

Леонтьев И.О.¹, Кошелев К.Б.², Марусин К.В.², Шибких А.А.²

Leont'yev I.O., Koshelev K.B., Maroussine K.V., Shibcikh A.A.

¹ - *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва,*

² - *Институт водных и экологических проблем Сибирского Отделения РАН, г. Барнаул*

¹ – *P.P.Shirshov's Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow*

² – *Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch, Russian Academy of Science, Barnaul*

Программные продукты для математического моделирования и прогнозирования береговых процессов волновой природы

**The software kit developed for solving some typical
coastal engineering problems**

ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ (назначение и функции)

The software classification by purpose and functionality

➤ «Береговой инженерный калькулятор»

Простые оценочные инженерные расчеты

Набор расчетных формул для интерактивных вычислений в рамках единого интерфейса

“Coastal Engineering Calculator”

Simple engineering estimations

A collection of the formulas for interactive calculations

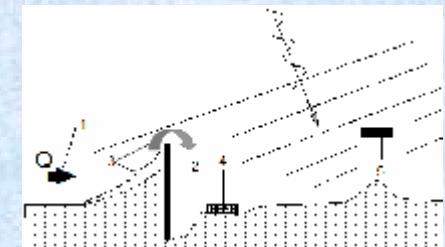
IC

➤ «Модель береговой линии»

Моделирование изменений береговой линии, обусловленных пространственно-временными вариациями вдольберегового потока наносов

“ShoreLine Model”

Modeling of shoreline evolution produced by spatial and temporal variations in the longshore sand transport



SLM

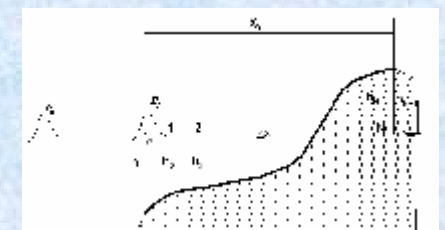
➤ «Динамика профиля»

Моделирование переформирования поперечного профиля берега ветровым волнением

“Coastal Profile Model”

Modeling of coastal profile changes caused by storm waves and water level variations

CROSS-P



IS «Береговой инженерный калькулятор»

➤ **Расчет параметров волн (высота, период) вне береговой зоны по заданным волнообразующим факторам (разгон, скорость ветра, глубина на участках разгона)**

Offshore wave parameters' forecast. Given: fetch, depths along the fetch, wind speed. Calculated: wave height and period (mean, rms, significant)

➤ **Расчет трансформации параметров волн в береговой зоне**

Calculations of wave shoaling and refraction

➤ **Расчет профиля динамического равновесия и объемов отсыпки искусственного пляжа**

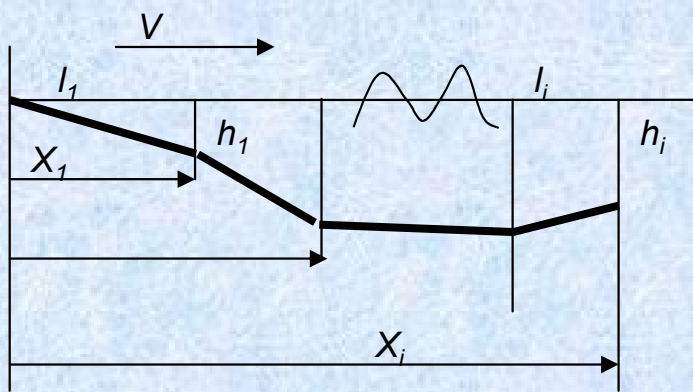
Calculations of equilibrium beach profile and the nourishment volume for a beach nourishment project

➤ **Расчет результирующего «годового» вдольберегового потока наносов**

Net "annual" longshore sediment transport calculations

Расчет параметров волн вне береговой зоны

Offshore wave parameters' forecast



Пример расчета для участка левого берега Новосибирского вдхр.
The real values for the Novosibirsk Reservoir are shown

Инженерный калькулятор

Волны вне береговой зоны | Волны в береговой зоне | Пляж | Поток наносов

Участки разгона

Длина участка, м	Глубина в конце участка, м	
6000	13,00	+
6000 <i>the fetch sections' length</i>	10,00 <i>depth for each section</i>	+
5000	10,00	+
4000	15,00	+
1000	10,00	+

Скорости ветра

Скорость ветра, м/с	
10,0	+
14,0	+
24,0	+

Wind speed values

Кoeffициент обрушения

wave parameters at the intermediate points

Параметры волн в расчетной точке

X, м	V, м/с	H, м	T, с	Hrms, м	Hsig, м	Tr, с
22000	10,0	0,596	3,37	0,673	0,954	4,04
22000	14,0	0,841	3,84	0,949	1,346	4,61
22000	24,0	1,299	4,40	1,467	2,078	5,28

Calculated wave parameters at the end point

Параметры волн по участкам разгона

V, м/с	l, м	h, м	X, м	H, м	T, с	Hrms, м
10,0	6000	13,00	6000	0,387	2,57	0,437
10,0	6000	10,00	12000	0,492	2,98	0,555
10,0	5000	10,00	17000	0,545	3,18	0,615
10,0	4000	15,00	21000	0,589	3,34	0,665
10,0	1000	10,00	22000	0,596	3,37	0,673
14,0	6000	13,00	6000	0,566	3,00	0,639
14,0	6000	10,00	12000	0,700	3,42	0,790

Данные

Загрузить

Сохранить

Проект

Загрузить

Сохранить

Очистить

Результаты

Расчет

Сохранить

Графики

Расчет трансформации параметров волн в береговой зоне

Calculations of wave shoaling and refraction

Инженерный калькулятор

Волны вне береговой зоны | **Волны в береговой зоне** | Пляж | Поток наносов

Начальная глубина, м
depth at the start point

Высота волны на начальной глубине, м
wave height at the start point

Период волны на начальной глубине, с
wave period at the start point

Длина волны на начальной глубине, м

Угол подхода волн к берегу, град
angle of wave incidence at the start point

Шаг по глубине, м

Значения глубин для расчета, м

Глубина, м

Коэффициент обрушения

Параметры волн на расчетных глубинах

h, м	H, м	T, с	A, град	L, м	C, м/с
4,50	1,72	5,28	42,7	31,27	5,92
4,00	1,71	5,28	40,4	29,88	5,66
3,50	1,71	5,28	37,9	28,32	5,36
3,00	1,71	5,28	35,2	26,57	5,03
2,50	1,73	5,28	32,2	24,57	4,65
2,23	1,74	5,28	30,5	23,37	4,43

Calculated wave parameters at the depths given

Высота волны

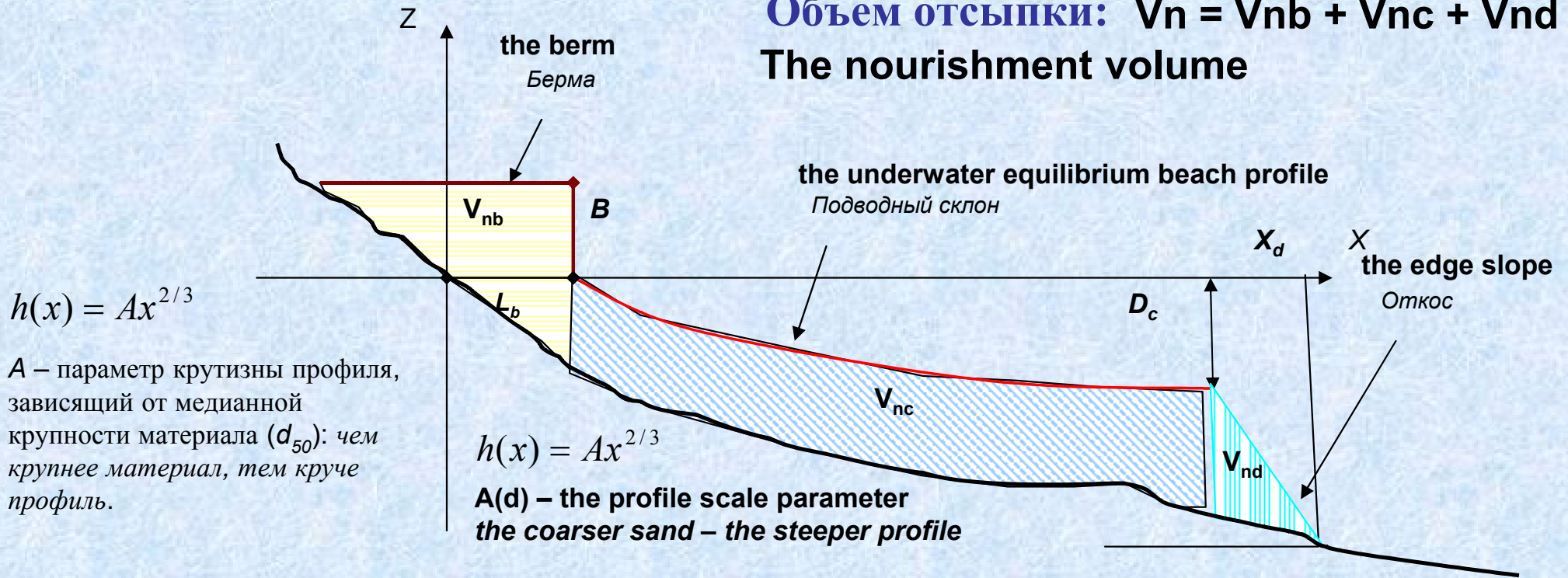
water depth

wave breaking

Расчет профиля динамического равновесия и объемов отсыпки искусственного пляжа

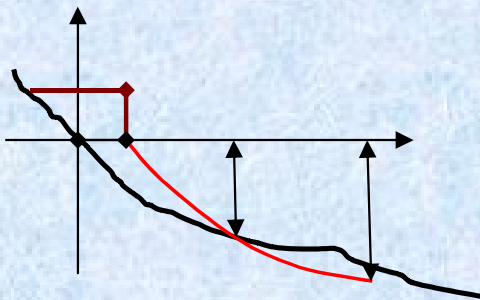
Calculations of equilibrium beach profile and the nourishment volume for a beach nourishment project

Объем отсыпки: $V_n = V_{nb} + V_{nc} + V_{nd}$
The nourishment volume

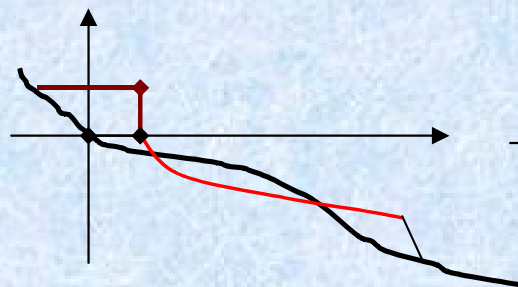


A – параметр крутизны профиля, зависящий от медианной крупности материала (d_{50}): чем крупнее материал, тем круче профиль.

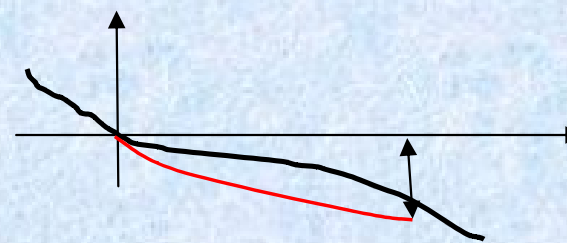
«Усеченный» профиль
Intersecting profile



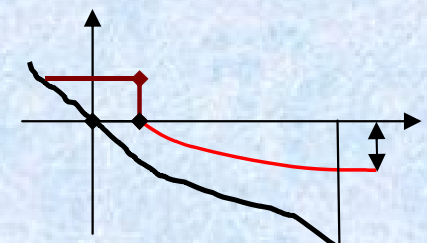
«Кусочный» профиль
“submerged” profile



«Спрятанный» профиль
“hidden” profile



Нехватка данных
luck of the data



Расчет профиля динамического равновесия и объемов отсыпки искусственного пляжа

Calculations of equilibrium beach profile and the nourishment volume for a beach nourishment project

Пример расчета для участка левого берега Новосибирского вдхр.
The real values for the Novosibirsk Reservoir are shown

Инженерный калькулятор

Волны вне береговой зоны | Волны в береговой зоне | **Пляж** | Поток наносов

berm advance
Выдвижение бермы, м

berm elevation
Высота бермы, м

wave height
Высота расчетной волны, м

Крупность материала (d50)

Крупность, мм	
0,15	+
0,20	+

nourished sand sizes

Исходный профиль

Расстояние, м	Высота, м усл	
175,0	-3,00	+
200,0	-3,10	+
225,0	-3,25	+
250,0	-3,50	+
300,0	-4,20	+
350,0	-5,30	+

initial (natural) profile

Шаг вывода, м

Точки расчета

Расстояние, м	

Коэффициент обрушения

Угол естественного откоса в воде, град

Данные

Загрузить

Сохранить

Проект

Загрузить

Сохранить

Очистить

Результаты

Расчет

Сохранить

Графики

depth of closure
Глубина замыкания, м

Профиль искусственного равновесия

d50, мм	X, м	Z равн, м	Z исх, м	delta Z, м
0,15	5,00	0,000	-0,300	0,300
0,15	5,20	-0,024	-0,312	0,288
0,15	5,40	-0,037	-0,324	0,287
0,15	5,60	-0,049	-0,336	0,287
0,15	5,80	-0,059	-0,348	0,289

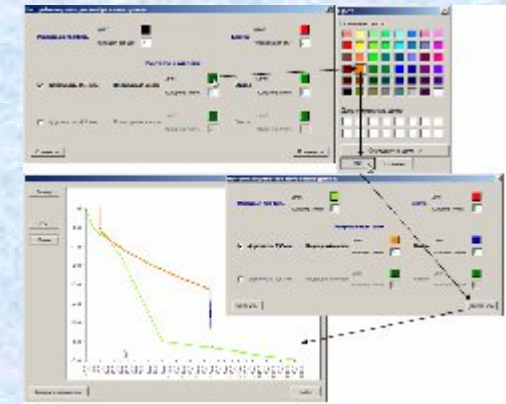
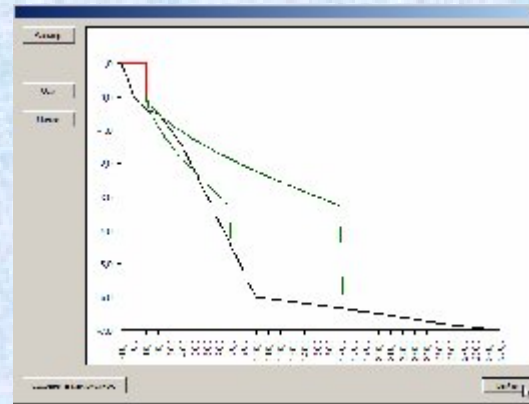
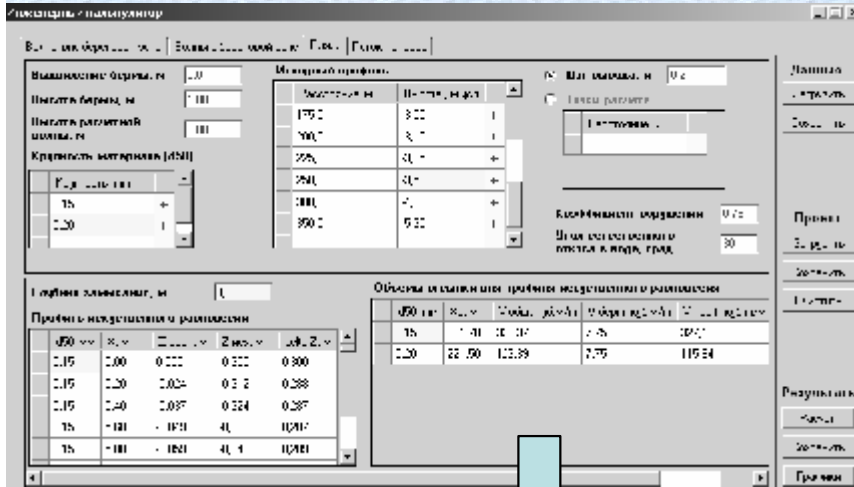
calculated profile for each sand size

Объемы отсыпки для профиля искусственного равновесия

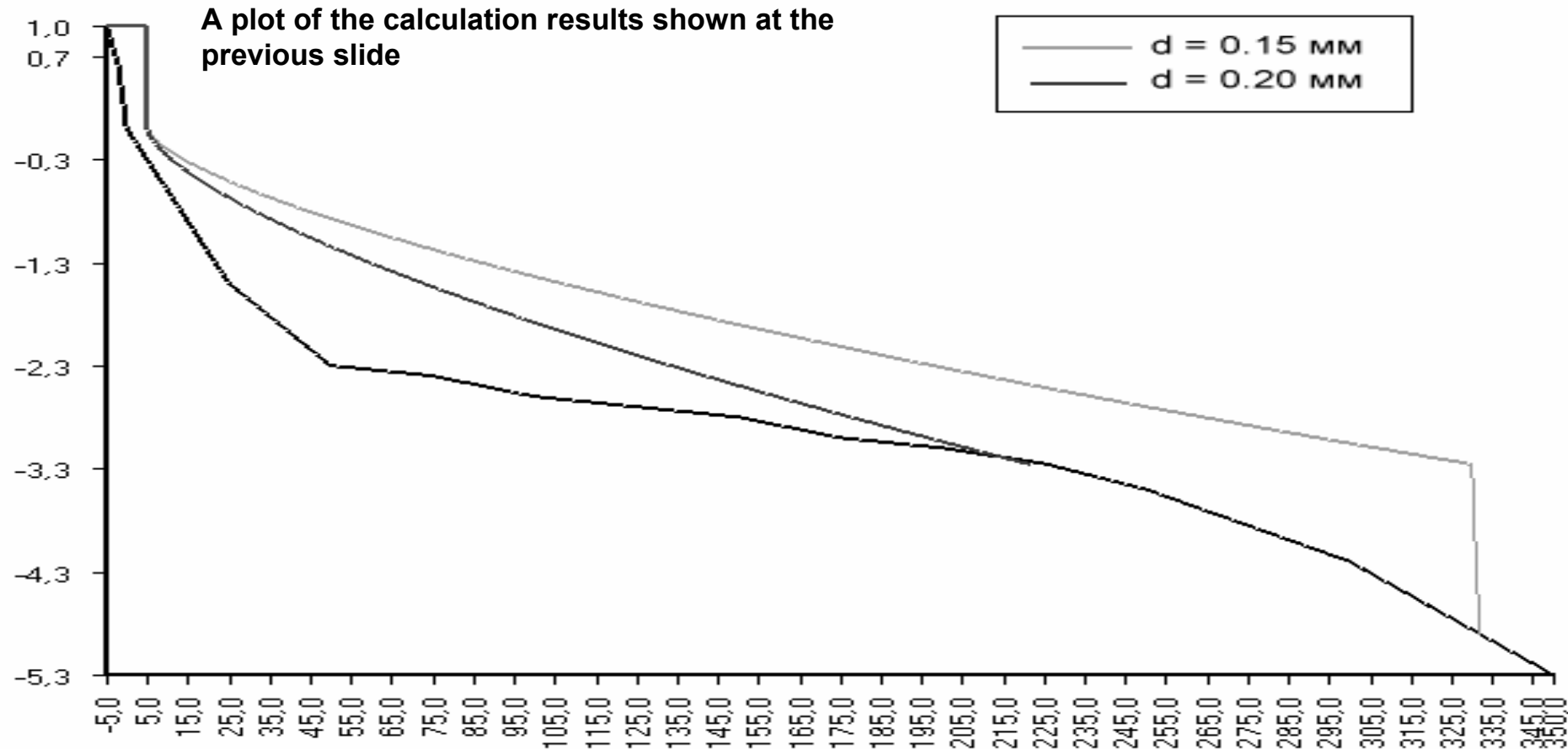
d50, мм	Xd, м	V общ, куб.м/м	V берм, куб.м/м	V проф, куб.м/м
0,15	331,70	336,37	7,75	327,10
0,20	221,50	123,39	7,75	115,64

nourishment volumes for each sand size

Graphical presentation ability



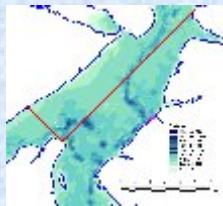
Графическое представление результатов расчетов, показанных на предыдущем слайде



Расчет результирующего «годового» вдольберегового потока наносов

Net "annual" longshore sediment transport calculations

IC



W (m/s)	Направленные								№
	K	BF	K	BF	RW	W	RW	W	
1 (1.1 - 1.5)	39	33	18	12	27	6	9	27	173
2 (1.6 - 2.0)	285	138	135	105	393	238	390	279	2532
3 (2.1 - 2.5)	129	21	96	93	300	411	253	144	2493
4 (2.6 - 3.0)	12	6	3	24	66	66	57	15	240
5 (3.1 - 3.5)	9	3		3	3		6	3	24
6 (3.6 - 4.0)			3						3
Sum (1 - 6)	474	261	255	234	729	722	724	468	3884
Min (1 - 6)									176
									1076



Пример расчета для участка правого берега Камского вдхр.

Инженерный калькулятор

Волны вне береговой зоны | Волны в береговой зоне | Пляж | Поток наносов

The real values for Kamskoye Reservoir are shown

Экспозиция береговой линии, град shoreline orientation: 30,7

Начальная расчетная глубина, м offshore depth: 10,00

Коэффициент обрушения wave breaking factor: 0,78

Плотность воды, кг/куб.м water and sediment density: 1000

Плотность наносов, кг/куб.м: 2650

Коэффициент пористости sediment porosity: 0,40

Параметры волн на начальной глубине annual scenario of the wave action

Направление, град	Высота (sig), м	Период (sig), с	Продолжительность, час/год
45,0	1,41	4,75	3,00
45,0	1,84	5,19	3,00
90,0	0,30	2,33	96,00
90,0	0,47	2,83	3,00
90,0	1,02	3,87	3,00
90,0	1,36	4,31	3,00

wave direction wave height wave period storm duration (hrs/yr)

Данные

Загрузить

Сохранить

Проект

Загрузить

Сохранить

Очистить

Результаты

Расчет

Сохранить

Графики 9

← The annual rates of sand transport m³/yr The wave parameters and sand transport for each storm →

Годовые значения расхода наносов, куб.м/год

Слева - направо	Справа - налево	Результирующий
2810	-5357	-2547

from left to right (+) the net transport

Годовые значения расхода наносов по направлениям волнения

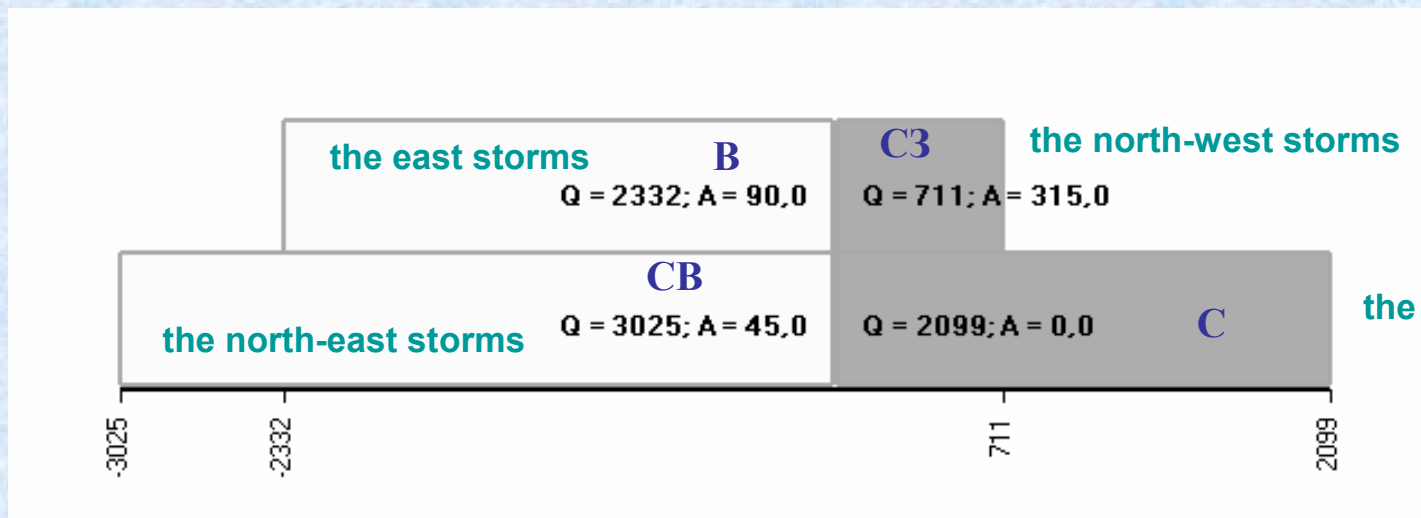
Направление, град	Время, час	Расход, куб.м/год
315,0	165	711
0,0	153	2099

Параметры волн и годовые расходы наносов для каждого шторма

Напр., град	H0, м	T, с	A0, град	hb, м	Hb, м	Ab, град	P, час
0,0	0,29	2,27	30,7	0,36	0,28	15,0	129
0,0	0,44	2,74	30,7	0,55	0,43	15,3	12
0,0	0,60	3,11	30,7	0,75	0,58	15,7	9
0,0	0,98	3,77	30,7	1,22	0,95	16,5	3
315,0	0,27	2,18	75,7	0,21	0,16	23,1	144
315,0	0,41	2,63	75,7	0,31	0,24	23,5	15
315,0	0,56	2,97	75,7	0,42	0,33	24,2	3

Диаграмма «годовых» вдольбереговых потоков наносов
(по результатам расчетов, показанных на предыдущем слайде)

The sediment transport annual rates' diagram



Инженерный калькулятор

Волны в береговой зоне | Волны в береговой зоне | Шторм | Потоки наносов

Экспозиция береговой линии, град: 30,7

Начальная расчетная глубина, м: 10,00

Коэффициент обрешения: 0,76

Плотность воды, кг/куб.м: 1000

Плотность наносов, кг/куб.м: 2650

Коэффициент пористости: 0,40

Параметры волн на начальной глубине

Направление, град	Высота (zг), м	Период (sig), с	Продолжительность, час/год
45,0	1,41	4,76	3,00
45,0	1,04	5,10	3,00
90,0	3,30	2,33	96,00
90,0	3,47	2,33	3,00
0,0	1,02	0,37	3,00
90,0	1,36	4,31	3,00

Данные: Загрузить, Сохранить

Проект: Загрузить, Сохранить, Очистить

Результаты: Расчет, Сохранить, Печать

Годовые значения расхода наносов, куб.м/год

Слева - на право	Справа - налево	Результат (сумма)
2810	-5357	-2547

Годовые значения расхода наносов по направлениям волнения

Направление, град	Время, час	Расход, куб.м/год
315,0	157	711
0,0	153	2099

Параметры волн и годовые расходы наносов для каждого шторма

Напр, град	Hг, м	T, с	Δθ, град	hг, м	Hг, м	Δθ, град	P, час
0,0	0,29	2,77	30,7	1,35	0,29	-5,0	129
0,0	0,44	2,74	30,7	3,55	0,43	5,3	12
0,0	0,00	0,11	30,7	3,75	0,50	-5,7	0
0,0	0,98	3,77	30,7	1,22	0,95	-6,5	3
315,0	0,27	2,16	75,7	1,21	0,15	23,1	144
315,0	0,41	2,35	75,7	1,31	0,24	23,5	17
315,0	0,56	2,37	75,7	1,42	0,33	24,2	3

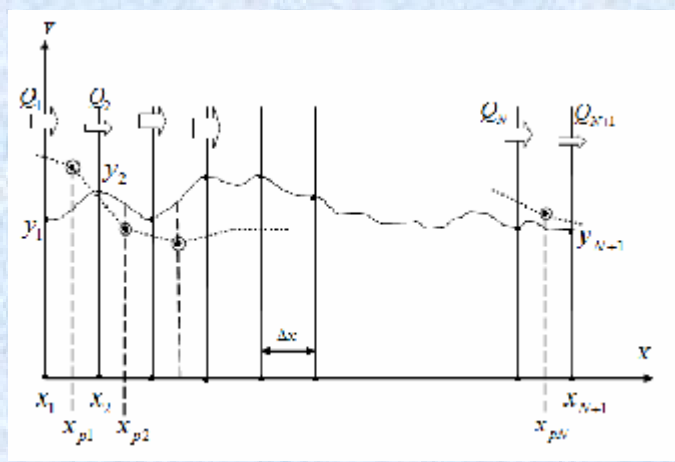
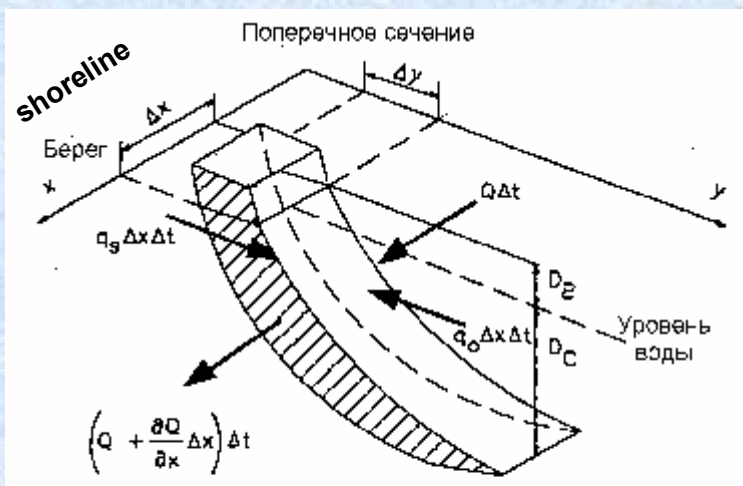
Моделирование изменений береговой линии, обусловленных пространственно-временными вариациями вдольберегового потока наносов

Modeling of shoreline evolution produced by spatial and temporal variations in the longshore sand transport

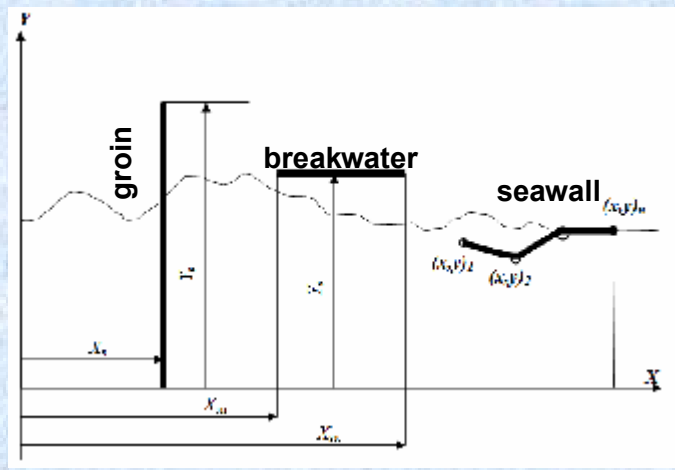
$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{(D_B + D_c)} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - q \right) = 0$$

- Уравнение баланса наносов
- Постоянство формы профиля

Sand conservation equation
Constant shape of the beach profile



Различные комбинации сооружений, влияющих на вдольбереговой поток наносов (буны, волноломы, стенки)



Назначение:

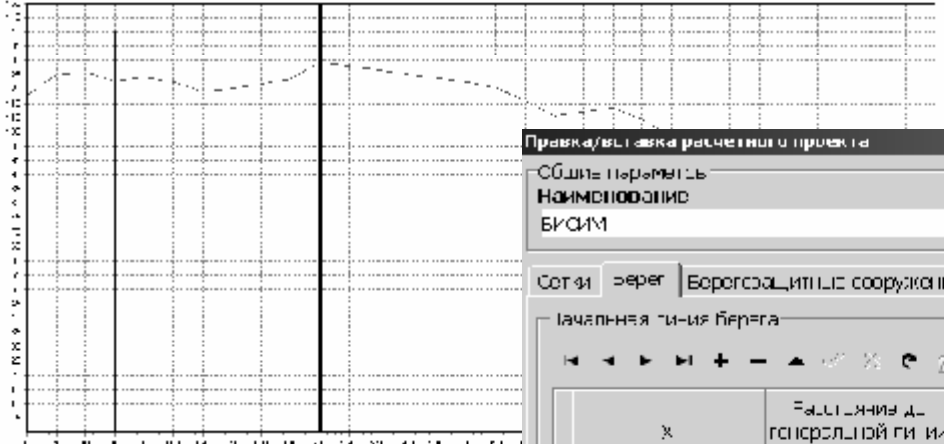
- Прогноз эволюции береговой линии на среднесрочную перспективу
- Оценка работоспособности различных схем берегозащиты, выбор наиболее эффективного варианта

Applications:

- Shoreline evolution forecast at the time scale from a month to 10-15 years
- Coastal project planning and evaluation

SLM main window

№	Наименование	Плотность материала	Пористость	Высота бермы	Глубина замыкания	Азимут нормали генеральной линии берега	Крупность наносов
1	Исходные данные	1000	0.4	2	0.8	315	0.15
2	Параметры расчета	1000	0.4	2	0.8	315	0.15
3	Параметры моделирования	1000	0.4	2	0.8	315	0.15
4	Параметры визуализации	1000	0.4	2	0.8	315	0.15



Правка/вызовка расчетного проекта

Общие параметры
Наименование: ВИСИМ

Плотность воды: 1000

Сети: берег | Берегозащитные сооружения | Волны | Калибровочные параметры

Генеральная линия берега

x	Расстояние до генеральной линии берега
0	-17.78
20	-124.91
40	-125.98
60	-122.77
80	-124.21
100	-122.98
120	-119.14
140	-120.27
160	-117.7
180	-123.59
200	-125.3
220	-128.08
240	-126.67
260	-125.13
280	-123.85
300	-122.42
320	-121.57
340	-115.41
360	-110.59
380	-112.05
400	-113.49
420	-109.27

Initial shoreline position data

Граничные условия

Левое граничное условие: Поток Q $dQ/dx=0$

Правое граничное условие: Поток Q $dQ/dx=0$

Плотность материала наносов: 1600 **sediment density**

Пористость: 0.4 **sediment porosity**

Высота бермы: 2 **berm height**

Глубина замыкания: 0.8 **depth of closure**

Азимут нормали генеральной линии берега [град]: 315 **shoreline orientation (azimuth)**

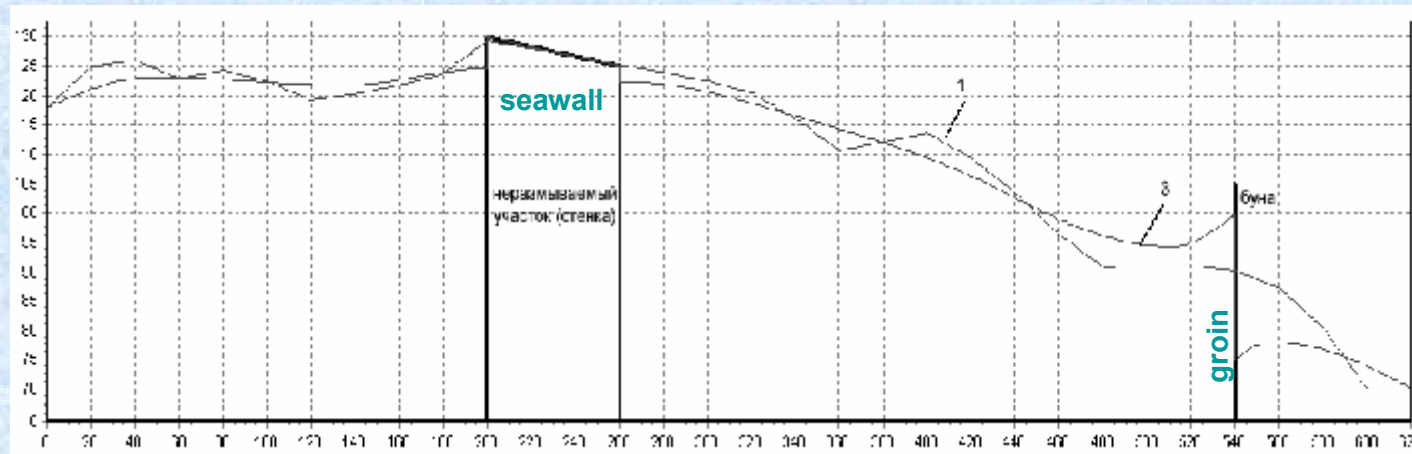
Крупность наносов (мм): 0.15 **sediment size**

OK Смена

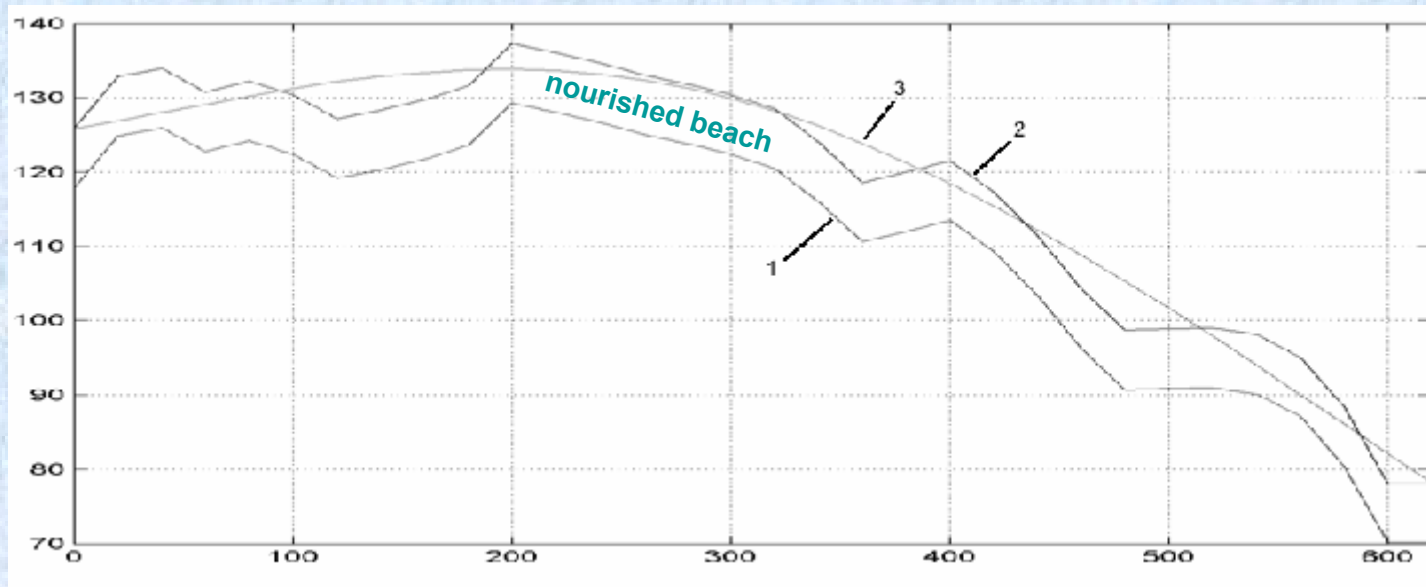
SLM data editing window

Пример моделирования вариантов защиты участка левого берега Камского водохранилища в районе с. Висим

Study for the coastal protection project at Kamskoye Reservoir



буна и стенка
a groin and a seawall



искусственный пляж
a nourished beach

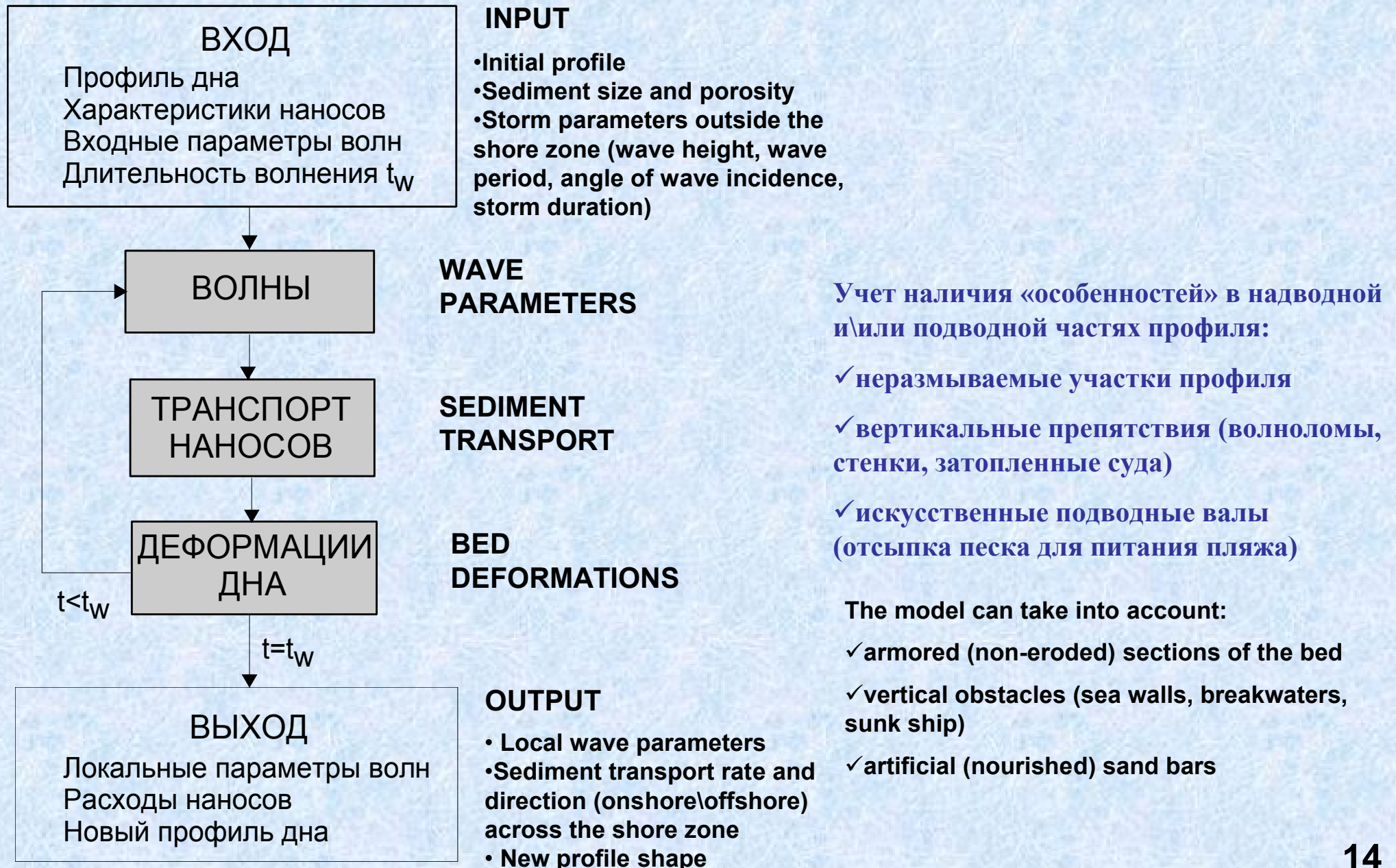
1 – исходное положение береговой линии; 2 – первоначальная конфигурация пляжа;
3 – положение береговой линии через 5 лет.

1 – initial shoreline; 2 – initial planform of the nourished beach; 3 – expected shoreline after 5 years

Моделирование переформирования поперечного профиля берега ветровым волнением

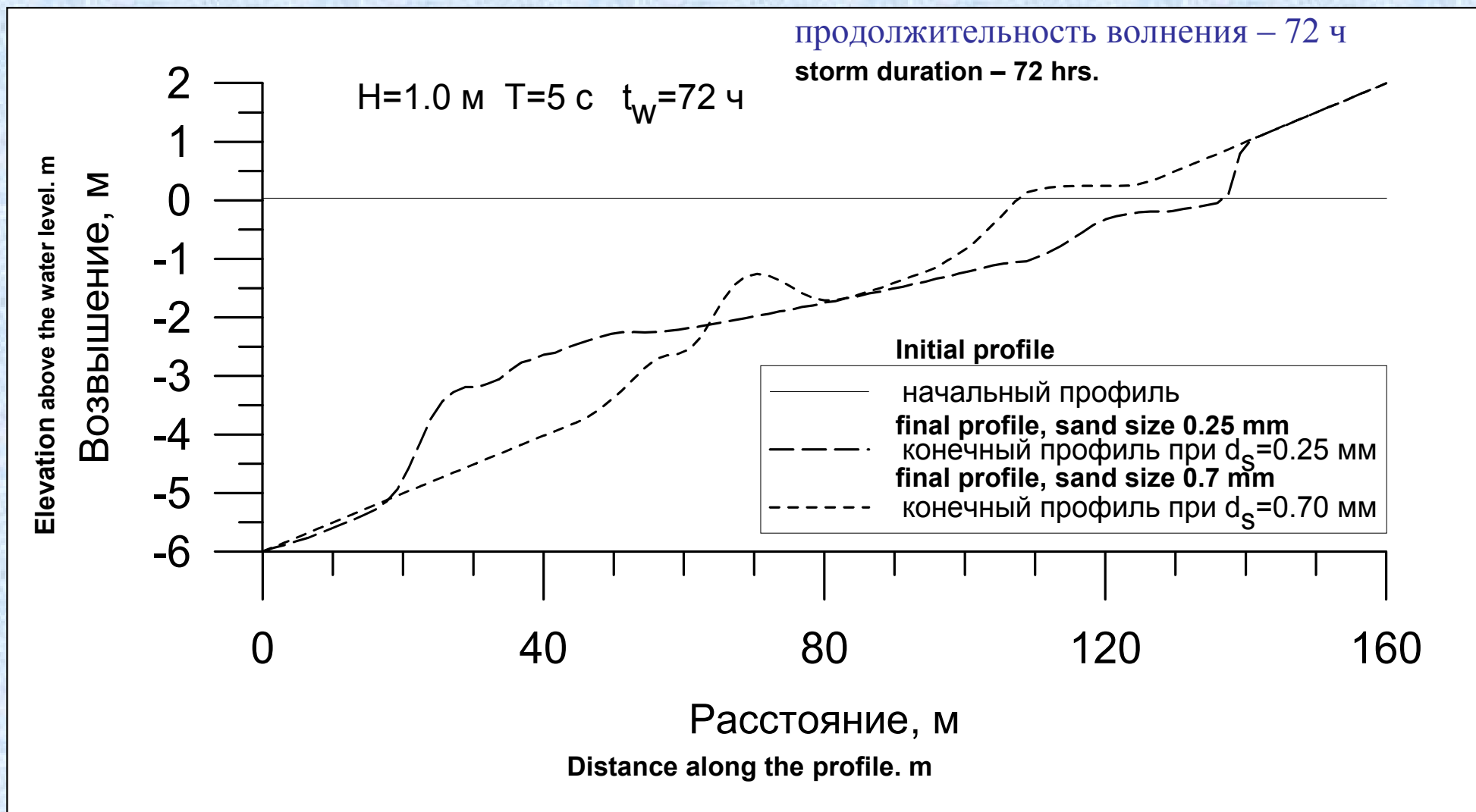
CROSS-P

Modeling of coastal profile changes caused by storm waves and water level variations



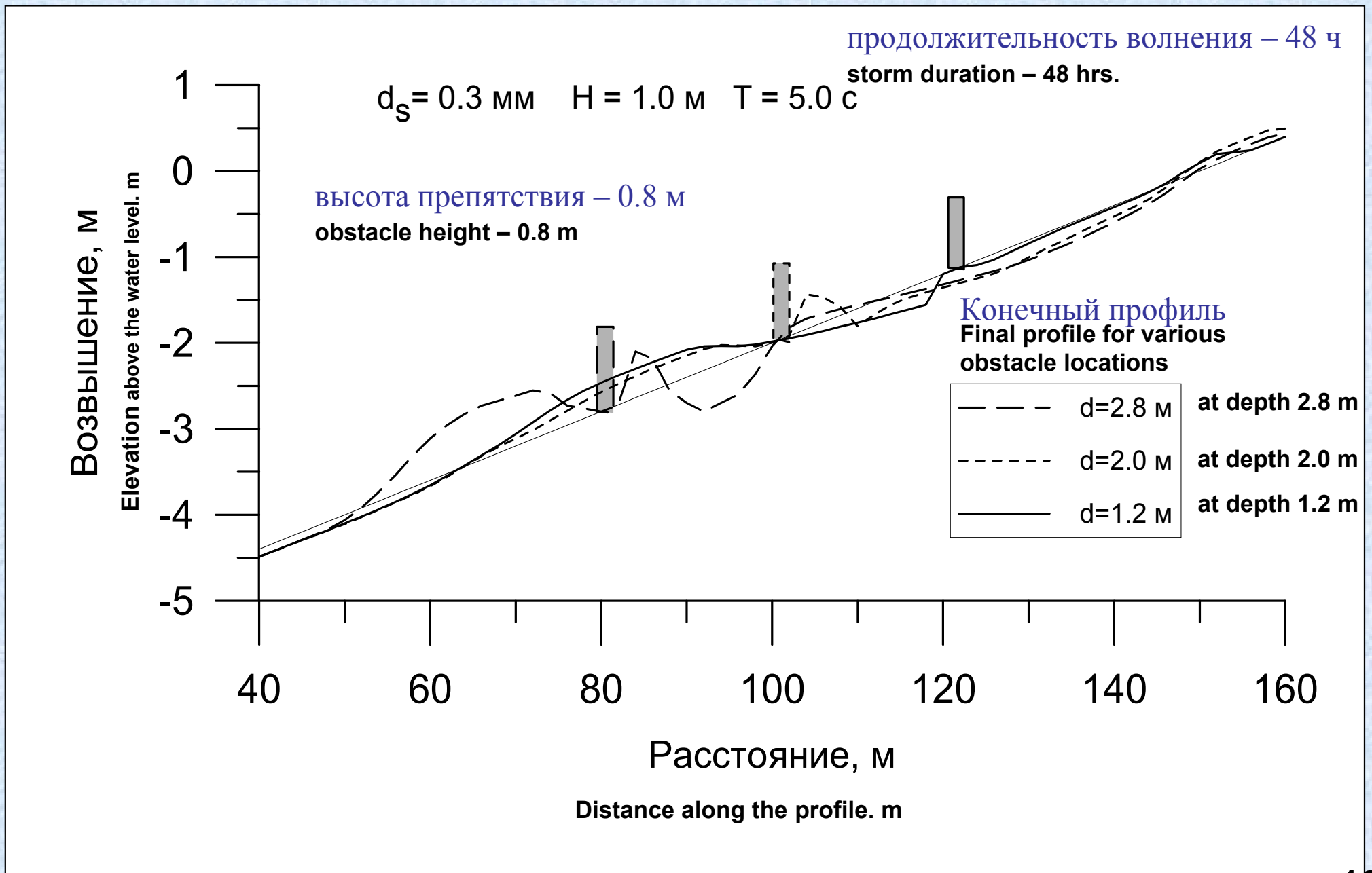
Деформации профиля с искусственным подводным валом при различной крупности материала отсыпки

Storm deformation of the beach profile with an artificial sand bar

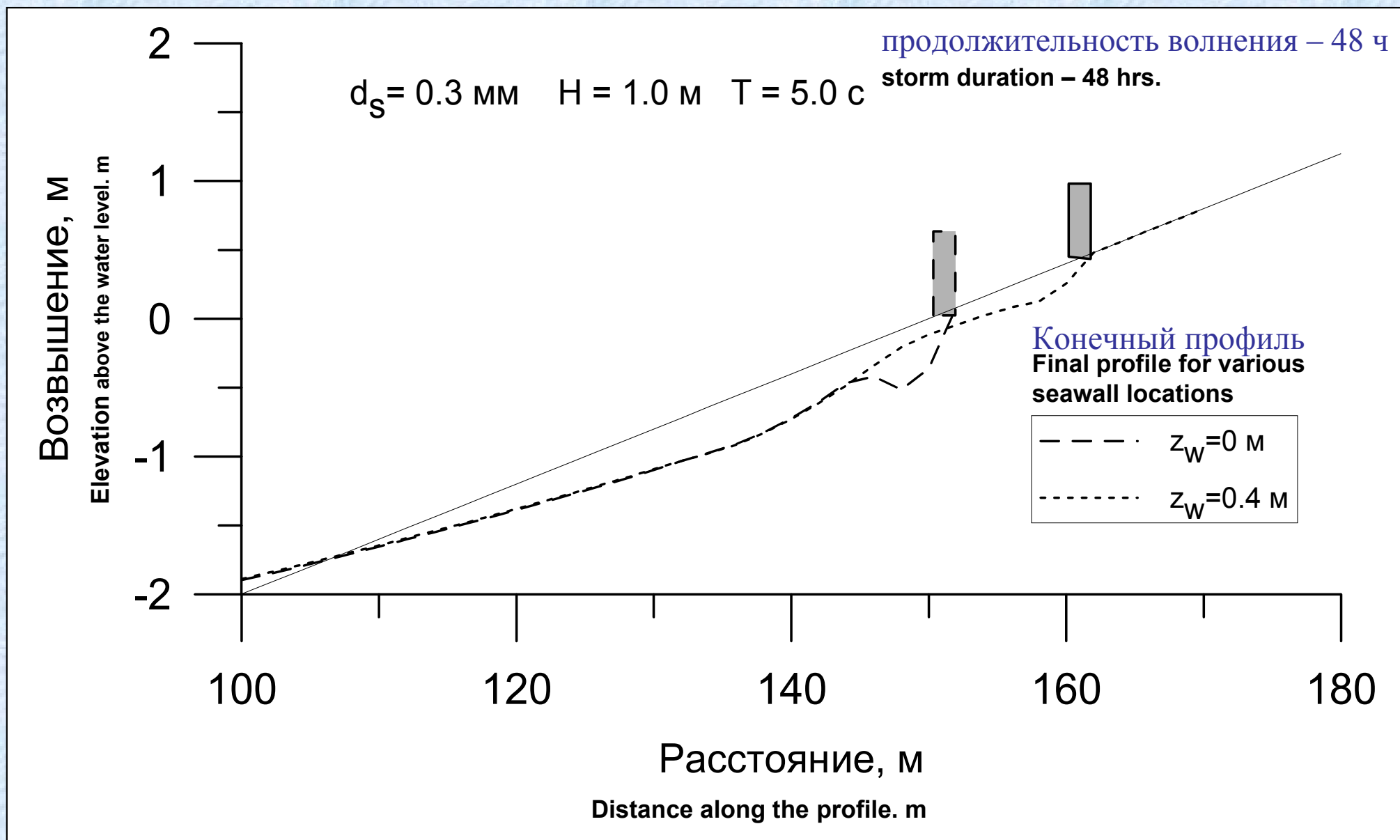


Деформации профиля при наличии подводного вертикального препятствия

Storm deformation of the beach profile with an underwater vertical obstacle

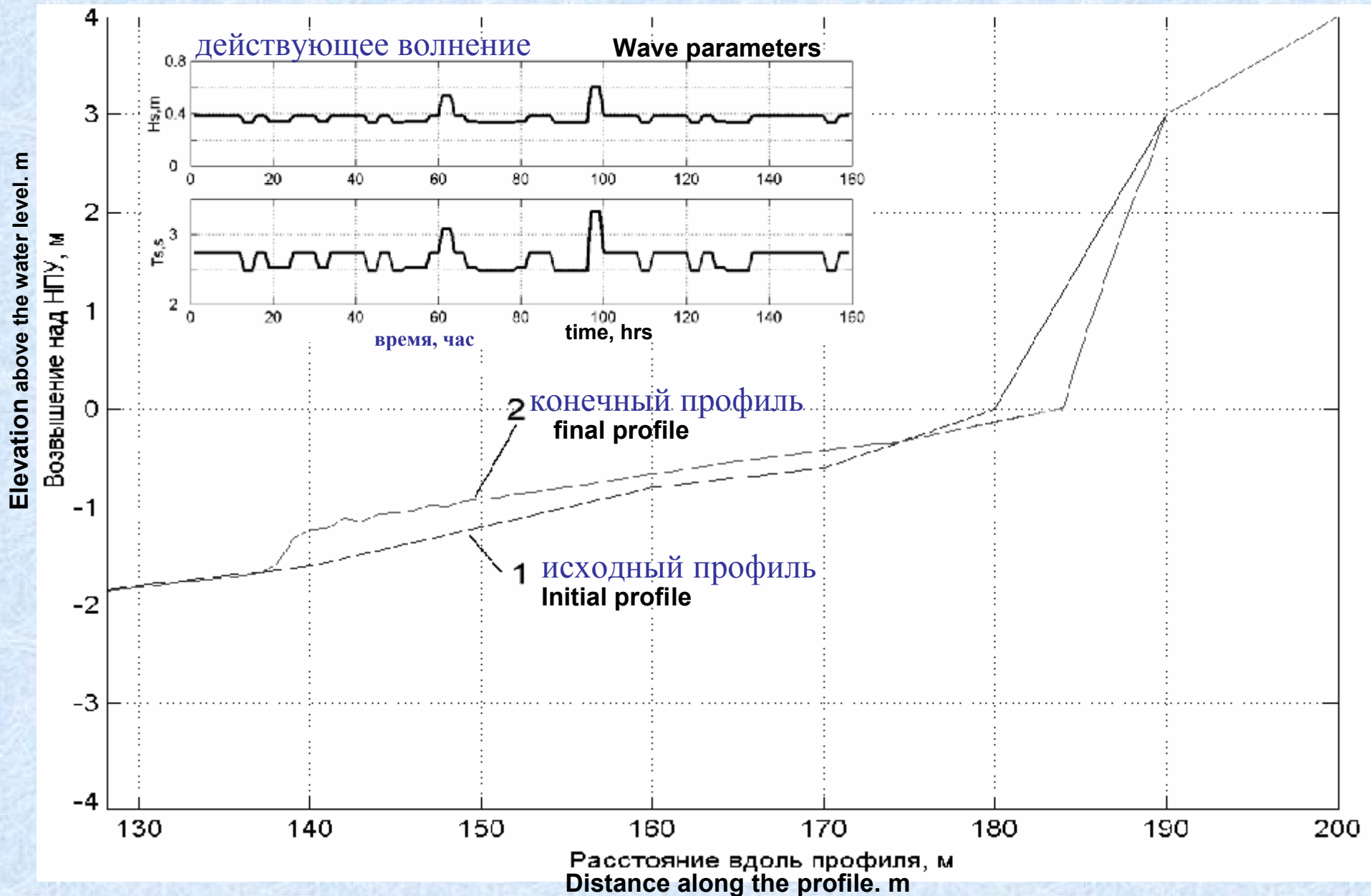


Storm deformation of the beach profile with a seawall



Моделирование эволюции естественного профиля за период открытой воды (01 мая – 31 октября). Камское водохранилище

Modeling of the natural profile evolution over the ice-free period (May 1st – October 31st)
Kamskoye Reservoir



Системные и аппаратные требования:

Операционная система - Windows 98/2000/XP/Vista

Оперативная память – не менее 128 Мб

Процессор – не ниже Pentium II

Квалификация пользователя:

- Общие компьютерные навыки
- *IC* – понимание природных процессов в береговой зоне
- *SLM, CROSS-P* – понимание природных процессов + знания в области численного моделирования + процесс освоения программного продукта

System and hardware requirements:

OS – Windows 98/2000/XP/Vista

RAM – 128 Mb (or more)

CPU – Pentium II (or higher)

User's qualification:

- *General computer skills*
- *IC – essential knowledge of coastal processes*
- *SLM, CROSS-P - essential knowledge of coastal processes + some knowledge of numerical simulation + special training course*

Работа выполнялась в рамках государственного контракта № 350/12/07 «Разработка методов прогнозирования процессов переработки береговой полосы Камского водохранилища и конкретных мероприятий по предотвращению негативного воздействия вод на прибрежную территорию», а также **при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проекты № 07-05-01000 и № 08-05-00860).**

This work had been conducted under State Contract No 350/12/07 and partially supported by the Russian Fond of Basic Research

A landscape photograph featuring a calm lake in the foreground with tall green reeds. In the middle ground, a dense line of green trees borders the water. A vibrant rainbow arches across the sky above the trees, set against a backdrop of dark, heavy clouds. The overall scene is serene and atmospheric.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

THANK YOU FOR ATTENTION