

Сочинский Государственный Университет

К.Н.Макаров

**МОРСКИЕ ГТС В СОЧИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ В МОРСКОЙ ГИДРОТЕХНИКЕ**

1. Состояние морской гидротехники на побережье г. Сочи

На побережье г. Сочи расположены 2 крупных морских порта, Парусный центр, около 800 бун, около 100 волноломов, около 40 км волнозащитных стен, 140 рекреационных пляжей.

Побережье исключительно насыщено морскими гидротехническими сооружениями (ГТС).

Порт Сочи, включая Гранд-марину, обеспечивает круизные лайнеры и морской яхтенный туризм.

Последняя реконструкция порта, выполненная при подготовке к Олимпиаде 2014 г. как с точки зрения проектирования, так и при строительстве и эксплуатации выполнена качественно. Все поставленные в проекте цели были достигнуты.

Гидротехнические сооружения находятся в хорошем состоянии и подвергаются постоянному мониторингу.

Порт Сочи. Гидротехнические сооружения.



Порт Сочи. Лайнеры во время Олимпиады. Февраль 2014 г.



Порт Имеретинский

Построен, как грузовой порт с целью доставки грузов для олимпийских объектов.

Однако авария при строительстве, случившаяся 2009 г. во время сильного шторма, отодвинула срок сдачи порта в эксплуатацию на год. В результате порт не полностью выполнил свои задачи, как грузовой.

После Олимпиады порт должен был быть перепрофилирован в яхтную гавань.

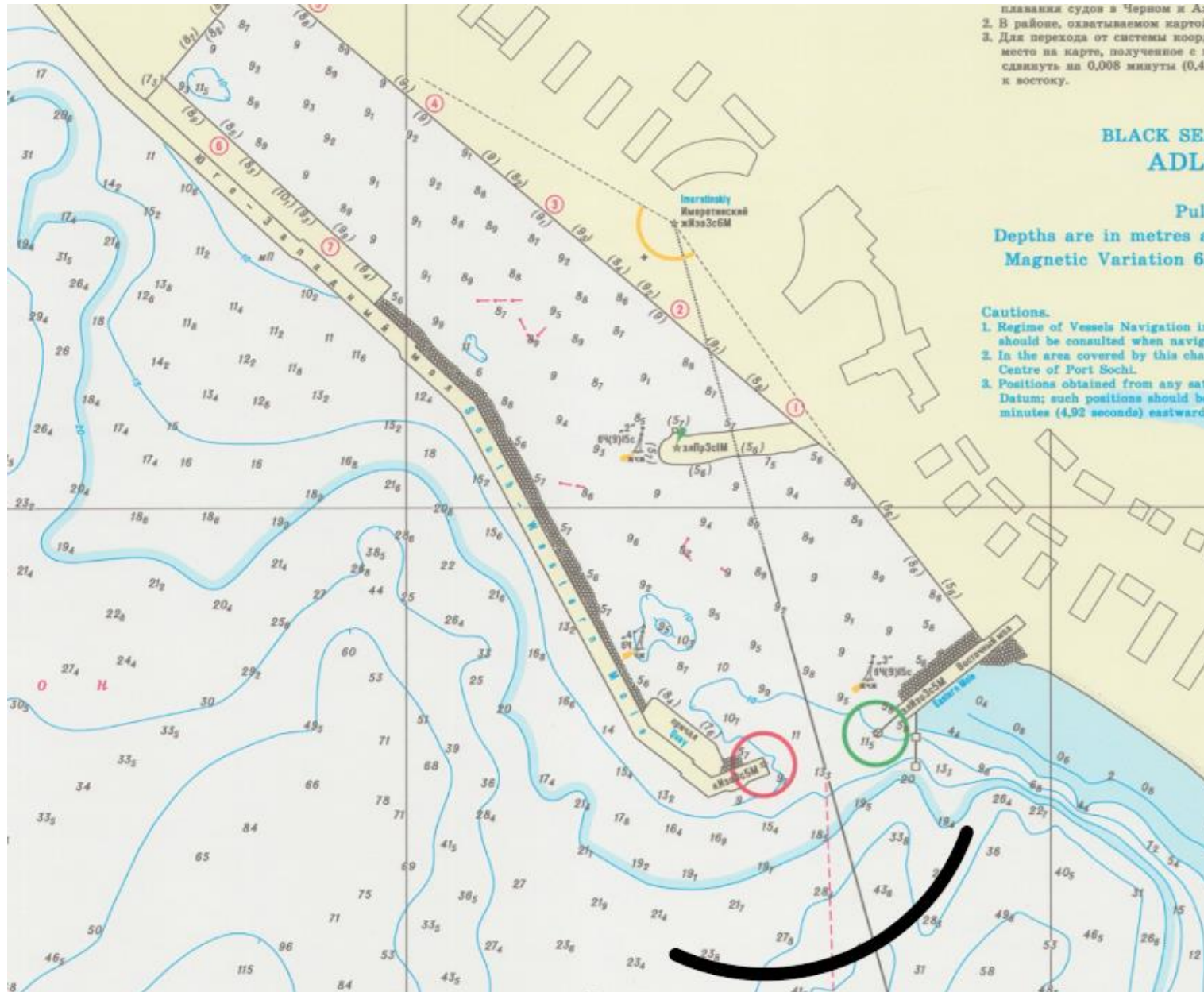
Однако при проектировании не было учтено то обстоятельство, что перед входом в порт расположен подводный каньон Новый с глубинами до 40 м. Поэтому нарисованный на архитектурных проектах волнолом перед входом в порт, построить невозможно.

В результате перепрофилирование порта Имеретинского в марину вызвало значительные трудности, которые не преодолены до настоящего времени (2026 г.).

Порт Имеретинский



Порт Имеретинский. Предпроектный волнолом на входе в порт



Порт Имеретинский и пляжи Имеретинской низменности.

Построенный порт прервал вдольбереговую поток наносов, который перемещал твердый сток р. Мзымты на пляжи Имеретинской низменности.

Собственно, вся низменность образована этим твердым стоком.

Следует отметить, что как в проекте порта, так и в проекте организации пляжной зоны Имеретинской низменности, предусматривалось ежегодное перемещение (байпассинг) части твердого стока Мзымты в объеме не менее 20 тыс. куб. м из устьевого бара на пляж к востоку от Южного мола порта.

Однако это мероприятие ни разу не было реализовано.

В результате пляжи Имеретинской низменности быстро размываются, волнозащитная стена и набережная часто разрушаются штормовым волнением.

В настоящее время пляжи в западной части низменности нуждаются в пополнении пляжеобразующим материалом в объеме порядка 300 тыс. куб. м.

Если после этих пополнений по-прежнему не выполнять переброс гальки из устья Мзымты на пляжи, то необходимо строить пляжеудерживающие буны по всему берегу Имеретинской низменности.



Шторм 27 ноября 2023 г.

Системы бетонных бун, волноломов и волнозащитные стены на побережье г. Сочи построены в основном правильно, поскольку их строительство обеспечивалось научным сопровождением Черноморского отделения морских берегозащитных сооружений ЦНИИС (до 1992 г.), а потом – Центром «Морские берега».

Однако указанные сооружения в последние десятилетия «не имеют хозяина». Поэтому их эксплуатационное содержание не проводится.

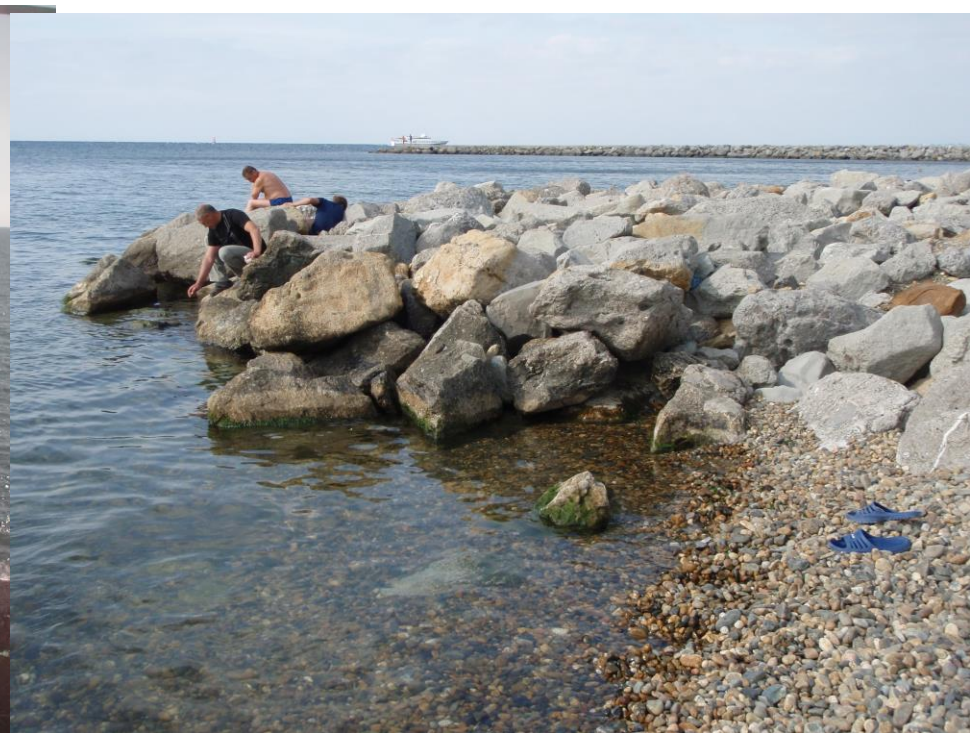
Пляжи в межбунных отсеках не пополняются, стены и буны не ремонтируются, подмываются и падают (например, авария железнодорожного полотна в шторме 27 ноября 2023 г. в результате разрушения волнозащитной стены).





Строительство каменнонабросных бун на побережье Сочи выполнялось без научного сопровождения. В результате некоторые из них оказались удачными и хорошо работают на удержание пляжей.

Но большинство таких бун полуразрушено. Это объясняется, главным образом, использованием в их головных частях камня недостаточной массы.



Следует отметить также негативные последствия непродуманного выдвигания в море искусственных территорий на пляжах Сочи. Эти мероприятия часто проводятся без разработки проектов и, тем более, без научного их обоснования и прогноза возможных последствий, как для собственно участка строительства, так и для смежных с ним.



а)



б)



в)



г)

Нередко, вопреки категорическому запрету, установленному СП по проектированию берегозащитных мероприятий, практикуется строительство бун без искусственного заполнения их пляжеудерживающей емкости галечным материалом. Это иногда приводит к катастрофическим низовым размывам.



а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Последствия устройства бун из сквозного причала на пляже пансионата «Шексна» в Лазаревском районе г. Сочи

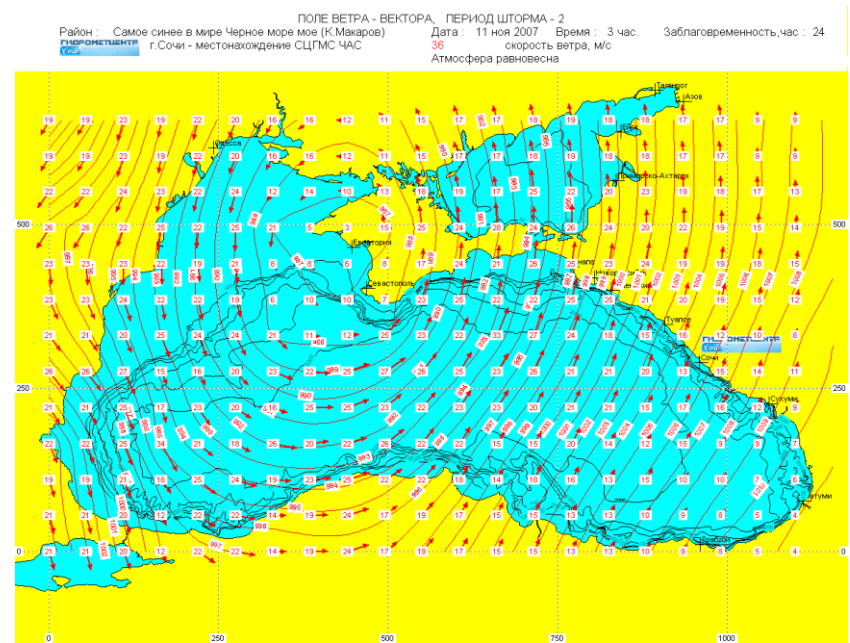
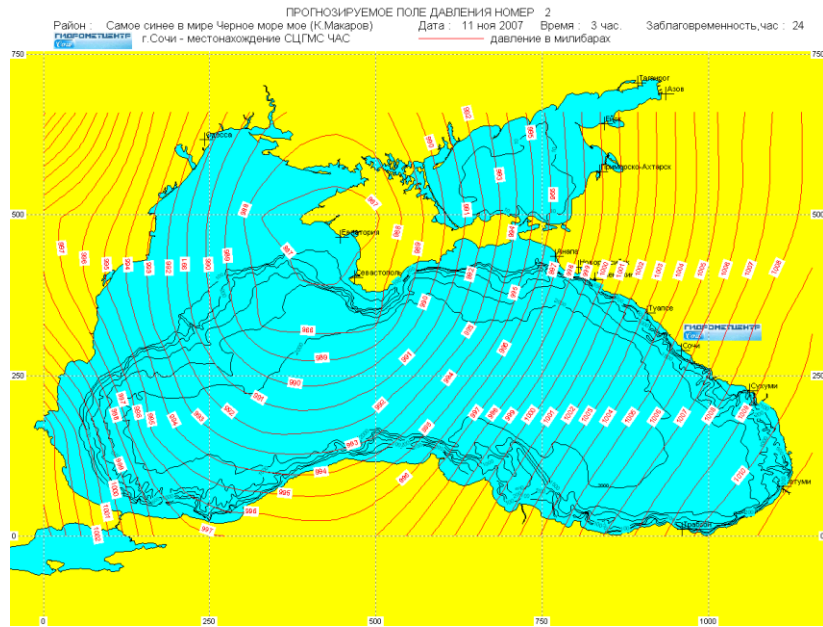
2 Математическое моделирование при проектировании морских ГТС

В СГУ ведутся научные исследования по совершенствованию методов научного обоснования морских ГТС.

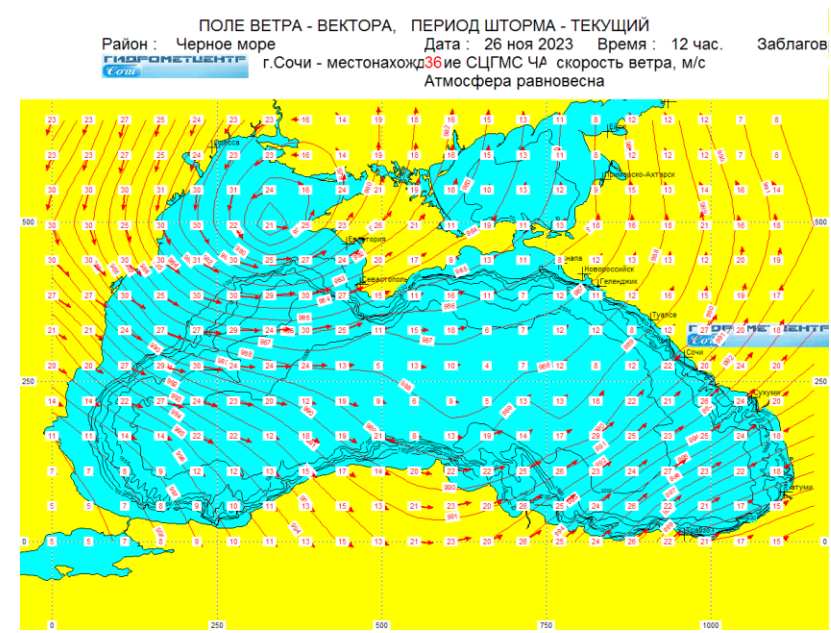
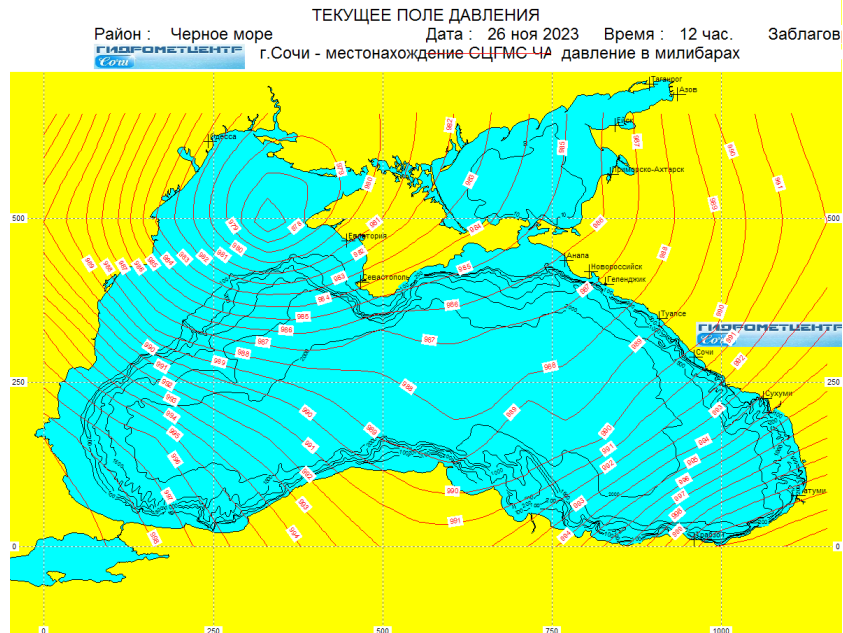
Разработаны:

1. Математические модели и компьютерные программы для моделирования генерации волн ветром на глубокой воде по данным о полях атмосферного давления.

Шторм 11 ноября 2007 г. Давление и ветер

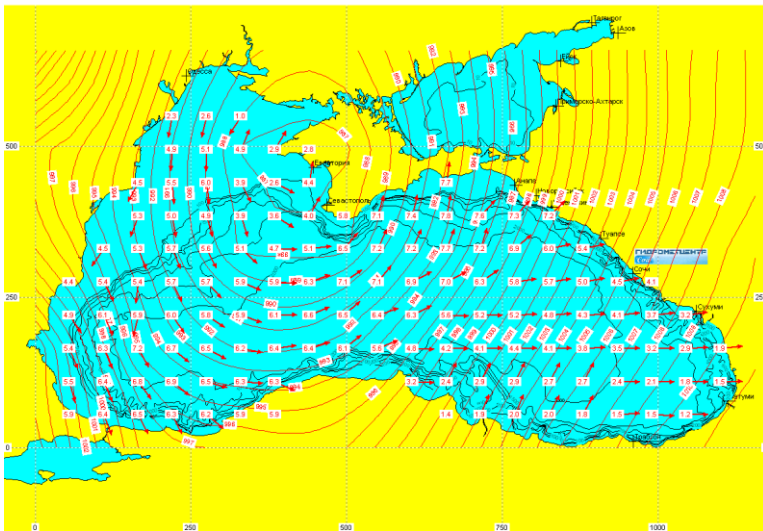


Шторм 26-27 ноября 2023 г. Давление и ветер

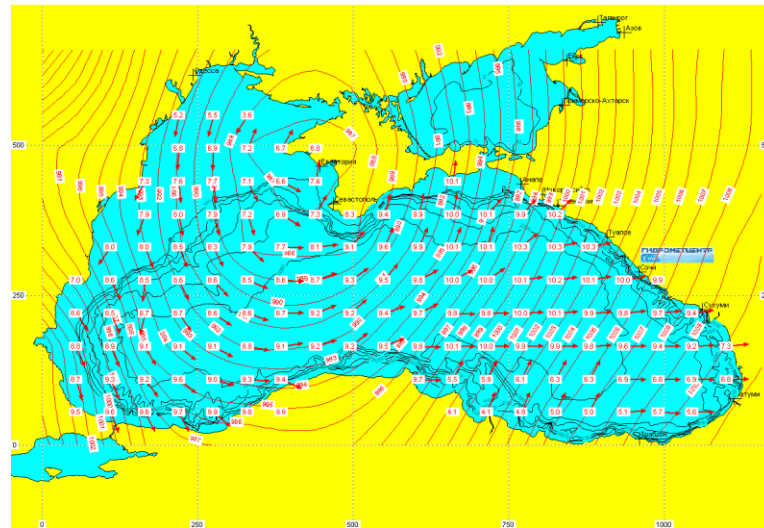


Шторм 11 ноября 2007 г. Волны – высота и период

ПОЛЕ ВЫСОТ ВОЛН 5% ОБЕСПЕЧЕННОСТИ (1.9°Нср), ПЕРИОД ШТОРМА - 2
 Район: Самое сильное в мире Черное море (К.Макаров) Дата: 11 ноя 2007 Время: 3 час. Заблаговременность, час: 24
 ГИДРОМЕТЦЕНТР г.Сочи - местонахождение СЦФМС ЧАС давление в миллибарах
 Атмосфера равновесна 3.4 высоты волн, метры

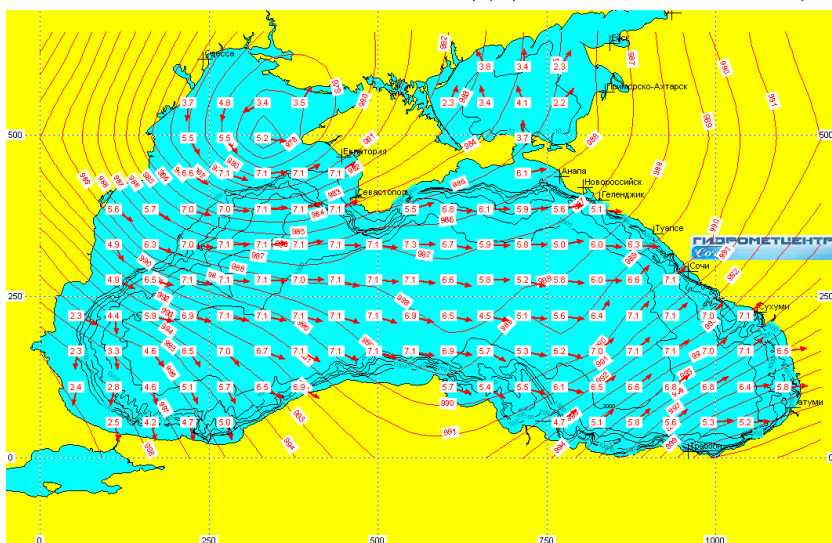


ПОЛЕ СРЕДНИХ ПЕРИОДОВ ВОЛН, ПЕРИОД ШТОРМА - 2
 Район: Самое сильное в мире Черное море (К.Макаров) Дата: 11 ноя 2007 Время: 3 час. Заблаговременность, час: 24
 ГИДРОМЕТЦЕНТР г.Сочи - местонахождение СЦФМС ЧАС давление в миллибарах
 высоты волн, метры 7.5 периоды волн, секунды

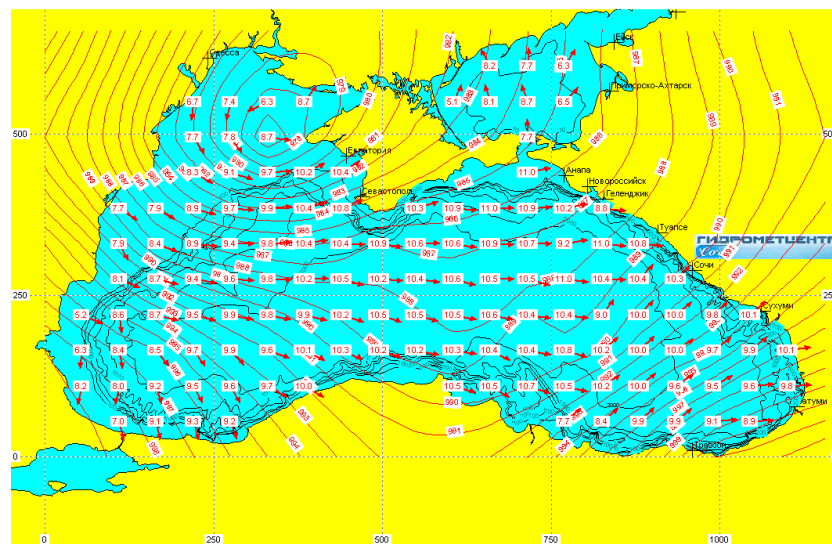


Шторм 26-27 ноября 2023 г. Волны – высота и период

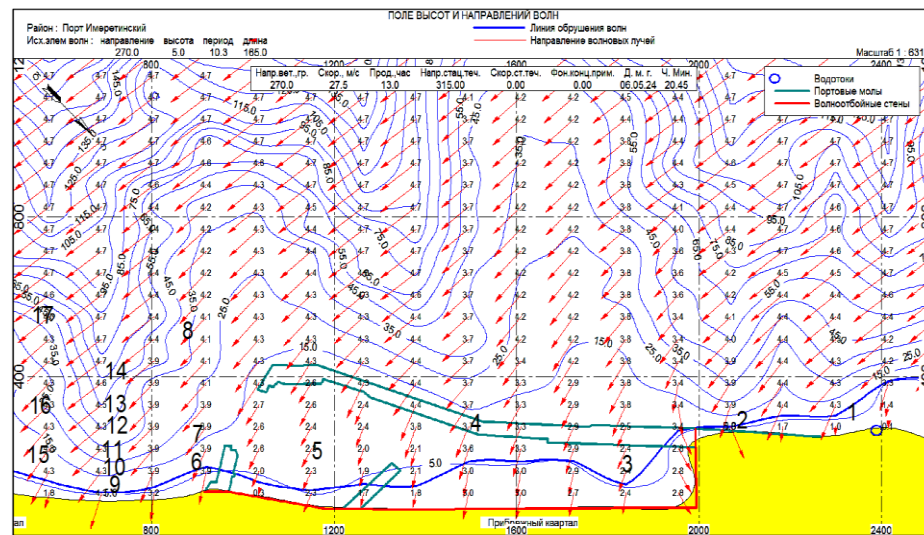
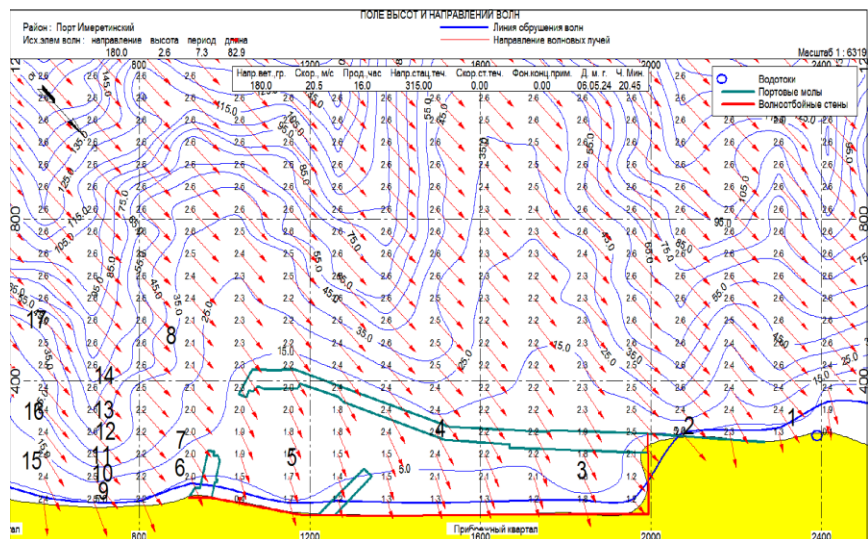
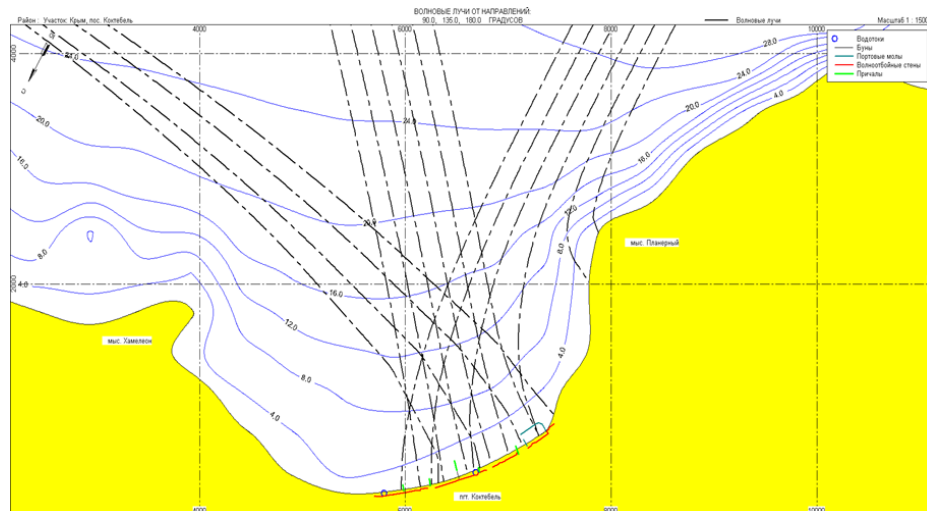
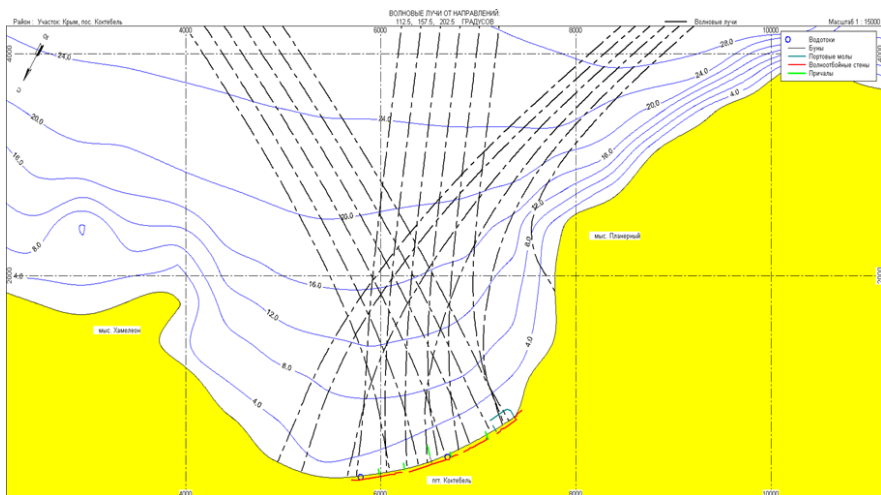
ПОЛЕ ВЫСОТ ВОЛН 5% ОБЕСПЕЧЕННОСТИ (1.9°Нср), ПЕРИОД ШТОРМА - ТЕКУЩИЙ
 Район: Черное море Дата: 26 ноя 2023 Время: 12 час. Заблаговр
 ГИДРОМЕТЦЕНТР г.Сочи - местонахождение СЦФМС ЧАС давление в миллибарах
 Атмосфера равновесна 3.4 высоты волн, метры



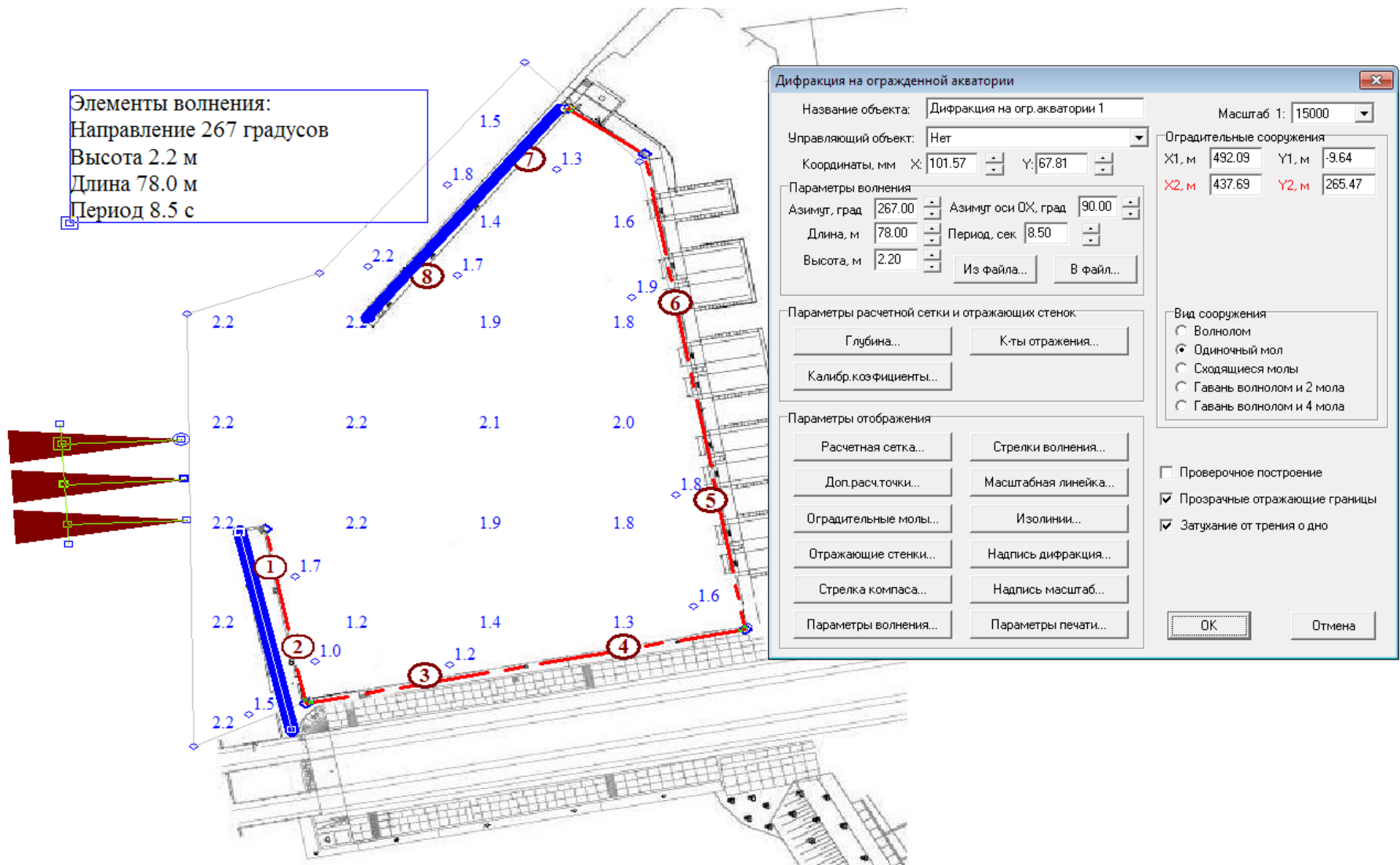
ПОЛЕ СРЕДНИХ ПЕРИОДОВ ВОЛН, ПЕРИОД ШТОРМА - ТЕКУЩИЙ
 Район: Черное море Дата: 26 ноя 2023 Время: 12 час. Заблаговр
 ГИДРОМЕТЦЕНТР г.Сочи - местонахождение СЦФМС ЧАС давление в миллибарах
 высоты волн, метры 7.5 периоды волн, секунды



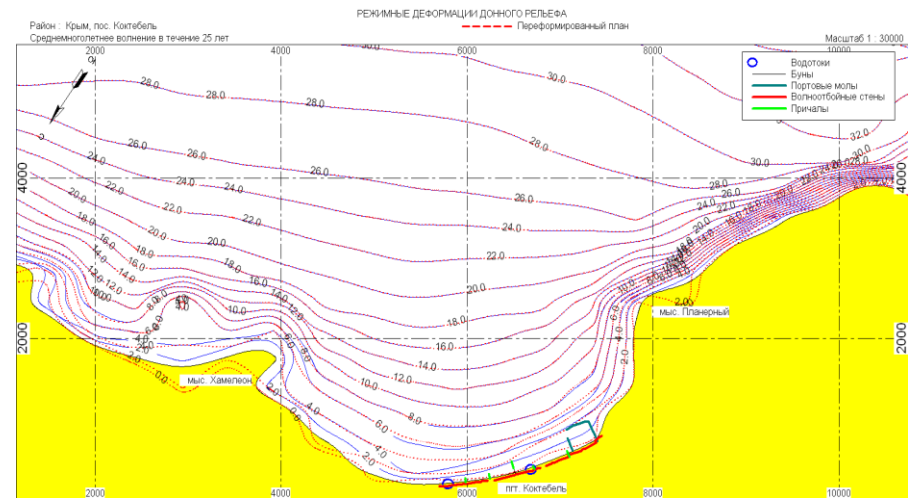
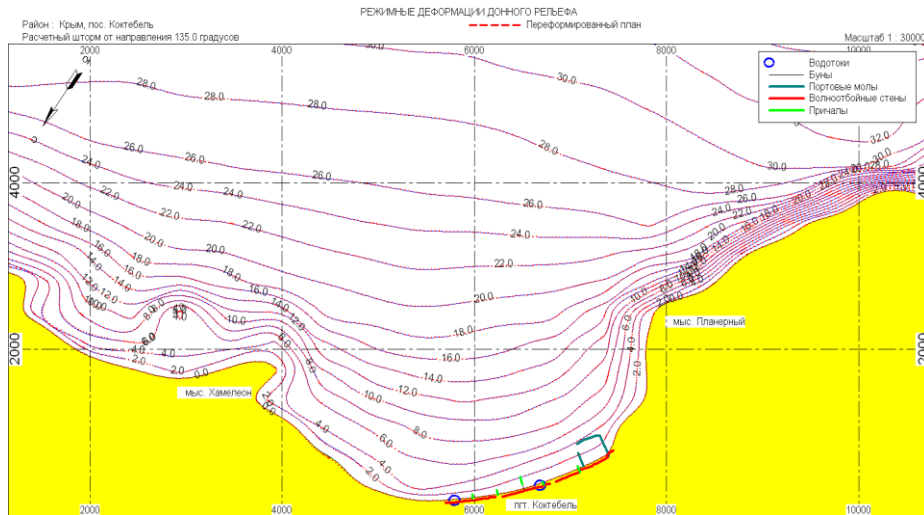
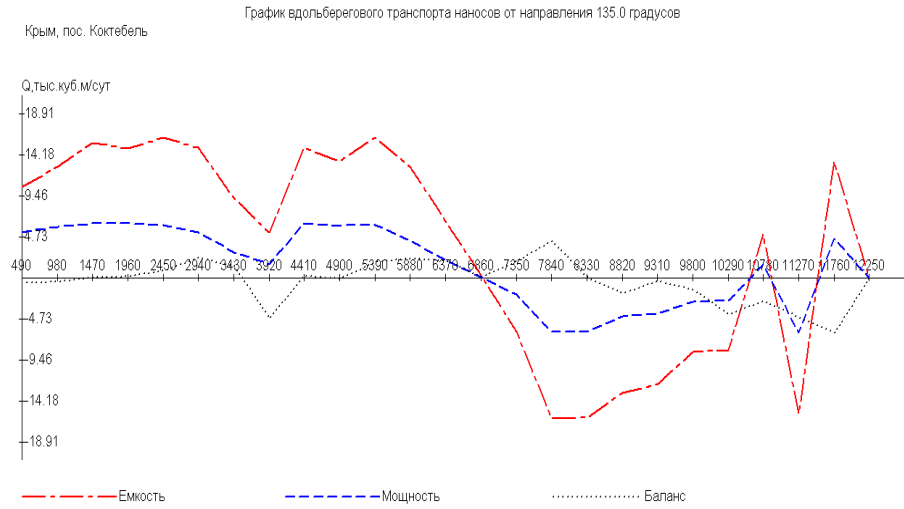
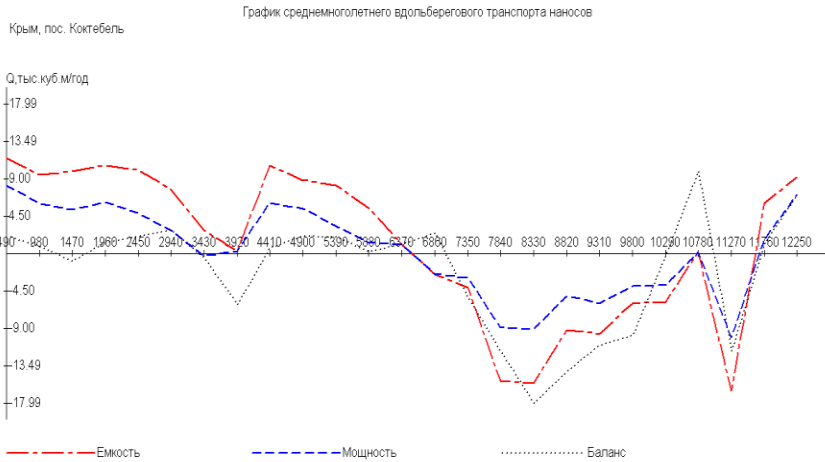
2. Математические модели и компьютерные программы для моделирования волновых колебаний в прибрежной зоне моря



3. Математические модели и компьютерные программы для моделирования волновых колебаний в гаванях различной конфигурации.



5. Транспорт наносов и деформации дна



6. Динамика пляжей

REBL - расчет по реформированию в межбунных отсеках [версия]

Выход

Результаты расчетов

- Шторм 180.0
- Шторм 270.0
- 2 Шторма 270.0 180
- 2 Шторма 180.0 270

ДАННЫЕ И РАСЧЕТ...

Список участков

Участки 1 - 3, волн ис: ▾

Создать участок...

Просмотр файлов...

Печать

Сохранить как...

В буфер

REBL - ввод, редактирование данных и выполнение расчетов

Название района: Приморская набер., уч. 1-3, волн. исх. Проницаемая левая граница

Количество участков: 4 Проницаемая правая граница

Длина бунта справа, м: 300.00

ВНИМАНИЕ, НУМЕРАЦИЯ УЧАСТКОВ СПРАВА НАЛЕВО!!!

Номер участка: 1 из 4

Азимут участка, град: 138.0

Длина участка, м: 120.00

Длина бунта слева, м: 120.00

Диаметр наносов, мм: 500.000

Глубина распространения наносов, м: 0.00

Уклон дна в отсеке: 0.0160

Наличие продольного сооружения: Есть ▾

Кэф. отражения от продольного сооружения: 0.50

Глубина у морской грани продольного сооружения, м: 4.00

Выбор участка: 1

Постоянная ширина, м: 5.00

нумерация точек в отсеке справа налево!!!

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00

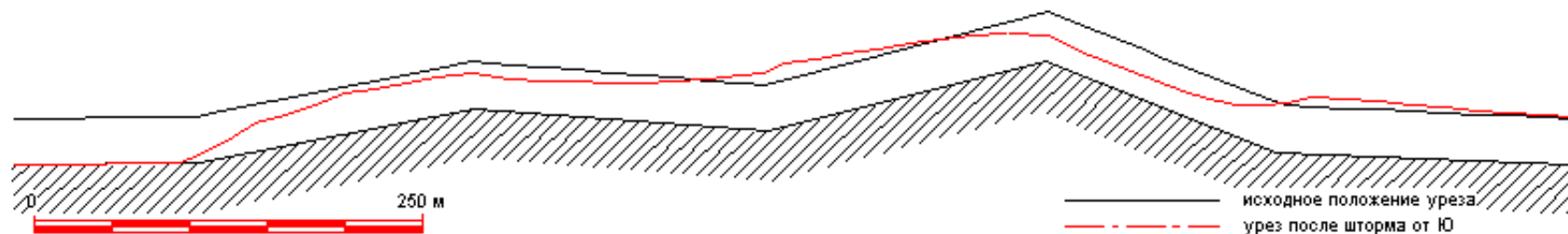
Калибровка

Вести данные о калибровке

Интерфейс программного комплекса для моделирования динамики пляжей

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ
ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ Ю ШТОРМА

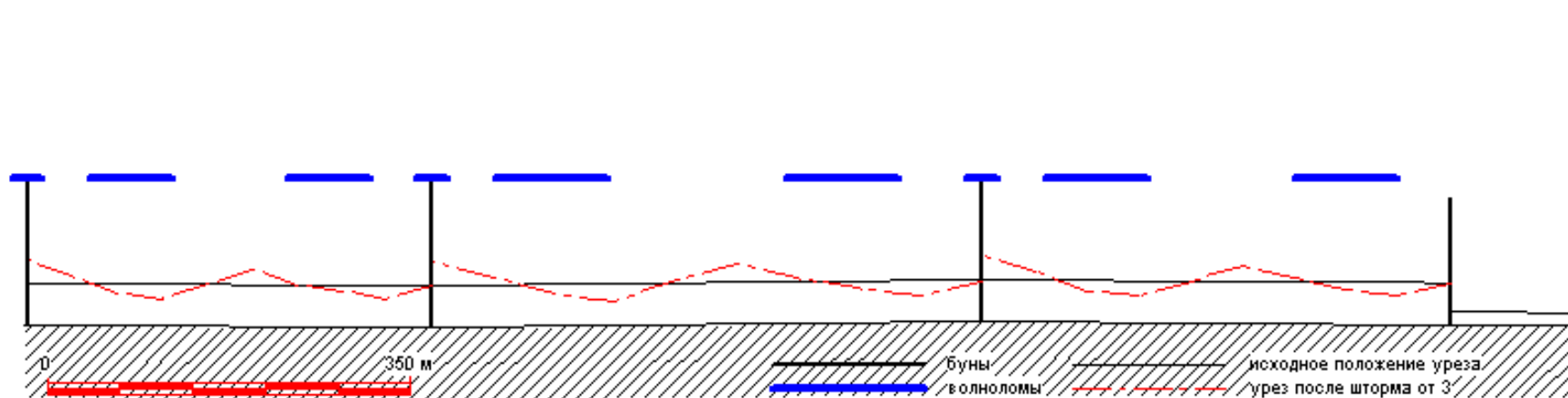
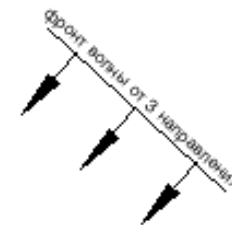
Район: Лермонтово, турбаза "Гранит"



Динамика свободного галечного пляжа турбазы «Гранит» в пос. Лермонтово в расчетном шторме от Южного направления

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ
ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ 3 ШТОРМА

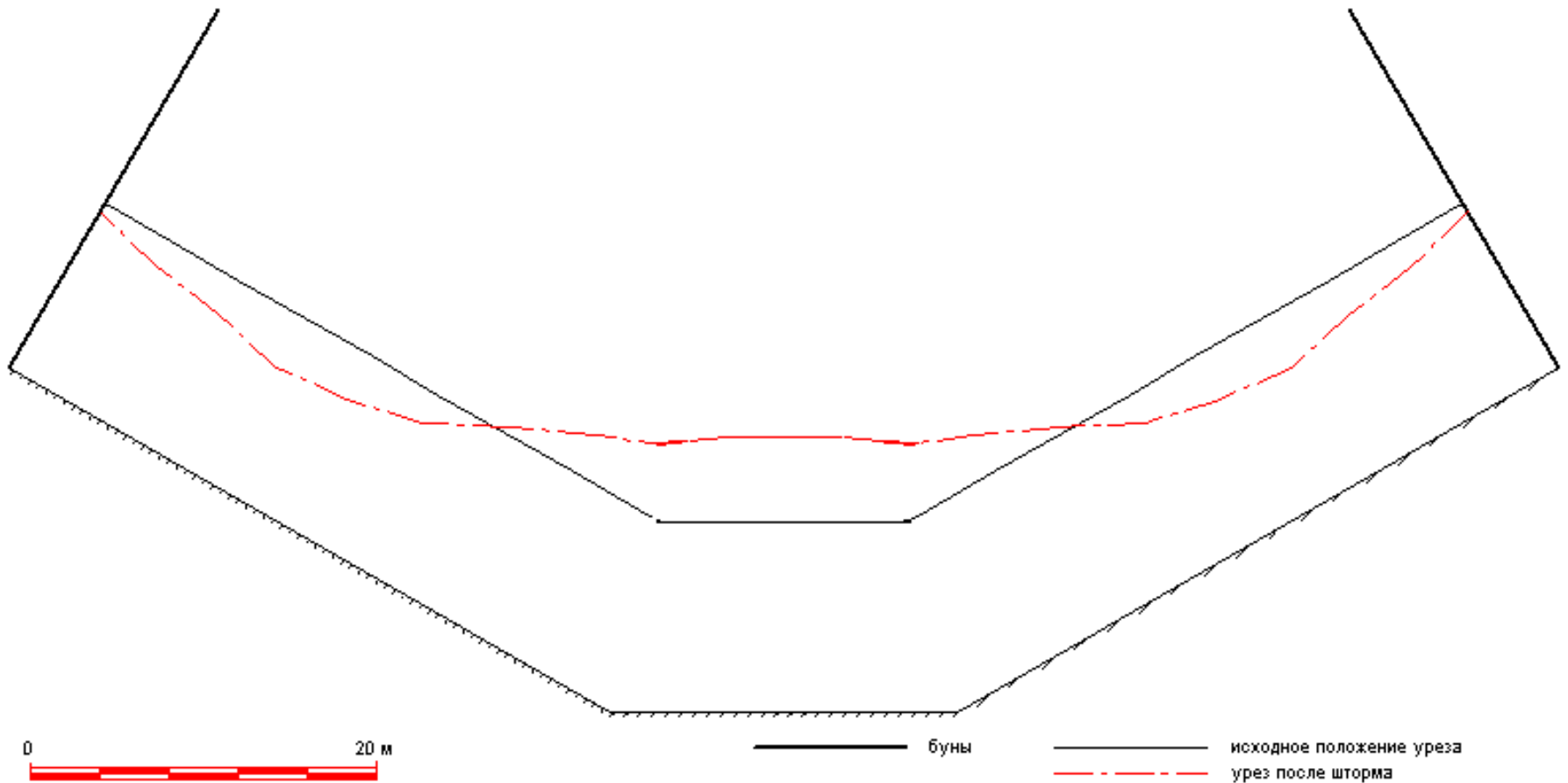
Район: Приморская набер., уч.1-3, волн. реком.



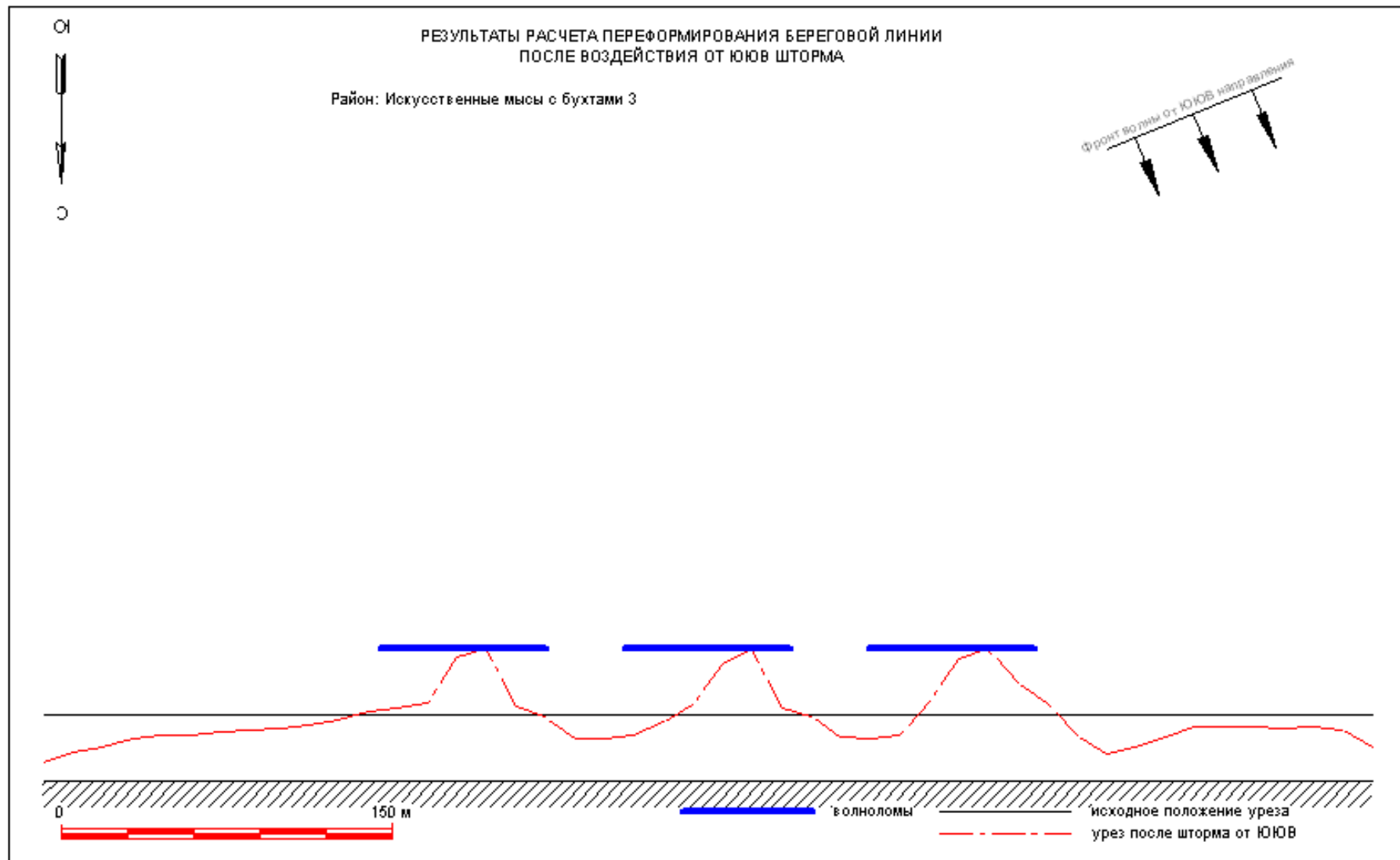
Динамика галечного пляжа с бунами и волноломами на
западном участке Приморской набережной в
г. Сочи в расчетном шторме от Западного направления

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ

Район: Фиолент, вариант № 3



Динамика береговой линии пляжа островного комплекса при длине пляжеудерживающих шпор по 24 м



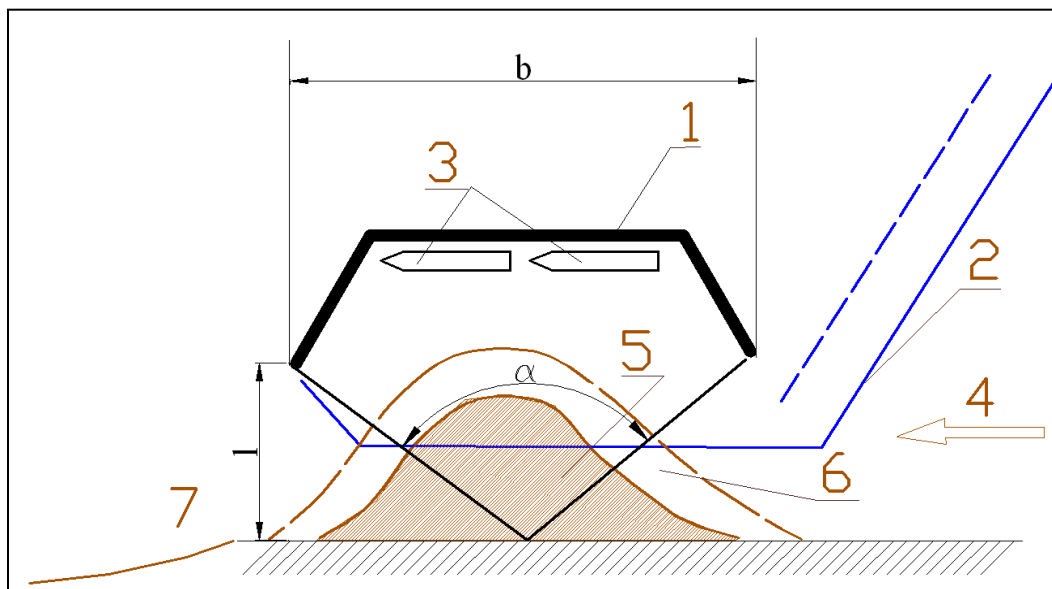
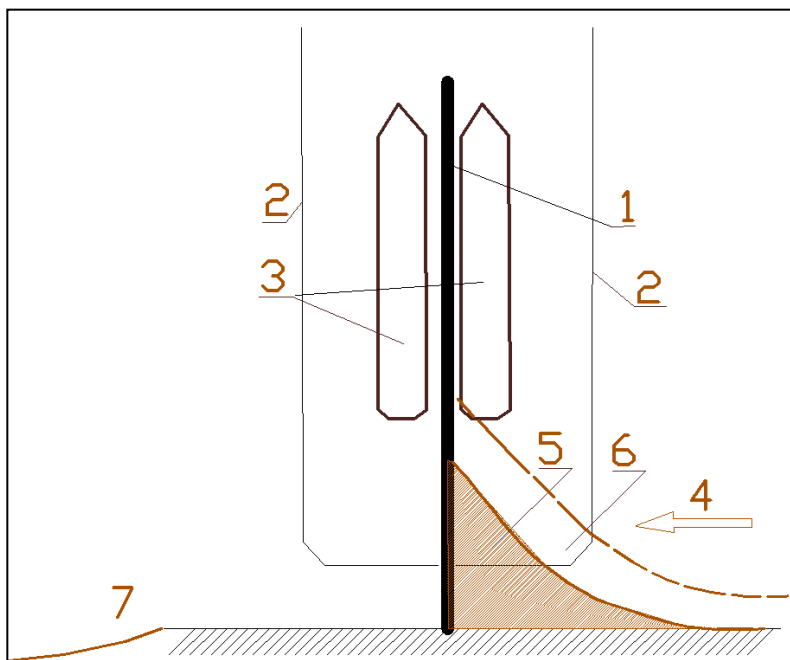
Формирование галечного пляжа между искусственными мысами под защитой волноломов

7. Заносимость портовых акваторий и подходных каналов

На каф. Строительства СГУ выполнена классификация вариантов конфигурации сооружений, при которых происходит заносимость акваторий и каналов. Выделены следующие расчетные случаи.

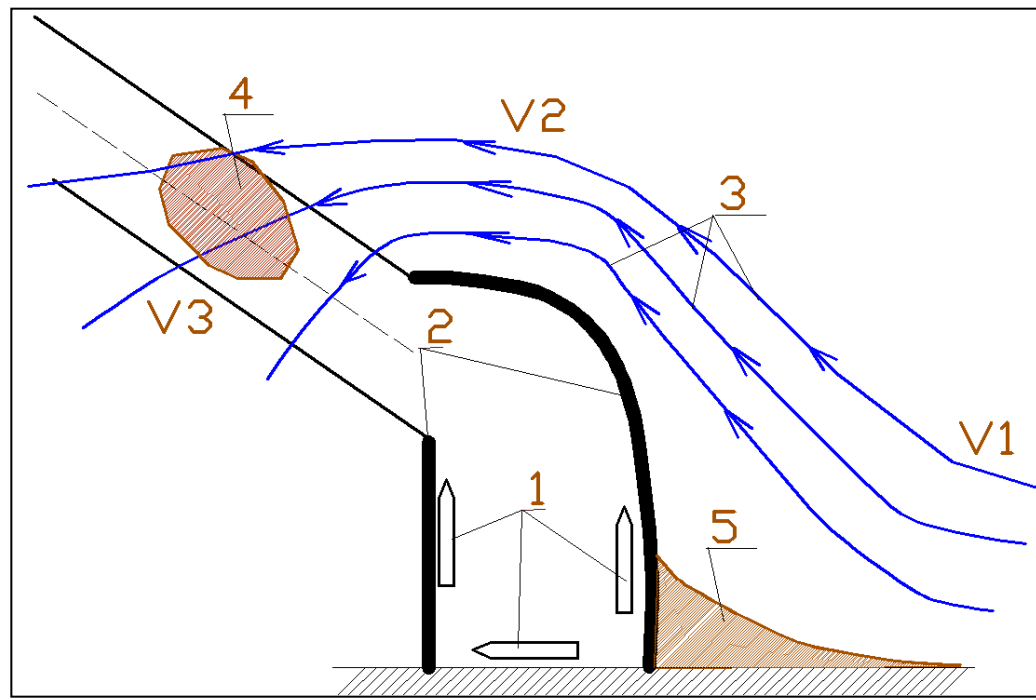
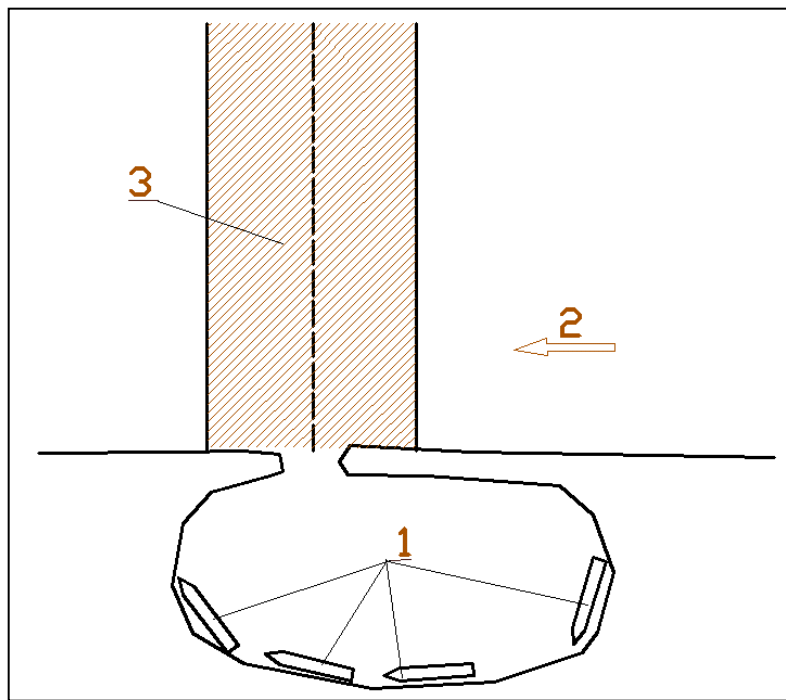
1. Перехват полностью или частично вдольберегового потока наносов портовыми молами сплошной конструкции с образованием в акваториях причалов аккумулятивных форм типа «входящих углов». В таких случаях при однонаправленном вдольбереговом потоке наносов, может возникнуть низовой размыв берега. В случае разнонаправленных потоков наносов, входящие углы образуются с двух сторон от мола.

2. Разгрузка вдольберегового потока наносов в волновой тени островного порта с образованием наволока. В таких случаях при однонаправленном вдольбереговом потоке наносов, возникает низовой размыв берега. В случае разнонаправленных потоков наносов, наволок может выродиться в томболо (соединиться с волноломом).



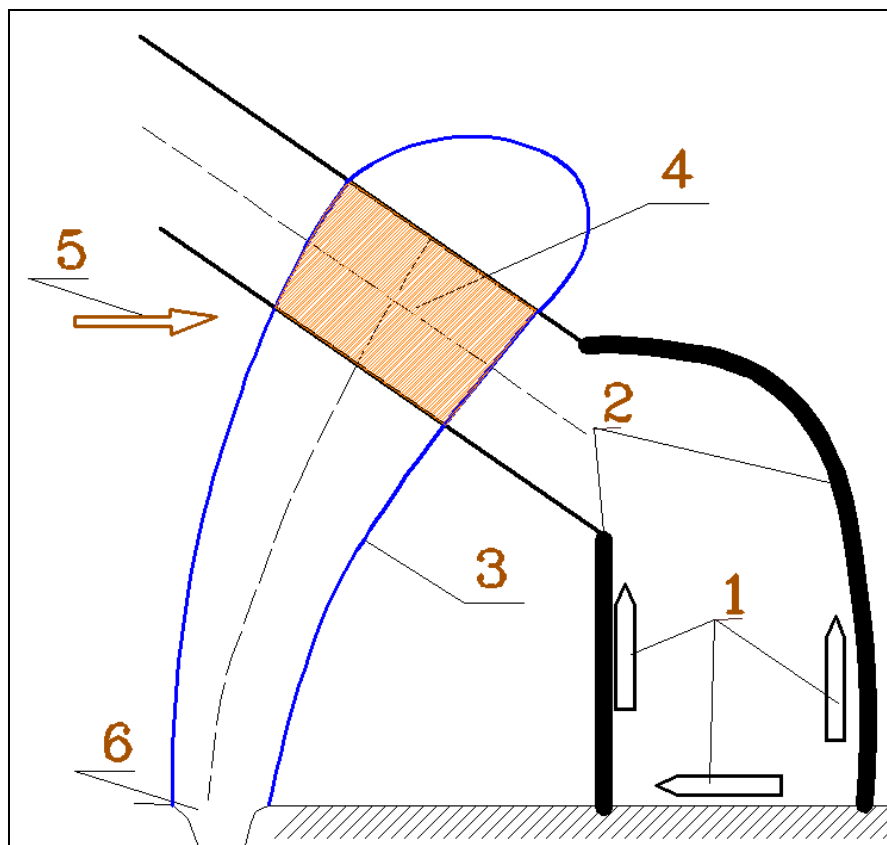
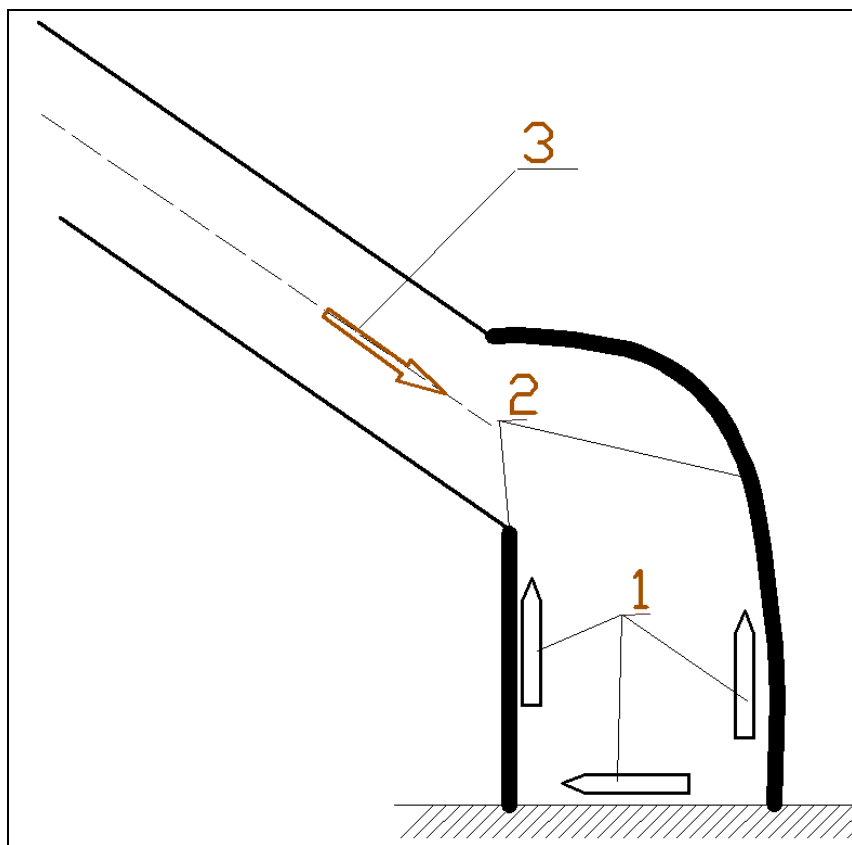
3. Разгрузка вдольберегового потока наносов на подходном канале при уменьшении скорости вдольберегового течения за счет увеличения площади его живого сечения на дноуглублении канала.

4. Разгрузка вдольберегового потока наносов в акватории дноуглубления или на подходном канале при уменьшении скорости вдольберегового течения в результате сначала его сужения с увеличением скорости и, соответственно, мутности потока, а затем его расширения с уменьшением скорости и выпадением наносов. Возникает при значительном выдвигении оградительных молов в море относительно линии берега. При этом дополнительное снижение скорости потока обусловлено также увеличением глубин в зонах дноуглубления.



5. Заносимость акватории порта в результате проникновения в нее наносов под воздействием волнового и ветрового течения.

6. Заносимость акватории дноуглубления или подходного канала наносами речной паводковой струи.

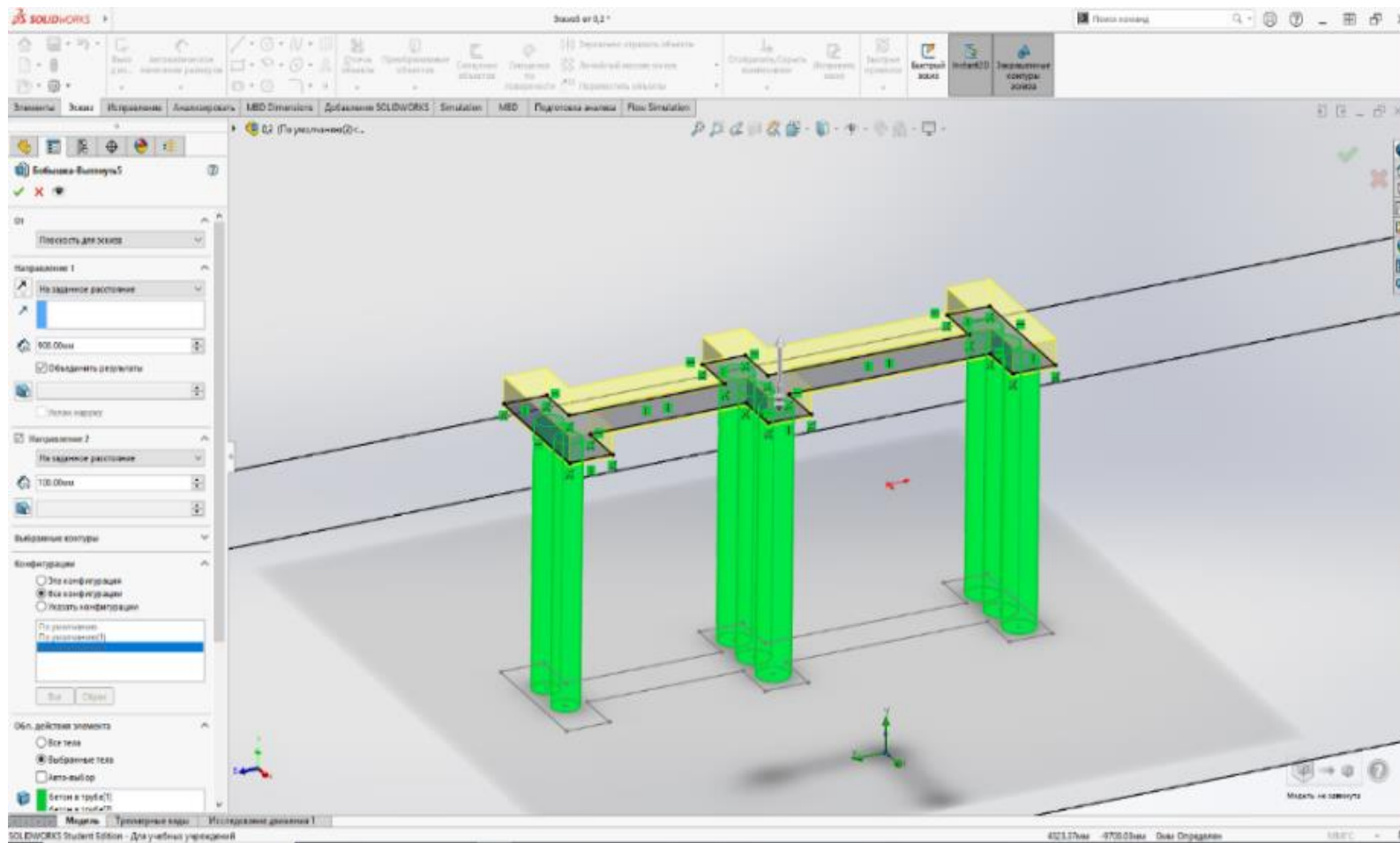


В реальных условиях возможны различные сочетания приведенных вариантов заносимости портовых акваторий и подходных каналов.

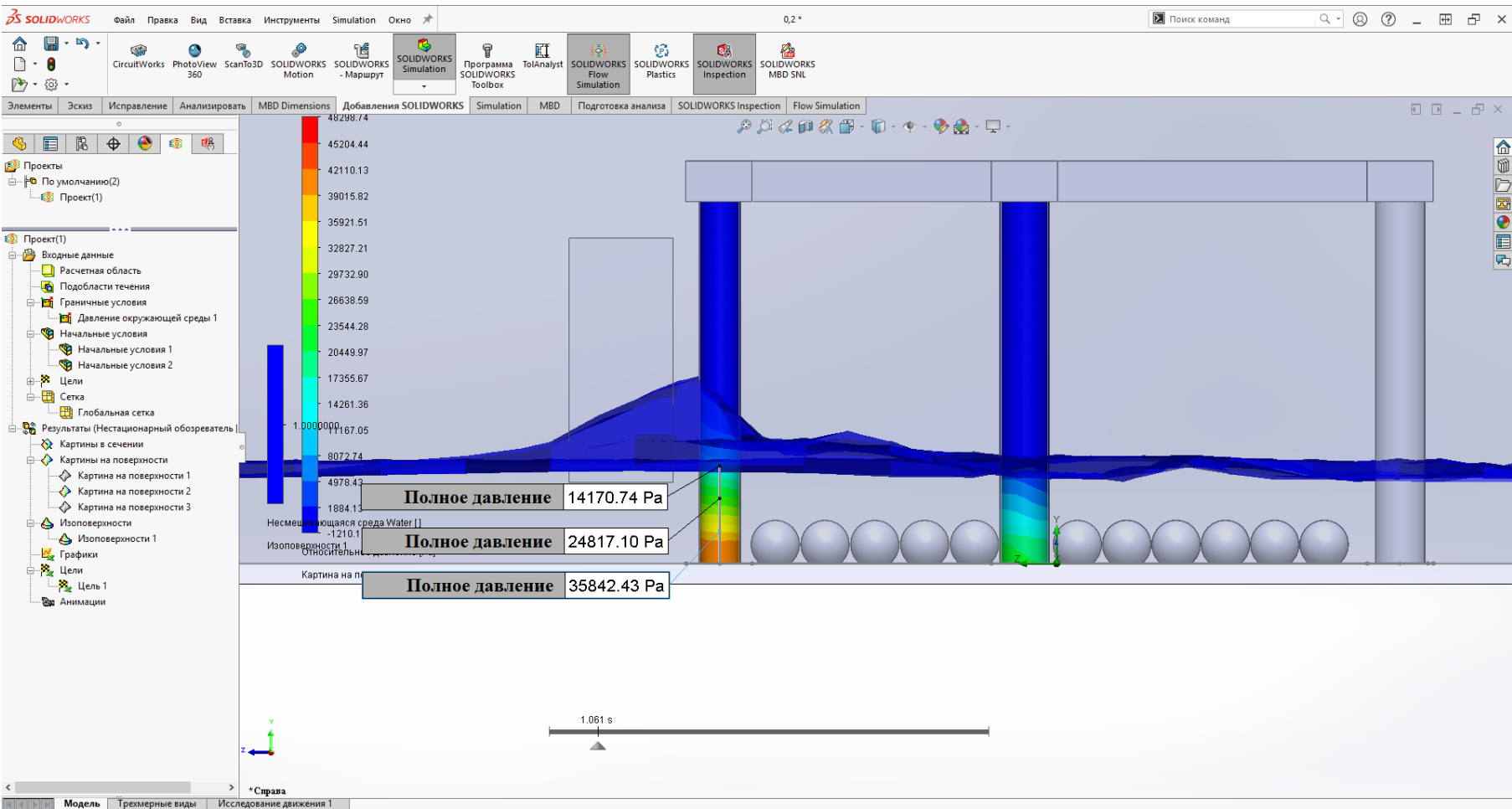
Был определен комплекс математических моделей гидро- и литодинамики прибрежной зоны моря моделирования заносимости портовых акваторий.

На основе разработанной классификации и указанных моделей разработаны инженерные методы расчета заносимости подходных каналов и портовых акваторий.

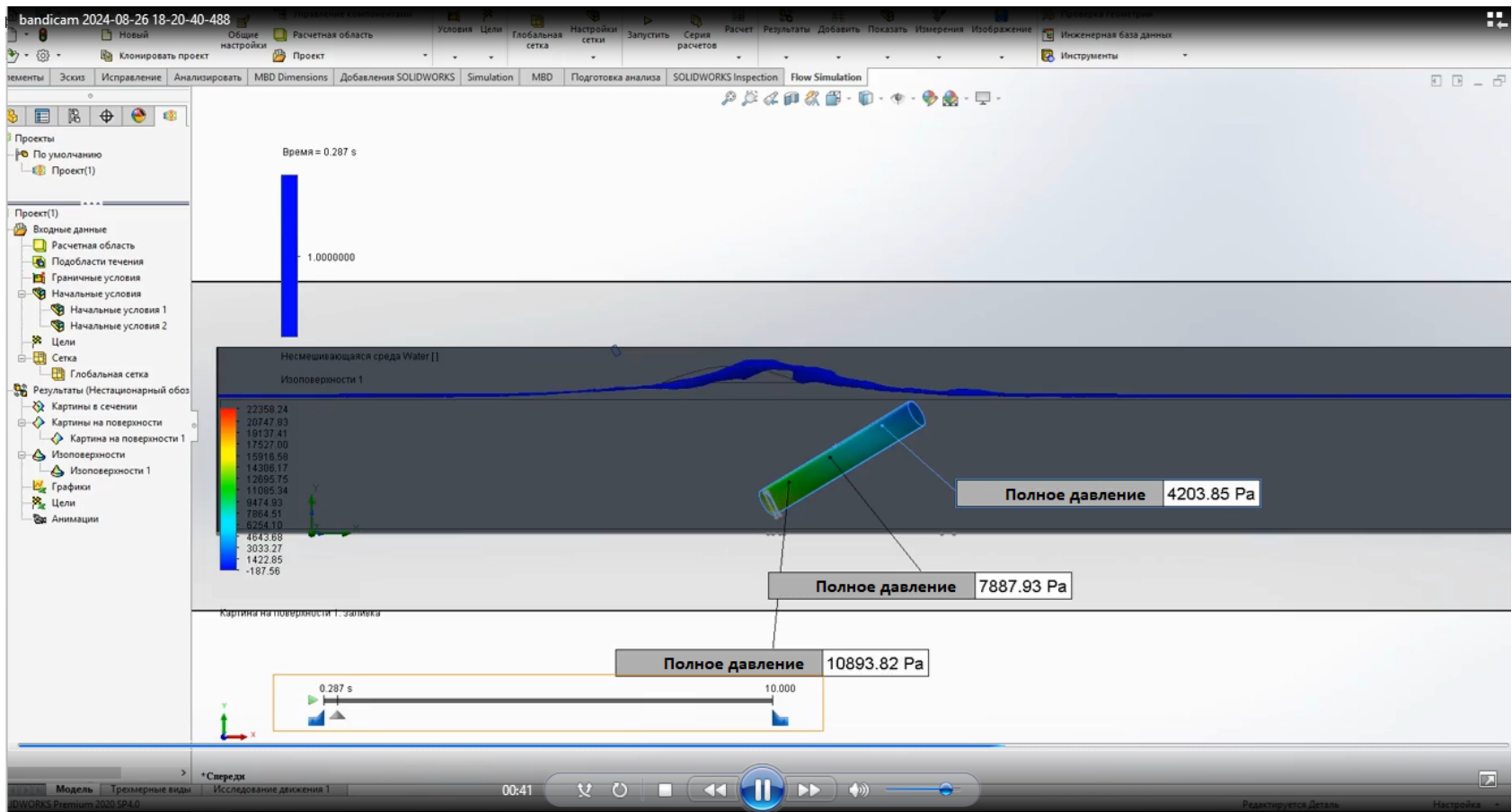
8 Методика имитационного моделирования взаимодействия волн с гидротехническими сооружениями



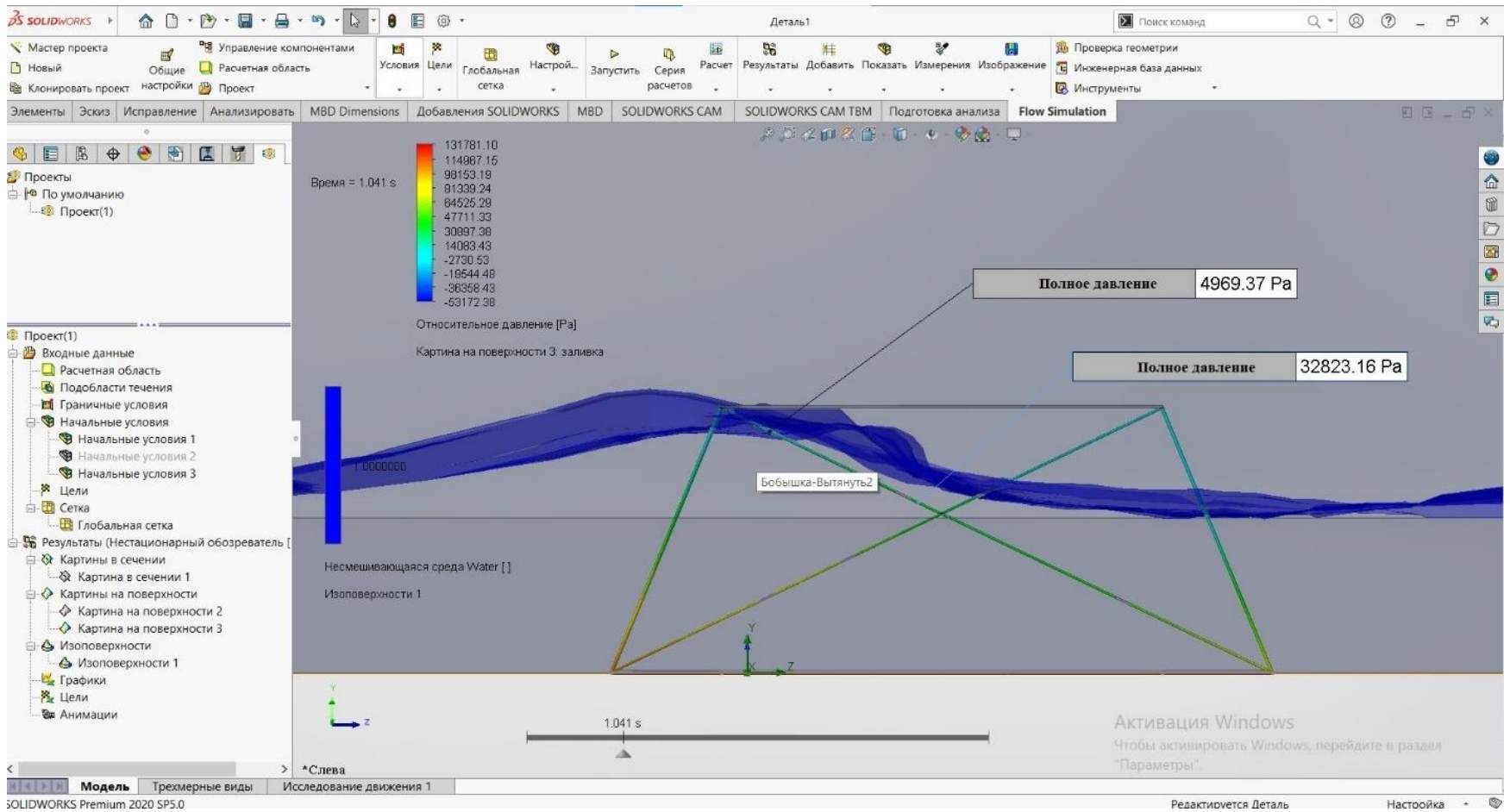
Модель трехрядной сквозной свайной стены



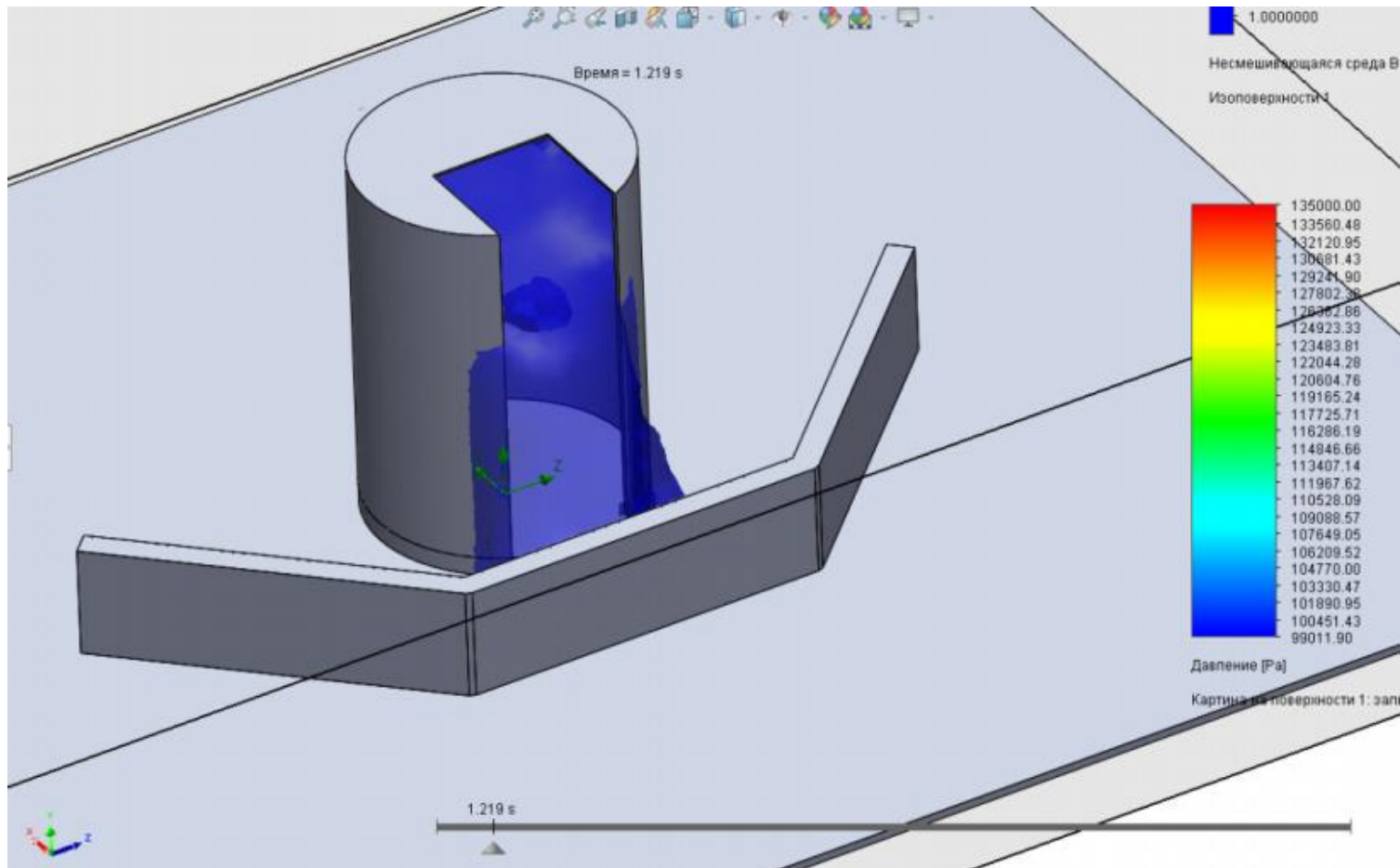
Прохождение волны через сквозную стену



Воздействие волны на цилиндр, произвольно расположенный в толще воды

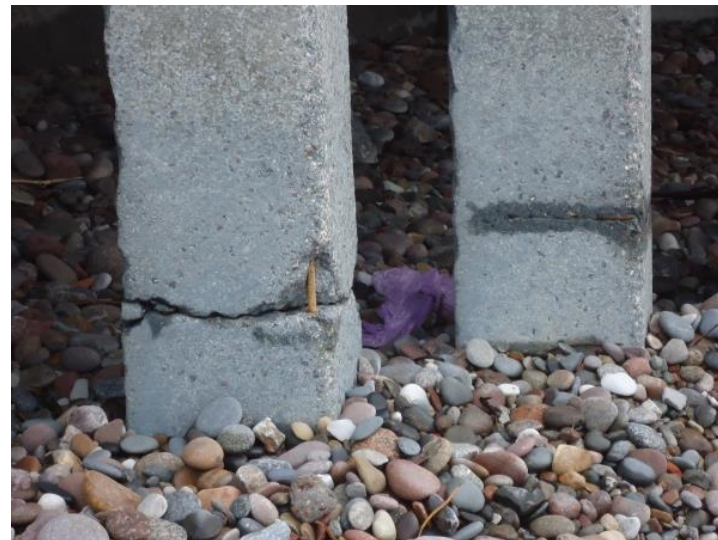


Воздействие волны на пространственную платформу



Моделирование формирования волны прорыва при разрушении резервуара с нефтепродуктом и ее воздействия на защитную стену

9 РАСЧЕТ ПОТЕРЬ МЕТАЛЛА СООРУЖЕНИЯМИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВОДНО-ГАЛЕЧНОЙ СМЕСИ



Получены зависимости для определения максимальной глубины трещин (борозд) h_{\max} , объема V и массы q металла, снимаемого за один удар абразивной частицы:

$$h_{\max} = 2Rv_0 \sin \beta \sqrt{\frac{\rho_v}{3c\sigma_s}},$$

$$V = 15.5k_c R^3 \left(\frac{1}{\operatorname{tg} \beta} - f \right),$$

$$q = V\rho_m,$$

где R – радиус галечной частицы, v_0 – скорость движения частицы, c – коэффициент несущей способности контактной поверхности, $c = 1 - 6$, σ_s – предел текучести материала, ρ_v – плотность материала частицы, кг/м^3 , f – коэффициент трения, $f = 0,25$, ρ_m – плотность материала элемента, подверженного эрозии (сваи), кг/м^3 .

10 Расчет трансформации волн и деформаций дна в рамках нелинейно-дисперсионной модели длинных волн

Основные уравнения

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{n} \frac{\partial}{\partial x} (\eta + d) U = 0, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} [1 + \varepsilon(1 - n)] \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{1}{n} U \frac{\partial U}{\partial x} + gn \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{2} \xi |U| U = \\ = \frac{d^2}{3} \frac{\partial^3 U}{\partial t \partial x^2} + d \frac{\partial d}{\partial x} \frac{\partial^2 U}{\partial t \partial x} + \frac{\partial E}{\partial x} - \frac{g |U| U}{C_n^2 (d + \eta)}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial d}{\partial x} + \left(\frac{1}{1 - e} \right) \frac{\partial q}{\partial x} = 0, \quad (3)$$

$$q = \left(\frac{A_D}{d^{0.25}} + A_B \right) U^3 (U - U_{\text{неп}}), \quad (4)$$

$$A_D = \frac{2(1+p)}{g^{1.5} d_{50\%}^{0.25} \rho_H}, \quad (5)$$

$$A_B = \frac{0.2(1+p)}{gW\rho_H}, \quad (6)$$

$$U_{\text{неп}} = 1.57 \sqrt{d_{50\%} \ln \left(\frac{12d}{d_{50\%}} \right)}, \quad (7)$$

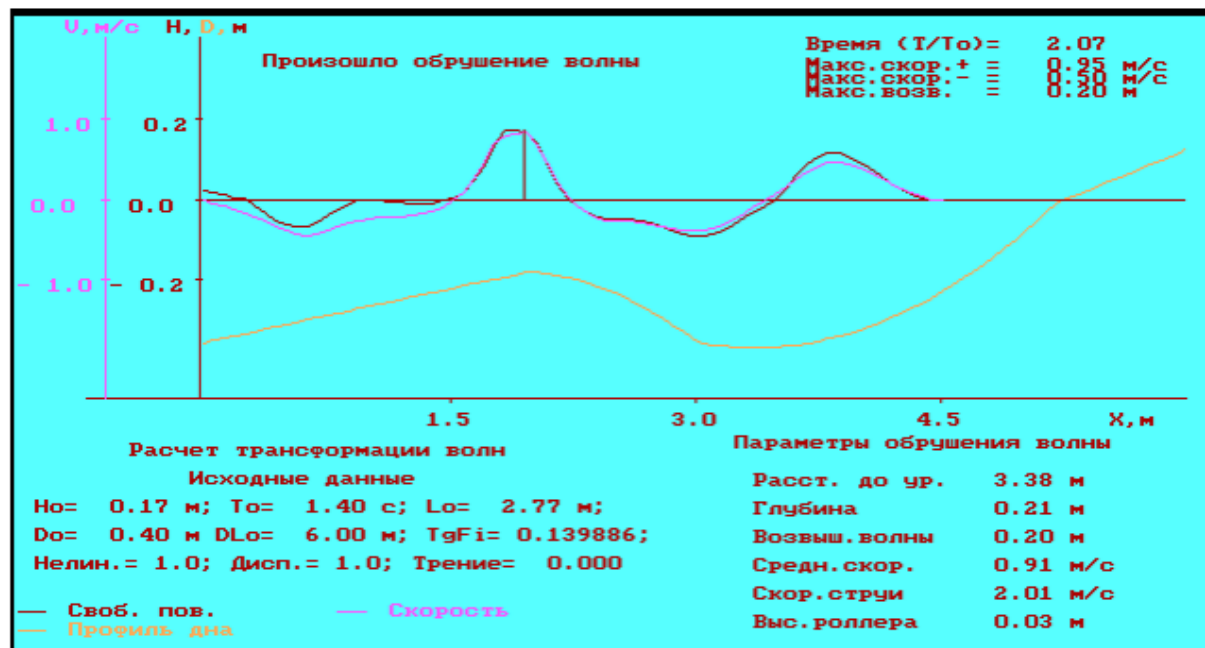


Рис. 1. Обрушение волны над подводным валом

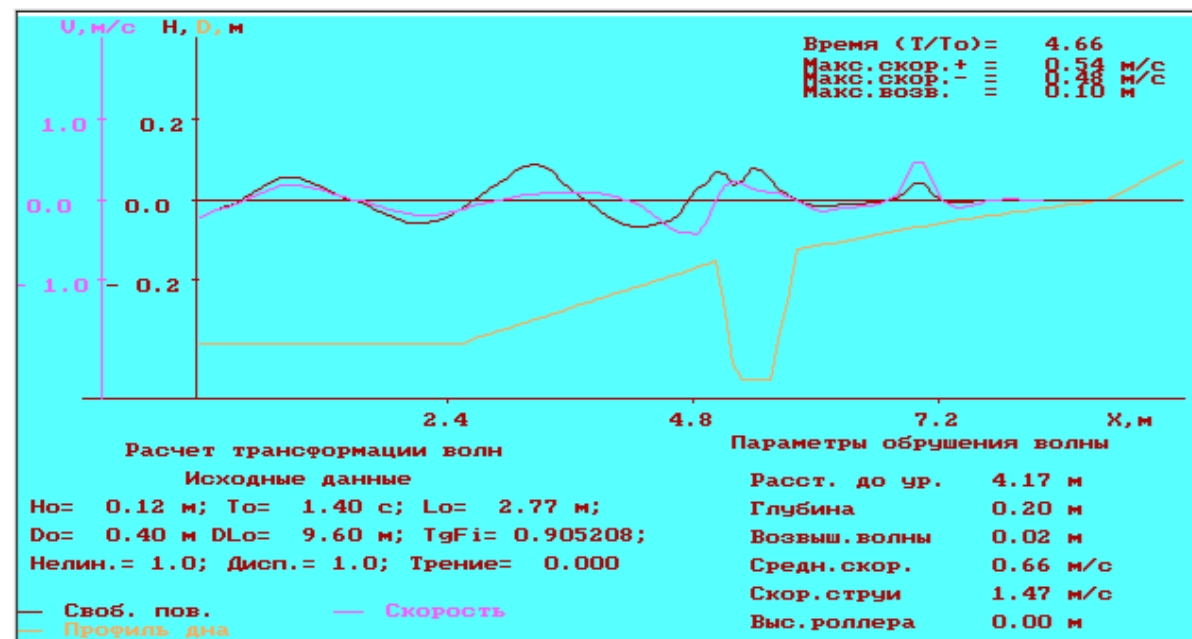


Рис. 2. Разделение гребня волны на две части над подводной траншеей

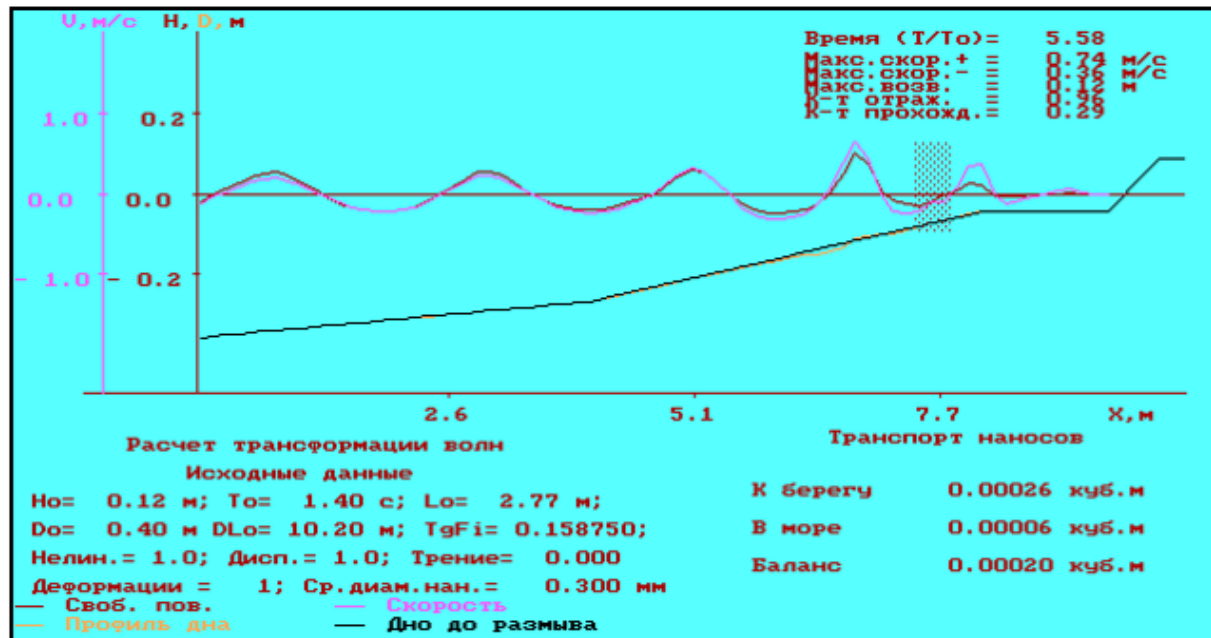


Рис. 3. Прохождение волны через проницаемую наброску

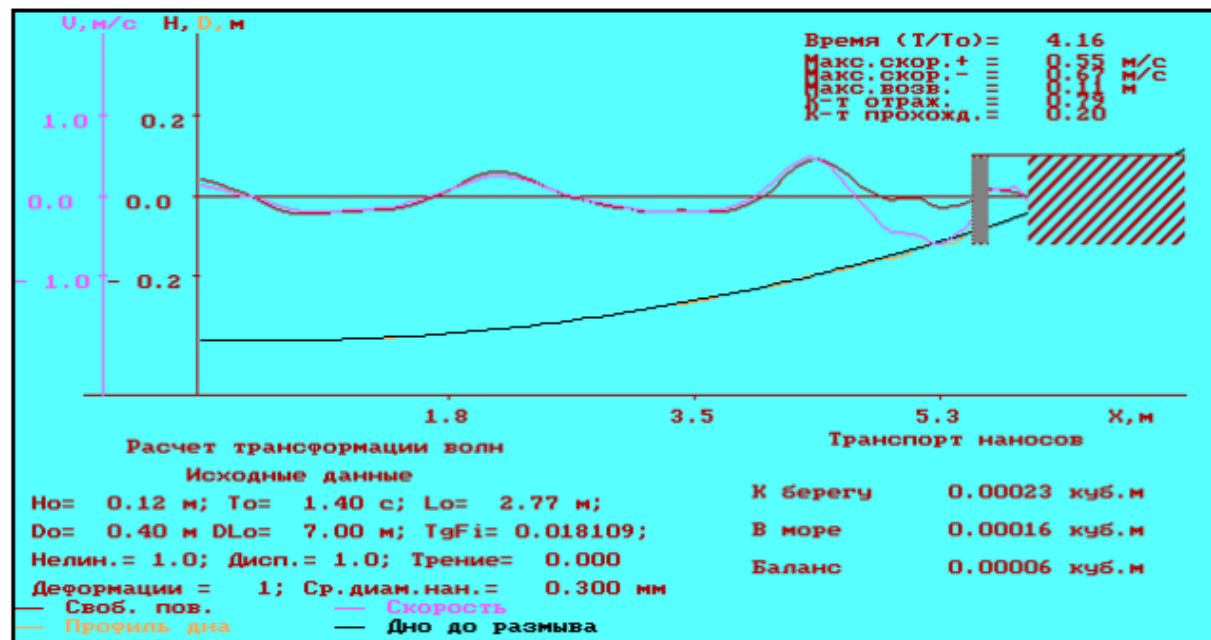
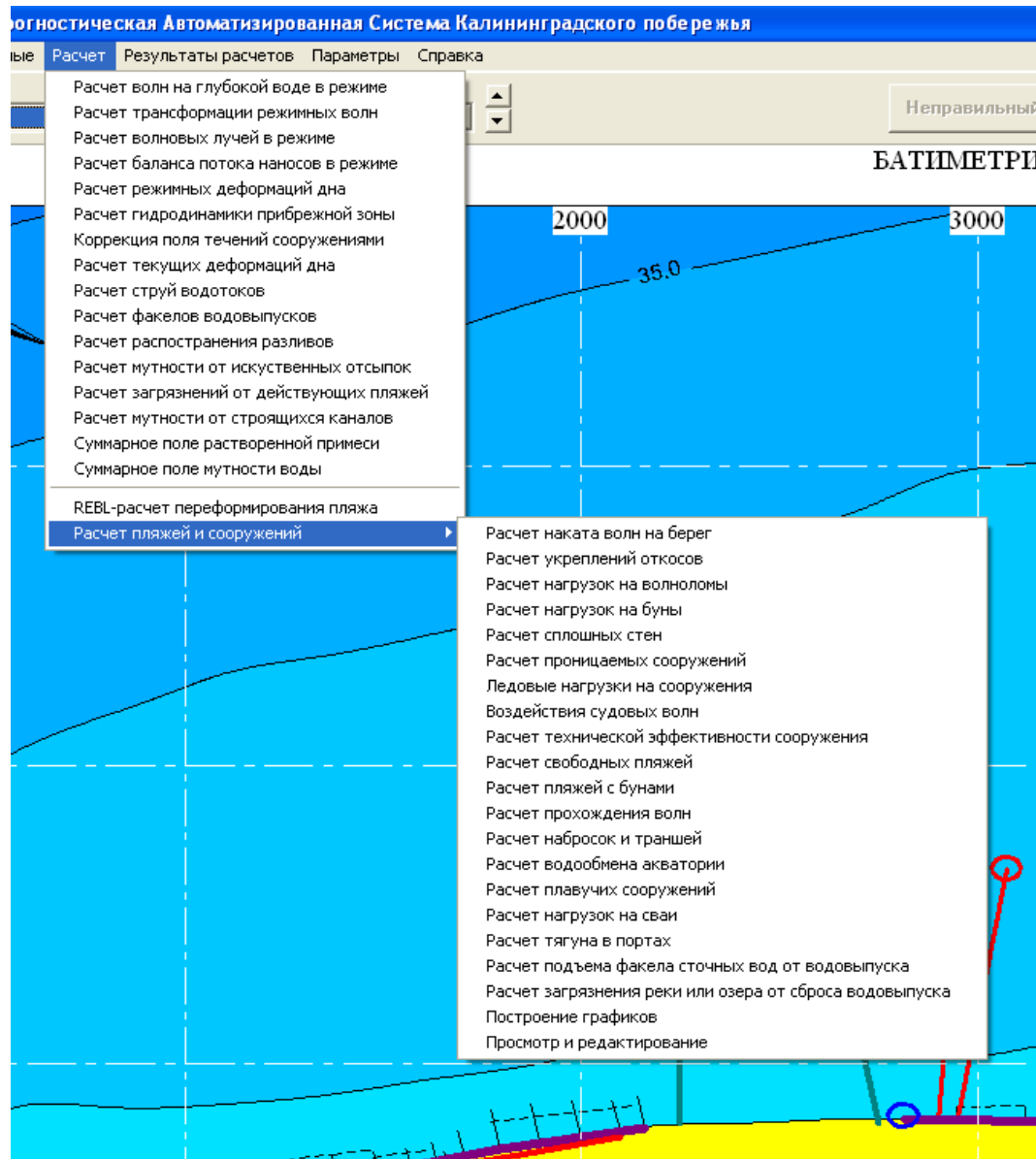


Рис. 4. Прохождение волны через однорядную сквозную стену

11 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения от волн и льда



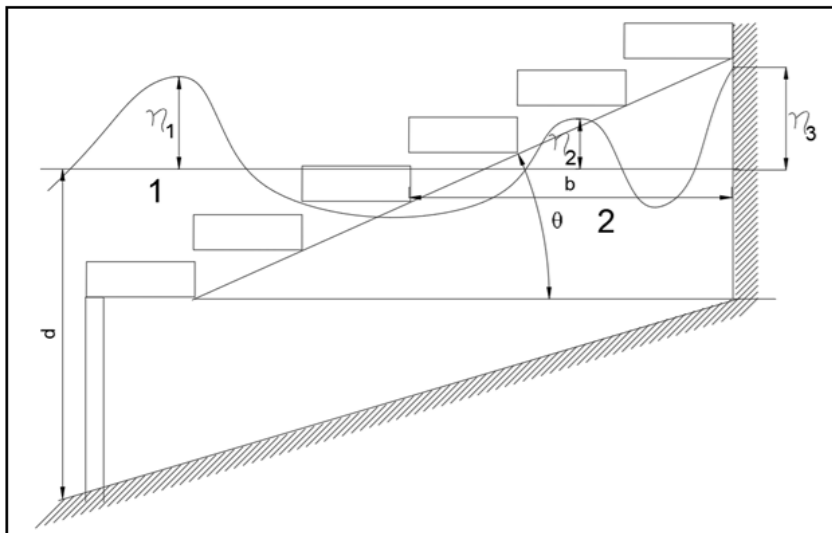


Рис. 1. Схема взаимодействия волн со сквозной откосно-ступенчатой стеной

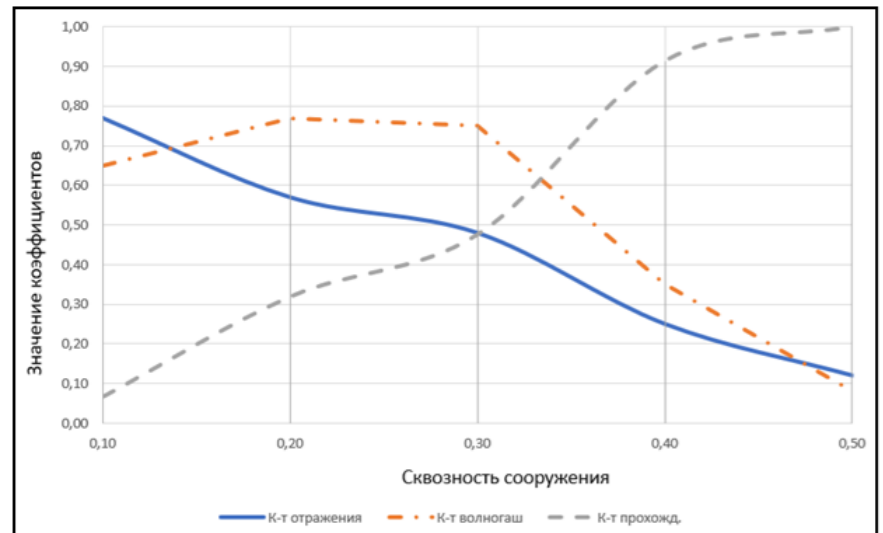


Рис. 5. Зависимость коэффициентов отражения, прохождения волн и волногашения от сквозности откосно-ступенчатой стены с волновой камерой шириной 30 м

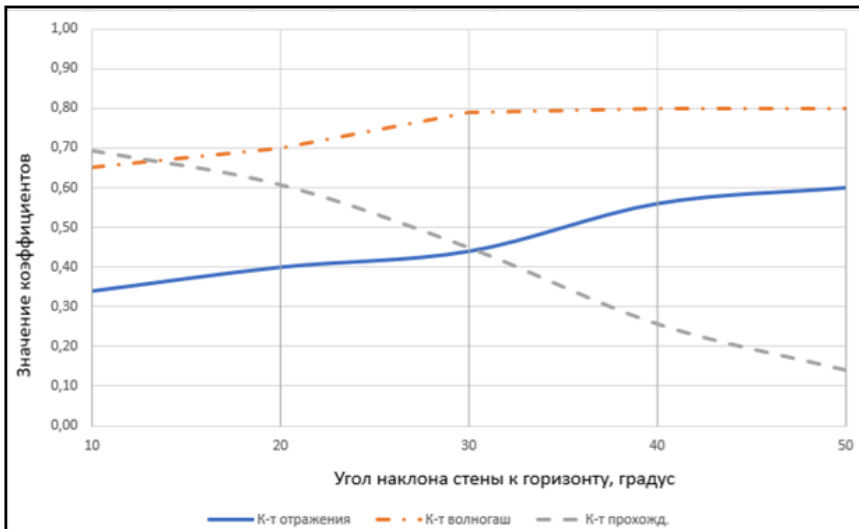


Рис. 6. Зависимость коэффициентов отражения, прохождения волн и волногашения от угла наклона откосно-ступенчатой стены к горизонту

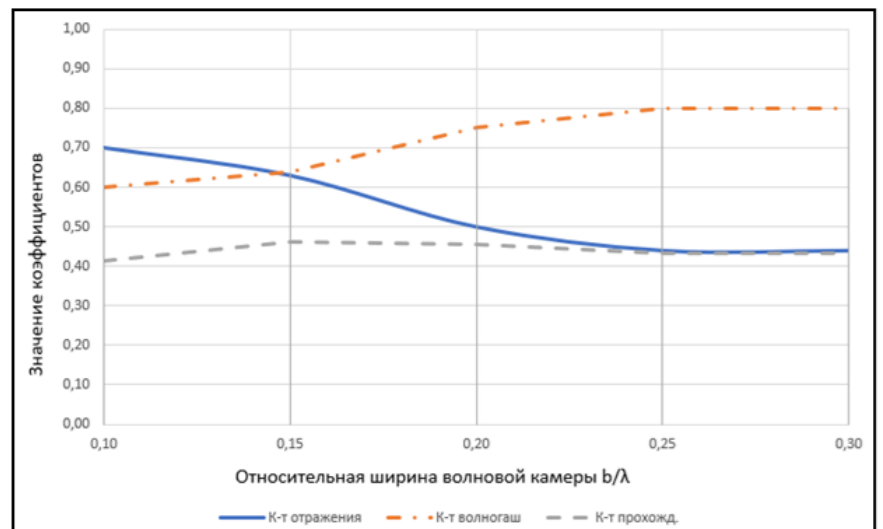
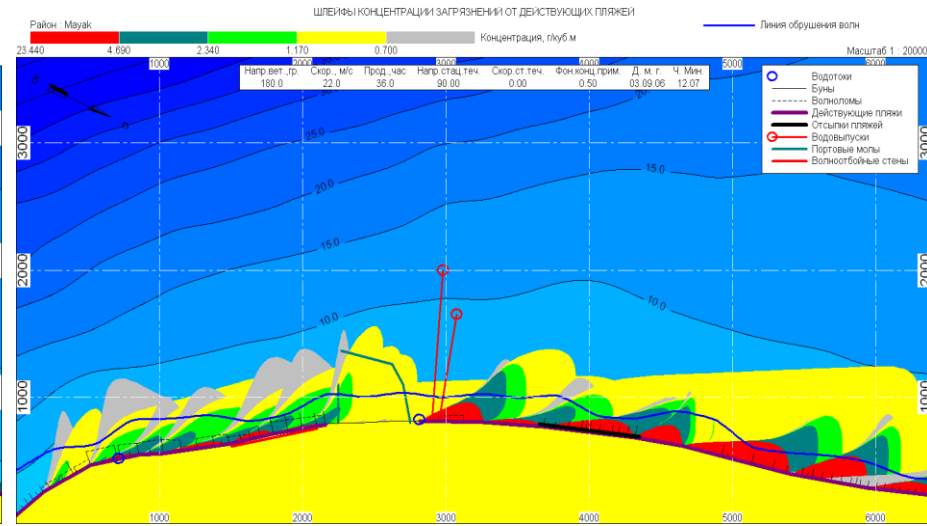
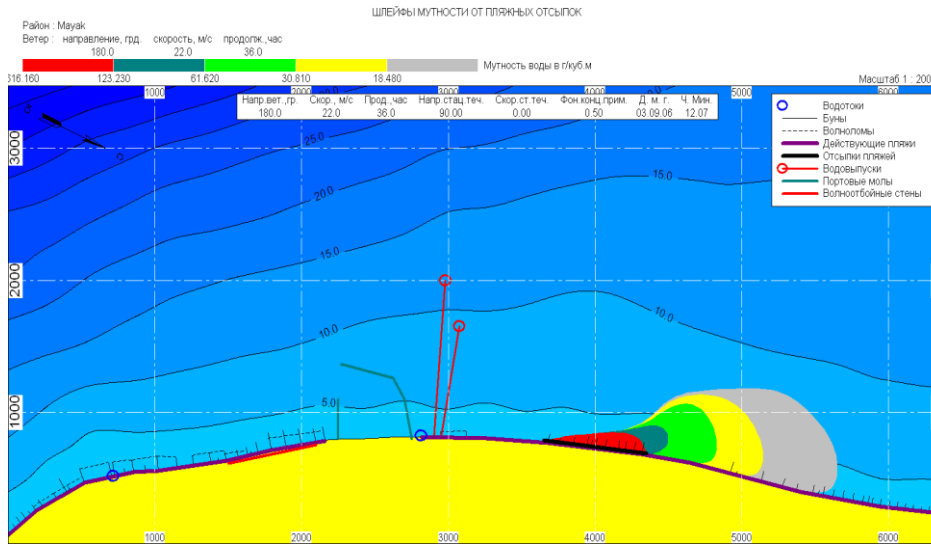


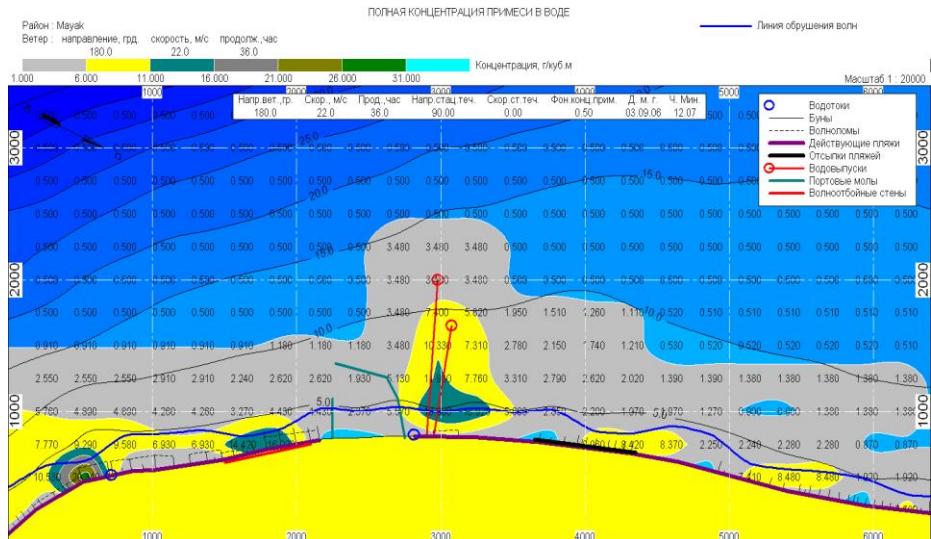
Рис. 7. Зависимость коэффициентов отражения, прохождения волн и волногашения от относительной ширины волновой камеры

Мутность от пляжных отсыпок

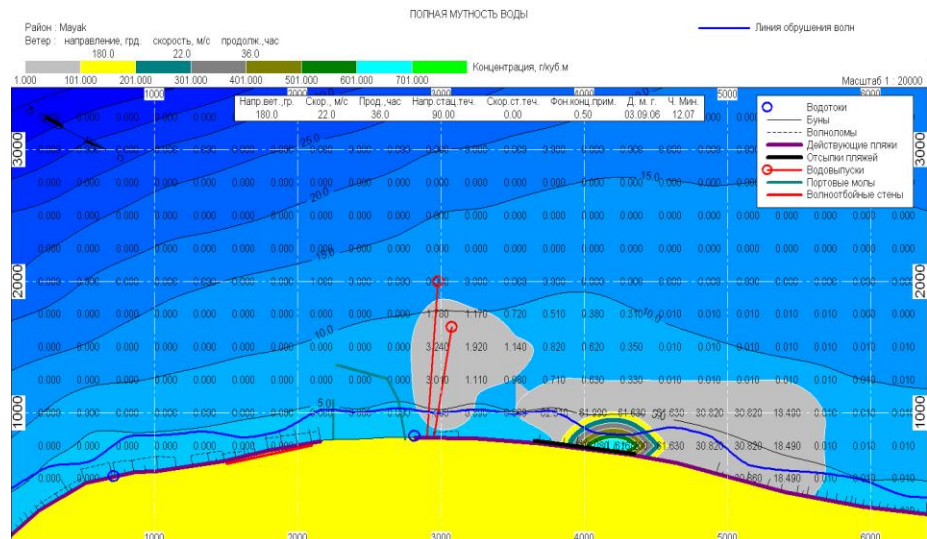
Загрязнения от действующих пляжей



Суммарное поле примеси



Суммарное поле мутности



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ