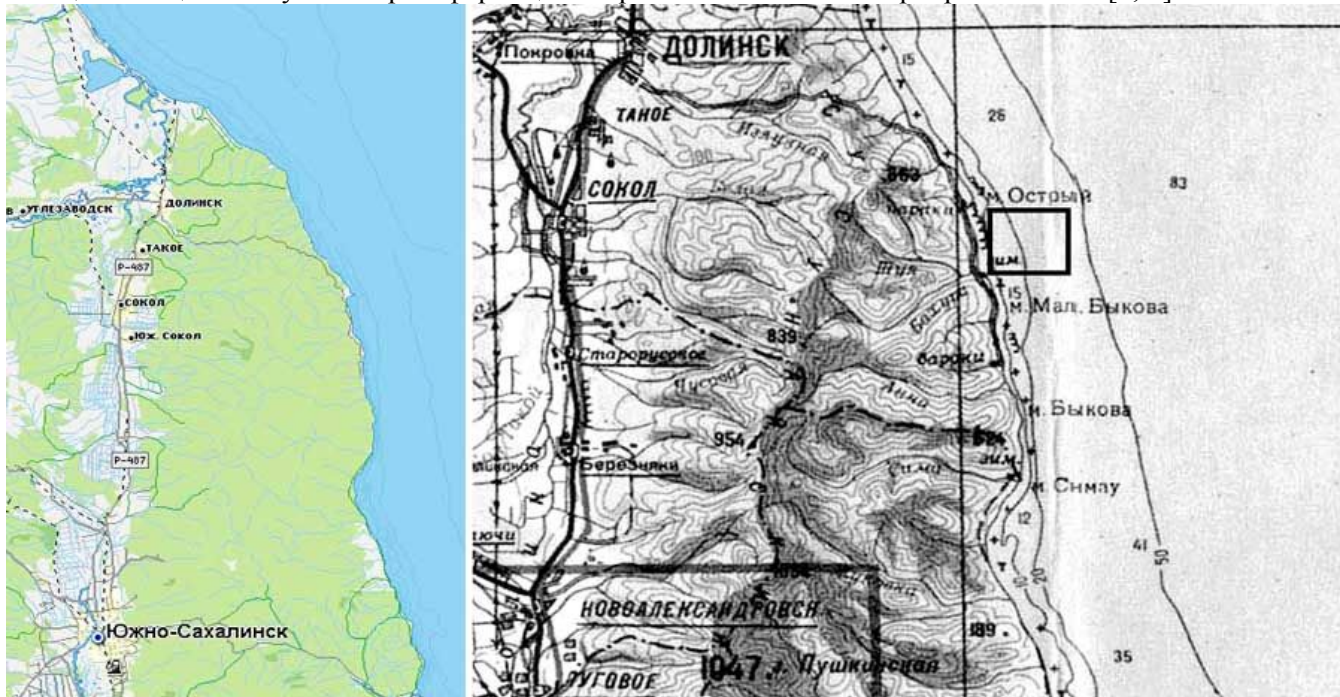


Организация и проведение натурального эксперимента по изучению волновой динамики на восточном шельфе о. Сахалин

Обеспечение безопасности населения и сохранение сложных промышленных инфраструктур, расположенных на побережье и океаническом шельфе, а также снижение риска неблагоприятного воздействия на морскую среду при аварийных ситуациях на морских нефтедобывающих платформах вплотную связаны с изучением нелинейной динамики волн в прибрежной зоне. Экспериментальные данные представляют при этом большую ценность в связи с возрастающими требованиями к точности оценок средних и экстремальных значений различных гидрофизических параметров и необходимостью верификации и уточнения математических моделей волновых процессов.

В результате сотрудничества научных коллективов кафедры «Прикладная математика», Нижегородского государственного технического университета (НГТУ) и Лаборатории волновой динамики и прибрежных течений Института Морской Геологии и Геофизики (ИМГиГ) ДВО РАН, с учетом многолетнего опыта изучения нелинейной волновой динамики и проведения натуральных экспериментов в Тихоокеанском регионе [1 – 5, 7 – 12, 14 – 17] было решено провести совместный эксперимент, цели которого связаны с изучением волновой динамики шельфовой зоны в целом и, в частности, опасных морских явлений на шельфе, анализом низкочастотных (с периодами от минут до часов) колебаний уровня моря, регистрацией процессов, обусловленных топографическим захватом волновой энергии. Кроме того, полученные натурные данные будут использованы для разработки и тестирования детерминистской прогностической модели нелинейных краевых волн.

Эксперимент проводился в июне – августе 2006 года в районе м. Острый на восточном побережье острова Сахалин на стационаре ИМГиГ «Остромысовка». Ранее там проводились измерения кабельными донными станциями с целью изучения трансформации ветровых волн и зыби в прибрежной зоне [5, 8].



Карта места проведения эксперимента

Для регистрации волн использовались донные датчики гидростатического давления – автономные регистраторы волнения (АРВ), постановка которых и сбор метеорологических данных выполнялись специалистами НГТУ. Отряд ИМГиГ осуществлял постановку донной кабельной станции (ДКС).

Далее будет приведено описание технических средств, методики проведения эксперимента и некоторые предварительные результаты обработки данных. Автономный регистратор волнения состоит из кварцевого (пьезорезонансного) преобразователя давления и температуры, платы-регистратора и аккумуляторной батареи, помещённых в цилиндрический корпус из нержавеющей стали (см. рис. 1). АРВ были изготовлены ООО «СКТБ ЭлПА» г. Углич.

АРВ являются новым уникальным оборудованием, разработанным с учетом имеющегося опыта создания аналогичных приборов [6]. Основное преимущество по сравнению с существующими отечественными приборами состоит в том, что запись информации производится в твердотельную память большой емкости. В результате АРВ можно устанавливать на длительный срок, что позволяет зафиксировать неперiodические океанские процессы, такие как приход волны-убийцы, захваченные волны и другие аномальные явления. К

тому же такая система регистрации более надежная, чем на магнитный носитель, ввод в ПК данных с которого практически всегда происходит со сбоями и частичной потерей данных.

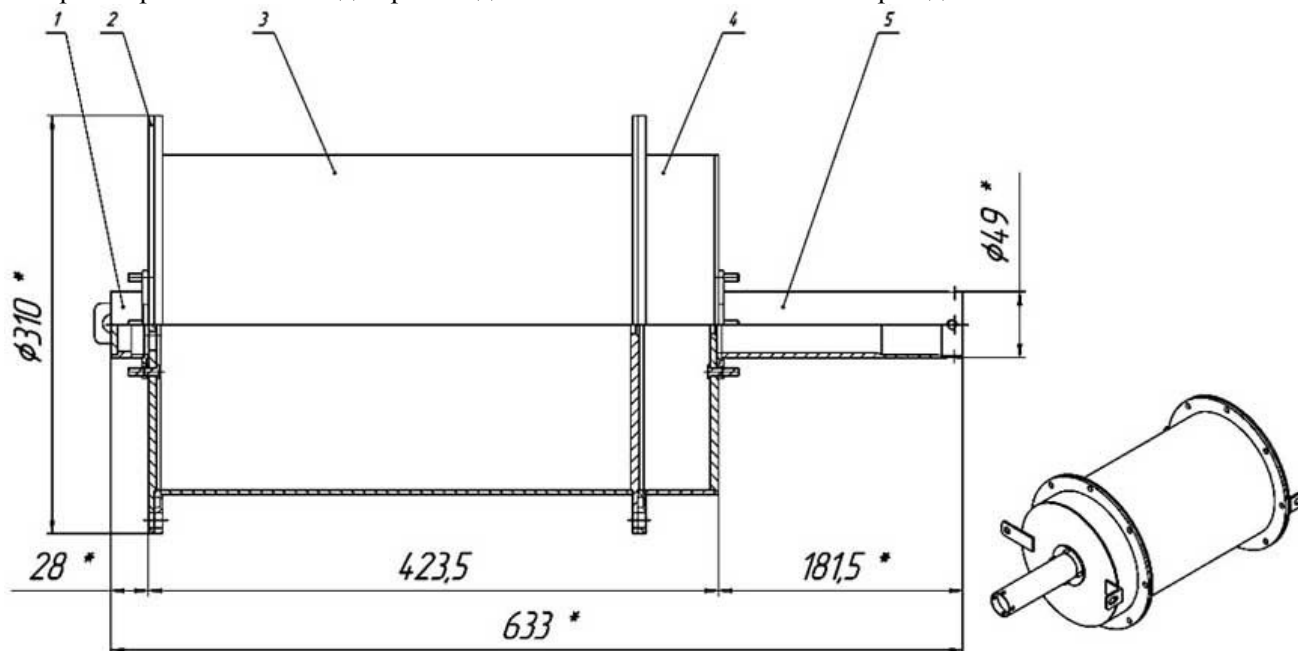


Рис. 1. Автономный регистратор волнения АРВ-К10

Высокая дискретность измерений (1 с) АРВ позволяет регистрировать волны в широком диапазоне периодов – от ветровых до приливных. К тому же приборы имеют невысокую стоимость – на порядок дешевле импортных аналогов, например фирмы SeaBird. Выбор кварцевых преобразователей давления и температуры не случаен - благодаря высокой чувствительности и точности измерений, меньшему уровню шума, датчики давления и температуры на основе кварцевых чувствительных элементов все активнее используются в морских исследованиях [7, 8, 13]. Кроме того, использование датчиков такого типа (с частотным выходом) позволяет упростить схему регистратора и уменьшить общее энергопотребление прибора, исключив АЦП [6]. Плата-регистратор включает в себя частотомер, 48 Мб полупроводниковой памяти, электронные часы и управляющий микроконтроллер с поддержкой обмена данными и синхронизации часов с ПК через COM или USB. В качестве элементов питания возможно использование 12 В аккумулятора, в нашем случае использовались герметичные аккумуляторы Delta DT1260 емкостью 60 А*ч, или кассет литий-ионных батарей размера D. Как показал эксперимент, АРВ являются надежными, неприхотливыми и простыми в эксплуатации устройствами.

Донные кабельные станции, предназначенные для регистрации длинноволновых процессов в океане, разрабатывались в ИМГиГ на протяжении ряда лет. Их конструкция подробно описана в [6]. Здесь отметим, что в ДКС также используется пьезорезонансный датчик давления. Информация в виде частотно модулированного сигнала передается на берег по бронированному кабелю, длина которого может достигать 10 км. Кабель подключен к плате счетчиков-таймеров, например Advantech PCI-1780, установленной в ПК на стационарном посту наблюдений. На ПК производится декодирование частоты в давление. В настоящем эксперименте впервые вместо платы счетчиков-таймеров использовался четырехканальный частотомер, подключенный к ноутбуку через USB порт.

Остановимся подробнее на организации эксперимента. Одной из задач эксперимента являлось получение натуральных данных необходимых для верификации математических моделей нелинейных краевых волн [1, 2, 4, 9, 10, 15]. В связи с этим был выбран участок шельфа с топографией типа пологий откос (угол наклона ~ 1°) на восточном побережье Сахалина рядом с м. Острый (см. карту места проведения эксперимента). Так как известно, что максимальные амплитуды краевые волны имеют в береговой зоне, а с удалением от берега их амплитуда убывает [9, 15], была предложена схема постановки датчиков, при которой минимальным числом датчиков фиксируются волны в максимально большом диапазоне длин (см. рис. 2).

Девятнадцать АРВ были установлены на глубинах от 15 до 35 метров, при этом ближние АРВ стояли на расстоянии 1.3 км от берега, а самые мористые – 3.5 км. Наиболее близкие по одной изобате АРВ отстояли на 70 метров друг от друга, наиболее удаленные – на 3 км. Для изучения волн на малых глубинах была установлена ДКС (на глубине 2.5 метра). На протяжении всего эксперимента проводился сбор метеоданных в районе проведения с дискретностью 1 раз в минуту.

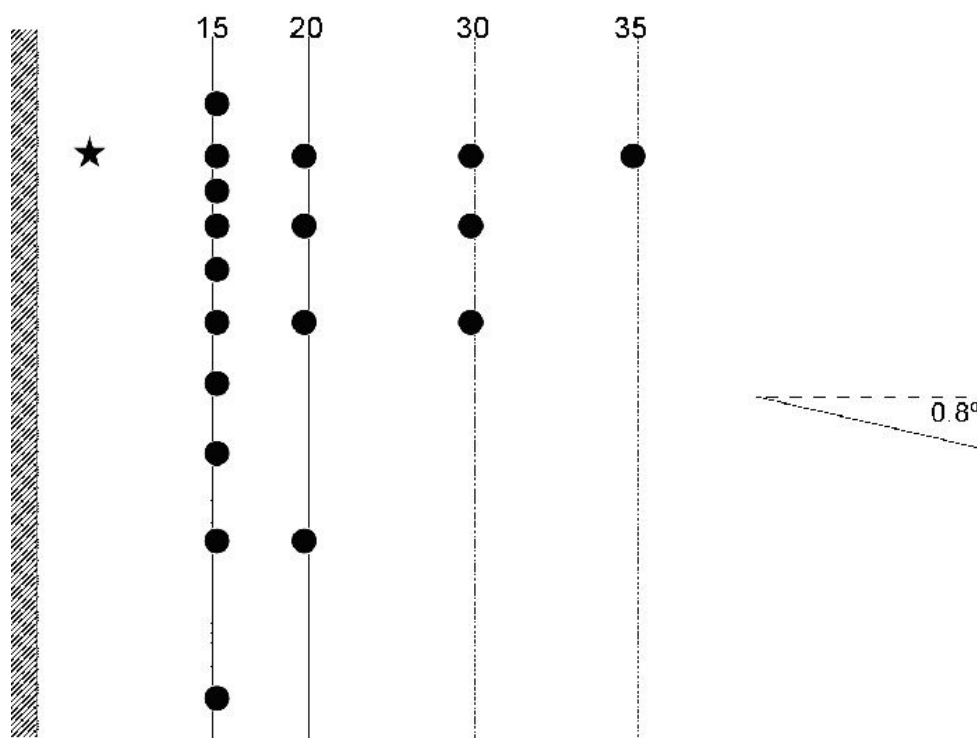


Рис. 2. Общая схема постановки регистраторов волнения регистратор

АРВ прикреплялись к специальной металлической раме – якорю. Рамная конструкция якоря показала себя с наилучшей стороны на песчаном дне – удалось избежать подвижек регистраторов во время работы и механических повреждений при подъеме. Общий вес АРВ с установленным аккумулятором и рамой – якорем составил 80 кг на воздухе и 65 кг в воде. Для поиска и подъема датчиков конструкция была оснащена плавающим на поверхности бумом, прикрепленным к датчику тросом. Как показывает практика, для небольших глубин шельфовой зоны (до 50 м) это наиболее экономически оправданное решение. Координаты точек постановки отмечались в двух GPS навигаторах Garmin. Из 19 установленных АРВ, удалось поднять 16. Три регистратора не удалось найти, из-за сильного придонного течения в районе постановки, из-за которого трос буя перетерся об АРВ, а координаты точек постановки, занесенные в GPS, не совпали с фактическим положением датчиков (см. рис. 3).

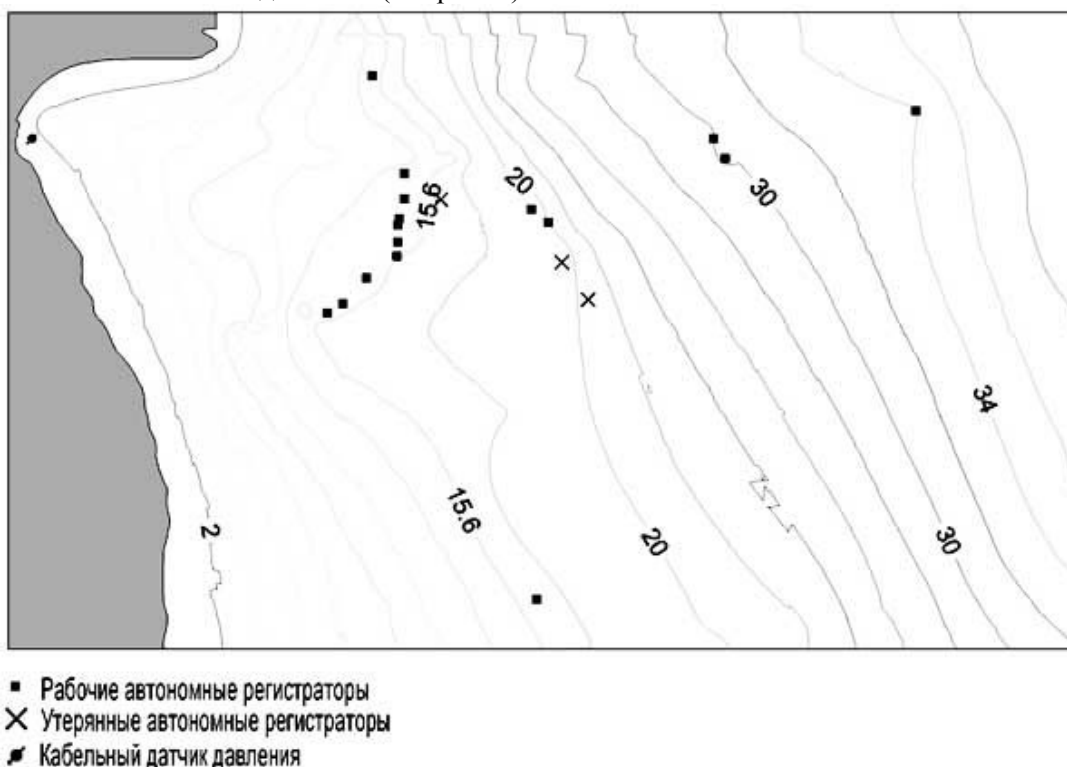


Рис. 3. Карта района проведения эксперимента

Отдельной задачей эксперимента являлось построение подробной батиметрии района постановки датчиков, необходимой как для выбора мест установки регистраторов, так и для моделирования волновых процессов на компьютере. Для измерения глубин использовался эхолот HUMMINBIRD Matrix 47 в

комплексе с GPS Garmin 72. Для обработки данных использовалась ГИС ArcView 3.3. Использование ГИС позволило значительно упростить процесс обработки разнородных данных с различных навигационных устройств, облегчить подготовку оперативных данных, необходимых для проведения эксперимента. Базой экспедиции являлся научный стационар «Остромысовка» ИМГиГ. Там осуществлялось обслуживание АРВ, была установлена метеостанция, система сбора данных с ДКС. К ноутбуку SAMSUNG X20, работающему в непрерывном режиме, были подключены метеостанция Neauweather 3600 (через RS-232) и частотомер (через USB) для регистрации данных с ДКС. Питание осуществлялось от 12 В аккумуляторов, которые периодически заряжались от генератора ELEMEX 2300DX. Достаточно низкое энергопотребление ноутбука, наличие аккумулятора в самом ноутбуке, делает такое решение более надежным и экономически эффективным, чем использование обычных ПК.

Итак, в результате эксперимента получено 17 непрерывных записей придонного давления и 16 записей придонной температуры продолжительностью 25 дней с дискретностью 1 с, записи атмосферного давления, температуры, направления и скорости ветра за тот же период. В настоящее время ведется обработка и анализ полученной информации. Как видно из результатов эксперимента, несмотря на значительные преимущества АРВ в плане мобильности и автономности, ДКС хорошо зарекомендовали себя для работы в непосредственной близости от берега, передача данных в режиме реального времени позволяет производить оперативный мониторинг волновой динамики, исключает проблему потери информации из-за потери регистратора. Наиболее перспективным является комплексный подход, с использованием АРВ и ДКС в одном эксперименте.

Авторы благодарят А.В. Полякова и Б.Г. Третьякова за конструктивное сотрудничество, а также А.З. Ковалева, Б.А. Алексеева и других работников ООО «Ниваагропродукт» без которых проведение данного эксперимента было бы невозможно.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (06-05-64087) и научной школы член-корр. РАН Б.В. Левина НШ-8043.2006.2.

Список литературы

1. Дубинина В.А., Куркин А.А., Пелиновский Е.Н., Полухина О.Е. Слабонелинейные периодические краевые волны Стокса // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2004. Т. 40. № 4. С. 525 – 530.
2. Дубинина В.А., Куркин А.А., Пелиновский Е.Н., Полухина О.Е. Резонансные трехволновые взаимодействия краевых волн Стокса // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 42. № 2. С. 277 – 284.
3. Дубинина В.А., Куркин А.А., Полухина О.Е. Фокусировка краевых волн на шельфе моря // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2003. Т. 39. № 6. С. 838 – 848.
4. Дубинина В.А., Куркин А.А., Полухина О.Е. Нелинейная динамика краевых волн над линейно наклонным дном // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2005. Т. 41. № 2. С. 124 – 128.
5. Ковалев Д.П. Исследование особенностей длинноволновых процессов в прибрежной зоне океана: автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. – Владивосток, 2002. 26 с.
6. Ковалев П.Д. Технические средства для измерения длинных волн в океане. – Владивосток: Дальнаука, 1993. 147 с.
7. Ковалев П.Д., Рабинович А.Б., Ковбасюк В.В. Гидрофизический эксперимент на юго-западном шельфе Камчатки (КАМШЕЛ-87) // Океанология. 1989. Т. XXIX. вып. 5. С. 738 – 744.
8. Ковалев П.Д., Шевченко Г.В., Ковалев Д.П. Исследование трансформации волн у юго-восточного побережья острова Сахалин // Современные методы и средства океанологических измерений: Материалы VI международной научно-технической конференции. 2000. С. 153 – 156.
9. Куркин А.А. Нелинейная и нестационарная динамика длинных волн в прибрежной зоне. – Н. Новгород: НГТУ, 2005. 330 с.
10. Куркин А.А. Динамика нестационарных краевых волн Стокса // Океанология. 2005. т. 45. № 3. с. 325-331.
11. Куркин А.А., Пелиновский Е.Н., Полухина О.Е. Вариации амплитуды краевых волн при медленном вдольбереговом изменении параметров шельфа // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2006. т.42. № 3. с.384-392
12. Куркин А.А., Полухина О.Е., Маркеева Е.А. Влияние вдольбереговых неоднородностей рельефа дна океана на амплитудные характеристики краевых волн // Известия Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. Прикладная математика и механика. 2004. Т. 9. С. 101 – 113.
13. Малов В.В. Пьезорезонансные датчики. – М.: Энергоатомиздат, 1989. 272 с.
14. Полухина О.Е., Куркин А.А. Нелинейные континентальные шельфовые волны // Известия Академии инженерных наук РФ. Прикладная математика и механика. 2003. Т. 4. С. 17 – 25.
15. Полухина О.Е., Куркин А.А., Дубинина В.А. Динамика краевых волн в океане. – Н. Новгород: НГТУ, 2006. 136 с.
16. Kovalev P.D., Rabinovich A.B., Shevchenko G.V. Investigation of long waves in the tsunami frequency band on the southwestern shelf of Kamchatka // Natural Hazards. 1991. V. 4. № 2/3. P. 141 – 159.
17. Kovalev P.D., Shevchenko G. V., Kovalev D.P. Research of peculiarities of a currents field in the southern part of the Kuril islands // The 16th international symposium on Okhotsk sea & sea ice. Japan; Mombetsu. 2001. P. 334 – 338.