$									
	0,99	0,95	0,90	0,80	0,60	0,40	0,20	0,10	0,05	0,01
12,5	5,4	7,7	9,0	10,6	12,1	12,9	14,4	16,0	17,3	19,6
25	14,5	17,9	19,6	21,8	24,2	20,8	28,2	30,4	32,1	35,5
50	34,8	39,3	41,9	45,0	48,8	51,2	55,0	58,1	60,7	65,2
100	78,2	84,6	88,4	92,6	98,6	101,4	107,4	111,6	115,4	121,8
200	169,0	178,0	183,0	189,1	197,4	202,6	210,9	217	222,0	231,0

ТЕРМИНЫ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

№ пп.	Термины	Обозначение	Размерность	Определение
1	Береговая отмель			Отмель, непосредственно примыкающая к берегу водоема, в пределах которой волны оказывают формирующее действие на дно и теряют свою энергию.
2	Устойчивая береговая отмель			Береговая отмель (1) ¹ , достигшая предельного развития, при котором вся энергия волны, способная разрушать берег, теряется на ней
3	Надводный береговой склон (уклон надводного берегового склона)	$\text{tg } \gamma_{\text{н}}$		Береговой склон, расположенный над наивысшим горизонтом воды в водохранилище, устойчивость которого определяется механикой грунтов
4	Подводный береговой склон (уклон подводного берегового склона)	$\text{tg } \gamma_{\text{п}}$		Склон береговой отмели, обращенный в сторону водоема, лежащий ниже области формирующего действия волн
5	Край береговой отмели			Переломная точка на профиле береговой отмели, в которой отмель переходит в подводный склон (4)
6	Глубина размывающего действия волны	H	м	Глубина, на которую распространяется размывающее действие волны, подходящей к береговой отмели. При отсутствии сработки водохранилища — глубина на краю береговой отмели (5)
7	Сработка водохранилища	D	м	Величина колебания уровня воды в водохранилище, вызванная его сработкой. Применительно к прогнозу береговых переформирований берется только за сезон волнения (30)

¹ В круглых скобках здесь и далее будут указываться номера терминов

№ пп.	Термины	Обозначение	Размерность	Определение
8	Глубина на краю береговой отмели	$H + D$	м	Глубина на краю береговой отмели при наивысшем учитываемом положении уровня воды в водохранилище, равная глубине размывающего действия волны (6), суммированной со сработкой водохранилища (7)
9	Ширина береговой отмели	b	м	Горизонтальное расстояние по профилю береговой отмели от уреза воды до края береговой отмели или (в зависимости от постановки задачи) до глубины размывающего действия
10	Предельная ширина береговой отмели	B	м	Ширина устойчивой береговой отмели (2). См. также термины (35), (36)
11	Смещение береговой линии	l	м	Горизонтальное расстояние по профилю формирующейся отмели от уреза воды до положения уреза на том же уровне в начале береговых переформирований
12	Предельное смещение береговой линии	L	м	Смещение береговой линии (11), соответствующее устойчивой береговой отмели (2)
13	Абразионная часть береговой отмели			Часть береговой отмели, примыкающая к надводному береговому склону (3) и лежащая в границах первоначального берега
14	Аккумулятивная часть береговой отмели			Часть береговой отмели, примыкающая к подводному береговому склону (11) и лежащая вне границ первоначального берега
15	Объем разрушения	W_p	м ²	Объем породы берега, разрушенной и перемещенной волной в процессе переформирования берега, отнесенной к единице длины береговой линии. Этот объем ограничен линиями первоначального профиля берега надводного склона и абразионной части отмели

№ пп.	Термины	Обозначение	Размерность	Определение
16	Предельный объем разрушения	W	$м^2$	Объем разрушения, соответствующий устойчивой береговой отмели
17	Объем аккумуляции	ω_a	$м^2$	Объем отложений, образующих аккумулятивную часть береговой отмели, отнесенный к единице длины береговой линии. Этот объем ограничен линиями первоначального профиля берега, аккумулятивной части отмели и подводного склона
18	Коэффициент аккумуляции	δ		Отношение объема аккумуляции (17) к объему разрушения (15)
19	Повторяемость независимой величины (скорости ветра, высоты волны, объема разрушения и т. д.)	p	$\%$	Отношение числа случаев независимого явления, обладающего заданной количественной характеристикой, к общему числу наблюдаемых или возможных случаев. Выражается в процентах или в отвлеченных величинах
20	Обеспеченность независимой величины (скорости ветра, высоты волны, объема разрушения и т. д.)	P	$\%$	Отношение числа случаев независимого явления, обладающих количественной характеристикой, превышающей заданную, к общему числу наблюдаемых или возможных случаев. Выражается в процентах или в отвлеченных величинах
21	Скорость ветра	w	м/сек.	Скорость ветра, измеренная на высоте 10 м над водной поверхностью
22	Высота волны	h	м	Превышение вершины волны над ее подошвой. За расчетную высоту волны при заданной скорости ветра принимается высота волны, имеющей 15% обеспеченности, которая получается умножением величины h , полученной по графикам Браславского, на 0,7

№ пп.	Термины	Обозначение	Размерность	Определение
23	Глубина водоема по линии разгона	H	м	(Обозначение применяется только в п. 5, 6, 7)
24	Разгон волны	S	км	Расстояние от заданной точки на поверхности водоема до места зарождения волн, подходящих к этой точке, измеренное по линии распространения волны. Для водохранилищ — расстояние от заданной точки до берега, измеренное по направлению действующего ветра
25	Участок разгона волны	Δs	км	Участок разгона волны, в пределах которого принимается или постоянная глубина, или постоянный уклон дна
26	Угол подхода волны	φ	град.	Угол, образованный лучом волны, подходящей к береговой отмели (без учета рефракции), и нормалью к береговой линии
27	Средняя расчетная мощность волны	\bar{N}_0	т/час	Количество энергии, приносимое волной в единицу времени (час), отнесенное к единице длины (м) береговой линии (с поправкой на угол подхода волны)
28	Средневзвешенная мощность волны	\bar{N}_0	т/час	Средневзвешенное значение средней расчетной мощности волны (27) заданной высоты h , полученное с учетом распределения волн этой высоты по углам подхода (26)
29	Шторм			В настоящем расчетном методе — волнение, характеризующееся соответствующей высотой волны h_i и средневзвешенной мощностью \bar{N}_0 , условной продолжительностью 12 час., в течение которых уровень воды в водохранилище принимается неизменным. Выделяются штормы:
		α β γ δ		с повторяемостью 1 раз в 50 лет (α), с повторяемостью 10 раз в 50 лет (β), с повторяемостью 100 раз в 50 лет (γ), с повторяемостью 1000 раз в 50 лет (δ)

№ пп.	Термины	Обозначение	Размерность	Определение
30	Се.он волнения	Ω	дни	<p>Указанными индексами отмечаются соответствующие характеристики штормов, а также число штормов соответствующей силы</p> <p>Число дней в году, в течение которых водоем свободен от льда и на нем может возникнуть ветровое волнение</p>
31	Уклон пляжа	m_n		Уклон устойчивой береговой отмели в точке уреза воды
32	Уклон отмели	m_o		Уклон устойчивой береговой отмели или продолженной линии береговой отмели на условной глубине 10 м
33		K	м	Параметр, входящий в уравнение профиля отмели, зависящий от m_n и m_o
34	Крупность отложений	d	мм	Диаметр частиц, образующих отложения береговой отмели и надводного берегового склона. d_n — крупность частиц, отлагающихся у уреза; d_o — крупность частиц, отлагающихся у края береговой отмели
35	Длина криволинейного участка береговой отмели	B_H	м	Длина горизонтальной проекции участка береговой отмели, примыкающего к берегу, имеющего криволинейную форму и распространяющегося до глубины размывающего действия волны H
36	Длина прямолинейного участка береговой отмели	B_D	м	Длина участка береговой отмели, примыкающего к внешнему краю отмели, имеющего прямолинейные очертания и распространяющегося от глубины H до глубины $H+D$ (6), (7)
37	Показатель устойчивости частиц	$\frac{\eta}{d_o}$		Показатель в семействе кривых $H=f(h)$ (см. рис. 11), зависящий от крупности частиц d_o и определяемый по приложению VI

№ пп.	Термины	Обозначение	Размерность	Определение
38	Объем разрушения, приближенный	M	m^2	Объем разрушения, полученного в результате первого приближенного совмещения профиля береговой отмели и профиля первоначального берега
39	Объем аккумуляции, приближенный	N	m^2	Объем аккумуляции, полученный, как указано в пояснении к термину (38)
40	Высота объема разрушения	h_M	м	Превышение наивысшей точки объема разрушения над наинизшей точкой этого объема
41	Высота объема аккумуляции	h_N	м	Превышение наивысшей точки объема аккумуляции над наинизшей точкой этого объема
42	Смещение береговой линии приблизительное	l_1	м	Смещение береговой линии, полученное, как указано в пояснении к термину (38)
43	Поправка к смещению береговой линии	Δl	м	Поправка к приближенному значению смещения береговой линии, полученная путем расчета по формуле (13)
44	Цикл штормов. Число штормов в цикле	n		Составленное расчетным путем сочетание ограниченного числа 12-часовых штормов, определяемых высотой волны h_i и уровнем воды, долженствующих выразить действительный режим волнения за время t_1 лет, или условную составляющую этого режима
45	Время	t	год, час	Время, соответствующее тому или иному объему переформирований берега
46	Интервал переформирования	Δt	час	Время, в течение которого ширина отмели увеличивается от b_n до b_{n+1} под действием неизменного волнения
47		ω^l	м	Отношение приращения объема разрушения $\Delta \omega$ к приращению ширины отмели Δb

№ пп.	Термины	Обозначение	Размерность	Определение
48	Коэффициент сопротивляемости горной породы разрушительному действию волны	e	т/м ²	Коэффициент в формуле времени переформирования Δt , получаемый эмпирическим путем и равный количеству энергии волны, расходуемой на разрушение и перераспределение одного кубического метра горной породы
49	Средневзвешенное значение коэффициента сопротивляемости	e _{ср}	т/м ²	Средневзвешенное значение коэффициента сопротивляемости, отнесенное ко всему береговому склону в целом, полученное с учетом разнородности геологического строения берега и состояния пород, подвергающихся волновому воздействию
50		z	1/год	Показатель в формуле затухания деформации (19)

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Введение	5
Глава I. Расчет волнового режима водохранилища	7
Ветровой режим проектируемого водохранилища	7
Расчет элементов волны и составление волновых характеристик	8
Волновой режим участка берега водохранилища	10
Глава II. Расчет профиля устойчивой береговой отмели	16
Глава III. Цикл штормов и берегоформирующее действие отдель-	
ного шторма и цикла штормов	28
Глава IV. Прогноз береговых переформирований	3
Расчет наиболее вероятного размыва	46
Оценка возможных отклонений величины разрушений от наиболее вероятной	46
Литература	47
Приложения	
I. Исходная таблица повторяемости ветров	4
II. Расчетная таблица повторяемости ветров	49
III. Расчет высоты волны h в конце участка Δs	50
IV. Повторяемость p и обеспеченность P волнения различной силы	
для различных направлений	51
V. Таблица вычислений суммарной обеспеченности волнения	52
VI. Характеристики профиля устойчивой береговой отмели	54
VII. Координаты кривой $x = \frac{y^2}{K} + \frac{y}{m_{II}}$ м	55
VIII. Коэффициент сопротивляемости горных пород волновому воз-	
действию	56
IX. Сроки наиболее вероятных объемов разрушений, соответствующие	
объемам разрушений указанных обеспеченностей	56
X. Термины и обозначения	57
XI. Номограммы для расчета высоты волны h для скорости ветра	
w_{10} (по Браславскому) (рис. 28—35)	вкл.

