

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

### Резултати от модела на изменение на бреговата линия

Моделирането включва:

- трансформация и рефракция на вълнението;
- еволюция на бреговата линия при насипване на пясъчен плаж със среден диаметър 0,1 мм между буните при съществуващото положение;
- еволюция на бреговата линия при насипване на пясъчен плаж със среден диаметър 0,1 мм между буните и изграждане на крила на буните и подводен вълнолом-праг между буните с ширина на короната 9 м и кота на короната -1,41;
- еволюция на бреговата линия при насипване на пясъчен плаж със среден диаметър 0,1 мм между буните, изграждане на крила на буните, подводен вълнолом-праг между буните с ширина на короната 9 м и кота на короната -1,41 и подводен широкоплещен реф-вълнолом на дълбочина 4,5-5,0 м с ширина на короната 15 м и кота корона -1,50;

Табл. 1. Вълнови параметри в дълбоководието

посока	Обезпеч. P, %	Ср. височ. $h_m$ [m]	Ср. дълж. $L_m$	Ср. период $T_m$	Азимут, $A^0$	Вятър W [m/s]
E	4	4.50	124	8.9	90	30
	99	2.75	83	7.3	90	19
SE	4	2.90	83	6.6	135	20
	99	2.05	66	6.5	135	15
S	4	3.20	85	7.4	180	28
	99	2.25	64	6.4	180	20
SW	4	1.45	30	4.4	225	30
	99	1.00	23	3.9	225	20

Табл. 2. Вълнови параметри на изобата 18 за моделиране в М 1:10000

посока	Обезпеч. P, %	Ср. височ. $h_m$ [m]	Ср. период $T_m$	Азимут, $A^0$	t	Вятър W [m/s]
E	4	3.80	8.9	100	36	30
	99	2.50	7.3	96	665	19
SE	4	2.85	7.3	135	18	20
	99	2.15	6.6	135	140	15
S	4	2.70	7.4	175	24	22
	99	1.95	6.4	178	640	12

t – продължителност на вълнението (часове) – за щормовете с P=4% това е продължителността на 1 щорм; за средногодишното вълнение с P=99% това е сумарната годишна продължителност; за вълнението от SW продължителността е съответно 24 и 490.

Табл. 3. Параметри на прибойната зона

Посока	P, %	$d_{cr-1}$	$h_{cr-1}$	$L_{cr-1}$	$A, ^0$	Модел, $^0$	$d_{cr-2}$	$h_{cr-2}$	$L_{cr-2}$	$\alpha_r, ^0$
E	4	4,80	4,00	70	142	28	-	-	-	52
	99	3,60	3,00	50	146	24	1,70	1,40	35	56
SE	4	3,80	3,10	51	149	21	2,10	1,75	38	14
	99	2,80	2,30	40	152	18	1,85	1,50	33	17
S	4	3,30	2,75	49	169	1	1,80	1,50	37	11
	99	2,30	1,90	36	170	0	1,40	1,15	28	10

$d_{cr-1}$  – дълбочина на 1-то обрушване;  $h_{cr-1}$  – височина на вълната при първото обрушване;  $L_{cr-1}$  – дължина на вълната при първото обрушване;  $A$  – азимут на вълновия лъч при първото обрушване;  $\alpha_r, ^0$  – ъгъл на рефракция (отклонение на вълновия лъч от дълбоководието до прибоя); индекс 2 се отнася за второто обрушване на вълната.

Освен това е отчетено влиянието на нос Калиакра върху продължителността на североизточното вълнение, което изпитва дифрактиращото влияние на носа [73], както и обобщени данни от преки

наблюдения на силата, посоката и продължителността на вълнението от ХМС за една представителна година и данни за развитието на реални щурмови ситуации в западната част на Черно море от [89]. Данните за продължителността на вълнението ( в ) са приведени в табл. 1.5.

**Табл. 4.** Средногодишна и моделна продължителност на вълненията

посока	Средногодишно вълнение		Щормово вълнение	
	Обща продължит.	Единична продължит.	Разчетна продължит.	Моделна продължит.
<b>E</b>	1261	48	50	12
<b>SE</b>	104	24	13	6
<b>S</b>	455	36	4	6
<b>SW</b>	104	24	13	6

Разглеждат се ежегодно вълнение (с повтораемост 1 път на година) и щорм (с повтораемост 1 път на 25 години). Работи се с 13%-на височина на вълната в системата (значима вълна). Схемите на вълнение са следните:

На тази база са определени 3 схеми за моделиране на вълновия режим:

**Схема 1.** E 1/1 (48 h); SE 1/1 (24 h); S 1/1 (36h); E 1/25 (12 h)      Общо: 120 h

- Ежегодно вълнение от изток;
- Ежегодно вълнение от югоизток;
- Ежегодно вълнение от юг;
- Щорм от изток.

**Схема 2.** E 1/1 (48 h); E 1/25 (12 h); SE 1/1 (24 h); S 1/1 (36h)      Общо: 120 h

- Ежегодно вълнение от изток;
- Щорм от изток;
- Ежегодно вълнение от югоизток;
- Щорм от югоизток.

**Схема 3.** S 1/1 (36 h); S 1/25 (6 h); SE 1/1 (24h); SE 1/25 (6 h)      Общо: 72 h

- Ежегодно вълнение от юг;
- Щорм от юг.
- Ежегодно вълнение от югоизток;
- Щорм от югоизток;

Моделираните ситуации на брегозащитни съоръжения, общо 5, включват:

- 0) начално състояние с допълнителен изкуствен плаж с ширина 20 м;
- 1) допълнителни крила на буните;
- 2) допълнителни подводни вълноломи;
- 3) допълнителен подводен вълнолом – риф;
- 4) 0+3;
- 5) 1+3.

Варира се с местоположението на подводния вълнолом, с котата на короната му и с едрината на пясъка (среден диаметър 0,1-0,5 мм). Всяка графика включва в заглавие ситуация и вълнови режим. Например „S0W2” моделира ситуация 0 при вълнови режим 2.

Предварителните тестове с модела показват, че използването за изкуствен плаж на на пясък със среден диаметър 0.1 мм не е рационално. Съществено се завишава ноносният транспорт – причина за ерозия, томболо формация и погребване на буната в 45 точка от изчислителната схема още при Схема 1 на вълновия режим. Използването на този по-евтин пясък може да се окаже целесъобразно при ситуации с допълнителни брегозащитни съоръжения.

Втори съществен извод от предварителните тестове показва, че замената на насипващ пясък със среден размер 0.5 мм с 1.0 мм предизвиква не само избягване на томболо ефекти, но и намалява максималните напречни измествания на бреговата линия с 20%, като при това режимът на седиментен транспорт се променя от ерозационен на акумулативен. Последните резултати са представени в Табл. 5 и Фигури 1-2.

**Табл. 5. Предварителни тестове – среден диаметър на пясъка, D50**

Вълнение	D50, mm	Y min, m	Y max, m	Транспорт min, m <sup>3</sup> /y	Транспорт max, m <sup>3</sup> /y	Изм. пясъчен обем, m <sup>3</sup>
1	0.5	-17	48	-329 000	583 000	-2.4E-02
1	1.0	-17	40	-251 000	583 000	+6.9E-03

**Забележка:** Резултатите от всеки числен експеримент са представени на 3 графики:

- Абсолютните промени на бреговата линия в m (със схема на съоръжения и брегоукрепителна стена), включващи начално, крайно и 1-4 междинни състояния в началото на ново вълнение;
- Разликите на крайната и началната брегови линии в m;
- Наносен поток в m<sup>3</sup>/year.

**Ситуация 0.** Резултатите от 3 сценария с изкуствен плаж, изместващ началната брегова линия с 20 м, са представени в Таблица 6 и в 9 графики на Фигури 3-5. Числените експерименти са проведени със следните параметри: пясък със среден диаметър 0.5 mm; стъпка на изчислителната мрежа 5 м; стъпка на изменение на вълнението 1 ч; гранична дълбочина на седиментен транспорт 8.48 м; средна височина на бермата 1 м.

Резултатите за Ситуация 0 са представени с Табл. 6-7 и Фигури 3-5.

**Табл. 6. Резултати от численото моделиране: Ситуация 0**

Вълнение	dY min, m	dY max, m	X min, No	X max, No	Транспорт min, m <sup>3</sup> /y	Транспорт max, m <sup>3</sup> /y	X min, No	X max, No
1	-28,4	80,2	40	44	-193 961	551 807	76	42
2	-28,3	81,6	40	44	-169 725	533 776	76	42
3	-11,6	25,7	47	74	-201 723	268 153	9	70

**Табл. 7. Междинни резултати: Ситуация 0.**

Начална брегова линия/ вълнение 1/щорм 1/ вълнение 2/щорм 2.

Вълнение	Y min, m	Y max, m	X min, No	X max, No
2	44/31/23/21/23	88/102/136/140/140	61/78/40/67/67	124/45/44/44/44
3	44/41/39/37/35	88/88/88/90/91	61/66/67/77/77	124/124/124/124/124

**Ситуация 1.** Ситуация 0 е допълнена с 6 непроницаеми крила на буните.

Резултатите за Ситуация 1 са представени с Табл. 8-9 и Фигури 6-8.

**Табл. 8. Резултати от численото моделиране: Ситуация 1**

Вълнение	Y min, m	Y max, m	X min, No	X max, No	Транспорт min, m <sup>3</sup> /y	Транспорт max, m <sup>3</sup> /y	X min, No	X max, No
1	-23,0	34,7	33	108	-233 746	514 723	85	106
2	-22,7	33,0	33	38	-201 553	498 225	84	106
3	-11,6	15,1	19	37	-242 725	304 167	18	35

**Табл. 9. Междинни резултати: Ситуация 1.**

Начална брегова линия/ вълнение 1/щорм 1/ вълнение 2/щорм 2.

Вълнение	Y min, m	Y max, m	X min, No	X max, No
2	44/30/24/24/25	88/88/97/101/101	61/33/34/34/33	124/109/109/109/109
3	44/41/38/36/35	88/88/88/88/88	61/60/61/85/54	124/124/124/124/124

**Ситуация 2.** Ситуация 1 е допълнена с 3 подводни вълнолома между крилата на буните с ширина 9 м и коефициент на вълногасене 0.58.

Резултатите за Ситуация 2 са представени с Табл. 10-11 и Фигури 9-11.

**Табл. 10. Резултати от численото моделиране: Ситуация 2**

Вълнение	Y min, m	Y max, m	X min, No	X max, No	Транспорт min, m <sup>3</sup> /y	Транспорт max, m <sup>3</sup> /y	X min, No	X max, No
1	-28,2	17,8	53	57	-112 785	230 242	83	56
2	-24,2	15,8	18	57	-103 733	221 847	83	56
3	-14,5	7,4	18	56	-99 158	124 830	16	55

**Табл. 11. Междинни резултати: Ситуация 2.**  
Начална брегова линия/ вълнение 1/щорм 1/ вълнение 2/щорм 2.

Вълнение	D50, mm	Y min, m	Y max, m	X min, No	X max, No
2	0.5	44/23/18/18/21	88/88/89/89/89	61/53/66/65/65	124/124/124/124/124
3	0.5	44/40/38/34/32	88/88/88/88/88	61/83/83/84/85	124/124/124/124/124
3	0.1	44/19/17/17/17	88/88/92/97/107	61/83/83/83/83	124/124/108/22/22

Табл. 11 допълнително включва резултат от модела S2W3 (Фигура 12) при който е направена единствена замяна на входния параметър D50 от 0.5 на 0.1 мм. Вълнови режим 3 е най-благоприятен от трите изследвани, но резултатът е незадоволителен за практиката. При Ситуация 2 останалите 2 вълнови режима са с томболо ефекти преди 50% от моделната им продължителност.

**Ситуация 3.** Ситуация 2 е допълнена с 1 подводен вълнолом - риф пред акваторията на буните с ширина 15 м и коефициент на вълногасене 0.67. Очакваната максимална вълна след рифа е 1.28 м.

Резултатите за Ситуация 3 са представени с Табл. 12-13 и Фигури 13-15.

**Табл. 12. Резултати от численото моделиране: Ситуация 3**

Вълнение	Y min, m	Y max, m	X min, No	X max, No	Транспорт min, m <sup>3</sup> /y	Транспорт max, m <sup>3</sup> /y	X min, No	X max, No
1	-1.6	1.4	19	58	-8 979	14 892	16	56
2	-1.5	1.3	18	58	-9 198	14 381	16	56
3	-1.2	0.8	18	57	-12 283	14 113	15	55

**Табл. 13. Междинни резултати: Ситуация 3**  
Начална брегова линия/ вълнение 1/щорм 1/ вълнение 2/щорм 2.

Вълнение	Y min, m	Y max, m	X min, No	X max, No
2	44/43/43/43/43	88/88/88/88/88	61/66/66/66/66	124/124/124/124/124
3	44/43/43/43/43	88/88/88/88/88	61/63/63/77/65	124/124/124/124/124

Резултатите за Ситуация 3, представящи възможността за използване за изкуствения плаж на пясък със среден диаметър 0.1 мм са представени с Табл. 14-15 и Фигури 16-18.

**Табл. 14. Резултати от численото моделиране: Ситуация 3, D50=0.1 mm**

Вълнение	Y min, m	Y max, m	X min, No	X max, No	Транспорт min, m <sup>3</sup> /y	Транспорт max, m <sup>3</sup> /y	X min, No	X max, No
1	-8.4	9.4	57	60	-47 888	56 283	16	25
2	-8.6	8.8	57	60	-48 983	54 531	16	25
3	-4.7	6.4	51	59	-68 498	59 008	15	23

**Табл. 15. Междинни резултати: Ситуация 3, D50=0.1 mm**  
Начална брегова линия/ вълнение 1/щорм 1/ вълнение 2/щорм 2.

Вълнение	Y min, m	Y max, m	X min, No	X max, No
2	44/36/36/34/36	88/88/88/88/88	61/57/57/57/57	124/124/124/124/124
3	44/38/38/40/40	88/88/88/88/88	61/63/63/63/63	124/124/124/124/124

**Ситуация 4.** Ситуация 0 е допълнена с 1 подводен вълнолом - риф пред акваторията на буните с ширина 15 м и коефициент на вълногасене 0.67. Очакваната максимална вълна след рифа е 1.28 м. Изследва се възможността за използване за изкуствения плаж на пясък със среден диаметър 0.1 мм, ако към съвременната ситуация се добави риф.

Резултатите за Ситуация 43 са представени с Табл. 16-17 и Фигури 19-21. Рифът попада извън рамката на графиките и не се вижда.

**Табл. 16.** Резултати от численото моделиране: **Ситуация 4, D50=0.1 mm**

Вълнение	Y min, m	Y max, m	X min, No	X max, No	Транспорт min, m <sup>3</sup> /y	Транспорт max, m <sup>3</sup> /y	X min, No	X max, No
1	-11.2	28.6	114	44	-142 350	228 125	11	118
2	-12.7	27.5	114	44	-144 321	225 059	10	118
3	-7.6	21.5	114	44	-193 937	236 642	11	117

**Табл. 17.** Междинни резултати: **Ситуация 4, D50=0.1 mm**  
Начална брегова линия/ вълнение 1/щорм 1/ вълнение 2/щорм 2.

Вълнение	Y min, m	Y max, m	X min, No	X max, No
2	44/40/39/37/35	88/95/97/99/100	61/69/68/68/66	124/124/124/124/124
3	44/39/39/39/39	88/89/89/92/94	61/65/65/66/66	124/124/124/119/119

**Ситуация 5.** Ситуация 1 е допълнена с 1 подводен вълнолом - риф пред акваторията на буните с ширина 15 м и коефициент на вълногасене 0.67. Очакваната максимална вълна след рифа е 1.28 м. Изследва се възможността за използване за изкуствения плаж на пясък със среден диаметър 0.1 мм, ако към съвременната ситуация се добавят крила на буните и риф.

Резултатите за Ситуация 5 са представени с Табл. 18-19 и Фигури 22-24. Рифът попада извън рамката на графиките и не се вижда.

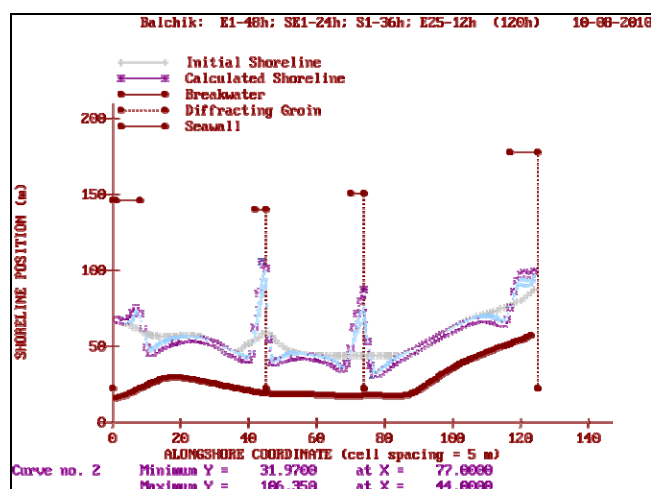
**Табл. 18.** Резултати от численото моделиране: **Ситуация 5, D50=0.1 mm**

Вълнение	Y min, m	Y max, m	X min, No	X max, No	Транспорт min, m <sup>3</sup> /y	Транспорт max, m <sup>3</sup> /y	X min, No	X max, No
1	-13.6	14.3	60	110	-149 212	213 379	89	106
2	-14.2	13.7	60	110	-147 533	211 700	19	106
3	-10.1	8.7	58	108	-206 347	225 448	19	35

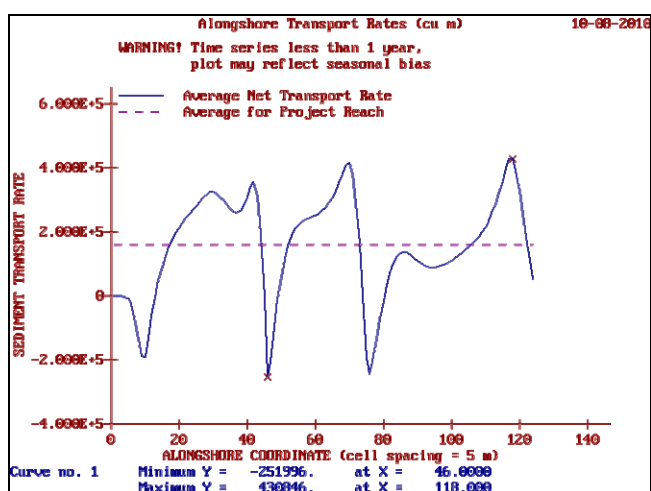
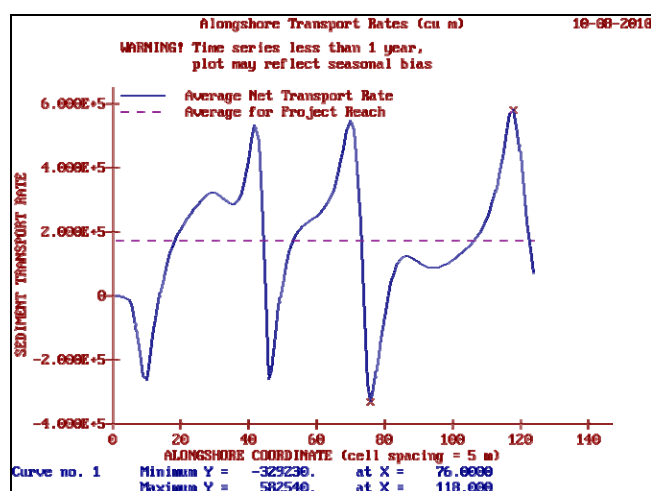
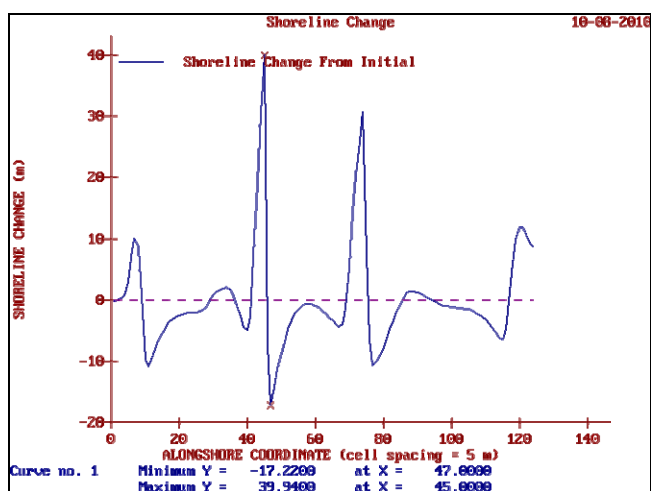
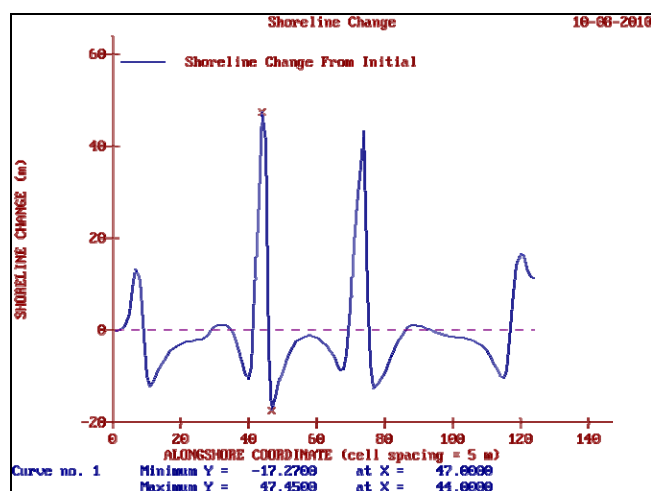
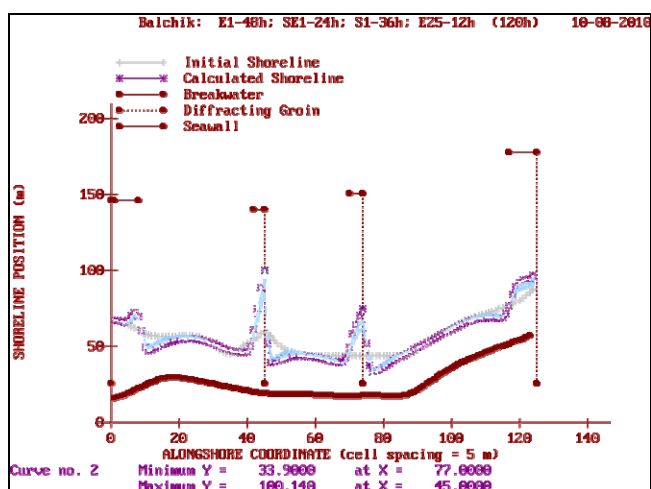
**Табл. 19.** Междинни резултати: **Ситуация 55, D50=0.1 mm**  
Начална брегова линия/ вълнение 1/щорм 1/ вълнение 2/щорм 2.

Вълнение	Y min, m	Y max, m	X min, No	X max, No
2	44/37/35/32/34	88/88/88/88/88	61/62/62/62/59	124/124/124/124/124
3	44/39/38/35/34	88/88/88/88/88	61/59/59/58/59	124/124/124/124/124

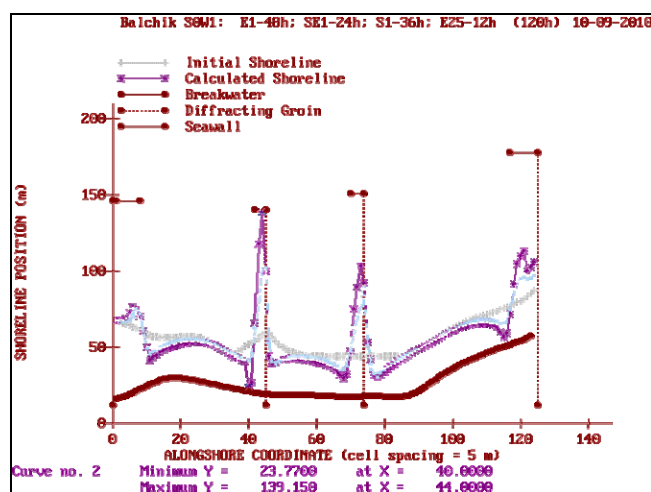
Фиг. 1. Ситуация 0, вълнение 1, D50=0.5 mm.



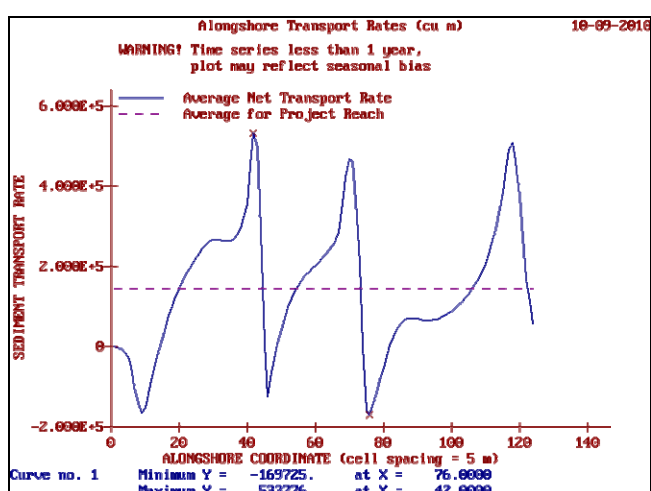
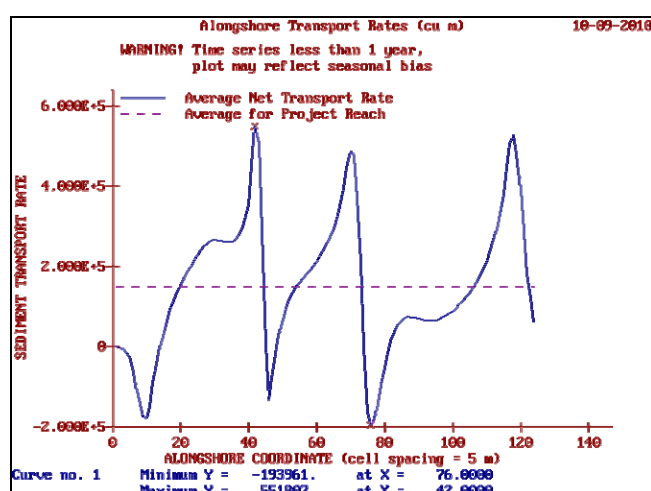
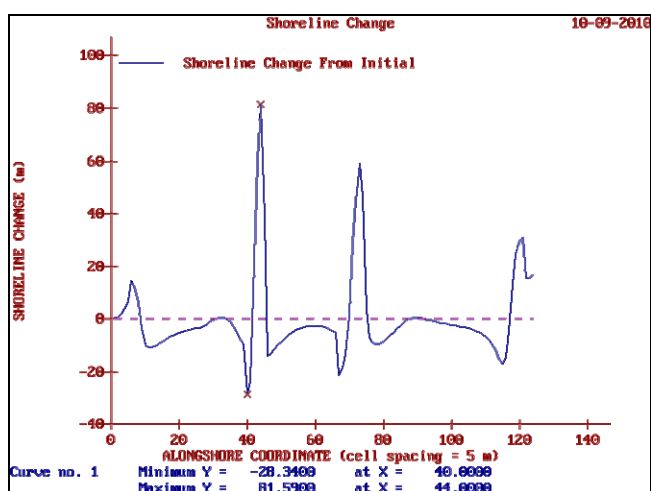
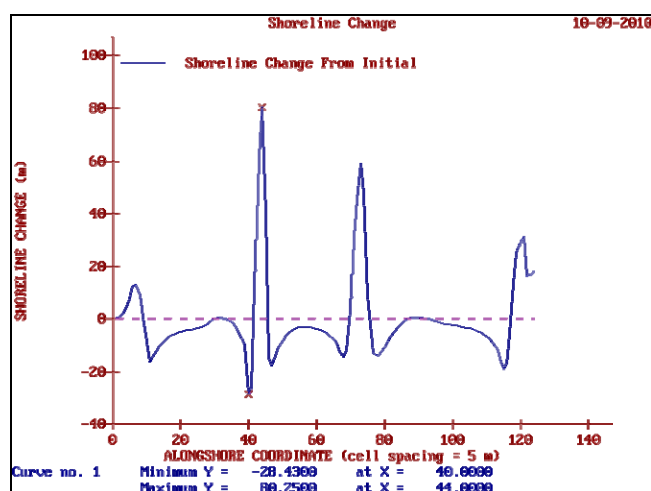
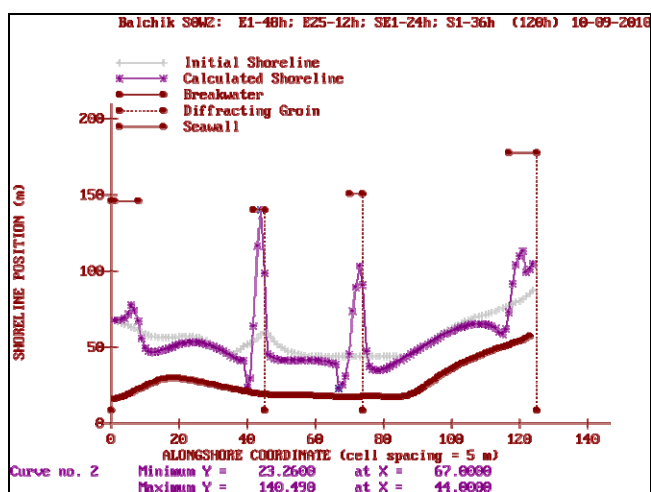
Фиг. 2. Ситуация 0, вълнение 1, D50=1.0 mm.



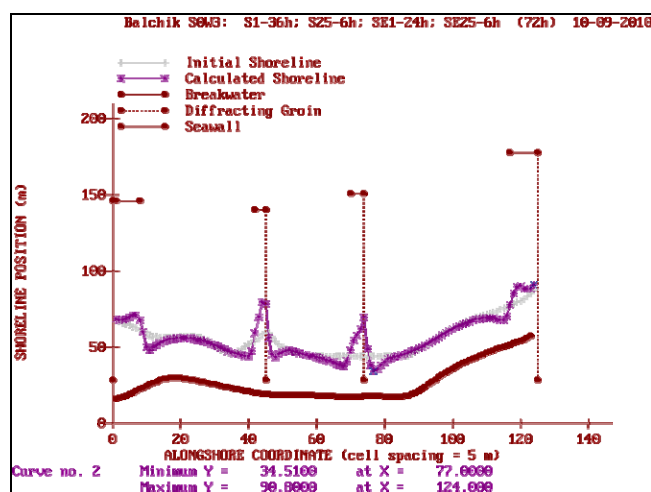
Фиг. 3. Ситуация 0, вълнение 1, D50=0.5 mm.



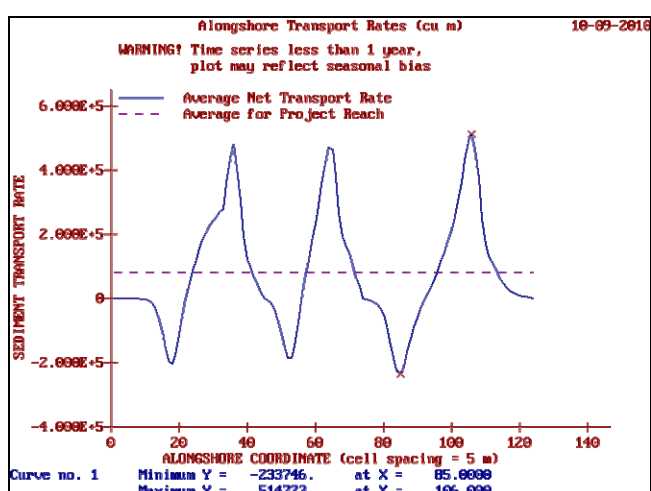
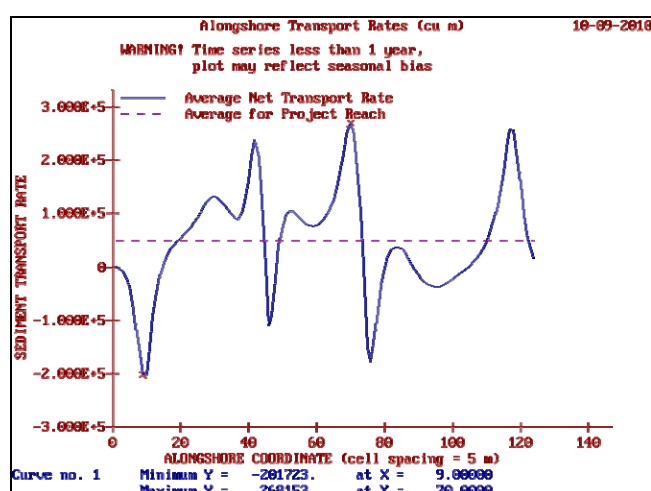
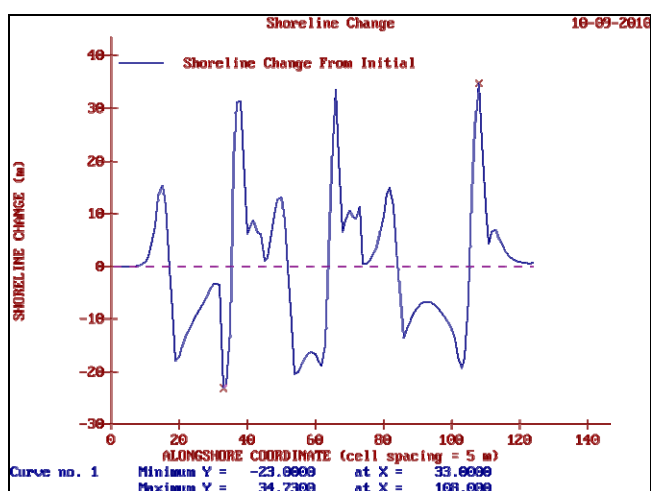
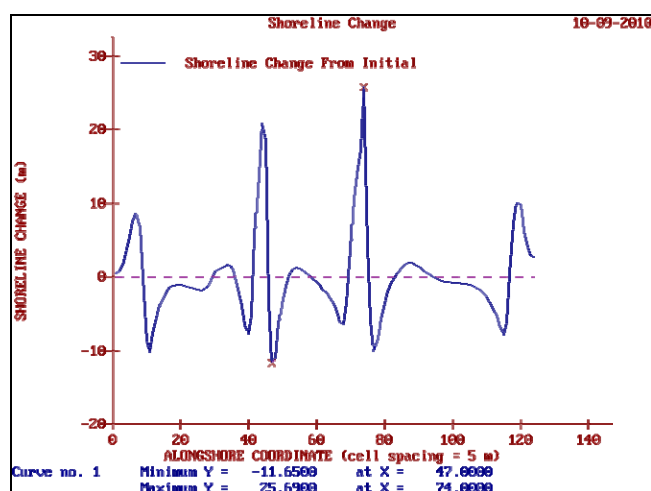
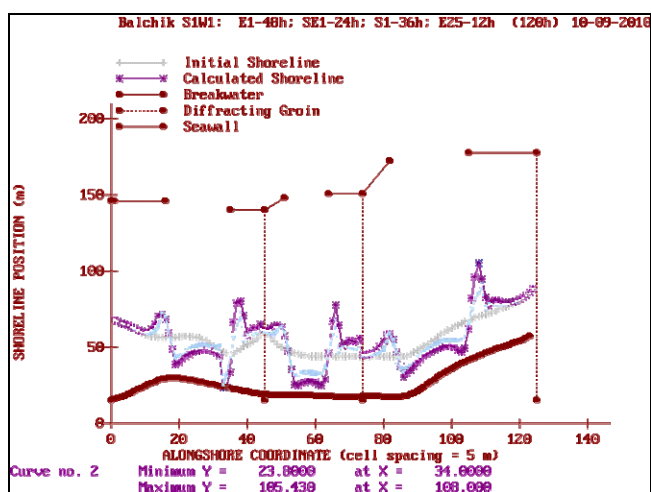
Фиг. 4. Ситуация 0, вълнение 2, D50=0.5 mm.



Фиг. 5. Ситуация 0, вълнение 3, D50=0.5 mm.

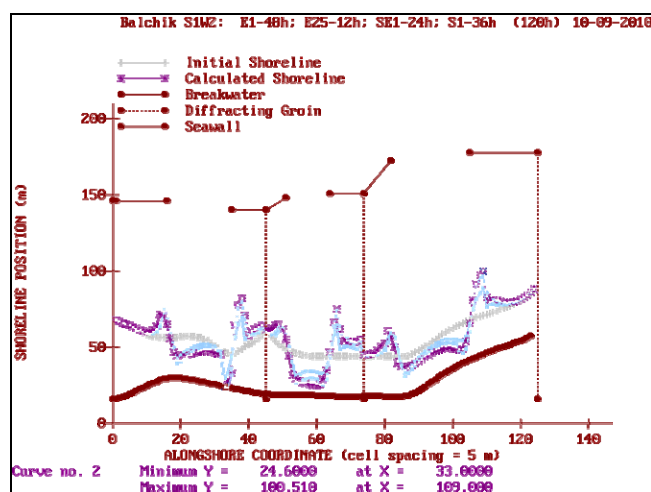


Фиг. 6. Ситуация 1, вълнение 1, D50=0.5 mm.

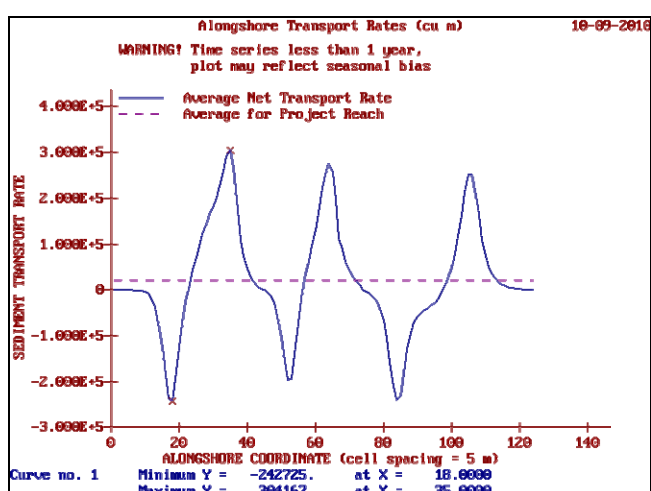
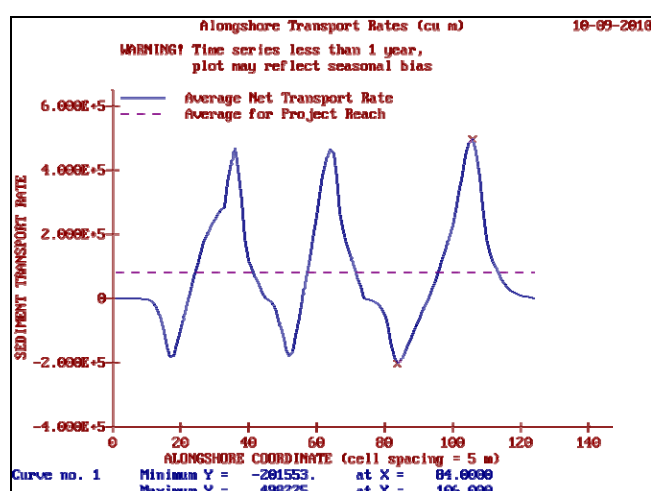
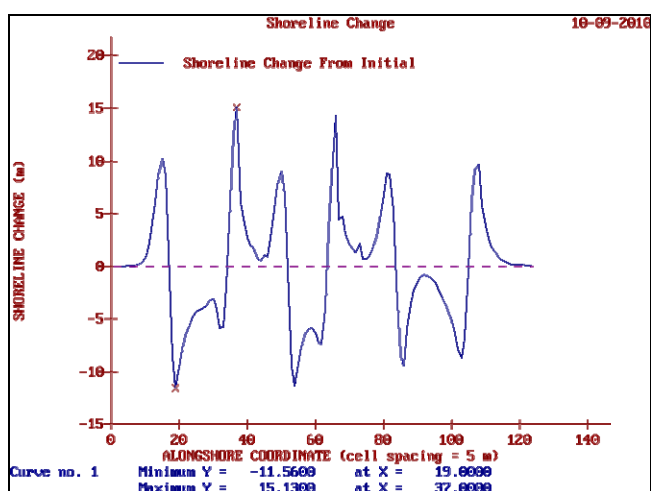
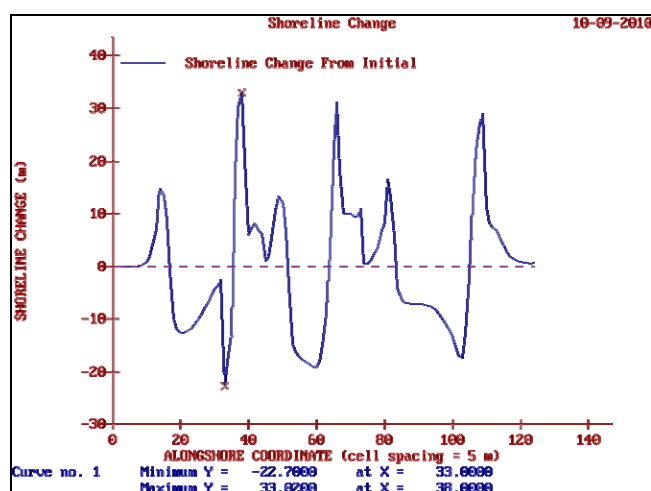
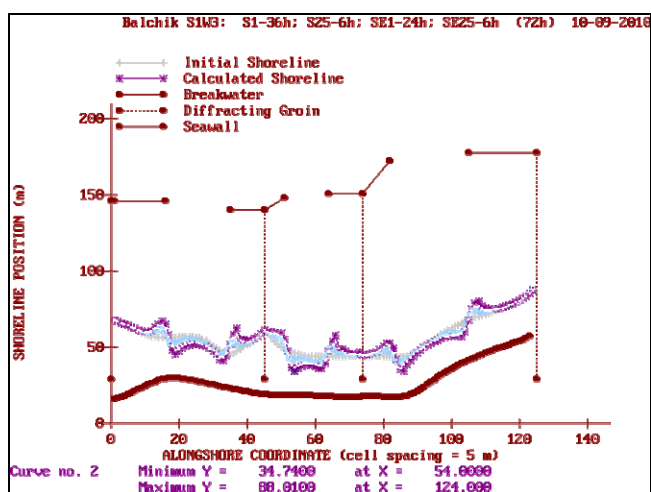




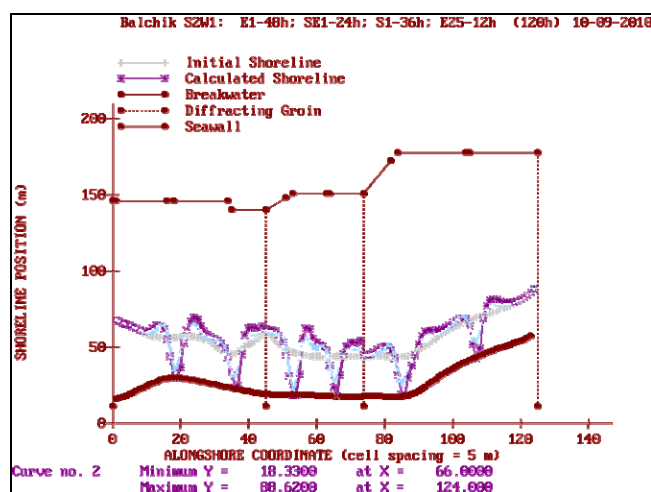
Фиг. 7. Ситуация 1, вълнение 2, D50=0.5 mm.



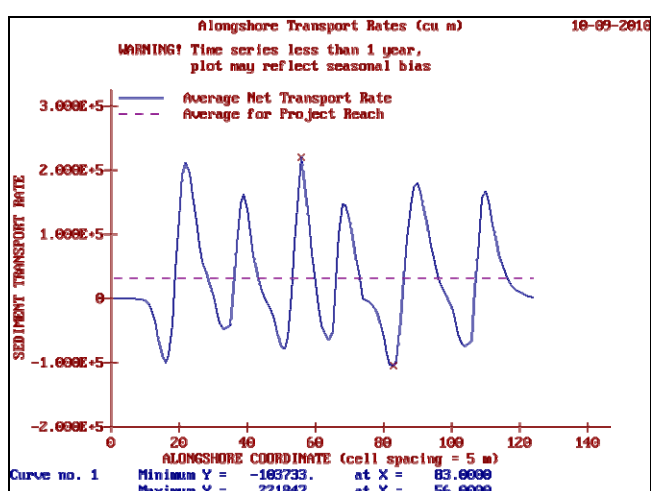
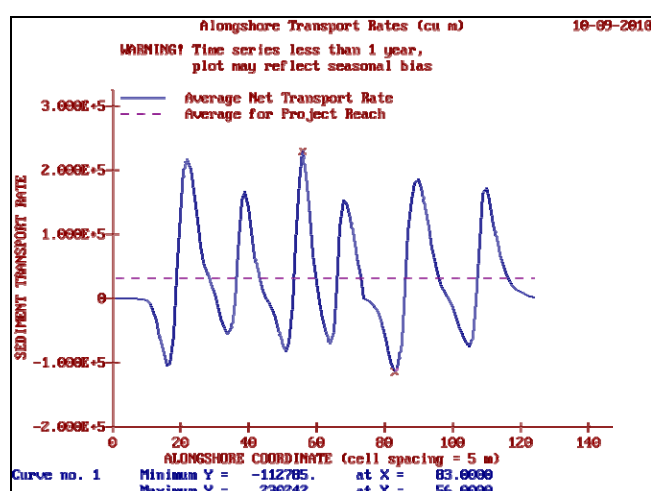
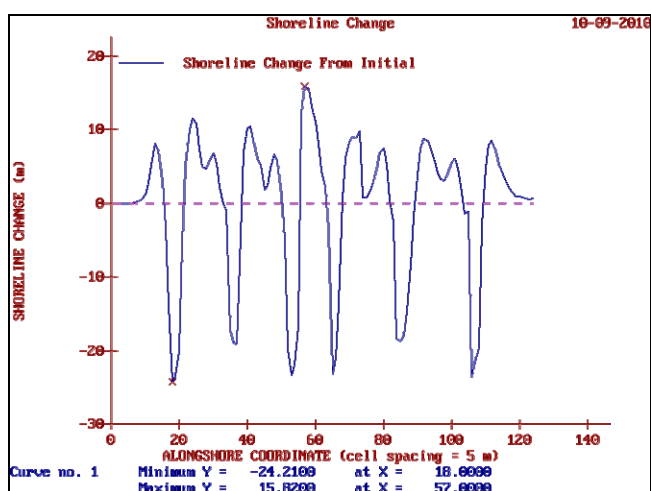
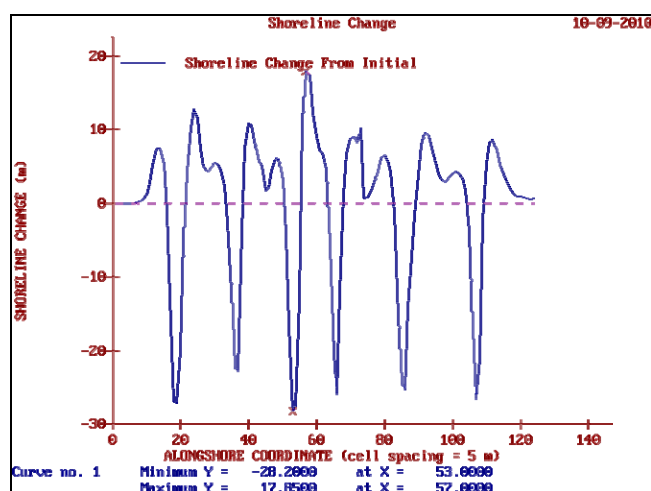
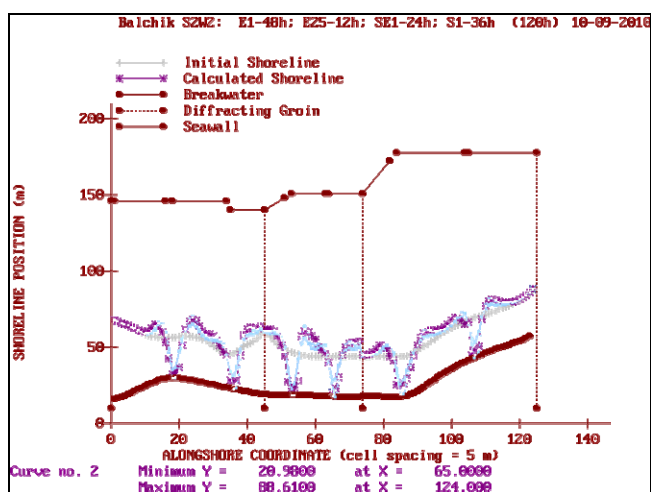
Фиг. 8. Ситуация 1, вълнение 3, D50=0.5 mm.



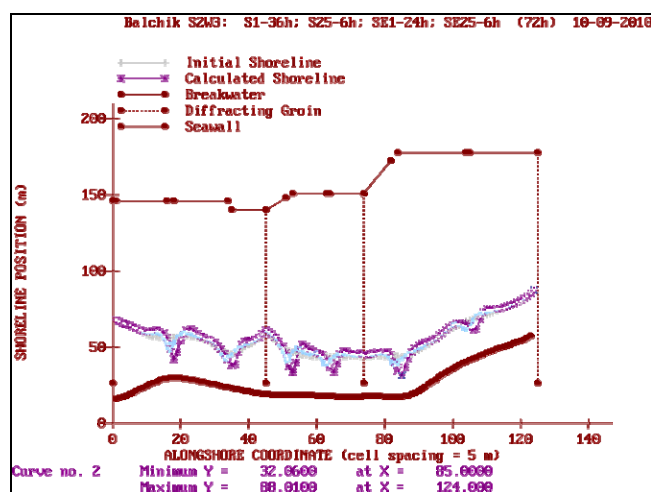
Фиг. 9. Ситуация 2, вълнение 1, D50=0.5 mm.



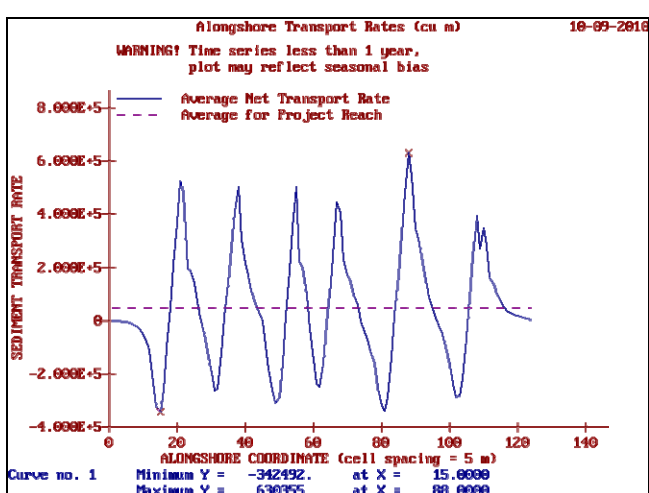
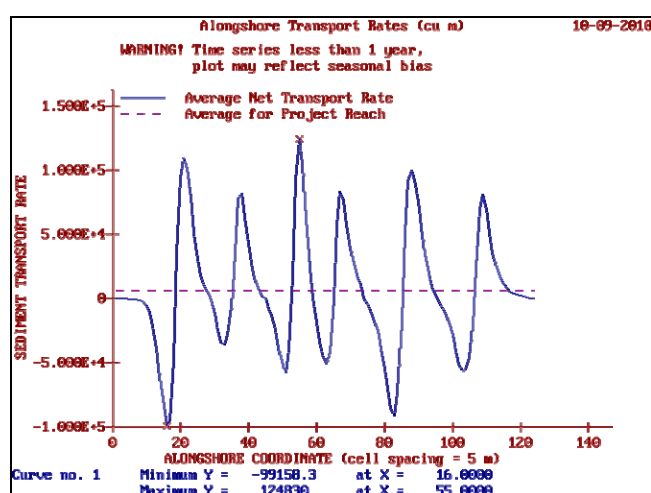
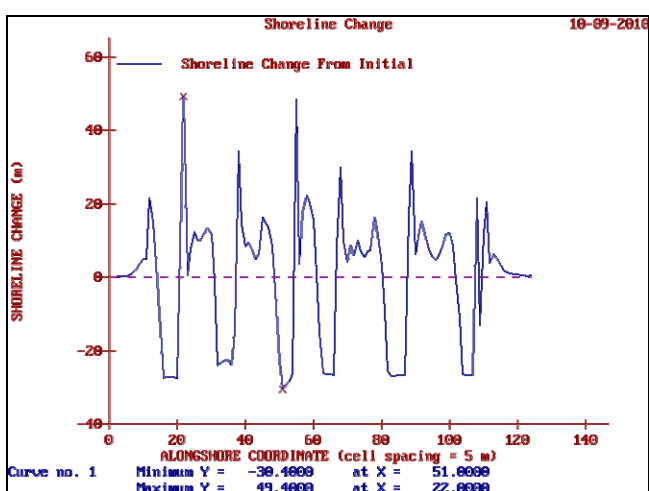
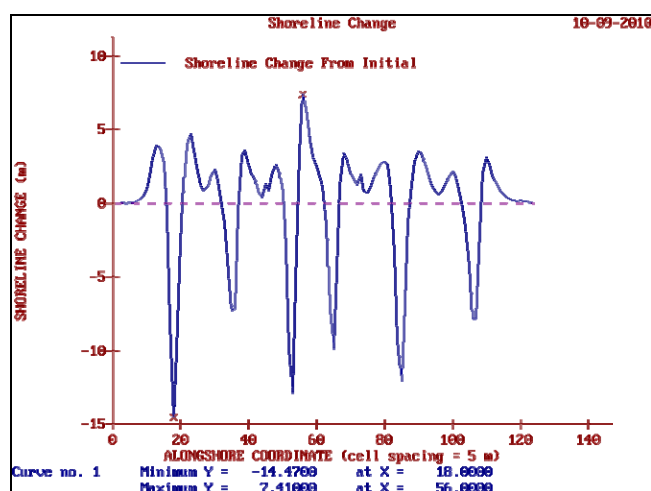
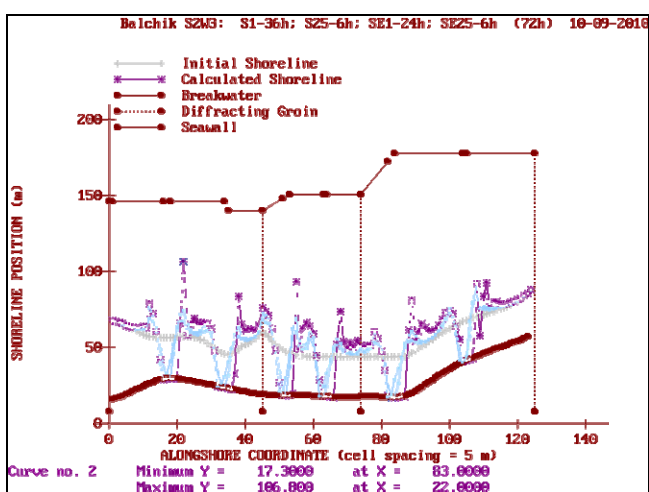
Фиг. 10. Ситуация 2, вълнение 2, D50=0.5 mm.



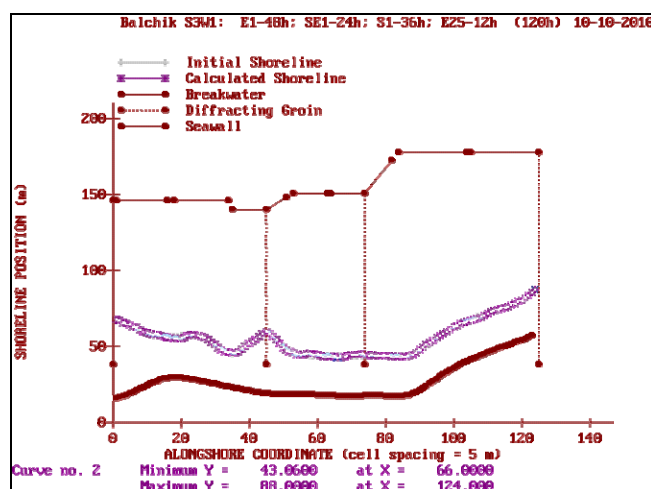
Фиг. 11. Ситуация 2, вълнение 3, D50=0.5 mm.



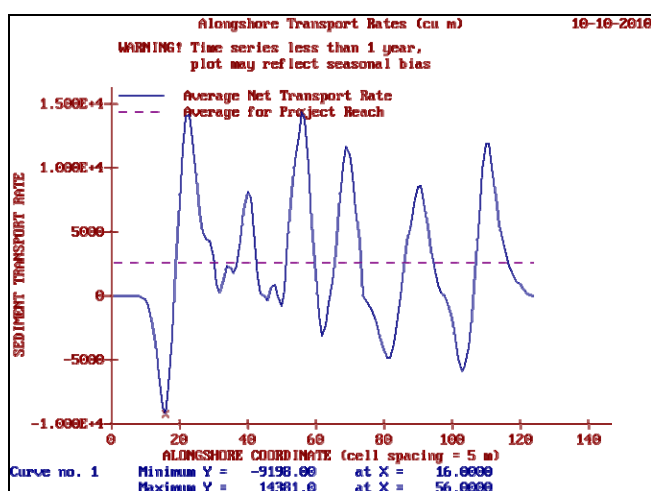
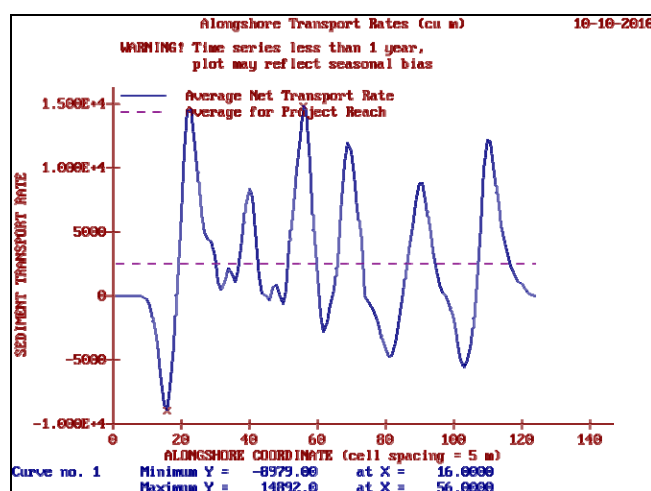
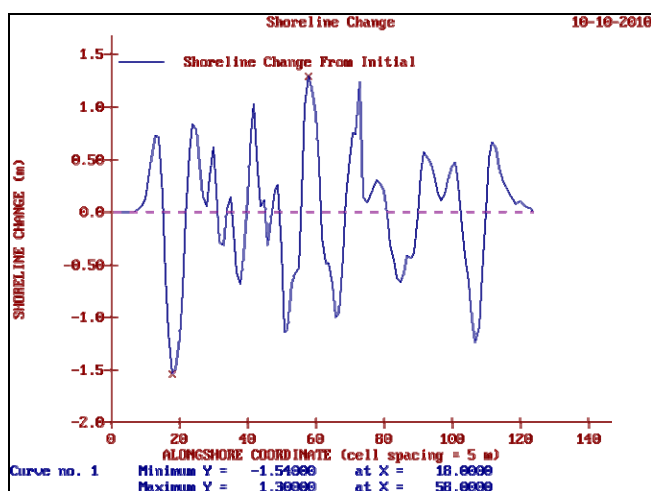
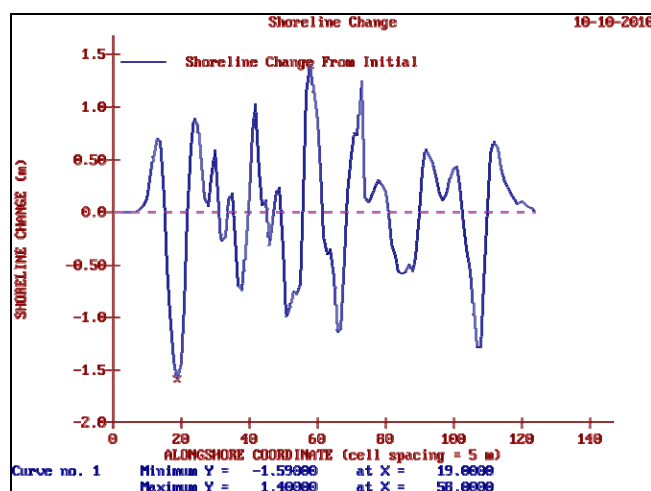
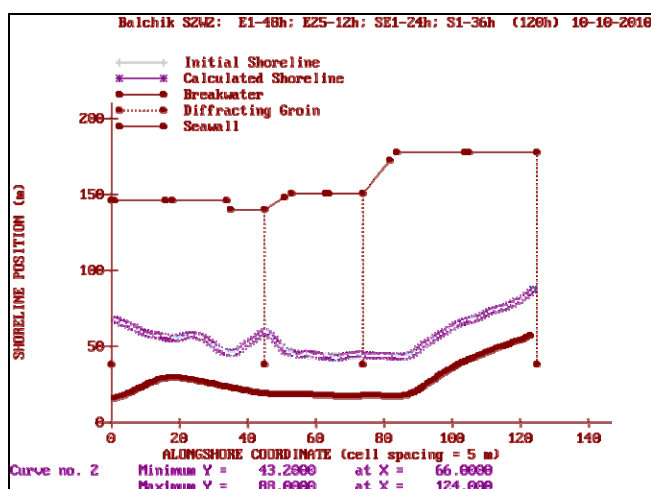
Фиг. 12. Ситуация 2, вълнение 3, D50=0.1 mm.



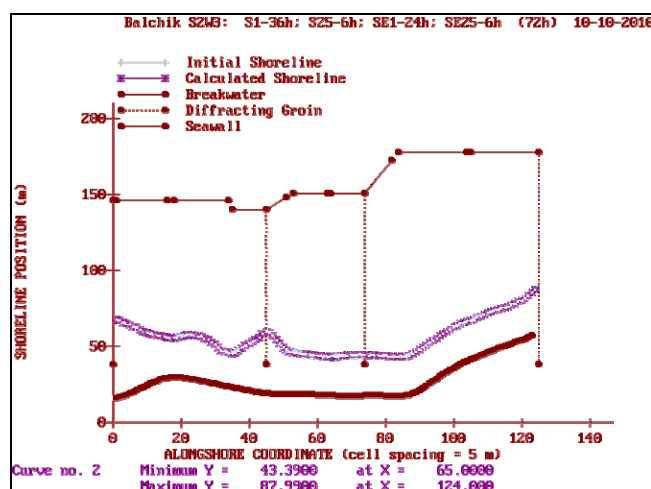
Фиг. 13. Ситуация 3, вълнение 1, D50=0.5 mm.



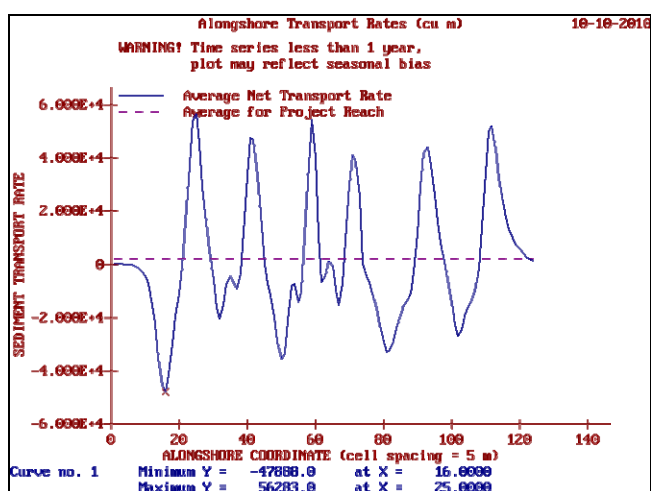
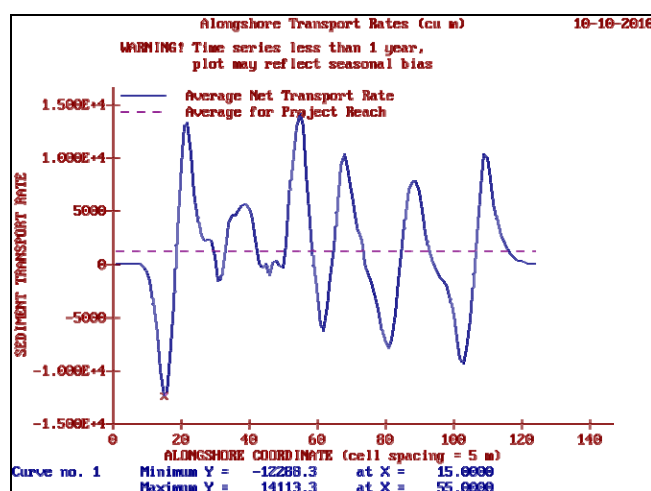
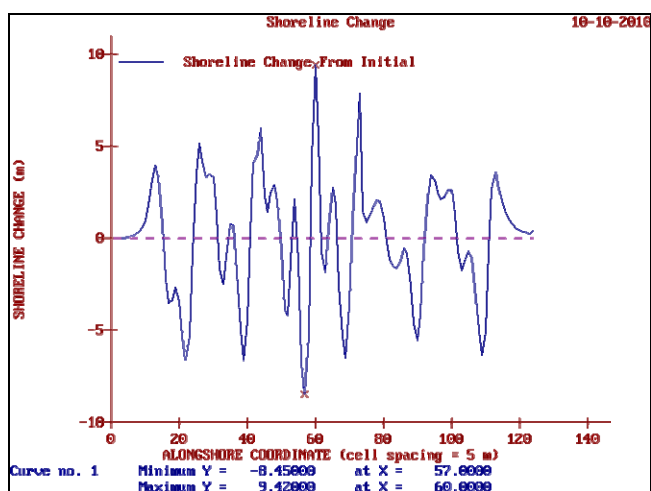
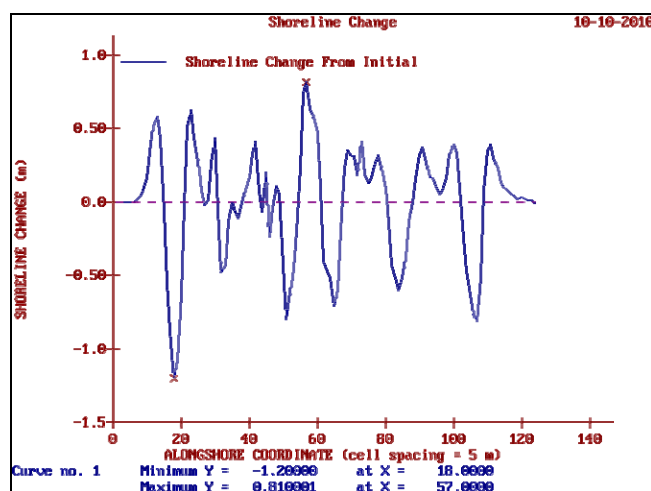
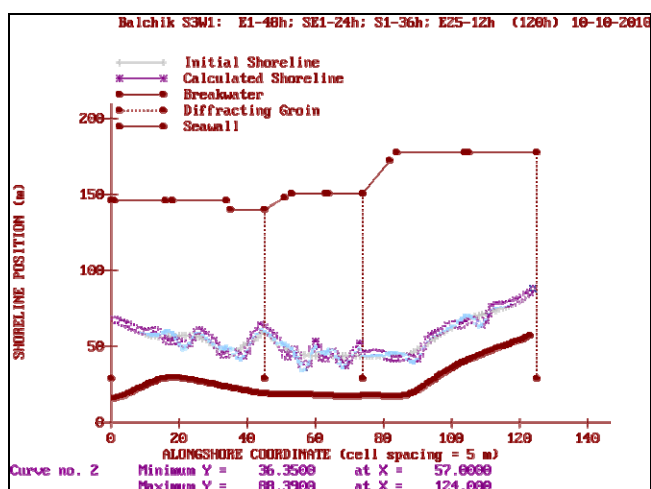
Фиг. 14. Ситуация 3, вълнение 2, D50=0.5 mm.



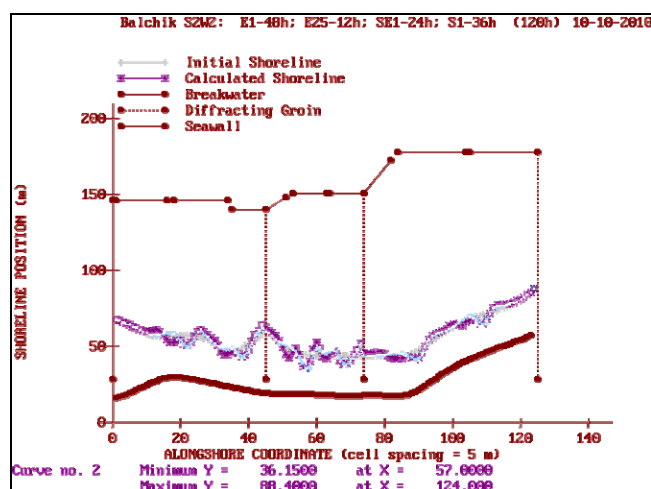
Фиг. 15. Ситуация 3, вълнение 3, D50=0.5 mm.



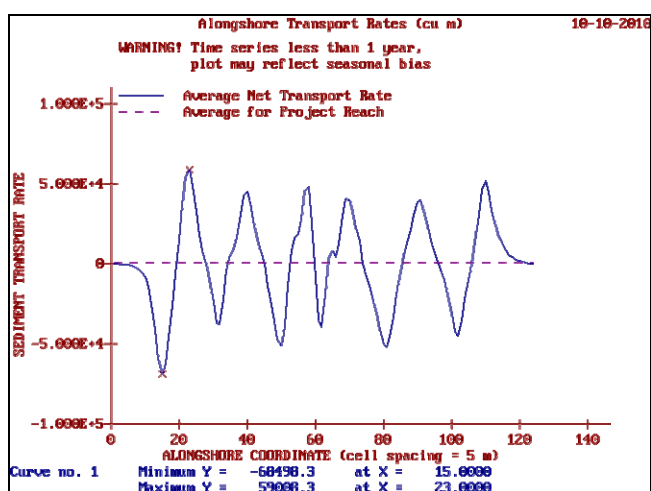
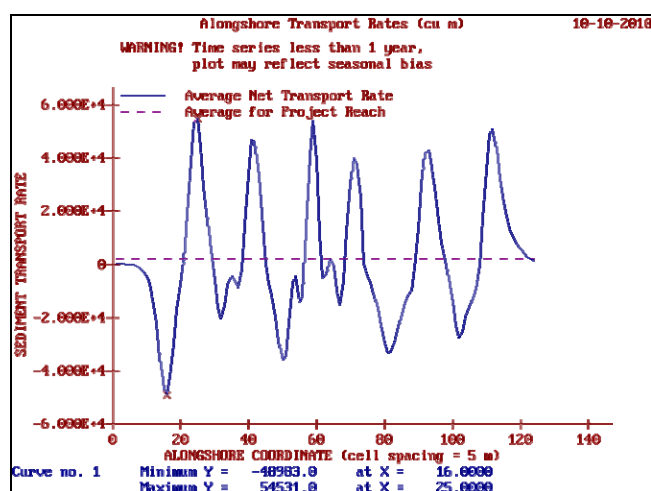
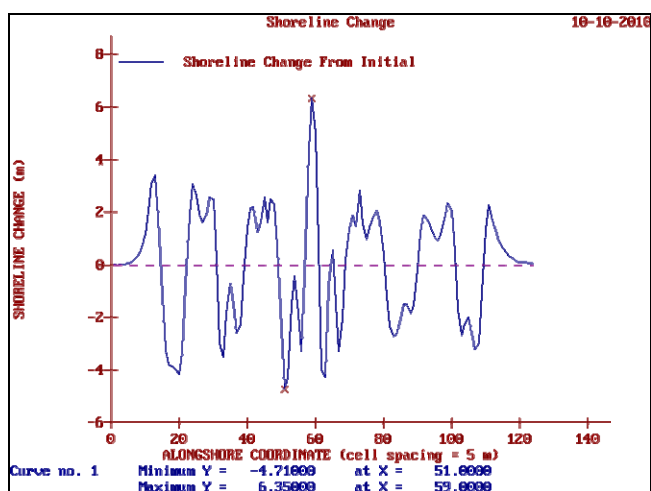
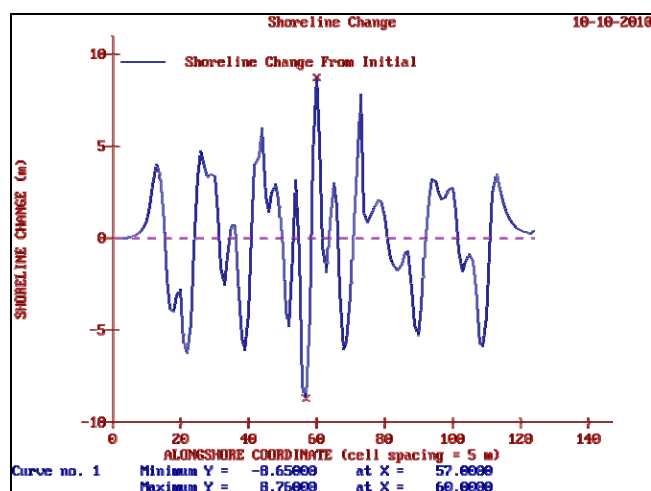
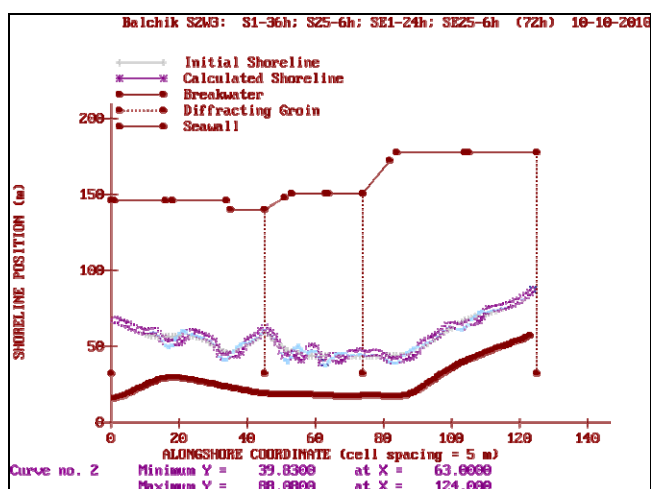
Фиг. 16. Ситуация 3, вълнение 1, D50=0.1 mm.



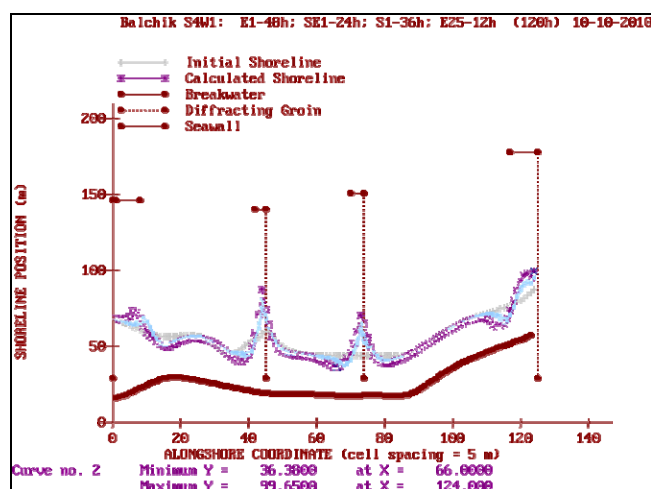
Фиг. 17. Ситуация 3, вълнение 1, D50=0.1 mm.



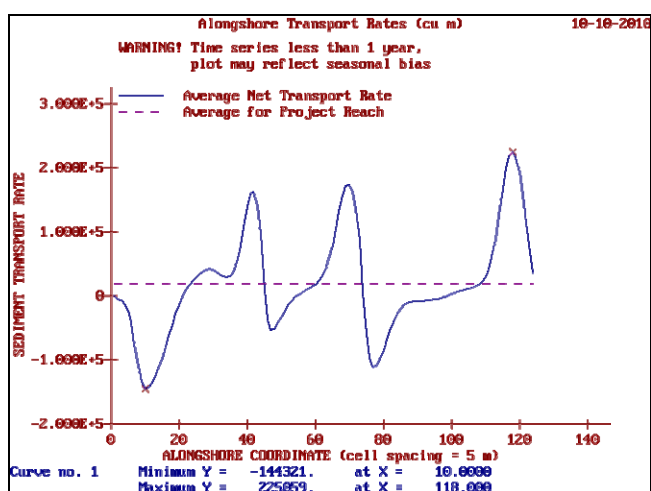
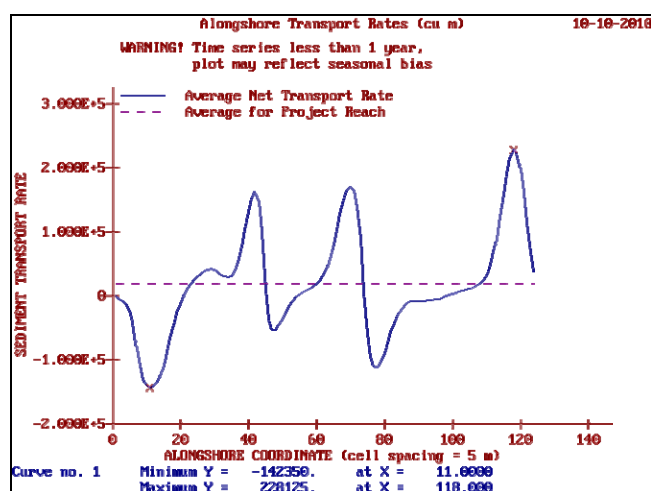
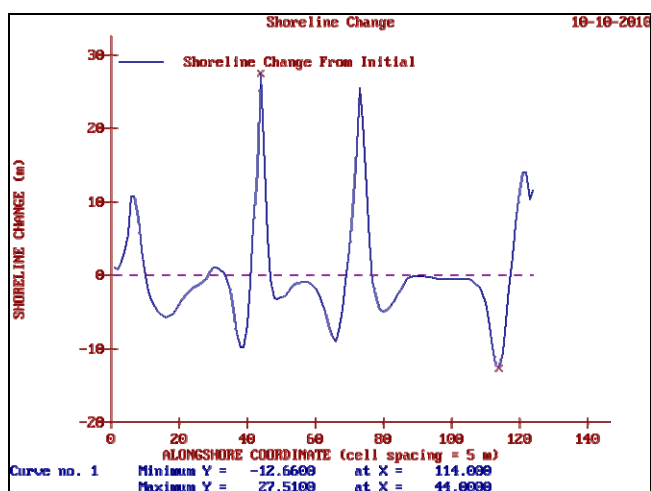
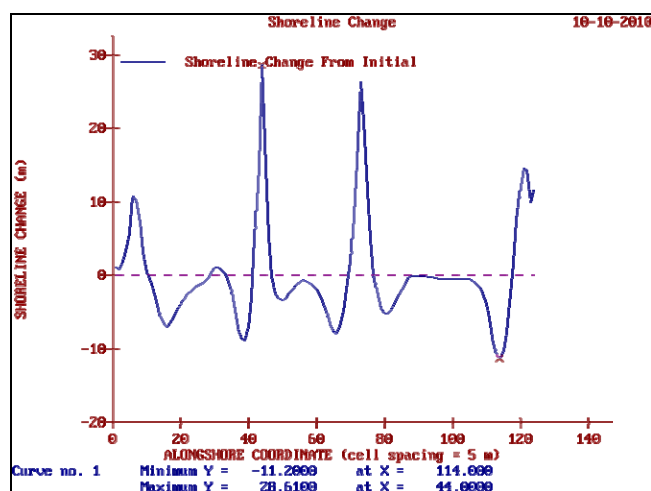
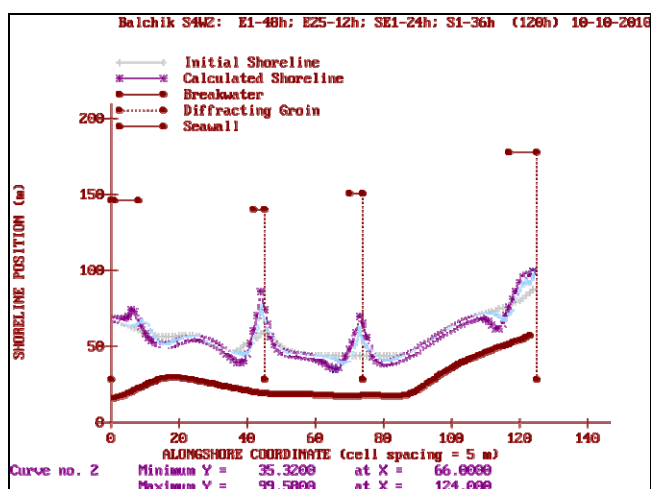
Фиг. 18. Ситуация 3, вълнение 2, D50=0.1 mm.



Фиг. 19. Ситуация 4, вълнение 1, D50=0.1 mm.

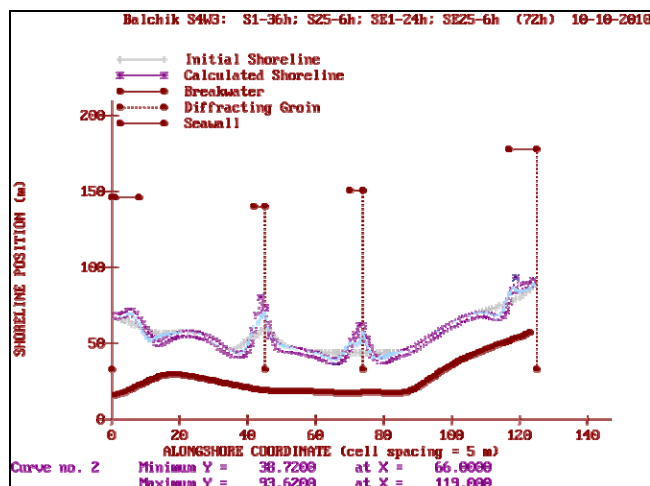


Фиг. 20. Ситуация 4, вълнение 2, D50=0.1 mm.

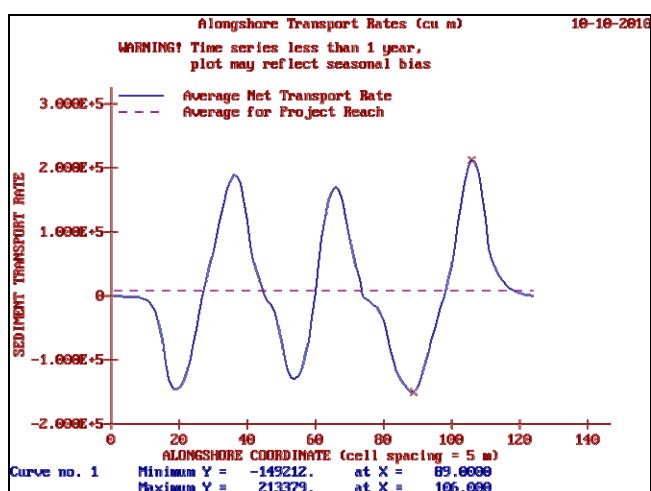
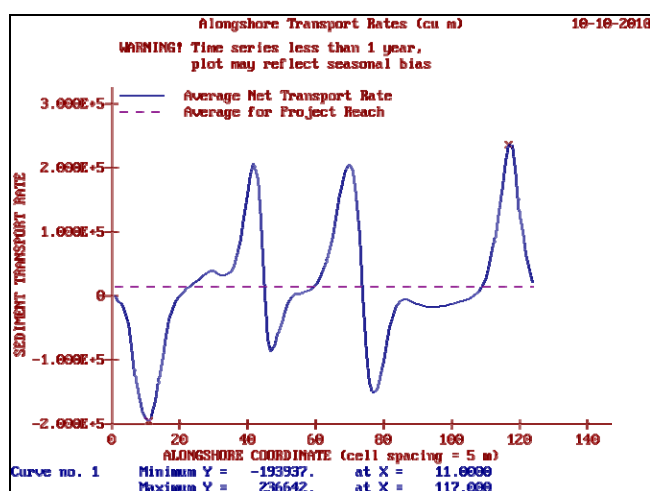
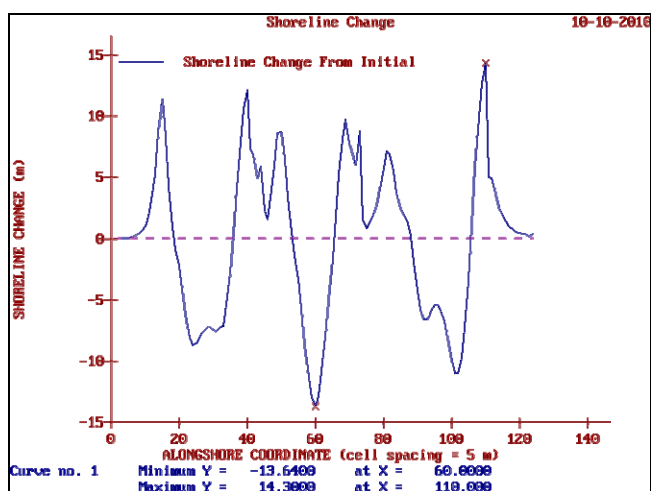
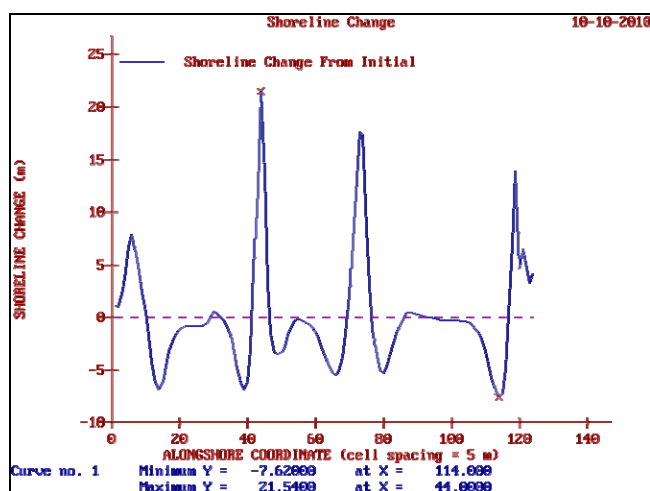
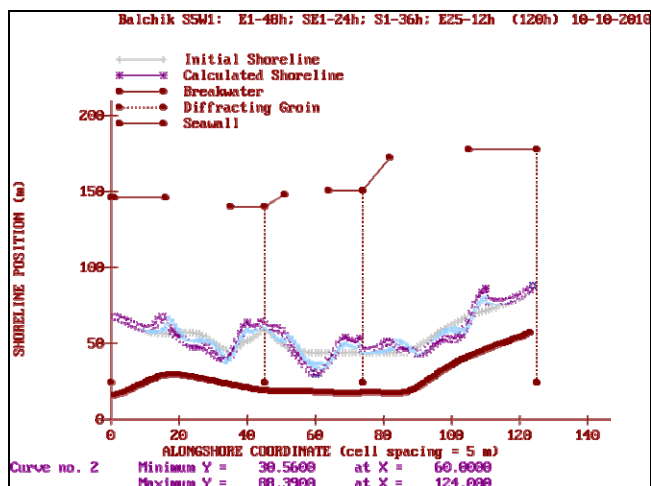




Фиг. 21. Ситуация 4, вълнение 3, D50=0.1 mm.

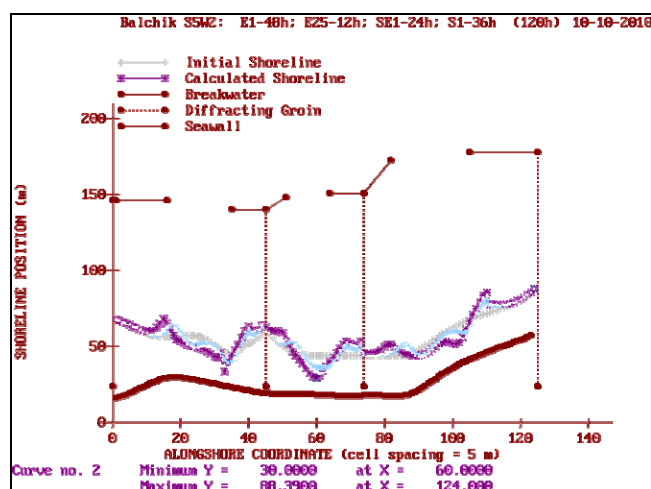


Фиг. 22. Ситуация 5, вълнение 1, D50=0.1 mm.





Фиг. 23. Ситуация 5, вълнение 2,  $D50=0.1$  mm.



Фиг. 24. Ситуация 5, вълнение 3,  $D50=0.1$  mm.

