

Глава 2. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ПОЛИГОНОВ

Под действием штормовых волн прибрежные донные осадки приходят в движение, интенсивно взвешиваются со дна и перемещаются по нормали к берегу и вдоль него. В результате происходят изменения рельефа прибрежного берегового склона и очертаний береговой линии.

Основными факторами, определяющими результирующий перенос песка в береговой зоне моря являются: асимметрия волновых орбитальных скоростей; Стоксов перенос воды; отток воды в прибойной зоне в сторону моря за счет градиента уровня, вследствие нагона; приливо-отливные течения; вдольбереговые и разрывные течения; инфрагравитационные волны различного генезиса. Количественная оценка и прогноз потока наносов и изменений рельефа дна являются наиболее приоритетными проблемами при изучении прибрежных процессов. Исследования по этим проблемам ведутся уже несколько десятков лет, но до сих пор нет надежных и физически обоснованных моделей для расчета потока наносов и деформаций подводного склона, что связано, в основном, с отсутствием четких знаний о механизмах и закономерностях взвешивания и перемещения песчаных наносов в природных условиях. Особую актуальность такой прогноз приобрел в последние годы вследствие интенсификации практического использования прибрежной зоны (защита пляжей от эрозии; создание искусственных пляжей; проведение берегоукрепительных мероприятий; гидротехническое строительство; создание подводных форм; обеспечение экологической безопасности и др.) и необходимости более рационального расходования финансовых средств на эти цели.

Для строгой и физически обоснованной оценки локальных потоков наносов по нормали к берегу и вдоль него необходимо знать зависимости средних и флуктуационных компонентов концентрации от параметров нерегулярных волн, а также их взаимные корреляции с компонентами скорости воды на различных расстояниях от дна. Возможность получения такого типа зависимостей появилась в последние годы благодаря созданию оптических и акустических приборов для измерения мгновенных значений концентрации взвешенных наносов в природных условиях с дискретностью в десятые доли секунды, что позволяет анализировать флуктуации концентрации во всем диапазоне частот спектра нерегулярных волн.

Эта задача стала одной из приоритетных в природных исследованиях транспорта наносов, проводившихся в последние годы.

С 1993 по 1999 годы авторский коллектив монографии участвовал в ряде природных экспериментов. Их краткая характеристика, основные задачи и полученные результаты приводятся в нижеследующих разделах. Карта, с расположением трех из 4-х полигонов экспериментальных исследований, приведена на рис. 2.1. Эксперимент “Новосибирск-98” проходил на Обском водохранилище вблизи Академгородка г. Новосибирска.

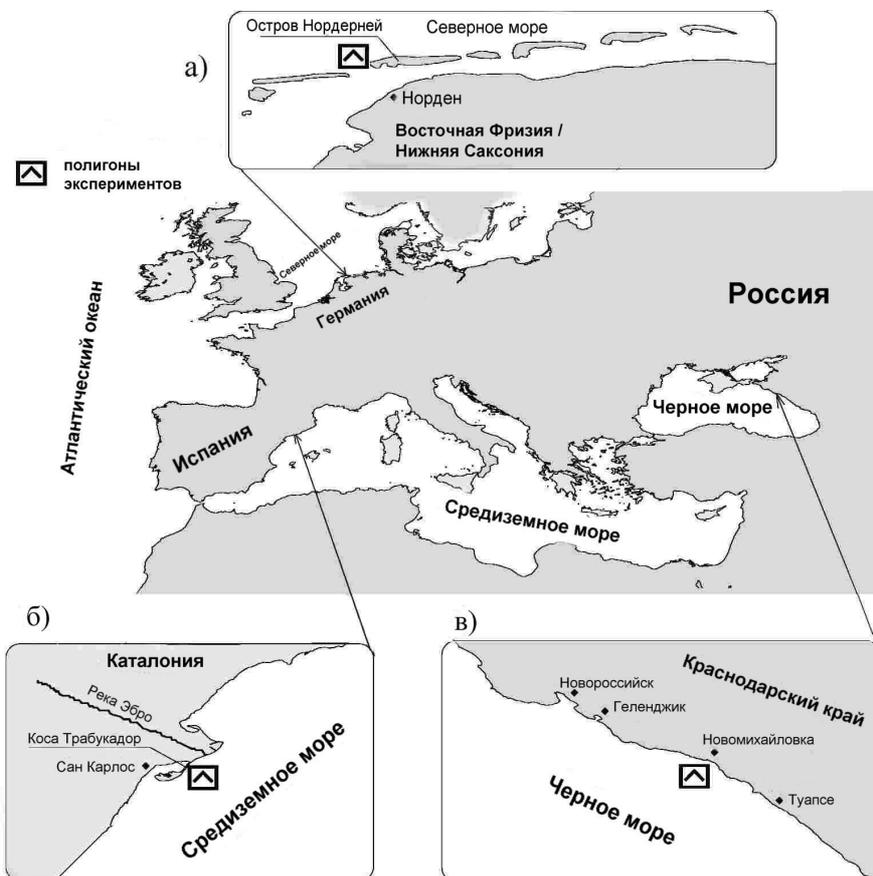


Рис. 2.1. Схема расположения исследовательских полигонов “Norderney-94” (а), “Ebro Delta-96” (б), “Новомихайловка-93, 99” (в)

2.1. Эксперимент “Новомихайловка – 93” (Черное море)

Этот натурный эксперимент был проведен в период с 25 ноября по 5 декабря 1993 года на участке берега Черного моря вблизи пос. Новомихайловка. Основная цель – изучение физических закономерностей взвешивания и переноса песчаных наносов в зоне деформации и разрушения нерегулярных штормовых волн.

Основные задачи.

- исследование трансформации нерегулярных волн в прибрежной зоне; исследование пространственно-временной структуры взвешивания наносов нерегулярными волнами;
- выявление механизмов взвешивания наносов нерегулярными волнами над плоским и рифельным дном;
- исследование деформаций подводного склона во время шторма;
- проверка работоспособности вновь созданных приборов (турбидиметров, электромагнитных датчиков скорости течения) в натуральных условиях;

- разработка стратегии создания носителей измерительной аппаратуры на основе полученных результатов.

Оборудование и приборы.

В эксперименте использовались следующие приборы:

- оптические турбидиметры (модель 90 года) для измерения мгновенных значений концентрации взвешенных осадков;
- электромагнитные двухкомпонентные датчики для измерения мгновенных значений скорости воды;
- струнные волнографы для измерения мгновенных значений возвышений свободной поверхности воды.

Для установки измерительной аппаратуры был изготовлен специальный лифт-носитель, который опускался и поднимался с причала. На носитель устанавливались турбидиметры и двухкомпонентные измерители скорости течения. Струнные волнографы устанавливались вдоль эстакады. Данные с измерительных приборов по кабельной линии поступали в лабораторию и через многоканальный аналого-цифровой преобразователь вводились в персональный компьютер.

Краткая характеристика полигона и схема размещения приборов. Подводный склон и пляж в районе эксперимента сложены мелкозернистым песком с медианным диаметром 0,21-0,24 мм. Гранулометрический состав песка с рабочего полигона “Новомихайловка” приведен на рис. 2.2. Место установки приборов на эстакаде, а также фрагмент эстакады, с которой производились измерения, показаны на рис. 2.3.

Профиль подводного склона вдоль эстакады характеризуется двумя подводными валами (рис. 2.4).

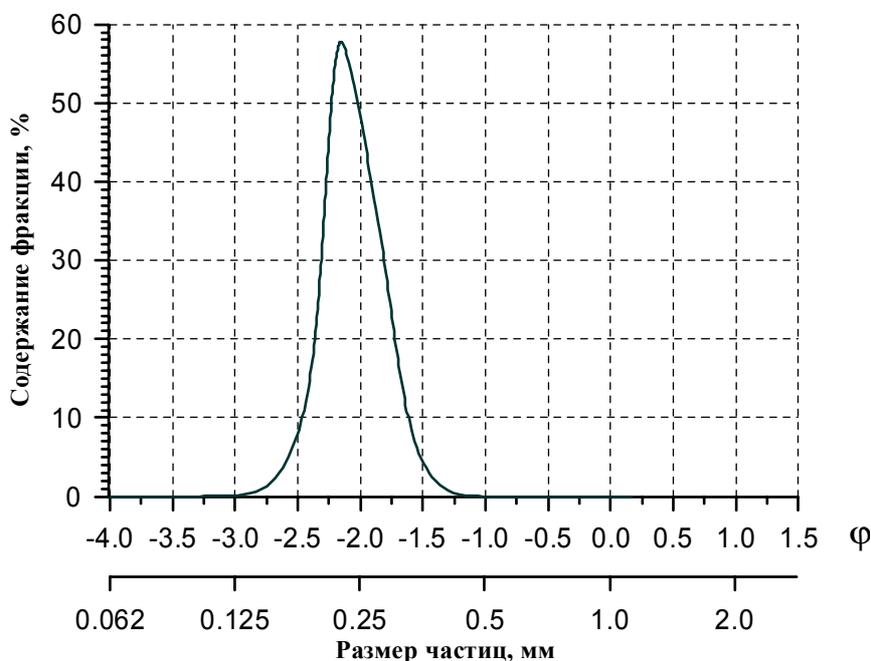


Рис. 2.2. Гранулометрический состав песка с рабочего полигона “Новомихайловка”



Рис. 2.3. Фрагмент эстакады и обозначенное место, с которого производилось опускание лифта с измерительными приборами

Синхронная регистрация концентрации взвешенных наносов, компонентов придонной скорости воды и возвышений свободной поверхности проводились на мористом склоне первого вала на глубине 2,8 м (рис. 2.4).

Измерительная аппаратура размещалась на специальном лифте-носителе, который опускался с эстакады и нижней площадкой устанавливался на дно.

Измерения концентрации взвешенных наносов выполнялись турбидиметром, измерительная головка которого располагалась на горизонтах 3-7 см от дна.

Измерения нормальной к берегу, вдольбереговой и вертикальной компонент придонной скорости воды проводились двухкомпонентными электромагнитными измерителями скорости воды на горизонте 25 см от дна в двух точках, разнесенных на 1 м друг от друга в направлении по нормали к берегу.

Измерения возвышений свободной поверхности воды выполнялись струнными волнографами в двух точках подводного склона.

Измерения профиля подводного склона проводились с помощью лота с привязкой относительно настила эстакады и периодичностью 1-2 раза в сутки в течение всего периода эксперимента. Состояние донной поверхности контролировалось водолазами.

Синхронные измерения концентрации взвешенного песка, компонент скорости воды и возвышений свободной поверхности выполнялись сериями длительностью от 30 до 40 минут с частотой опроса всех датчиков 18,2 Гц. Контроль измерений проводился в режиме реального времени путем визуальной оценки поступающей информации. За время эксперимента было выполнено 19 циклов измерений.

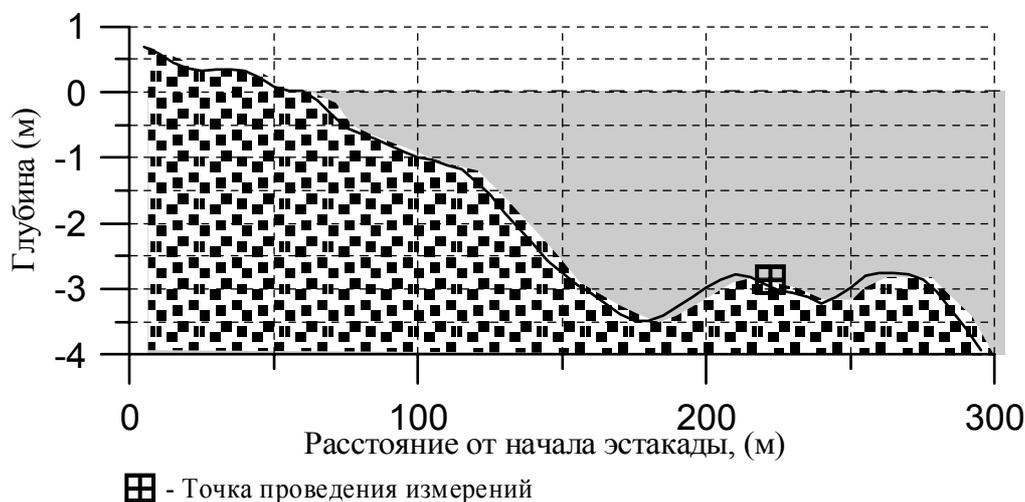


Рис. 2.4. Профиль подводного склона вдоль эстакады в эксперименте “Новомихайловка-93”

2.2. Эксперимент “Norderney-94” (Северное море)

Транспорт наносов в бесприливных морях определяется, главным образом, ветровым волнением и течениями волнового происхождения в зоне разрушения волн. В условиях приливных морей на транспорт наносов существенное влияние оказывают также приливные колебания уровня и связанные с ним приливно-отливные течения. Направление и интенсивность транспорта наносов по нормали и вдоль берега зависят от скорости течения, которая обычно представляется векторной суммой средней по времени скорости течения обусловленной ветровым волнением и периодической составляющей приливного течения. Вблизи берега, в зоне разрушения волн, скорости приливно-отливных течений обычно составляют первые сантиметры в секунду. Результирующий транспорт наносов определяется, главным образом, вдольбереговыми течениями и средними по времени течениями, перпендикулярными береговой линии и направленными от берега. С другой стороны, приливные колебания уровня воды приводят к смещению зоны обрушения волн во время шторма, изменению значений обеих составляющих скорости течения и осушке части берегового профиля с периодичностью прилива, что в результате и определяет итоговые деформации дна вдоль профиля подводного склона.

Натурные наблюдения для исследования особенностей взвешивания и транспорта донных осадков, деформации рельефа дна во время шторма для условий изменения уровня воды и модуляции ветровых волн с частотой приливных колебаний проводились в октябре 1994 года на участке пляжа, расположенном на северо-западном побережье острова Нордерней в Северном море.

Основные задачи.

- Определение временных масштабов флуктуаций концентрации и локальных потоков взвешенных наносов в зоне разрушения нерегулярных волн;
- установление количественной зависимости между флуктуациями концентрации и локальными потоками взвешенного песка различных масштабов от придонной скорости воды;

- оценка вклада инфрагравитационной и гравитационной частей спектра нерегулярных волн в результирующие потоки взвешенных наносов по нормали и вдоль берега;
- проверка основных положений энергетических моделей и оценка возможности их модификации для использования в практических целях;
- оценка масштабов деформаций уровня дна и толщины активного слоя и поиск зависимостей этих характеристик от изменения параметров нерегулярных волн в течение шторма;

- выявление возможных тенденций эволюции пляжа на исследуемом полигоне.

Оборудование и приборы. В эксперименте использовались приборы:

1. Электромагнитные двухкомпонентные датчики скорости течения DRUCKSONDE NSW-48 фирмы Norddentsche Sea Kabelwerke – 6 шт.

2. Датчики давления Stromungs-Sensor Typ S, фирмы Norddentsche Sea Kabelwerke – 7 шт.

(Датчики скорости и давления имеют линейную тарировочную характеристику в диапазоне частот от 0 до 20 Герц и одинаковые тарировочные коэффициенты.)

3. Оптические турбидиметры – 2 шт.

4. Датчики донных форм – 2 шт.

5. Наносонакопители – 25 шт.

6. Штыри с шайбами для измерения деформаций донного рельефа и толщины активного слоя – 15 шт.

Краткая характеристика полигона и схема размещения приборов. Исследования проводились в октябре 1994 года на участке пляжа, расположенном на северо-западном побережье острова Нордерней в Северном море (рис. 2.5, 2.6).

Профиль подводного склона относительно среднего многолетнего уровня (СМУ) воды, распределение на нем точек измерений и состав приборов представлены на рис. 2.7.

Для выявления деформаций дна и толщины активного слоя осадков, осредненных за суточный период (2 приливных цикла), использовались специальные стальные штыри с подвижными шайбами, которые были установлены в 15 точках подводного склона (см. рис. 2.7). Для исследований высокочастотных флуктуаций уровня дна использовались



Рис. 2.5. Местоположение рабочего полигона на острове Нордерней

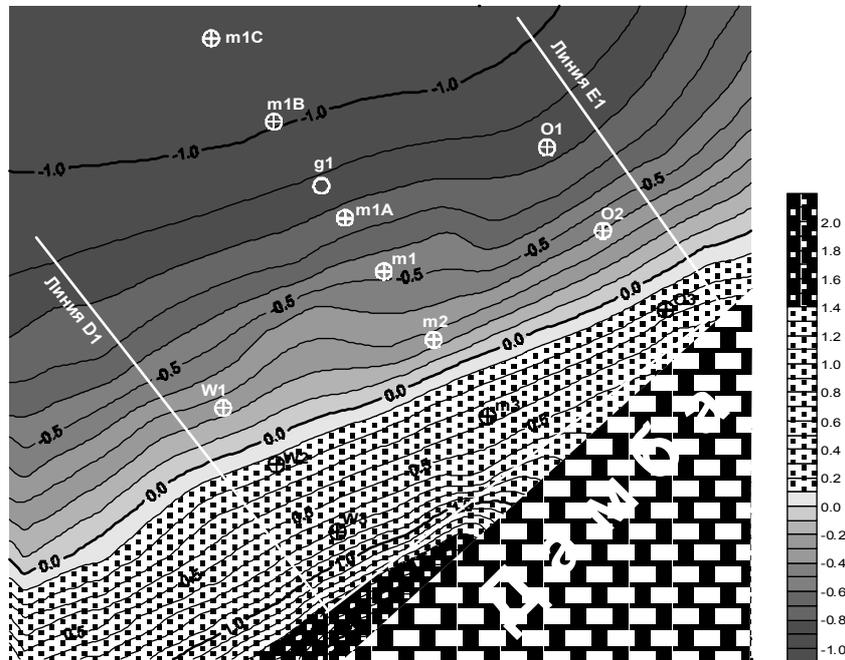


Рис. 2.6. Батиметрическая схема рабочего полигона. Изолинии даны относительно среднего многолетнего уровня

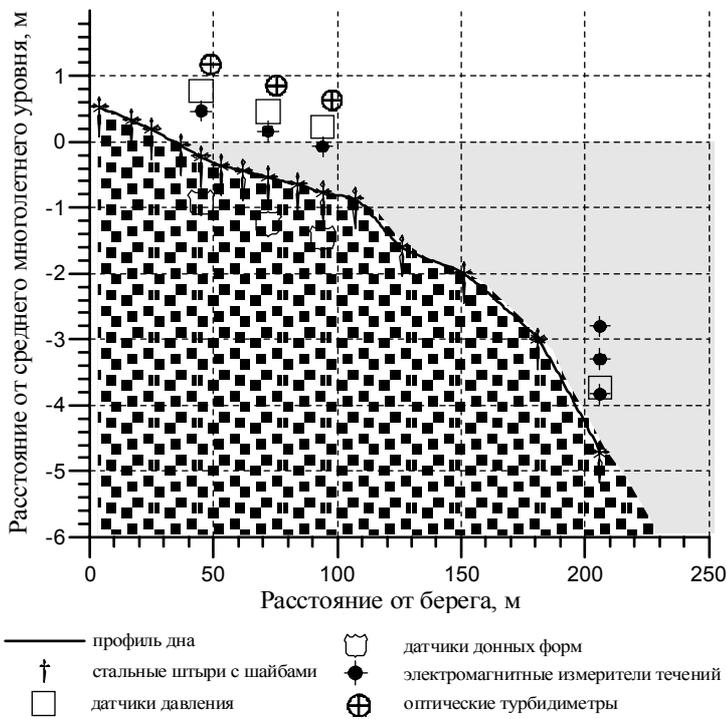


Рис. 2.7. Профиль подводного склона и схема расположения измерительных приборов на рабочем полигоне в эксперименте "Norderney-94"

датчики уровня дна (Косьян, Подымов, 1997; Kos'yan, Kunz, Podymov, 1995), установленные в трех точках осушаемой части профиля (см. рис. 2.7). Общий вид датчика уровня дна показан на рис. 1.21. Синхронно с измерением флуктуаций уровня дна в этих же точках регистрировались вдольбереговые и перпендикулярные берегу скорости течения, возвышения свободной поверхности и концентрация взвешенных наносов. Для данных измерений использовались, соответственно, электромагнитные датчики течений, датчики давления и оптические турбидиметры (Kos'yan et al, 1994).

Места установки турбидиметров и ориентировка датчиков скорости (один вариант для измерения двух горизонтальных составляющих скорости, другой – для измерения вертикальной и горизонтальной, перпендикулярной линии берега, составляющих) изменялись в ходе эксперимента в связи с корректировкой программы измерений на основе результатов экспресс-анализа полученных данных и по техническим причинам. Расположение створов и точек измерений между бунами D1 и E1 показаны на рис. 2.6.

Основная часть измерительных устройств располагалась на центральном створе “m”. Объединенная схема расположения измерительных устройств на этом створе приведена на рис. 2.7.

Оптические турбидиметры, измерители скорости и датчики давления укреплялись на стальных трубах диаметром 10 см, замкнутых нижней частью в песчаное дно (рис. 2.8) с помощью водяной помпы во всех точках измерения, кроме m1C.



Рис. 2.8. Стальная труба с установленными на нее турбидиметром, измерителем скорости потока и датчиком давления

В пункте m1C датчик давления и датчик скоростей устанавливались на массивной раме, опирающейся на песчаное дно. Ориентировка датчика скорости в этом пункте измерений определялась по сигналу компаса, установленного на раме.

Датчики донных форм закапывались в песок в непосредственной близости от турбидиметров.

Электрическое питание датчиков и передача их сигналов на берег к месту расположения регистрирующей аппаратуры осуществлялись по кабелям, уложенным на дно и замкнутым в песок.

Измерительные штыри диаметром 20 мм с плоскими стальными шайбами были забиты в песок.

Наносонакопители устанавливались по 5 штук на отдельных железных тру-

бах диаметром 6 см замкнутых нижней частью в песок (рис. 2.9).

Вид на линию “m” с поверхности показан на рис. 2.10.

Расстояния от датчиков до поверхности песка на дне изменялось с изменением профиля дна в ходе штормов и приливных циклов.

Ориентировочно датчики располагались на следующих расстояниях от дна: измерители скорости – 30 см; датчики давления – 80 см; турбидиметры – 10 см; наносонакопители – 10, 20, 40, 70, 100 см; датчики донных форм, под песком – 30 см.



Рис. 2.9. Штанга с установленными наносонакопителями

Измерения производились на участке песчаного пляжа со средним диаметром частиц 0,21 мм. Гранулометрический состав песка на рабочем полигоне “Norderney-94” представлен на рис. 2.11.

Волновая обстановка на протяжении измерений обуславливалась двумя штормами. Основная часть измерений была выполнена во время второго шторма (с 3 по 7 октября), когда ветровые волны с периодом 7-12 сек. подходили к берегу с северо-северо-запада под небольшим углом к берегу. На рис.

2.12 показано изменение осредненной за 15 минутные интервалы высоты волны в точке профиля с глубиной 5 м относительно СМУ. Измерения сделаны во время второго шторма. На графике хорошо прослеживаются колебания высоты волны с периодом, близким к приливному.

Наибольшая высота волны (около 1,3 м) наблюдалась во время прилива при высокой воде. В фазу отлива высота волн уменьшалась примерно в два раза и составляла 0,6-0,7 м.

Столь выраженное влияние приливных колебаний на высоту подходящих к пляжу ветровых волн объяснялось наличием отмели на расстоянии около километра от берега, где



Рис. 2.10. Вид на линию измерения “m” с берега

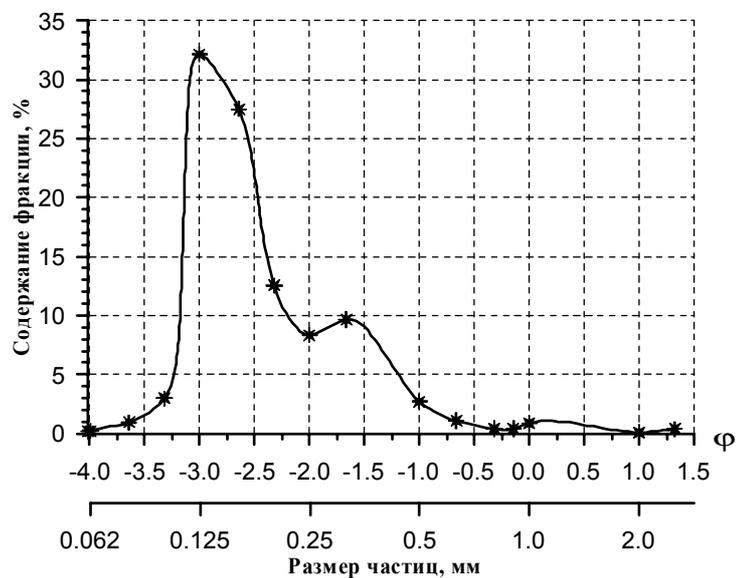


Рис. 2.11. Гранулометрический состав песка с рабочего полигона "Norderney-94"

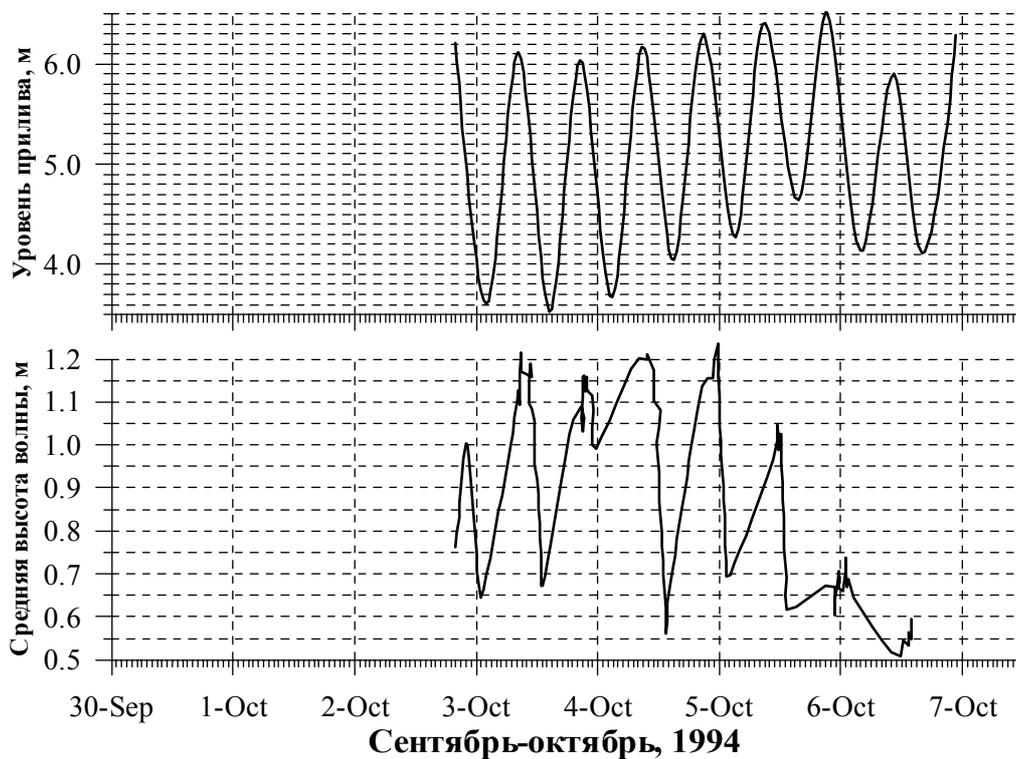


Рис. 2.12. Графики изменения приливного уровня воды и средней высоты волны

происходило их первичное обрушение. Далее, при движении к берегу, высота волны подвергалась дополнительной трансформации. Высота волн после обрушения становилась равной, примерно, глубине на отмели. Поэтому в прибойной зоне фиксировались изменения высоты волн, пропорциональные изменению приливного уровня, определяющего глубину воды над отмелью.

Режимы регистрации. Программа эксперимента включала в себя:

- синхронные измерения концентрации взвешенных наносов, 2-х компонент скорости воды и уровня дна в нескольких точках подводного профиля;
- измерение деформаций подводного профиля и толщины активного слоя по протяжению зоны обрушения волн;
- измерение вертикальных профилей средней концентрации и состава взвешенных наносов вдоль профиля подводного склона.

В процессе эксперимента режимы регистрации датчиков менялись в зависимости от программы и внешних условий.

Основной режим регистрации (16 датчиков, частота опроса датчиков – 4,55 Гц, длительность регистрации одной серии 60 минут) использовался при получении данных для установления связей концентрации и расхода взвешенных наносов с гравитационными и инфрагравитационными компонентами волн. В этом режиме опрашивались датчики, расположенные в центральном створе района измерений “m” и в двух боковых пунктах W1 и O2 (см. рис. 2.6). Измерения в пунктах W1 и O2 были необходимы для осуществления контроля однородности внешних условий и идентификации краевых волн и сейшеподобных колебаний уровня в пространстве между линиями E1 и D1.

Второй режим регистрации (6 датчиков, частота опроса 18,2 Гц, длительность регистрации одной серии 20 минут) использовался при определении связей между концентрацией взвешенных наносов и интенсивностью турбулентности, образующейся в процессе обрушения волн. В этом режиме опрашивались два турбидиметра (пункты m1 и m1A, см. рис. 2.6), два датчика давления в этих же точках и датчик скорости (пункт m1). Датчик скорости переориентировался в пространстве сперва для измерения двух горизонтальных компонент скорости, а затем для измерения вертикальной и горизонтальной, перпендикулярной линии берега, компонент скорости.

Третий режим регистрации (5 датчиков, частота опроса 2,02 Гц) использовался при низком уровне моря (когда большая часть датчиков скорости и давления оголялась при отливе) для записи сигналов с двух датчиков донных форм, датчика давления и двухкомпонентного датчика скорости течения в пункте m1A.

За период эксперимента осуществлены синхронные измерения мгновенных значений концентрации взвешенных наносов, 2-х компонент скорости воды, возвышений уровня свободной поверхности и изменений уровня дна в следующем объеме:

- 39 серий измерений на 16 каналах с частотой опроса 4,55 Гц. Длительность каждой серии составляла от 1 до 2 часов. Суммарная длительность серий в этом режиме составила 47 часов;

- 25 серий регистраций на 6 каналах с частотой опроса 18,2 Гц для оценки влияния крупномасштабной турбулентности на взвешивание наносов. Длительность каждой серии составляла около 20 минут, а суммарная длительность – 9 часов;

- 11 серий измерений на 5 каналах с частотой опроса 2,02 Гц для оценки изменения уровня дна в течение приливного цикла. Длительность каждой серии – 1,5 – 2 часа, а суммарная длительность – 18 часов.

Измерения проводились в фазу прилива и отлива преимущественно в условиях средней и высокой воды, когда датчик давления в точке m2 был ниже уровня моря (исключения составили лишь 11 серий (см. выше), которые выполнялись и в условиях низкой воды).

С помощью наносонакопителей выполнено 7 серий измерений вертикального распределения средних значений концентрации взвешенных наносов вдоль профиля подводного склона.

Получено 12 серий измерений деформаций уровня дна и толщины активного слоя со временем осреднения за два приливных цикла с помощью штырей с шайбами.

Измерения вертикальных профилей средних значений концентрации и состава взвешенных наносов с помощью наносонакопителей выполнялись в точках m2, m1, m1A, m1B и m1C. Смена наносонакопителей в пунктах m2, m1, m1A проводилась в низкую воду через сутки (2 приливных цикла) в светлое время суток, а в точках m1C и m1B после шторма, когда были условия для водолазных работ. Время экспозиции наносонакопителей определялось по стандартной методике.

2.3. Эксперимент “Ebro Delta – 96” (Средиземное море)

Совместный Российско-Испанский эксперимент “Эбрodelта – 96” был проведен в ноябре 1996 года на морской стороне косы Трабукадор, находящейся в трех километрах южнее устья реки Эбры в Средиземном море (см. рис. 2.1б).

Эксперимент был проведен совместно с International Center for Coastal Resources Research (CIIRC) из Барселоны.

Основные задачи.

- Исследование вдольбереговых и нормальных к берегу течений в зоне деформации и разрушения волн.
- Исследование пространственно-временной структуры взвешивания наносов ветровыми волнами.
- Измерение средних по времени вертикальных профилей концентрации и состава взвешенных наносов вдоль подводного профиля.
- Измерение вдольберегового и нормального к берегу расхода взвешенных наносов вдоль профиля подводного склона.
- Исследование деформаций подводного склона и состава поверхностных осадков за время шторма.

Оборудование и приборы.

В эксперименте использовались следующие приборы:

- оптические турбидиметры для измерения мгновенных значений концентрации взвешенных осадков;
- электромагнитные двухкомпонентные датчики потока для измерения мгновенных значений скорости воды;
- электроконтактный волнограф для измерения мгновенных значений возвышений свободной поверхности воды;
- наносонакопители кассетного типа для измерения средних во времени концентраций взвешенных осадков;
- метеостанция, для измерения атмосферных параметров;
- видеокамера для фиксации характера поверхностного волнения в прибрежной зоне.

Краткая характеристика полигона и размещение приборов. Измерения выполнялись на участке берега, характеризующемся песчаным пляжем и параллельными берегу изобатами. Подводный склон до глубины 2-3 м сложен мелкозернистым песком со средним диаметром 0,22 мм. Гранулометрический состав песка на рабочем полигоне “Эбрodelьта – 96” представлен на рис. 1.5.

Приборы монтировались на мобильных санях из нержавеющей труб диаметром 0,05 м (рис. 2.13). Сани буксировались в направлении перпендикулярном берегу с помощью лебедки, установленной на берегу, и блока, укрепленного на свае на глубине 3,5 м. Это позволяло проводить измерения на глубинах от 0,5 до 2,5 м в зоне обрушения волн зыби и ветровых волн.



Рис. 2.13. Приборы, смонтированные на мобильных санях

Осредненный за время эксперимента профиль дна и положение точек измерений (позиции саней) показаны на рис. 2.14.

Средняя высота волн во время эксперимента не превышала 0,6 м, а периоды были менее 7 секунд.

Концентрация взвешенного песка и две компоненты скорости частиц воды измерялись синхронно в двух точках, разнесенных на 1 м в перпендикулярном берегу направлении.

В дальней от берега точке измерялись горизонтальная, нормальная к берегу и вертикальная компоненты скорости, а в ближней к берегу – две горизонтальные компоненты скорости час-

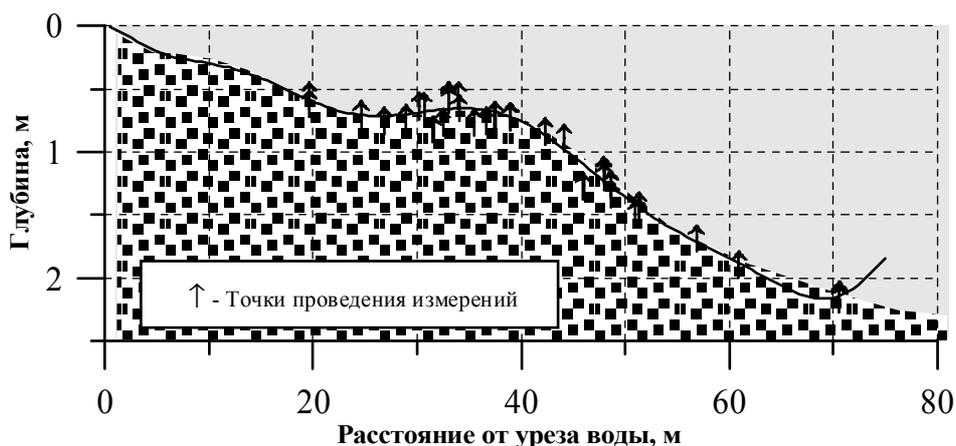


Рис. 2.14. Профиль подводного склона и схема положения измерительных приборов с санями на рабочем полигоне в эксперименте “Эбрodelьта – 96”

тиц воды. Концентрации взвешенного песка измерялись оптическими турбидиметрами, скорости – электромагнитными двухкомпонентными датчиками на горизонтах 10-20 см над дном. Дополнительно измерялись возвышения свободной поверхности электроконтактным волнографом, расположенным в центре саней.

За время эксперимента было выполнено 53 серии измерений. Длина записи каждой серии измерений составляла 20-30 минут, частота опроса датчиков – 18,2 Гц.

2.4. Эксперимент “Новосибирск- 98” (Обское море)

В период с 30 августа по 20 сентября 1998 года были проведены исследования динамики взвешенных наносов во время натурального эксперимента Новосибирск-98. Эксперимент был проведен совместно Институтом Водных и Экологических Проблем (ИВЭП) СО РАН, Институтом океанологии РАН и Южным Отделением Института океанологии РАН на участке берега Обского водохранилища вблизи Новосибирского Академгородка.

К началу эксперимента были изготовлены и испытаны в лабораторных условиях новые модели оптического турбидиметра и электромагнитного измерителя скорости воды. Подробное описание этих приборов дано выше в разделе 1.

Цель эксперимента – комплексное исследование гидродинамических и литодинамических процессов в береговой зоне Обского водохранилища.

Основные задачи.

- Исследование трансформации ветровых волн и их групповой структуры в прибрежной зоне.
- Исследование вдольбереговых и нормальных к берегу течений в зоне деформации и разрушения волн.
- Исследование пространственно-временной структуры взвешивания наносов ветровыми волнами.
- Измерение средних по времени вертикальных профилей концентрации и состава взвешенных наносов вдоль подводного профиля.
- Измерение вдольберегового и нормального к берегу расхода взвешенных наносов вдоль профиля подводного склона.
- Исследование деформаций подводного склона и состава поверхностных осадков за время шторма.
- Измерение колебаний уровня грунтовых вод в зоне заплеска во время шторма.
- Интеркалибровка турбидиметров и электромагнитных датчиков скорости с акустическим измерителем скорости и концентрации взвеси (ADCP) фирмы RD Instruments, USA.

Оборудование и приборы.

В эксперименте использовались следующие приборы:

- оптические турбидиметры для измерения мгновенных значений концентрации взвешенных осадков;
- электромагнитные двухкомпонентные датчики потока для измерения мгновенных значений скорости воды;
- струнные волнографы емкостного типа для измерения мгновенных значений возвышений свободной поверхности воды;
- наносонакопители кассетного типа для измерения средних во времени концентраций взвешенных осадков;

- измерители течений “Поток-2” для измерения осредненных значений нормальных к берегу и вдольбереговых течений;

- видеокамера для фиксации характера поверхностного волнения в прибрежной зоне.

Краткая характеристика полигона и схема размещения приборов. Измерения выполнены на полигоне, расположенном в северо-восточной части Обского водохранилища в районе песчаного пляжа “Неоком”. Этот участок берега характеризуется широким песчаным пляжем и параллельными берегу изобатами. Подводный склон до глубины 3-4 м сложен мелко-среднезернистым песком со средним диаметром 0,244 мм. Гранулометрический состав песка на рабочем полигоне “Новосибирск-98” представлен на рис. 2.15.

Измерительные приборы были установлены на двух параллельных створах, отстоящих друг от друга на 15 м. Профиль дна вдоль створов измерений показан на рис. 2.16.

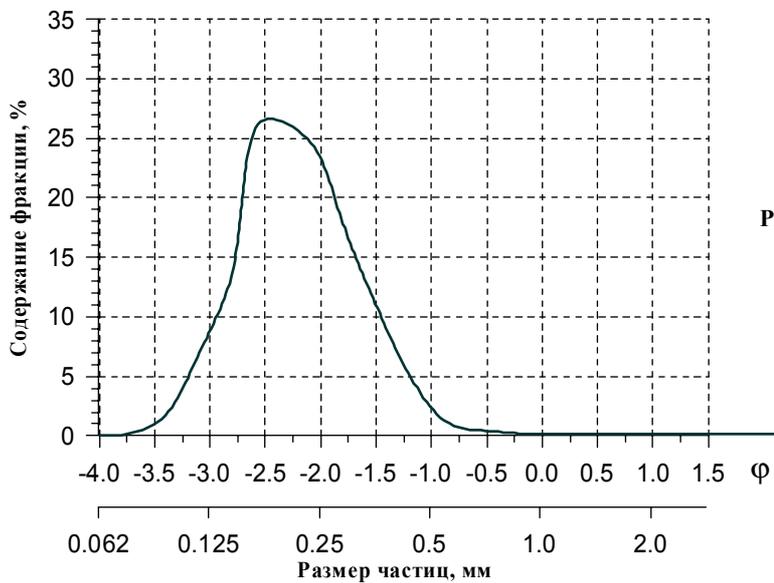


Рис. 2.15. Гранулометрический состав песка на рабочем полигоне “Новосибирск-98”

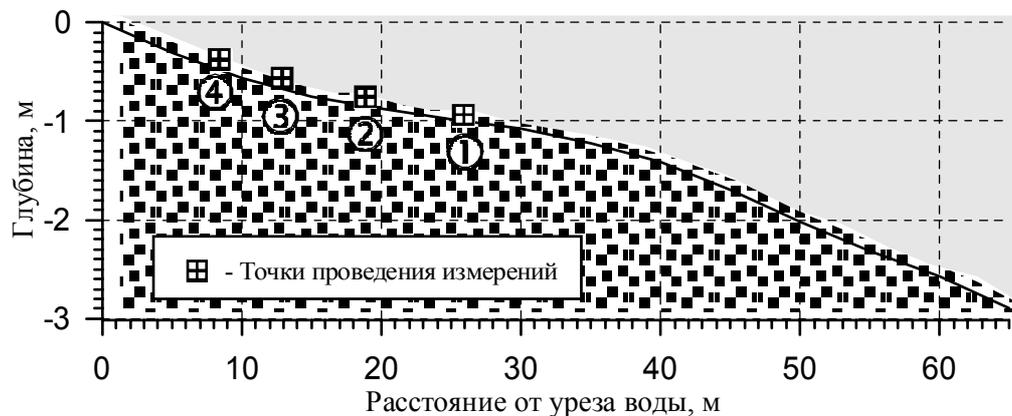


Рис. 2.16. Профиль дна вдоль створов измерений на полигоне “Новосибирск-98”

На первом створе проводились измерения мгновенных полей скорости воды, концентрации взвешенных наносов и возвышений свободной поверхности с помощью подвижных саней (рис. 2.17).

Вдоль профиля дна сани перемещались с помощью системы, состоявшей: из лебедки, установленной на берегу; поворотного блока, установленного вблизи дна на глубине 2,6 м и соединительных тросов. Схема расположения приборов на санях показана на рис. 2.18.



Рис. 2.17. Вид на турбидиметры, датчики течений и волнографы, установленные на подвижных санях

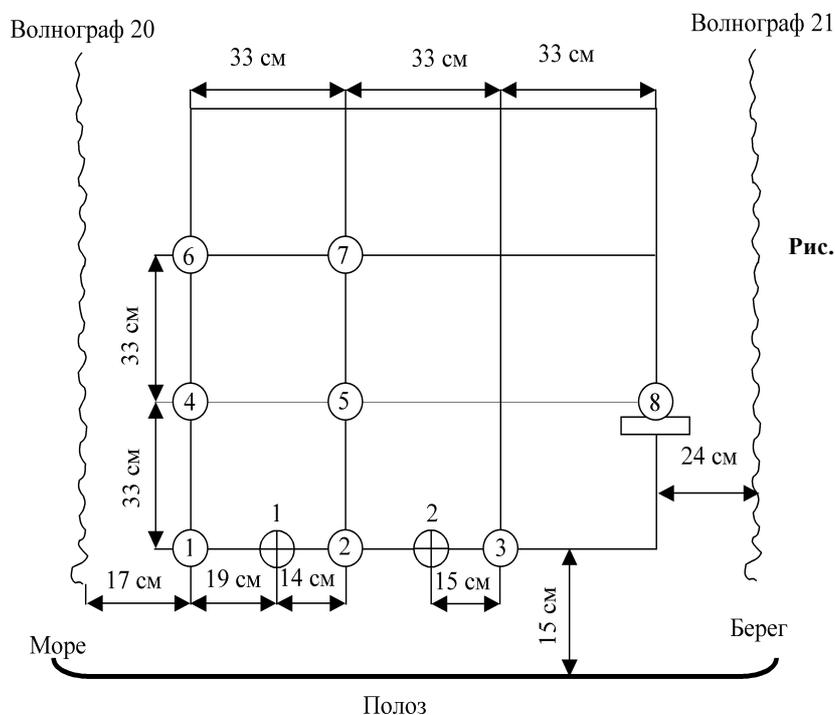


Рис. 2.18. Схема установки измерительных приборов на "санях" 1-7 – турбидиметры с открытой зоной измерения; 8 – турбидиметр с фильтром 100 мкм; ⊕ – датчики течений



Рис. 2.19. Вид на створ установки стационарных приборов (справа) и на створ, вдоль которого производилось перемещение подвижных “саней”

На втором створе были установлены 4 автономных поста на треногах для измерения средних характеристик полей концентрации, скорости воды и поверхностного волнения. На каждом посту были установлены: колонка наносоуловителей кассетного типа, измеритель течений “Поток”, измеритель волнения емкостного типа. На самом мористом посту было установлено 3 измерителя волнения для регистрации спектра направлений подходящих волн. Вид на оба створа, вдоль которых производились измерения, показан на рис. 2.19.

Для характеристики метеоусловий в месте измерений проводилась регистрация скорости и направления ветра, давления, температуры воздуха и других параметров с помощью полевой метеостанции, установленной на берегу.

Сигналы со всех датчиков по кабельным линиям поступали в береговую лабораторию, где производилась их регистрация на персональные компьютеры. Сигналы всех датчиков, расположенных на саях, синхронно регистрировались с частотой опроса 18,2 Гц. Длительность серий регистрации составляла 30 минут или 1 час.

За время эксперимента получено 38 синхронных записей концентрации, поверхностного волнения и волновых скоростей воды в трех точках подводного склона, охватывающих как зону разрушения волн, так зону не разрушенных волн. В период проведения эксперимента наблюдалось только ветровое волнение со среднеквадратичной высотой волны не более 0,4 м и периодом, соответствующим пику спектральной плотности подходящих к берегу волн не более 4 секунд. Это позволило исследовать только горизонтальную изменчивость концентрации взвешенных наносов, поскольку взвешивание песка имело место только в слое толщиной не более 0,3 метра от дна.

2.5. Эксперимент “Новомихайловка – 99” (Черное море)

В период с 29 ноября по 15 декабря 1999 года проведен натурный эксперимент, основной целью которого было изучение физических закономерностей взвешивания и переноса песчаных наносов в зоне деформации и разрушения нерегулярных штормовых волн и выявление пространственно-временной структуры взвешивания наносов нерегулярными волнами.

Основные задачи.

- Исследование трансформации нерегулярных волн и их групповой структуры в прибрежной зоне.
- Исследование пространственно-временной структуры взвешивания наносов нерегулярными волнами.
- Измерение вертикальной структуры вдольберегового и нормального к берегу расхода взвешенных наносов в зоне деформации и разрушения волн.
- Исследование деформаций подводного склона во время шторма.

Оборудование и приборы.

В эксперименте использовались следующие приборы:

- оптические турбидиметры для измерения мгновенных значений концентрации взвешенных осадков;
- электромагнитные двухкомпонентные датчики для измерения мгновенных значений скорости воды;
- струнные волнографы для измерения мгновенных значений возвышений свободной поверхности воды;
- видеокамера для фиксации характера поверхностного волнения в местах измерений.

Для установки измерительной аппаратуры был изготовлен специальный мобильный носитель. Внешний вид носителя с установленными измерителями (8 турбидиметров, 3 электромагнитных датчика течений, коммутационный блок с герморазъемами) дан на рис. 2.20. Носитель сконструирован в виде разборной конструкции. В разобранном виде он свободно размещается на багажнике легкового автомобиля.

Краткая характеристика полигона и схема размещения приборов. Эксперимент проводился на российском участке берега Черного моря в районе пос. Новомихайловка, который характеризуется достаточно протяженным песчаным пляжем. На этом участке берега изобаты примерно параллельны береговой линии. Подводный склон и пляж сложены мелкозернистым песком с медианным диаметром 0,21-0,24 мм. Внешний вид эстакады, с которой производились измерения, а так же фрагмент пляжа показаны на рис. 2.21.



Рис. 2.20. Фрагмент носителя с установленными турбидиметрами, датчиками течений и коммутационным блоком



Рис. 2.21. Вид на место проведения эксперимента “Новомихайловка-99”

Измерения проводились с эстакады длиной 300 м, профиль подводного склона вдоль которой характеризуется двумя подводными валами (рис. 2.22). Синхронная регистрация концентрации взвешенных наносов, компонент придонной скорости воды и возвышений свободной поверхности проводились на мористом склоне первого вала на глубине 2,5 м (см. рис. 2.22), что позволило исследовать различные режимы воздействия нерегулярных волн на дно в течение шторма.

Измерительная аппаратура размещалась на специальном носителе, который устанавливался на дно с эстакады. Схема расположения аппаратуры на носителе, вертикальные и горизонтальные расстояния между приборами показаны на рис. 2.23.

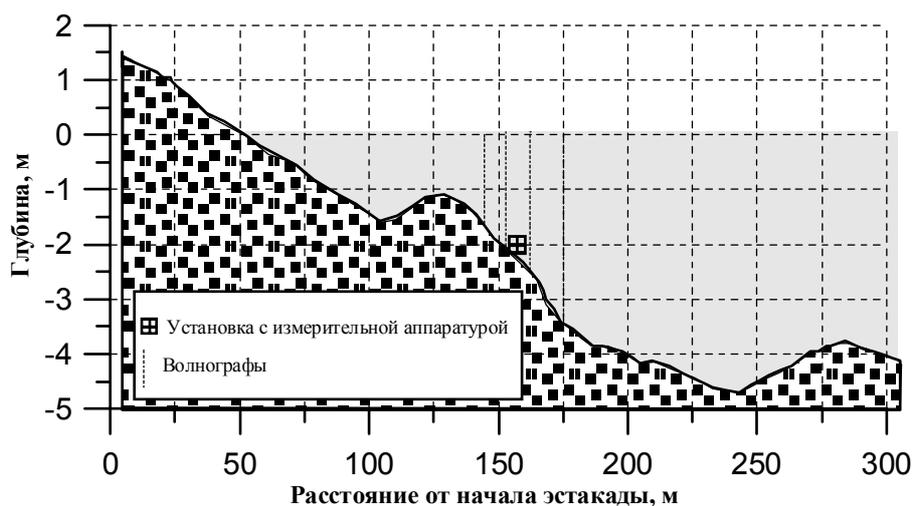


Рис. 2.22. Профиль подводного склона вдоль эстакады и расположение места измерений и волнографов

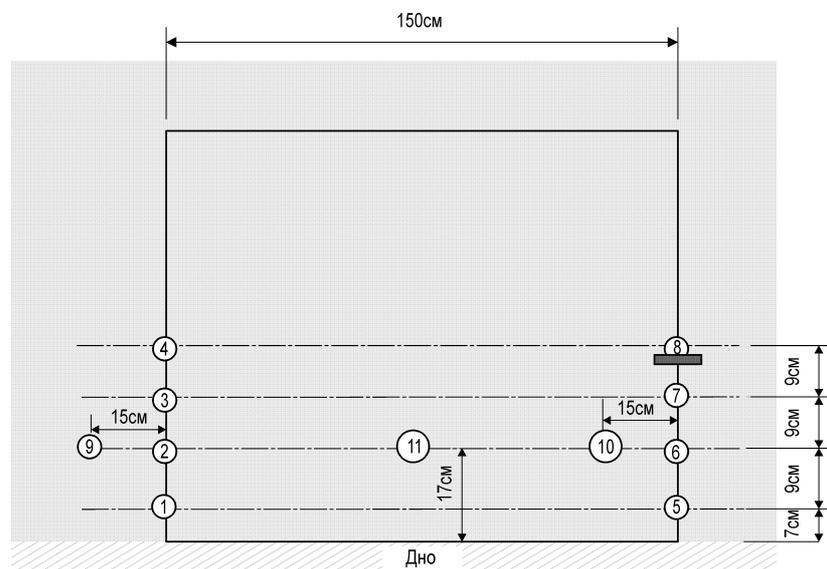


Рис. 2.23. Схема расположения приборов на измерительной установке
 1–8 – турбидиметры; 9 – датчик скорости течения (вертикальная и горизонтальная компоненты); 10 – датчик скорости течения (две горизонтальные компоненты); 11 – датчик скорости течения DRUCKSONDE NSW-48 (две горизонтальные компоненты)

Измерения концентрации взвешенных наносов выполнялись 8 турбидиметрами на двух вертикалях, разнесенных на расстояние 1,5 м вдоль эстакады. На каждой вертикали было установлено по 4 турбидиметра на горизонтах от 5-7 до 34 см от дна (см. рис. 2.23).

Измерения нормальной к берегу, вдольбереговой и вертикальной компонент придонной скорости воды проводились двухкомпонентными электромагнитными измерителями скорости воды на горизонте 15-17 см от дна в трех точках, разнесенных на 0,75 м друг от друга в направлении по нормали к берегу (см. рис. 2.23).

Измерения возвышений свободной поверхности воды выполнялись струнными волнографами в четырех точках подводного склона, показанных на рис. 2.22.

Измерения профиля подводного склона проводились с помощью лота с привязкой относительно настила эстакады и с периодичностью 1-2 раза в сутки в течение всего периода эксперимента.

Сигналы со всех датчиков поступали по кабельной линии в береговую лабораторию на эстакаде, где проводилась их регистрация на персональном компьютере.

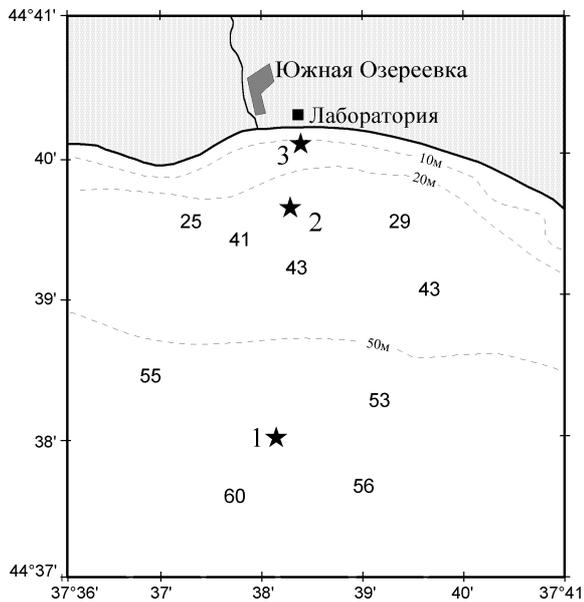
Синхронные измерения концентрации взвешенного песка, компонент скорости воды и возвышений свободной поверхности выполнялись сериями длительностью от 30 минут до 1,5 часа с частотой опроса всех датчиков 18,2 Гц.

Контроль измерений проводился в режиме реального времени путем визуальной оценки на мониторе компьютера поступающей информации.

За время эксперимента получено 42 синхронных записи концентрации, поверхностного волнения и волновых скоростей воды, охватывающих, в основном, режим не разрушенных волн разной степени деформации. В ряде случаев удалось захватить режим, когда наиболее крупные волны разрушались по типу рассыпания гребня. Высота значительных волн за время эксперимента не превышала 1 м, а период 7,5 секунд.

2.6. Южная Озеревка

Исследования режима течений на шельфе Черного моря – в районе Южной Озеревки, расположенной в 18 км к западу от входа в Новороссийскую бухту, выполнялись в 2 этапа: с сентября 1997 г. по февраль 1998 г. и июле-декабре 1998 года. Точки измерений располагались на створе по нормали к берегу на глубинах 54, 31 и 11. Их местоположение показано на рис. 2.24, а информация о горизонтах измерений, продолжительности измерений и их количестве приведена в таблице 2.1.



Основные задачи:

- изучение пространственно-временной изменчивости течений в шельфовой зоне;
- статистическая характеристика скорости и направления течений за период наблюдения в несколько месяцев;
- отработка методики передачи данных измерений на берег по радиоканалу в режиме реального времени;
- отработка методики измерений течений в штормовые периоды.

Рис. 2.24. Местоположение точек измерений течений (сентябрь 97 – февраль 98, август – декабрь 98)

Таблица 2.1.

Характеристика условий измерения течений

Точка	Координаты				Время измерений		К-во измерений
	Широта N	Долгота E	Глубина, м	Горизонт, м	начало	конец	
Первый период измерений							
1	44°37,96'	37°38,05'	54	5	15.09.97	13.02.98	7211
-«-	-«-	-«-	-«-	26	15.09.97	29.01.98	6446
-«-	-«-	-«-	-«-	48	15.09.97	06.01.98	5393
2	44°39,65'	37°38,21'	31	5	15.09.97	26.02.98	7862
-«-	-«-	-«-	-«-	26	15.09.97	23.01.98	6244
3	44°40,10'	37°38,35'	11	10	17.09.97	03.03.98	8022
Второй период измерений							
1	44°37,99'	37°38,10'	54	5	30.07.98	27.12.98	7198
-«-	-«-	-«-	-«-	27	30.07.98	27.12.98	7198
-«-	-«-	-«-	-«-	50	30.07.98	27.12.98	7198
2	44°39,65'	37°38,21'	32	5	30.07.98	27.12.98	7196
-«-	-«-	-«-	-«-	27	30.07.98	27.12.98	7196
3	44°40,08'	37°38,25'	12	11	30.07.98	29.12.98	7295

Одновременно с измерениями течений и температуры воды выполнялись измерения ветра, температуры воздуха и атмосферного давления в исследуемом районе. Для этого на берегу в 40 метрах от уреза воды в створе расположения буйковых станций, была развернута полевая лаборатория – специальный контейнер 2,2х2,2х5,2 м. На крыше контейнера располагалась мачта с датчиками автономной метеостанции, информация с датчиков поступала в компьютер, который находился в лаборатории.

Во время эксперимента проводились испытания устройств, передающих информацию по радиоканалу с АБС в береговую лабораторию в реальном масштабе времени. Специальные устройства были изготовлены компанией Specialty Devices Inc. Результаты испытаний показали, что предложенная схема передачи информации с буя на берег работает нормально. Но защита блоков и узлов этой системы от жестких условий морской стихии недостаточна. При устранении этого недостатка такую систему можно использовать для передачи информации о течениях в реальном времени на диспетчерский пункт порта.

В данные измерений течений с помощью АБС с поверхностным буюм во время волнения может вноситься некоторая ошибка за счет колебаний буя. Ошибку можно исключить, если его сделать притопленным. Но в этом случае исключается возможность измерения течений в верхнем 10-метровом слое. Во время эксперимента был испытан другой вариант постановки АБС, позволяющий выполнять измерения на горизонте 5 м и исключить погрешности за счет волнения. Для этого якорная система АБС была сконструирована таким образом, что, кроме основной своей функции удерживания АБС в заданной точке, она служила одновременно демпфером и гасила влияние волн на АБС в период шторма. Схематично эта конструкция АБС представлена на рис. 2.25.

Основная часть нагрузки на поверхностный буй (120-140 кг) находилась под нижним (придонным) измерителем. В качестве придонного груза использовалась тяжелая якорная цепь с контрфорсами, которая уменьшала колебания поверхностного буя во время волнения. Постановка АБС по этой схеме выполняется так, чтобы между нижним прибором и дном находилось в подвешенном состоянии не менее 4-5 м якорной цепи и 7-8 м располагалось на грунте.
