

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА РОССИИ ПО  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ  
СРЕДЫ**

**ТРУДЫ  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО  
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
РЕГИОНАЛЬНОГО  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА**

**Тематический выпуск**

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ  
НА ШЕЛЬФЕ:  
ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МОРСКУЮ  
СРЕДУ**



Владивосток • Дальнаука

1998

Представлены результаты научно-прикладных исследований, отражающие проблемы гидрометеорологического и экологического обеспечения освоения и эксплуатации шельфовой зоны дальневосточных морей и прибрежных районов суши. Значительная часть статей посвящена исследованию условий шельфа Сахалина как района, перспективного для развития нефтегазодобывающего комплекса.

Рассматриваются региональные особенности гидрометеорологических, гидрологических и экологических процессов. Приводится описание освещенности наблюдениями и результаты исследований фоновых условий отдельных районов шельфа. Обсуждаются метеорологические и экологические аспекты воздействия на морскую среду, описываются модели и методы инженерных расчетов с примерами их практического применения.

Сборник представляет интерес для гидрометеорологов, океанологов, экологов, и может быть полезен специалистам, работающим в области охраны морской среды.

Печатается по решению Ученого совета ДВНИГМИ

Редакционная коллегия: канд. физ.-мат. наук И. Е. Кочергин (ответственный редактор), канд. геогр. наук. А. В. Савельев, Т. А. Гаврилова.

Рецензент: проф., д-р физ.-мат. наук В. И. Белоконь

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	5
Н. А. Дашко, С. М. Варламов, Н. М. Пестерева. ОЦЕНКА ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ САХАЛИНА ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ.....	7
Н. А. Дашко, С. М. Варламов, И. Е. Кочергин. РЕЖИМ ВЕТРА И ВОЛНЕНИЯ У ПОБЕРЕЖЬЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО САХАЛИНА .....	14
В. А. Дубина, В. П. Тунеголовец. ОБ ИЗМЕНЕНИИ СТРУКТУРЫ ТАЙФУНОВ ПРИ ВЫХОДЕ НА РАЙОНЫ ЛОКАЛЬНОГО ПРИБРЕЖНОГО АПВЕЛЛИНГА И ГРЯДЫ ОСТРОВОВ .....	28
А. Г. Петров. СИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ СУДОВ НА АКВАТОРИЯХ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ .....	38
А. Г. Петров. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛЕДЕНЕНИЯ СУДОВ В ЯПОНСКОМ МОРЕ .....	45
Н. А. Рыков. ОСВЕЩЕННОСТЬ ОХОТОМОРСКОГО ШЕЛЬФА О.САХАЛИН ДАННЫМИ ГЛУБОКОВОДНЫХ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ .....	52
В. Ф. Путов, Г. В. Шевченко. ОСОБЕННОСТИ ПРИЛИВНОГО РЕЖИМА НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ О. САХАЛИН .....	61
А. В. Савельев. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ УРОВНИ НА ОТЕЧЕСТВЕННОМ ПОБЕРЕЖЬЕ БЕРИНГОВА МОРЯ.....	82
А. А. Богдановский, И. Е. Кочергин. ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ДЛЯ ТИПИЧНЫХ УСЛОВИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ШЕЛЬФА САХАЛИНА.....	89
А. В. Гаврилевский, Т. А. Гаврилова, И. Е. Кочергин. КОМПЛЕКСНАЯ КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ АКВАТОРИИ, ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К ВЛАДИВОСТОКУ .....	102
А. В. Ткалин. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ В РАЙОНЕ ВЛАДИВОСТОКА ПО СОДЕРЖАНИЮ ПОЛЛЮТАНТОВ В МОЛЛЮСКАХ И ГРУНТАХ.....	114
Т. А. Белан. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗАЛИВЕ СТРЕЛОК И БУХТЕ РИФОВОЙ.....	125
Е. В. Олейник. ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ СООБЩЕСТВ ДВУСЛУРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ В АМУРСКОМ ЗАЛИВЕ .....	131
Г. А. Воронов. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРИОКОМПЛЕКСАХ НЕФТЕПРОМЫШЛЕННОЙ ЗОНЫ СЕВЕРНОГО САХАЛИНА.....	136

В. П. Тунеголовец. НОВЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ РЕГРЕССИОННЫЙ СПОСОБ ПРОГНОЗА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТАЙФУНОВ, ДАВЛЕНИЯ В ЦЕНТРЕ, МАКСИМАЛЬНОГО ВЕТРА И ЗОН С СИЛЬНЫМИ, УРАГАННЫМИ И МАКСИМАЛЬНЫМИ ВЕТРАМИ .....	152
В. Ю. Савельев, В. Н. Храмушин. О СОЗДАНИИ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО АНАЛИЗА ОБСТАНОВКИ НА МОРЕ .....	159
И. Е. Кочергин, А. А. Богдановский, В. Д. Будаева, С. Н. Зацепя, А. А. Ивченко, В. Г. Макаров, С. Н. Овсиенко, В. Ф. Путов. О ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ НА ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ САХАЛИНА В РАМКАХ ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ (ОВОС) .....	171

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Мировое освоение шельфовой зоны коснулось в настоящее время дальневосточных рубежей России, где приступили к активной разработке нефтегазоносных районов шельфа о. Сахалин. По сахалинским проектам интенсивно проводятся геолого-разведочные работы. В рамках проекта Сахалин II вводится в эксплуатацию первый в России морской нефтедобывающий комплекс на базе платформы "Моликпак". В каждом случае реализации шельфового проекта требуется анализ природной среды данного района, включая исследование метеорологических, гидрологических и экологических факторов. Для северо-восточного шельфа Сахалина этот вопрос особенно актуален вследствие сложности гидрометеорологических условий района и уязвимости биоты, что ужесточает требования по безопасности и экологии при освоении месторождений. Все это диктует проведение качественных комплексных исследований в области гидрометеорологии и экологии нефтегазоносных районов шельфа.

ДВНИГМИ активно работает по шельфовым проектам Сахалина и других перспективных районов дальневосточных морей, проводит экспедиционные, теоретические и инженерные исследования. В настоящий сборник вошли результаты научных и инженерных изысканий специалистов института в рамках шельфовых и морских тематик, а также отдельные работы ведущих специалистов дальневосточного региона, тесно сотрудничающих с ДВНИГМИ. Некоторые из представленных методических разработок апробированы для шельфа Сахалина, а также других районов и имеют важное прикладное значение.

Первая часть сборника включает девять статей, посвященных изучению метеорологических и океанографических условий шельфовой зоны и морей. В них рассмотрено влияние климатических особенностей Сахалина на энергетическую отрасль, приведены обобщения режимных характеристик ветра и волнения для шельфа Сахалина, описаны условия обледенения для дальневосточных морей, исследованы особенности эволюции тропических тайфунов при выходе на гряды островов и районы прибрежного апвеллинга (в основном по данным специализированных наблюдений в Южно-Китайском море). Приведены характеристики освещенности океанографическими наблюдениями охотоморского шельфа Сахалина, рассмотрены особенности приливного режима и параметры перемешивания для условий северо-восточного шельфа Сахалина, выполнены оценки экстремальных уровней для побережья Берингова моря.

Вторая часть содержит статьи, посвященные описанию экологических условий прибрежной зоны Приморья и Сахалина. В них помещены сведения об источниках загрязнения морской среды, характеристики степени загрязненности акватории на основе анализа содержания поллютантов в биоте и грунтах, исследования состояния биоты в отдельных бухтах. Следует выделить проблемную статью с анализом состояния и тенденций антропогенных изменений в прибрежных териокомплексах Сахалина.

Последняя часть сборника включает статьи с описанием методических разработок, имеющих важное значение для обеспечения деятельности в шельфовой зоне дальневосточных морей. Приводится новый метод прогноза

перемещения тайфунов, описывается, с конкретными примерами, технология создания компьютерной системы оперативного анализа обстановки на море. В заключительной статье обобщены результаты разработки технологии моделирования сценариев переноса нефтяных загрязнений в рамках подготовки ТЭО по первой фазе проекта Сахалин II.

Главной идеей, объединяющей исследования, приведенные в настоящем сборнике, является общая направленность на практические аспекты обеспечения деятельности на шельфе, что включает разработку гидрометеорологических разделов проектной документации, проведение оценки воздействия на окружающую среду, мониторинг и прогноз при эксплуатации шельфовой зоны. Авторы статей надеются, что приведенные результаты исследований заинтересуют специалистов.

## **ОЦЕНКА ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ САХАЛИНА ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

Для о. Сахалин и особенно его прибрежных районов характерна большая повторяемость опасных явлений погоды. Значительный ущерб отраслям экономики Сахалина наносят сильные дожди, мокрый снег, низкие температуры воздуха, нередко при сильных и ураганных ветрах. Неблагоприятные погодные условия уменьшают доступность рабочих мест, усложняют выполнение многих видов наружных работ, увеличивают опасность на строительных площадках, ограничивают или полностью исключают работу подъемных кранов, подвергают опасности разрушений сооружения, затрудняют передвижение ремонтно-восстановительных бригад и введение в строй поврежденных объектов, увеличивают расход электроэнергии.

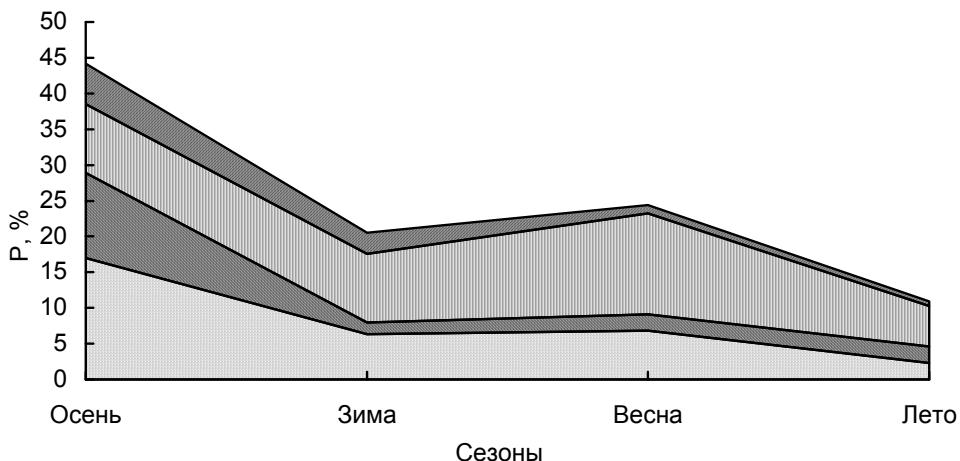
Сложный рельеф Сахалина во многом диктует условия прокладки линий электропередачи: трассы ЛЭП, как правило, приходится вести вдоль побережий рек. Сложные условия прокладки трассы на Сахалине, где около трех четвертей территории занимают горы, приводят к тому, что на многих участках трасс длины пролетов иногда достигают 900 м и более.

Особенности прокладки трасс воздушных линий электропередачи в горных условиях наряду с суровыми климатическими условиями обуславливают высокую аварийность высоковольтных линий Сахалинской энергосистемы. Основной вклад в аварии на линиях электропередачи, вызываемые неблагоприятными метеорологическими условиями, вносят:

- ◆ короткие замыкания и отключения (около 40% случаев),
- ◆ обрыв проводов (более 30%),
- ◆ разрушения опор (около 20%),
- ◆ прочие (подгар шлейфа, обрыв грозотроса, провисание провода – около 10%).

Распределение аварий различается по сезонам. Наибольшей аварийностью отличается осень (более 44% всех аварий), когда чаще всего происходят обрывы проводов (29%). Весной и зимой (45% всех аварий) нередко происходят замыкания и отключения (около 24%). Опоры отличаются достаточной прочностью, и повторяемость аварий по причине их разрушения в течение года составляет около 20% от общего числа аварий и относятся в основном к осеннему сезону (12%, рис. 1). Летом происходит около 11% аварий на ЛЭП, а наибольшая повторяемость аварий на ЛЭП наблюдается осенью.

Чаще всего аварии на ЛЭП возникают в условиях, когда отмечаются сильные ветры, особенно в сочетании с мокрым снегом (более 70%), а также гололедные нагрузки (11%). При этих ситуациях имеет место наибольшая повторяемость и обрыва проводов (24%), и разрушения опор (14%), и отключения электролиний (34%, табл. 1). Конечно, аварий и при сильном ветре достаточно много (24% от общего числа случаев), но все же в два раза меньше, чем при сочетании сильного ветра с мокрым снегом (48%).



□ 1. Обрыв провода ■ 2. Разрушение опор ▨ 3. Замыкания, отключения ■ 4. Прочие

Рис. 1. Повторяемость аварий (%) на воздушных линиях и энергообъектах Сахалина

Таблица 1

**Повторяемость (% в зависимости от явления) аварий по гидрометеорологическим условиям**

Условия погоды	Группы аварийности				Всего (от общего числа случаев)
	Обрыв проводов	Разрушение опор	Замыкания, отключения	Прочие	
Сильный ветер	22.4	7.5	52.6	17.5	24.1
Гололед	38.9	5.6	33.3	22.2	10.8
Мокрый снег	18.2		81.8		6.6
Сели, паводки	27.2	72.8			6.6
Ветер с мокрым снегом	30.4	24.1	37.9	7.6	47.7
Ветер с гололедом	28.6	14.3	42.8	14.3	4.2
Всего (от общего числа случаев)	28.3	19.3	41.6	10.8	

При воздействии только ветровых нагрузок чаще имеют место короткие замыкания и отключения линий (около 13%), а также обрыв проводов (5%). Выпадение мокрого снега и опасные отложения гололеда обычно приводят к отключениям линий (9%). На опоры выпадение мокрого снега влияния не оказывает, но мокрый снег при сильном ветре является причиной более 10% аварий. Большой вред устойчивости опор наносят селявые и паводковые потоки, причиной которых, кроме всего прочего, являются интенсивные осадки. Интенсивные осадки, которые связаны с прохождением глубоких циклонов над Сахалинской областью, вызывают подмыв опоры, что может привести к падению

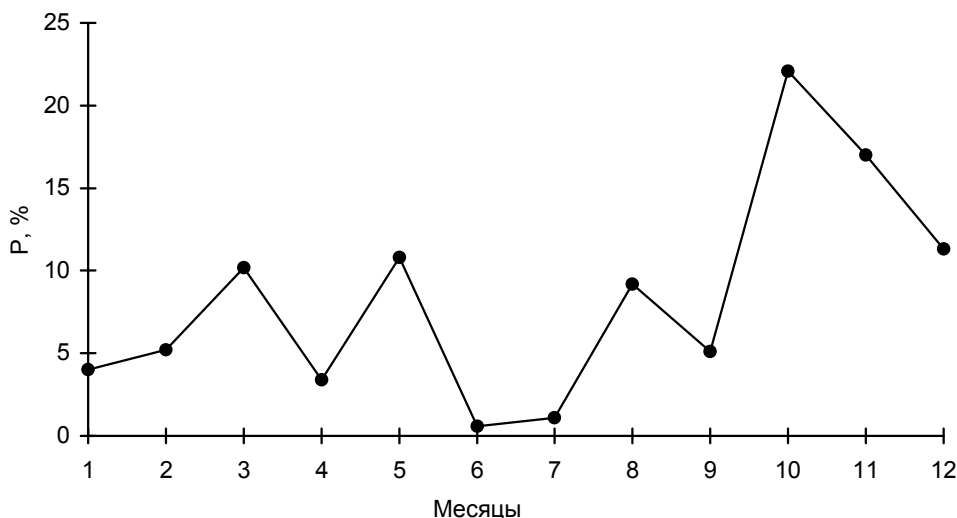


---

---

и разрушению отдельных ее частей. При гололеде нередко происходят обрыв проводов, короткие замыкания и отключения (около 8%).

Месяцами с рекордной повторяемостью аварий на ЛЭП являются октябрь и ноябрь – 39% от общего числа аварий за год (рис. 2). Аварии вызываются сочетанием мокрого снега или интенсивных осадков с сильными ветрами, которые сопровождают прохождение глубоких циклонов. В конце лета аварии могут быть вызваны прохождением тропических циклонов с ветрами, достигающими ураганной силы.



*Рис. 2. Годовой ход повторяемости аварий*

Повышенной аварийностью отличаются линии электропередачи, расположенные на побережье Сахалина; именно этим районам необходимо уделить особое внимание при проектировании и эксплуатации здесь энергоустройств.

В береговой зоне при преобладании муссонной циркуляции, на отдельных участках побережья имеются значительные отклонения от основного ветрового потока. В целом на побережье усиливаются ветры, направленные вдоль побережья (береговой эффект), особенно вдоль наветренных сторон гористых островов или мысов, выдающихся в море (угловой эффект). Эти особенности накладывают определенный отпечаток на строительство и эксплуатацию линий электропередачи.

Особенностью, связанной с орографией, является конвергенция воздушных потоков в узких долинах, зажатых горами, ориентированных по направлению господствующих ветров. Аварийными являются участки с высоким классом открытости для преобладающих ветров, что в большой степени относится к северной половине острова.

Анализ распределения числа аварий на ЛЭП в зависимости от направления ветра показывает (табл. 2, рис. 3), что наибольшее число аварий связано с

преобладающими ветрами, усиливающимися под воздействием орографических эффектов.

Таблица 2

**Повторяемость (% от общего числа случаев) аварий при ветрах различных направлений**

Вид аварии	Направления ветра								Всего
	СЗ	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	
1. Обрыв провода	5.4	7.7	8.0	2.3	7.3	1.5	2.7	1.1	36.0
2. Разрушение опор	4.2	3.1	4.2	0.8	5.4	1.5	2.7	2.3	24.2
3. Замыкания, отключения	5.4	5.7	4.2	0.4	3.8	2.7	3.8	0.4	26.4
4. Прочие	4.2	1.5	3.1	0.4	1.1	0.8	1.9	0.4	13.4
Всего	19.2	18.0	19.5	3.9	17.6	6.5	11.1	4.2	

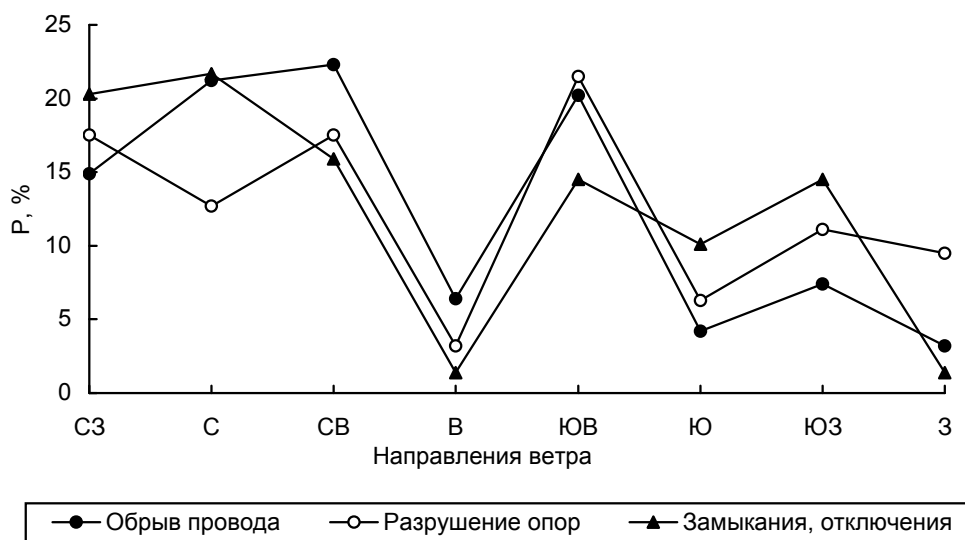


Рис. 3. Повторяемость (% от общего числа случаев по виду аварии) аварий при ветрах различных направлений

Чаще всего аварии отмечаются при ветрах северных, северо-западных и северо-восточных, а также юго-восточных направлений (74%), что связано с тыловыми и передними частями циклонов, а также при муссонном переносе воздушных масс зимой с континента, когда Сахалин оказывается под передней частью гребня азиатского антициклона.

Большинство аварий (70%) возникает, как указано выше, в период с октября по март включительно, когда над дальневосточными морями активизируется циклоническая деятельность. В случае развивающихся циклонов аварии в преобладающем большинстве возникают при прохождении передней части циклона, а когда циклон заполняется – тыловой его части.

Ноябрь–март в полной мере относится к холодному периоду – средние месячные температуры воздуха в эти месяцы ниже 0 °С. В октябре температуры

воздуха на территории Сахалина составляют от 1–3 °С на севере острова до 5–8 °С на юге. Проведение противоаварийных мероприятий и ремонтно-восстановительных работ в этот период осложняются значительным ухудшением условий труда, а в ряде случаев, невозможностью выполнения тех или иных видов работ.

В теплый период большую опасность для железобетонных строений, которые эксплуатируются в естественных условиях, представляют влажностные воздействия, способствующие растрескиванию бетонной поверхности наземной части опор и корродированию арматуры. Этому благоприятствует высокая влажность воздуха при относительно низких положительных температурах воздуха и продолжительные туманы, выносимые южными и юго-восточными ветрами на побережье с Охотского моря.

По данным [1, 2] для севера Сахалина продолжительность пребывания жидкой пленки воды составляет более 1500 ч. Процесс коррозии начинается уже при относительной влажности выше 70%, а такая влажность на побережье практически постоянно наблюдается в течение всего летнего периода, чему способствует перенос влажного прохладного воздуха с Охотского моря. Среднее число дней с относительной влажностью воздуха  $\geq 80\%$  составляет от 6 до 20 дней за месяц (рис. 4).

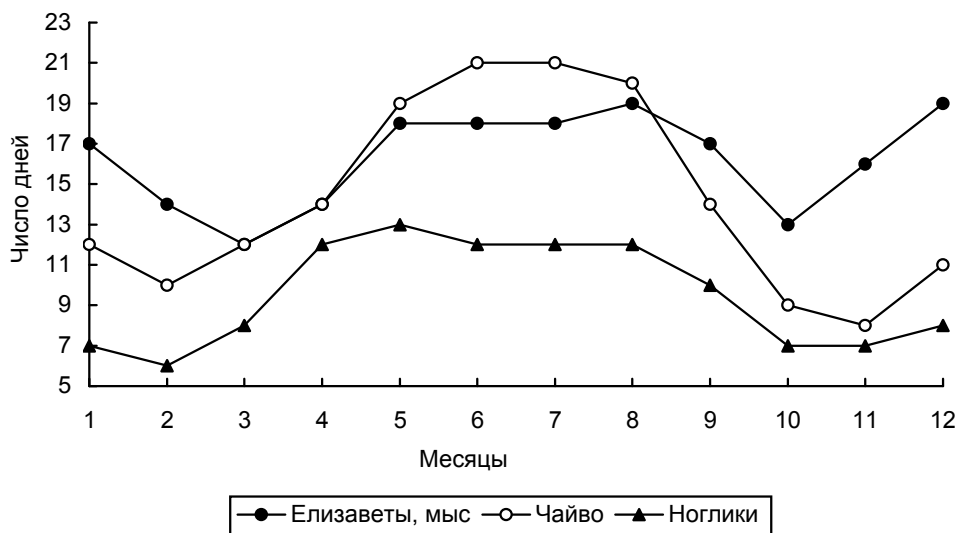
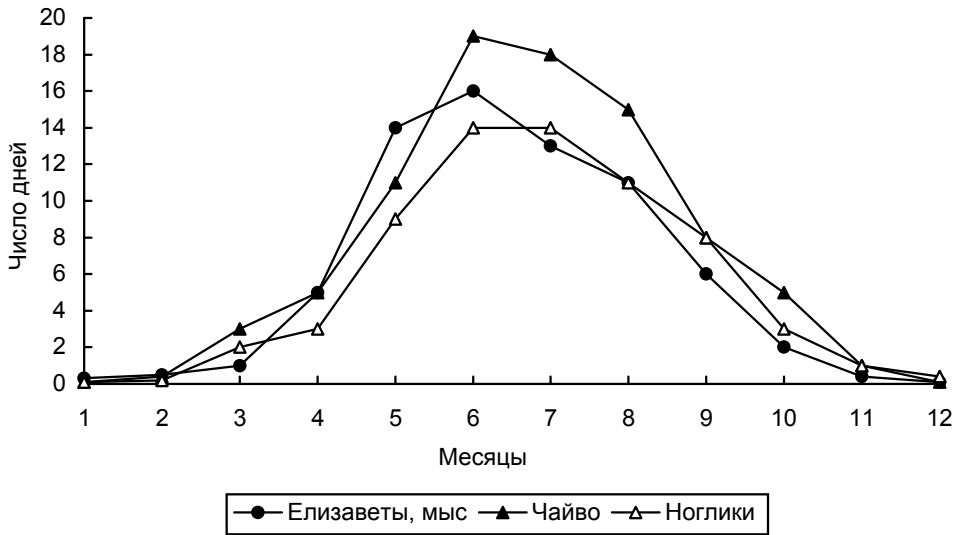


Рис. 4. Число дней с относительной влажностью  $\geq 80\%$  в 13 ч

Наибольшая повторяемость туманов относится к периоду с мая по август включительно, когда среднее их число составляет от 9–11 до 10–13 дней за месяц, а максимальное – от 13–15 до 20–26 дней за месяц (рис. 5). В отдельные годы в марте и апреле число дней с туманами может достигать 10–12, а в сентябре – 13–15 дней за месяц.

а)



б)

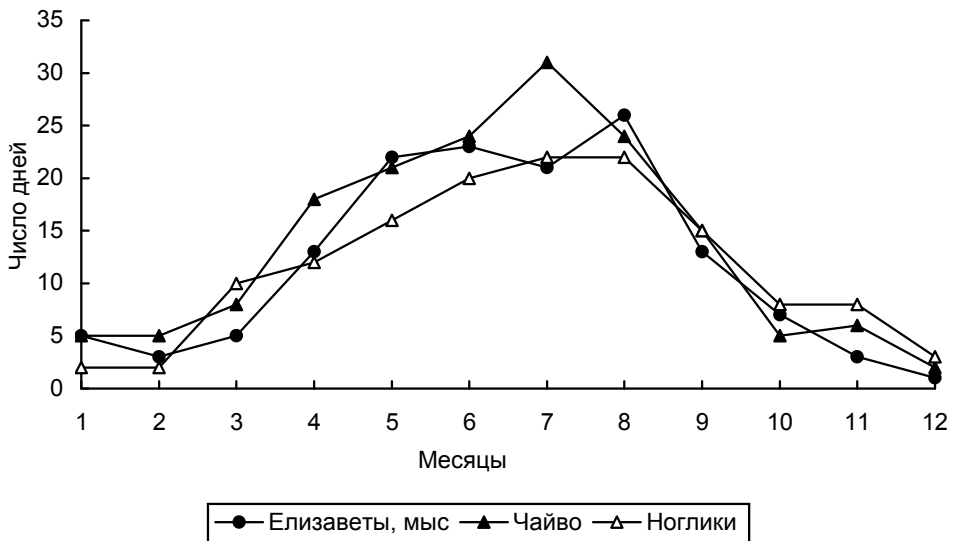


Рис. 5. Среднее (а) и наибольшее (б) число дней с туманами

При планировании сроков производственных мероприятий, а также при работах на открытом воздухе требуется информация, позволяющая определить число дней с неблагоприятными погодными условиями. Такая информация при наличии производственных программ и работ, связанных с плановым

---

---

обслуживанием энергообъектов, поможет оценить стоимость сверхурочных работ и степень готовности объекта к установленному сроку.

Практически все гидрометеорологические явления, достигшие пределов опасных значений, способны создать аварийную обстановку на энергообъекте. Это могут быть сильные ветры, осадки, низкие положительные и отрицательные температуры воздуха, особенно в сочетании с сильными ветрами, например, связанные с выходами глубоких циклонов и тайфунами.

Показателями суровости погодных условий являются: число дней с отрицательной температурой воздуха при ветре 15 м/с и более, число дней с температурой воздуха  $-36^{\circ}\text{C}$  и ниже при ветре 7 м/с и более, число дней с температурой воздуха  $-50^{\circ}\text{C}$  и ниже.

Абсолютный минимум температуры воздуха  $-50^{\circ}\text{C}$  наблюдается в центральной Тымь-Поронайской долине. С вероятностью 95% минимальные температуры могут достигать  $-40^{\circ}\text{C}$ , а в 5% –  $-49^{\circ}\text{C}$  и наблюдаются, как правило, при штилях.

Температуры воздуха ниже  $-36^{\circ}\text{C}$  отмечаются на обоих побережьях Сахалина в его северной части (Москальво, Рыбновск, Погиби, Ноглики). Вероятность таких температур воздуха составляет зимой менее 1% случаев.

Наиболее неблагоприятными для проведения работ на открытом воздухе являются сочетания сильных ветров с отрицательными температурами воздуха. Их вероятность с ноября по март составляет более 10%. Около половины из этих случаев наблюдается при температуре воздуха ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ , а около 10% – ниже  $-15^{\circ}\text{C}$ .

В соответствии с нормативными документами для активирования дополнительной оплаты работ используются данные о числе дней со скоростью ветра 8 м/с и более за период с температурой воздуха ниже  $0^{\circ}\text{C}$ .

На Северном Сахалине ежегодно с ноября по март отмечается более 30 дней с такими условиями (1–7 дней за месяц холодного периода). В отдельные годы число дней с со скоростью ветра 8 м/с и более за период с температурой воздуха ниже  $0^{\circ}\text{C}$  может достигать 17–20 за месяц.

Таким образом, дополнительная плата за проведение работ на открытом воздухе должна составлять на Сахалине не менее 5%. Кроме того, в ряде случаев должны вводиться ограничения на проведение работ на открытом воздухе, что должно учитываться при долгосрочном планировании производственных операций. Существующие нормы не учитывают всего многообразия погодных условий Сахалина, где велика повторяемость опасных явлений погоды и сочетаний погодообразующих элементов, что является причиной аварийной обстановки на линиях электропередачи, особенно в случаях недостаточной изученности пространственно-временной структуры метеорологических величин.

Авторы выражают благодарность Сахалинскому управлению гидрометеорологической службы и РЭУ Сахалинэнерго за неоценимую помощь в выполнении научного исследования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анапольская Л. Е., Пашина О. Б. О метеорологических условиях определения длительности атмосферной коррозии // Труды ГГО. 1974. Вып. 337. С. 115–136.

- 
- 
2. Климатические параметры Восточно-Сибирского и Дальневосточного экономических районов: Научно-справочное пособие / Под ред. Л. Е. Анапольской и И. Д. Копанева. Л.: Гидрометеиздат, 1979. –390 с.

*Н. А. Дашко, С. М. Варламов, И. Е. Кочергин*

## **РЕЖИМ ВЕТРА И ВОЛНЕНИЯ У ПОБЕРЕЖЬЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО САХАЛИНА**

Исходной информацией для расчета оценок режима ветра и волнения на акватории моря вблизи северо-восточного побережья о. Сахалин служили данные попутных судовых наблюдений над элементами погоды за период с 1977 по 1990 гг. включительно. Для исследований выбран район, ограниченный координатами 51°40' – 53°50' с.ш. и от береговой линии до 143°30' в.д., включающий месторождения нефти и газа Пильтун-Астохское, Аркутун-Дагинское, Чайво-море и Одопту-море, которые предполагается разрабатывать в рамках проектов Сахалин–I, Сахалин–II. Размер квадрата определялся характерной пространственной неоднородностью ветро-волновых полей.

Из 83054 судовых сводок, относящихся к восточному шельфу Сахалина, для данного квадрата объем первичной информации составил 8300 сводок. На начальном этапе производился первичный критический контроль (редакция) данных с использованием:

- ♦ метода сопоставления (сопоставлялись данные одной судовой станции за несколько последовательных сроков наблюдений для анализа динамики процесса, сопоставлялись данные соседних судовых станций за один и тот же срок и в соседние сроки);
- ♦ частотных таблиц и перекрестных двумерных гистограмм рассеяния, что позволило локализовать грубые неисправимые погрешности измерений и ошибочные выбросы (например, высоты ветровых волн более 10 м при штиле, либо скорости ветра 40–50 м/с и более – такие скорости могут иметь место при жестких штормах, но на отечественных судах отсутствуют приборы для их измерения и др.).

При критическом контроле особое внимание уделялось сильным ветрам и ситуациям со штормовым волнением – каждая ситуация подробно анализировалась с привлечением синоптико-статистических методов.

После критического контроля данных производилось группирование. Если в один срок наблюдений из рассматриваемого района поступило несколько судовых сводок, то рассчитывались: средний модуль ветра, его составляющие, модуль результирующего ветра, его направление, средние и максимальные величины высот волн ветрового волнения и волн зыби, а также средние периоды волн. Кроме того, в связи с большой субъективностью визуального определения характеристик волнения и их разделения на элементы ветрового волнения и волн зыби, рассчитывались высоты смешанного волнения ( $H_s$ ) посредством соотношений:

$$H_s = \begin{cases} H_w, & \text{если } H_z \text{ неопределено} \\ H_z, & \text{если } H_w \text{ неопределено} \\ \sqrt{H_w^2 + H_z^2} & \end{cases}, \quad (1)$$

где  $H_w$  – высота ветрового волнения;  
 $H_z$  – высота волн зыби.

После процедур контроля и группирования суммарный объем выборки составил для ветра 5004, для волнения – 4454 записи. Распределение числа данных по месяцам представлено на рис. 1.

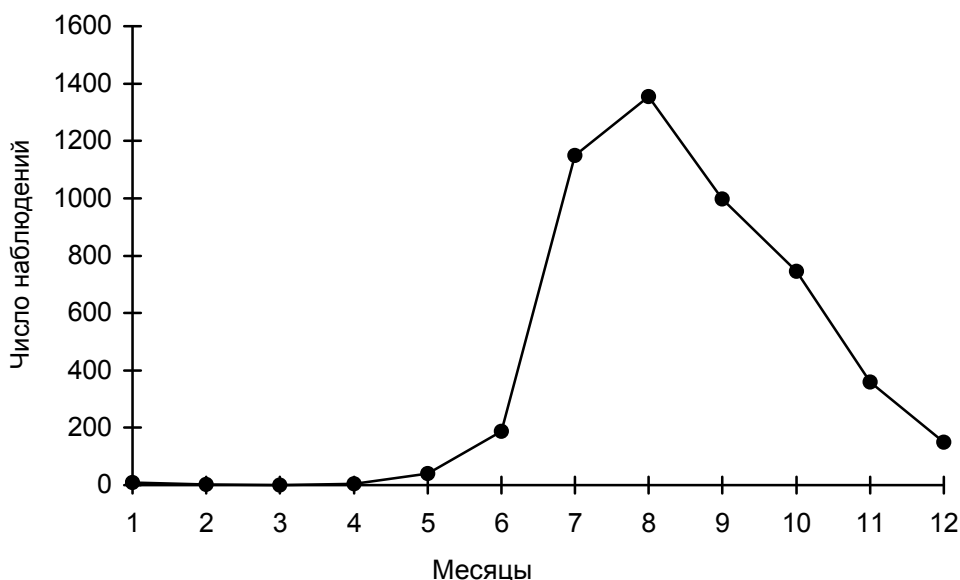


Рис. 1. Внутригодовое распределение судовых наблюдений над элементами погоды у северо-восточного побережья Сахалина (1977–1990 гг.)

Согласно распределению данных, дальнейшая обработка осуществлялась для теплого периода – с июня по сентябрь включительно, и для холодного периода – октябрь-декабрь. Расчеты за другие месяцы не выполнялись вследствие их статистической недостоверности из-за малого количества наблюдений. Вся обработка производилась средствами СУБД MS Access и электронных таблиц MS Excel.

Ветровой режим моря определяется, главным образом, доминирующими полями атмосферного давления и, в частности, сменой знака преобладающих барических систем над сушей и морем от сезона к сезону.

Основными барическими образованиями в холодную половину года над Азиатско-Тихоокеанским регионом являются сибирский (азиатский, центральноазиатский) антициклон и алеутская депрессия. Летом над азиатским континентом господствует азиатская депрессия с центром над Афганистаном и ложбинами, одна из которых направлена на районы северо-восточного Китая и среднее течение Амура. Тихоокеанская акватория находится под воздействием гонолульского (северо-тихоокеанского, гавайского) антициклона [5–7].

В соответствии с этим, направление ветра над морем вплоть до мая сохраняет черты зимнего ветрового режима, но в южной части моря уже с апреля атмосферная циркуляция приобретает летний муссонный характер: южные ветры появляются сначала в юго-западной части моря, а к июню преобладают над всей акваторией моря. С октября над морем устанавливается зимний ветровой режим, характеризующийся переносом воздушных масс с континента на море. Это в большой степени и обусловило выделение двух сезонов при обработке имеющихся репрезентативных по количеству данных – теплого (июнь–сентябрь, табл. 1, рис. 2) и холодного (октябрь–декабрь, см. табл. 2, рис. 2).

Таблица 1

**Распределение скоростей ветра ( $V$ ) по направлениям (%)  
в теплый период (июнь–сентябрь,  $N=3689$ )**

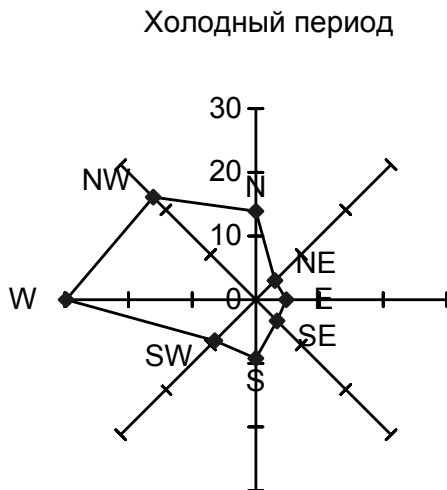
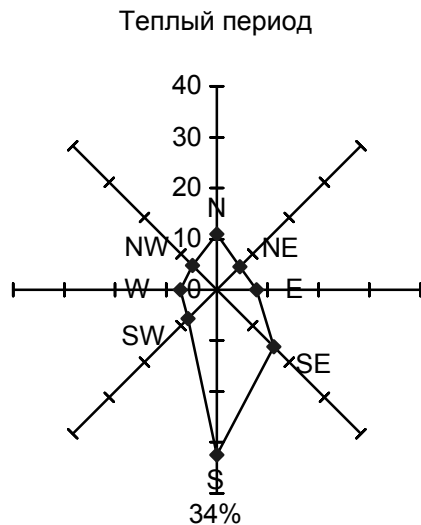
Градации $V$	Направления ветра								Штиль	Общее
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ		
Штиль									4.7	4.7
1–4	4.3	3.1	3.2	5.2	7.5	2.8	3.0	2.3		31.4
5–9	5.2	2.6	3.6	8.3	17.9	4.2	3.3	2.7		47.7
10–14	1.2	0.5	0.9	2.2	6.4	1.0	0.9	1.6		14.7
15–19	0.2	0.1	0.1	0.1	0.6		0.1	0.1		1.4
$\geq 20$		0.1								0.1
Общее	10.9	6.4	7.8	15.8	32.4	8.0	7.2	6.8	4.6	100.0

Таблица 2

**Распределение скоростей ветра по направлениям (%)  
в холодный период (октябрь–декабрь,  $N=1256$ )**

Градации $V$	Направления ветра								Штиль	Общее
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ		
Штиль									1.4	1.4
1–4	1.4	0.6	1.5	1.3	1.5	1.7	3.0	2.1		13.1
5–9	4.9	1.8	1.4	2.1	4.8	5.6	10.6	8.4		39.6
10–14	5.2	0.8	1.4	1.2	2.5	1.4	11.5	6.8		30.7
15–19	1.6	0.6	0.5	0.2	0.4	0.3	3.7	4.1		11.3
$\geq 20$	0.8	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	1.0	1.4		3.8
Общее	13.9	4.2	4.8	4.8	9.2	9.1	29.8	22.8	1.4	100.0





*Рис. 2. Повторяемость направлений ветра (%) в теплый и холодный периоды над морем у северо-восточного побережья Сахалина*

Летом доминируют южные и юго-восточные ветры (летний муссон, 48% от общего числа случаев). С октября, как указано выше, происходит перестройка ветровых полей на зимний режим, когда преобладающими становятся северо-западные и западные ветры с континента (зимний муссон, 53%).

Повторяемость северных ветров практически одинакова и в теплый и в холодный периоды (11–14%), а наименьшей повторяемостью в течение года отличаются северо-восточные ветры (4–6%), что определяется не только

общими циркуляционными условиями, но и орографическими особенностями района исследования. Штили – явление довольно редкое в течение всего года, но летом они более вероятны (около 5% случаев), зимой их число немногим более 1%.

Средние месячные скорости ветра над морской акваторией возрастают от лета к зиме: скорости ветра в декабре более чем в два раза превышают скорости в летние месяцы, о чем свидетельствует сопоставление результатов судовых наблюдений и береговых ГМС (рис. 3).

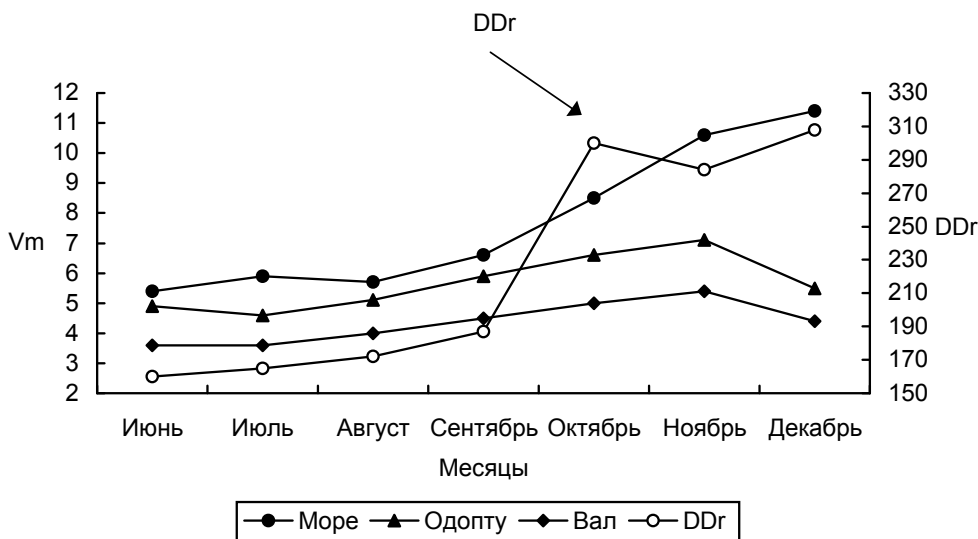


Рис. 3. Средний модуль ветра ( $V_m$ , м/с) в различных физико-географических условиях и результирующее направление модуля ( $DD_r$ , град) над морем у северо-восточного Сахалина

Заметно увеличение средних месячных скоростей ветра от побережья к открытой части моря, что особенно ярко проявляется в зимние месяцы. Если с июня по октябрь величина скорости над морем превышает скорость на побережье в 1.1–1.3 раза, то в ноябре–декабре – в 1.5–2 раза (для сравнения на рис. 3 приведены графики хода средних месячных скоростей ветра над морем и по станциям побережья Одопту, Вал).

Повторяемость свежих ветров в изучаемом районе моря ( $\geq 5$  м/с) летом составляет около 64%, зимой они становятся преобладающими (86%, рис. 4, см. табл. 1 и 2). В целом в теплый период преобладают скорости ветра до 10 м/с (84%). Сильные ветры для теплого периода нехарактерны (1.5%), зато в холодный период их повторяемость увеличивается до 15%, т. е. на порядок превышает число сильных ветров теплого периода.

Усиление ветра до 15 м/с и более в течение года может быть вызвано практически любым типом барического поля, за исключением ситуаций с антициклоном над морем и малоградиентными полями. Возникновению сильных ветров благоприятствуют выходы глубоких и средних циклонов на Охотское море, а также ложбина с востока, что чаще соответствует зимним барическим полям [1, 3, 4].

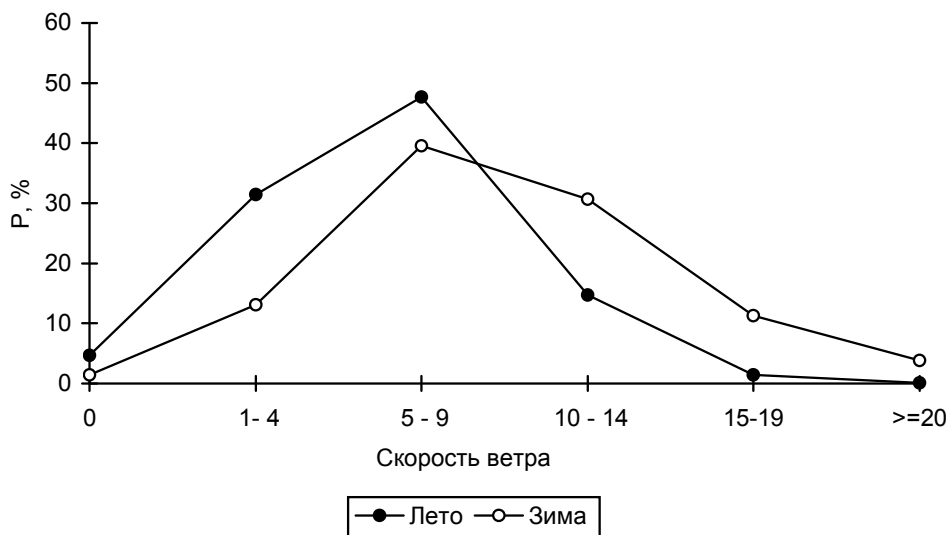


Рис. 4. Повторяемость скоростей ветра (P, %) по градациям в теплый и холодный периоды года над морем у северо-восточного побережья Сахалина

Летом усиление ветра вызывается выходом средних циклонов (глубокие циклоны для летнего сезона не отмечаются). В конце лета и начале осени усиление ветра до штормового может быть вызвано выходом тропических циклонов. В переходные сезоны преобладают сильные ветры, связанные как с выходом циклонов, так и с локализацией ложбин с юго-запада и северо-запада.

В зимнее время преобладают сильные северо-западные и западные ветры. Скорости ветра 25 м/с и более не отмечаются при южных направлениях, а скорости 30 м/с и более могут иметь место в основном при северо-западных и западных направлениях. Летом наиболее вероятны ветры с южной составляющей от 5 до 14 м/с (56%). Редкие усиления скорости ветра до 20 м/с и более соответствуют северо-восточным потокам.

Для всей акватории Охотского моря зимой наибольшие средние скорости ветра имеют юго-восточные и восточные направления, повторяемость которых невелика. Выше средних значений скорости при северо-восточных и западных направлениях. Для преобладающих направлений, к которым относятся северо-западные ветры, скорости приближаются к средним по всему ансамблю, т.е. без учета направлений.

Летом скорости для всех направлений изменяются незначительно. Повышенными скоростями отличаются юго-восточные и юго-западные ветры, вероятность которых в этот период наибольшая.

Связь полей давления и ветра выражается зависимостью скорости ветра от барического градиента. Скорость до 10 м/с наблюдается, как правило, при градиенте давления до 2 гПа на 100 км, а скорости более 30 м/с – при градиенте 5 гПа на 100 км и более. Однако, нередко синоптические ситуации таковы, что усиление ветра до 15 м/с и более может происходить при градиенте давления от 1 до 2 гПа на 100 км.

---

---

Над Охотским морем зимой преобладают барические поля с градиентами давления от 1 до 3 гПа на 100 км (70%), повторяемость как более, так и менее интенсивных полей практически одинакова. Барические поля с градиентами давления более 4 гПа на 100 км встречаются в 5% случаев, что свидетельствует о значительном вкладе штормовых ситуаций в формирование полей ветра в рассматриваемом районе в зимний период.

Летом распределение двумерной вероятности скорости ветра и барического градиента аналогично, но диапазон скоростей значительно уже. Большой вес летом имеют слабо напряженные барические поля с ветрами не более 10 м/с при градиенте 2–2.5 гПа на 100 км.

Сильные ветры над Охотским морем и связанные с ними неблагоприятные явления погоды (штормовое волнение, обледенение) затрудняют работу промыслового флота и вынуждают прерывать лов рыбы и добычу морепродуктов, а в ряде случаев создают серьезную угрозу мореплаванию и могут приводить к авариям и гибели судов. Особую опасность неблагоприятные штормовые ситуации представляют для плавучих буровых платформ, особенно в сочетании с обледенением в холодный период и при транспортировке.

Наибольшего развития волны получают при устойчивых северо-восточных и северо-западных ветрах во время прохождения глубоких циклонов через Охотское море, а также при положении области низкого давления к востоку от моря.

Прохождение глубоких циклонов над морем порождает волнение до 3–6 м и более. При северо-восточных ветрах наибольшее волнение возникает в западной части моря, где высота волн в ноябре–декабре даже при ветре 10–15 м/с составляет 4–5 м. При силе ветра более 15 м/с высота волн у центральных Курильских островов достигает 8–10 м. Северо-западные ветры 15–20 м/с формируют штормовую область в центральной части моря. По мере продвижения кромки льда к центру моря зона наибольшего волнения смещается к юго-востоку [1, 2].

С усилением ветра до штормового соответственно увеличивается интенсивность волнения: при усилении ветра до 25 м/с и более высоты волн достигают 6–9 м уже в первые 5–7 часов после начала действия ветра [11 и др.].

Вероятность встречи с сильным волнением (более 5 баллов) в Охотском море неодинакова в различное время года и в значительной степени отражает особенности ветрового режима отдельных сезонов.

Высоты волн 5 м 1%-ной обеспеченности имеют наибольшую повторяемость в холодный период, составляя в среднем 10–15% случаев [1, 2, 5]. Но если в ноябре–декабре море практически свободно ото льда и штормовое волнение может возникнуть в любом районе моря (с максимальной вероятностью в его центральной части), то во второй половине холодного периода, особенно в феврале–марте, область штормового волнения локализована в свободной ото льда южной, юго-восточной акватории с наибольшей повторяемостью штормового волнения у Центральных Курил. Высоты волн 1%-ной обеспеченности изменяются от 7–8 м в центральной и южной частях моря до 5–6 м у береговой черты, причем, в декабре на юге моря появляется, хотя и относительно небольшая, штормовая область с высотой волн 1%-ной обеспеченности 9 м и более.

В мае ледовый покров занимает только северную часть моря, а над остальной акваторией может развиваться значительное волнение. Однако лишь

---

---

на юге моря высоты волн 1%-ной обеспеченности достигают 6 м и более. С июня по август наступает относительно спокойный период, когда высоты волн 3–4 м над всей акваторией Охотского моря маловероятны. К началу осени вероятность такого волнения достигает 5%. В то же время практически над всей акваторией может развиваться волнение 5–6 м с 1%-ной обеспеченностью, а в октябре в центральной части моря отмечаются волны высотой 8 м и более.

Таким образом, наиболее штормовым сезоном является зимний, а наиболее штормовым районом – южная незамерзающая часть моря, где проходят основные пути активных циклонов, благоприятствующих генерации волн.

Средний годовой балл волнения над акваторией моря довольно высок и составляет 3–4 балла. Ниже среднего значения волнение в летние месяцы (2–3 балла), выше среднего – с ноября по март (5 баллов). Максимальной повторяемости волнение 6–9 баллов достигает в ноябре–декабре (40–50% от общего числа случаев), когда средние скорости ветра превышают 9–10 м/с, а ледовый покров, как было указано выше, практически отсутствует.

Географическая локализация районов с максимальной повторяемостью волнения 6–9 баллов в ноябре и декабре существенно различается, следуя пространственному распределению скорости ветра. В ноябре 50%-ной повторяемостью волн 6–9 баллов отличаются восточные районы моря, а в декабре, вместе со смещением к западу зоны наибольших средних скоростей ветра, сюда смещается и область наибольшей повторяемости волнения 6–9 баллов (40–45%), располагаясь у восточного побережья Сахалина. С января по апрель область волнения 6–9 баллов, повторяемость которого составляет от 25% в январе до 10–15% в марте–апреле, отмечается в незамерзающей юго-восточной части Охотского моря.

Летом волнение 6–9 баллов встречается с вероятностью не более 5%, а с сентября к ноябрю увеличивается, причем, область наибольшей повторяемости волнения 6–9 баллов в сентябре располагается в северо-западной части моря, а в октябре распадается на две самостоятельные области на севере и юге моря с наибольшей повторяемостью 25–30%.

Во время штормов высоты ветровых волн могут доходить до 8 м. Эти выводы касаются исследуемого периода. В то же время, по исследованиям [5] и согласно нашим оценкам за более длительный период наблюдений, в некоторых случаях в Охотском море могут встречаться одиночные волны, высота которых достигает 9–12 м.

Гистограммы эмпирического распределения высот ветровых волн и волн зыби показывают резкое убывание от модальной градации в сторону меньших (ограниченность слева) значений и довольно плавный ход плотности распределения в сторону увеличивающихся значений высот волн. Попытки интерпретации эмпирических распределений теоретическими кривыми нормального, Эрланга и Гамма распределений показывают наилучшее соответствие для последнего, характеризующегося положительными асимметрией и эксцессом.

Эмпирические диаграммы плотности распределения периодов ветровых волн и волн зыби отличаются асимметрией, как и соответствующие им высоты волн, но убывание плотности от модальной градации вправо и влево (в сторону более высоких и более низких значений соответственно) менее резкое. В распределении преобладают значения, большие средних, что обуславливает

наличие длинного правого "хвоста". Удовлетворительно аппроксимируются нормальной кривой распределения.

Средние высоты ветрового волнения у северо-восточного Сахалина в холодное время года превышают 2 м, а к декабрю достигают 3 м (табл. 3), что соответствует ходу модуля скорости ветра (см. рис. 3). Экстремальные высоты ветровых волн, согласно наблюдаемым данным, составляют 6–13 м. Максимум наблюдается в ноябре–декабре, когда увеличивается циклоническая активность, а ледовый покров в районе исследования еще развит недостаточно.

Таблица 3

**Средние и максимальные наблюдаемые высоты ветровых волн ( $H_{wm}$  и  $H_{wmax}$ , соответственно) и средние и максимальные высоты смешанного волнения ( $H_s$  и  $H_{smax}$ , соответственно)**

Величина	Месяцы						
	6	7	8	9	10	11	12
$H_{wm}$	1.4	1.2	1.1	1.5	2.2	2.7	2.8
$H_{wmax}$	6.0	7.0	10.0	8.0	12.0	12.0	13.0
$H_s$	1.9	1.8	1.2	2.5	3.1	3.6	4.4
$H_{smax}$	6.4	10.6	10.0	9.0	12.4	13.5	13.0
N	144.0	1074.0	1270.0	937.0	657.0	250.0	89.0

Общая картина волнения на море создается суммированием ветровых волн и волн зыби. Поле зыби может создаваться удаленными синоптическими системами и распространяться достаточно далеко от очага их образования, причем, волны зыби, пришедшие издалека, могут существовать вместе с волнами, генерируемыми в данном районе, что значительно усложняет картину волнения над морем, где имеет место и интерференция волн различных периодов, высот и направлений.

Волны зыби, генерируемые глубокими и обширными циклонами северо-западной части Тихого океана, проникая в Охотское море через глубоководные Курильские проливы, вызывают штормовые ситуации в течение длительного периода.

Для общей оценки картины волнения, на наш взгляд, следует учитывать суммарный вклад ветрового волнения и волн зыби. С учетом этого картина распределения высот волн меняется в сторону увеличения как модуля средней высоты, так и ее максимума (табл. 3). При этом сглаживается субъективизм в разделении полей волн, поскольку при выделении собственно ветрового волнения и волн зыби различных систем требуется большой опыт работы и корректность оценок, что на практике не всегда может быть достигнуто.

На рис. 5 показано распределение высот смешанного волнения по выделенным сезонам. К зиме возрастает вклад высот волн более 3 м (летом их повторяемость составляет 73%, зимой – 46%).

Конечно, к оценкам максимальных высот более 10 м, хотя их повторяемость невелика, следует подходить очень осторожно – может быть, целесообразно использовать их не в качестве абсолютных величин, а как очень суровые условия в море, которые отмечены штурманским экипажем.

Для всех ситуаций, когда наблюдаемые высоты волн превышали 8 м, скорости ветра превышали 10–15 м/с. В ряде случаев штормовые ситуации наблюдались в течение нескольких сроков.

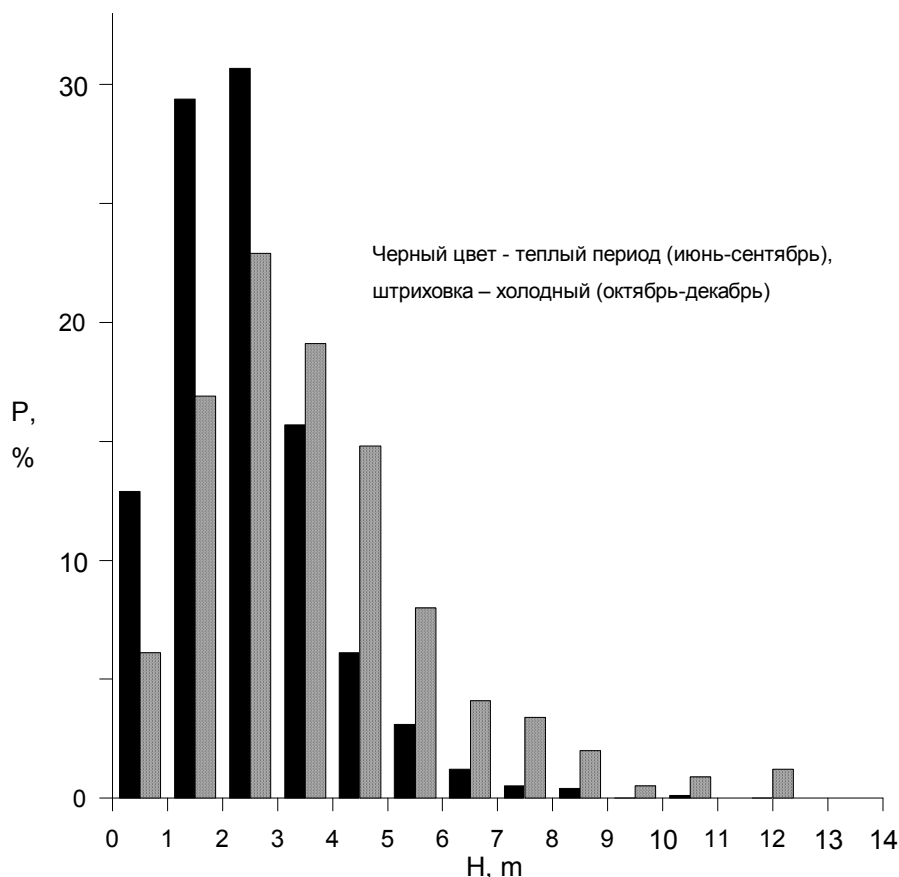


Рис. 5. Гистограмма распределения высот волн по сезонам (P – повторяемость, %; H – высота волн, м)

Связь между высотой волн и ветровыми характеристиками иллюстрируют таблицы 4 и 5 (на примере южной части Охотского моря).

Несмотря на широко распространенное мнение о линейности данной связи, даже при слабых ветрах высоты волн могут достигать 3 м, а при ветрах 5–9 м/с разброс высот волн довольно большой – от 0.0–0.4 м до 5 м. Наибольшая повторяемость для данной градации ветра приходится на высоты ветровых волн от 0.5 до 1.4 м (15%).

Скорости 10–14 м/с и 15–19 м/с чаще сопровождаются волнами высотой 2–2.9 м (11.8 и 13%, соответственно). Высота волн 5.0 м и более (штормовое волнение) с условной повторяемостью более 2% отмечаются при ветрах 15 м/с и более. При ветрах с меньшими скоростями такие волны не наблюдаются.

Ветровые системы непрерывно возникают, перемещаются, растут, затухают. При изменении скорости и направления ветра, характеристик его

разгона и продолжительности изменяются связанные с ними характеристики высоты и периода волн.

Таблица 4

**Двумерная и условная повторяемость (%) и средние величины высот ветровых волн ( $H_w$ ) в зависимости от направления ветра (DD) в зимнее время над южной частью Охотского моря**

Градации $H_w$ от до	Штили	Направления ветра								Общая повторяемость $H_w$
		С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
0.0...0.4	0.5	0.2					0.2	0.2	0.8	1.8
0.5...0.9	0.6	2.6	0.2	1.1	0.3	1.5	1.2	4.1	0.5	12.1
1.0...1.9		5.2	1.1	1.7	0.8	5.2	2.4	18.8	3.4	38.5
2.0...2.9		4.0	0.5	1.4	0.2	3.8	2.3	15.0	1.4	28.4
3.0...3.9		0.9		0.9		1.2	0.6	7.8	1.5	13.0
4.0...4.9		0.5	0.2	0.2		0.3	0.5	2.1	0.3	4.0
$\geq 5$				0.3		0.3	0.3	1.4		2.3
Общая повторяемость DD	1.1	13.2	1.8	5.7	1.2	12.5	7.5	49.9	7.1	

Таблица 5

**Двумерная и условная повторяемость (%) и средние величины высот ветровых волн ( $H_w$ ) в зависимости от скорости ветра ( $V_0$ ) в зимнее время над южной частью Охотского моря**

Градации $H_w$ от до	Штиль	Скорости ветра, м/с						Общая повторяемость, $H_w$	Средняя $V_0$
		1-4	5-9	10-14	15-19	20-24	$\geq 25$		
0.0...0.4	0.5		1.1	0.3				1.8	5.0
0.5...0.9	0.6	0.3	7.6	2.1	1.2	0.2		12.1	7.3
1.0...1.4			7.5	7.8	2.6	0.3		18.2	9.7
1.5...1.9		0.2	4.7	9.8	4.7	0.6	0.2	20.3	11.2
2.0...2.9		0.2	1.7	11.8	13.0	1.4	0.5	28.4	13.6
3.0...3.9			0.3	3.0	6.6	2.9	0.2	13.0	15.8
4.0...4.9			0.2	0.5	1.7	1.4	0.3	4.0	17.4
$\geq 5$					1.7	0.3	0.3	2.3	19.1
Общая повторяемость $V_0$	1.1	0.6	23.1	35.3	31.5	7.0	1.4		

С увеличением скорости ветра возрастает как высота, так и длина волны. Однако при заданной скорости ветра волны также растут, но уже в зависимости от разгона или продолжительности действия ветра, либо в случае суммарного воздействия указанных факторов. После прекращения действия ветра энергия волн постепенно рассеивается, высота их уменьшается. Ветер, дующий в направлении, противоположном распространению волн, будет способствовать их ослаблению. И чем сильнее ветер в этом случае, тем быстрее происходят потери энергии волн.



Поскольку ветер избирательно усиливает волнение, либо, наоборот, уменьшает его, при анализе волнения необходим учет направлений ветра, особенно тех, при которых обеспечивается наибольшая их продолжительность при достаточной длине разгона.

Подтверждением наибольшего вклада в генерацию ветрового волнения северо-западного переноса служат данные табл. 6, где показано, что развитию волнения благоприятствуют отрицательный меридиональный и положительный зональный переносы. Причем, для нештормовых ситуаций (высоты волн менее 4 м) модули составляющих скорости ветра практически идентичны, тогда как штормовое волнение определяется доминирующим влиянием зональной составляющей, модуль скорости которой в 3 раза превышает модуль меридиональной.

Таблица 6

**Величины зональной (*u*) и меридиональной (*v*) составляющих скорости ветра при различных высотах ветровых волн в зимний период**

Величина составляющей Скорости ветра	Градации высот ветровых волн							
	0.0-0.4	0.5-0.9	1.0-1.4	1.5-1.9	2.0-2.9	3.0-3.9	4.0-4.9	≥5
U	1.4	1.9	4.4	3.4	5.6	7.0	7.2	11.4
V	-3.0	-2.3	-3.8	-4.2	-5.1	-7.3	-7.8	-4.3

Аналогичная закономерность прослеживается при анализе смешанного волнения (табл. 7 и 8), но здесь необходимо учитывать вклад волн зыби, которым принадлежит важная роль в формировании полей волнения. По нашим оценкам для Охотского моря в повторяемость штормовых высот волн зыби более чем в два раза превышает повторяемость штормовых ветровых волн (5 м и более) – 2–3%.

С увеличением скорости ветра отмечается значительный вклад волн большей высоты: при скорости 5–9 м/с наибольшей повторяемостью обладают волны высотой 2–3 м, при скорости 15–19 м/с – 4–6 м и т.д. Однако, нередко при сильных ветрах волнение не получает большого развития, поскольку не обеспечиваются условия достаточной продолжительности действия ветра и длины разгона волн.

Переходя к периоду ветровых волн, можно отметить его рост с увеличением скорости ветра. Наибольшая повторяемость периодов (29%) лежит в диапазоне 4.0–4.9 с и соответствует скоростям ветра 10–19 м/с.

Разности между средними значениями периодов при различных направлениях ветра не превышают 0.7 с, хотя период волн при юго-восточных и северо-западных ветрах несколько выше (39.8%), чем для других направлений. Для всех направлений ветра наибольшая повторяемость приходится на волны с периодом 4.0–4.9 с. В теплое время года наиболее часто отмечаются волны с периодом – 2–4 с (63%), в холодное – 3–5 с (61%, табл. 9, рис. 6).

Полученные в настоящей работе режимные характеристики ветра и волнения могут быть использованы для расчета экстремальных условий при проектировании конкретных объектов на северо-восточном шельфе о. Сахалин.

Таблица 7

**Средние высоты волн ( $H_{sm}$ ) при различных скоростях ветра в Охотском море у северо-восточного побережья Сахалина ( $N=4453$ )**

Градации $H_s$	Градации скорости ветра							Общее
	0	1–4	5–9	10–14	15–19	20–29	$\geq 30$	
0–1	2.3	6.9	2.3	0.0	0.0			11.5
1–2	0.5	10.9	13.9	1.2	0.0	0.0		26.5
2–3	0.6	5.7	17.2	5.1	0.2	0.0		28.8
3–4	0.5	2.3	7.6	5.4	0.6	0.0		16.4
4–5	0.2	0.7	2.6	3.6	0.7	0.2		8.0
5–6	0.0	0.3	1.2	2.0	0.7	0.1		4.2
6–7	0.0	0.2	0.5	0.7	0.5	0.0		1.9
7–8	0.0	0.0	0.3	0.4	0.3	0.0		1.1
8–9			0.1	0.3	0.3	0.1		0.7
9–10				0.0	0.1	0.0		0.1
10–11		0.0	0.0	0.0	0.1	0.1		0.3
$\geq 11$				0.0	0.0	0.2	0.0	0.3
Общее	4.1	27.0	45.7	18.8	3.6	0.8	0.0	100.0
$H_{sm}$	1.0	1.4	2.3	3.6	5.3	7.3	11.0	2.4

Примечание. 0.0 означает, что событие имеет место с повторяемостью менее 0.1%

Таблица 8

**Повторяемость (%) и средние высоты волн ( $H_{sm}$ ) при различных направлениях ветра в Охотском море у северо-восточного побережья Сахалина ( $N=4453$ )**

Градации $H_s$	Направления ветра								Штили	Общее
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ		
0–1	0.9	0.8	1.0	1.8	2.2	0.7	1.3	0.6	2.2	11.5
1–2	2.9	1.4	2.2	3.9	7.9	2.8	2.9	2.2	0.5	26.5
2–3	3.2	1.7	1.8	3.9	9.2	2.8	2.7	2.9	0.6	28.8
3–4	1.8	0.9	1.1	2.2	4.7	1.3	2.0	1.9	0.5	16.4
4–5	1.1	0.4	0.5	0.7	1.8	0.3	1.5	1.5	0.2	8.0
5–6	0.6	0.3	0.3	0.5	0.9	0.1	0.6	0.9	0.0	4.2
6–7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.0	0.4	0.3	0.0	1.9
7–8	0.4	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	0.2	0.0	1.1
8–9	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1		0.7
9–10		0.0					0.0	0.0		0.1
10–11	0.1		0.1	0.0	0.0			0.1		0.3
$\geq 11$	0.1	0.0	0.0				0.0	0.0		0.3
Общее	11.4	5.9	7.4	13.3	27.3	8.1	11.8	10.8	4.0	100.0
$H_{sm}$	2.8	2.4	2.3	2.1	2.3	2.0	2.7	3.0	1.0	2.4

Примечание. 0.0 означает, что событие имеет место с повторяемостью менее 0.1%

Таблица 9

**Повторяемость периодов ветрового волнения в теплое и холодное время года на северо-восточном шельфе Сахалина**

Повторяемость	Период, с											Общее
	<1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	≥10	
<b>Июнь-сентябрь</b>												
Число случаев	4	29	398	649	333	159	65	22	7	3	2	1671
%	0.2	1.7	23.8	39.0	20.0	9.5	3.9	1.3	0.4	0.2	0.1	100
<b>Октябрь-декабрь</b>												
Число случаев	2	5	74	249	208	113	53	27	11	2	3	747
%	0.3	0.7	9.9	33.0	28.0	15.0	7.1	3.6	1.5	0.3	0.4	100

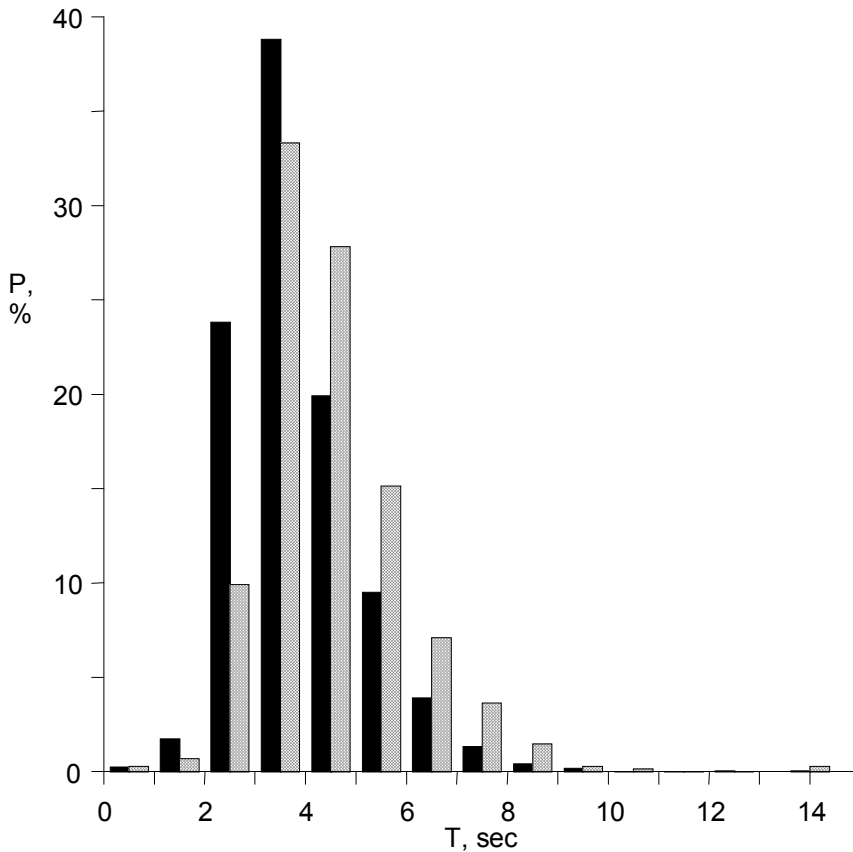


Рис. 6. Гистограмма распределения периодов ветровых волн над морем у северо-восточного Сахалина (теплый период – черный цвет, холодный – штриховка)  
(P – повторяемость волнения, %; T – период волнения, с)

---

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас волнения и ветра Охотского моря. / Сост. Ю. И. Бубликова. Южно-Сахалинск: УГКС, 1966. –40 с.
2. Атлас опасных и особо опасных для мореплавания и рыболовства гидрометеорологических явлений. Японское, Охотское и Берингово моря. М.: Изд. Главн. Упр. навигации и океанографии МО СССР, 1980. –25 с.
3. Дашко Н. А. Особенности зимнего режима ветров на Охотском море // Труды Гидрометцентра СССР. Л.: Гидрометеиздат. 1979. Вып. 216. С 110–119.
4. Дашко Н. А. Климатические особенности ветрового режима Охотского моря // Регионал. вопр. син. метеорол. и клим.// Межвуз. сб.: Деп. в ИЦ ВНИИГМИ–МЦД, 1993. № 1157 гм.
5. Леонов А. К. Региональная океанография. Часть 1. Л.: Гидрометеиздат, 1960. –765 с.
6. Руководство по месячным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1972. –365 с.
7. Руководство по долгосрочным прогнозам погоды на 3–10 дней. М.: Гидрометеиздат, 1968. Т. 1. –351 с.

*В. А. Дубина, В. П. Тунеголовец*

## **ОБ ИЗМЕНЕНИИ СТРУКТУРЫ ТАЙФУНОВ ПРИ ВЫХОДЕ НА РАЙОНЫ ЛОКАЛЬНОГО ПРИБРЕЖНОГО АПВЕЛЛИНГА И ГРЯДЫ ОСТРОВОВ**

Установлено [3, 6], что при прохождении тайфуна океан отдает в атмосферу 1.5–3.5 кВт/м<sup>2</sup>. Следовательно, если для поддержания условий, необходимых для существования или дальнейшего развития среднего по размерам и скорости перемещения циклона, необходима температура поверхности 26 °С, то термический тайфунный потенциал (ТТП) океана (моря) должен иметь значения не менее 0.34–0.42 ГДж/м<sup>2</sup>.

Согласно [2], внутри круга радиусом 1° широты приток скрытого и явного тепла от поверхности моря по сравнению с притоком скрытого тепла через вертикальную границу составляет всего 10–16%. Площадь центральной части тропического циклона, ограниченная радиусом максимальных ветров, составляет всего 1–3% всей площади тропического циклона. Момент количества движения центральной части составляет около 10–20% количества движения всего циклона, сюда же поступает около 20–25% энергии в виде скрытого и явного тепла, которая обеспечивает или сохранение, или рост потенциальной энергии [4].

Таким образом, с точки зрения возможного влияния на эволюцию и строение тропического циклона низкий термический потенциал под всей площадью тропического циклона должен приводить к ослаблению ТЦ (или, по крайней мере, сдерживать дальнейшее развитие), высокий термический потенциал – наоборот, к интенсификации ТЦ. При пересечении гряды островов или при выходе тропического циклона на побережье, либо на область локального апвеллинга, особенно центральной его частью, кроме потери дополнительного источника энергии (поток тепла и влаги с водной поверхности) увеличивается коэффициент трения о подстилающую поверхность, что в

---

---

совокупности должно отразиться в изменении структуры, интенсивности и траектории тропического циклона.

Наличие сезонного апвеллинга, развивающегося в летние сезоны у центральной части шельфовой зоны Вьетнама, позволили В. Д. Пудову (1987) выдвинуть гипотезу о защитной роли данного явления от выходящих на побережье тропических циклонов. Смещаясь на эту область, тайфуны лишаются дополнительного источника энергии от подстилающей поверхности и должны либо резко терять свою интенсивность и выходить на берег ослабленными, либо полностью заполняться.

Другой особенностью развития ТЦ над акваторией Южно-Китайского моря является резкое изменение траекторий циклонов (появление южной составляющей смещения) при прохождении Филиппинских островов, что, видимо, следует связывать со скачком трения о подстилающую поверхность.

Идеальными полигонами для исследования условий влияния состояния подстилающей поверхности на строение и эволюцию тропических циклонов являются следующие районы северо-западной части Тихого океана [1]:

- ◆ зона дивергенции Северного пассатного течения и Межпассатного противотечения у острова Минданао;
- ◆ зона дивергенции у побережья центральной части Вьетнама;
- ◆ зона архипелага гряды Филиппинских островов.

Исследования по данному направлению проводились с использованием разрабатываемого в ОМТЦ ДВНИГМИ "АРМ-тайфунолога", одной из составляющих частей которого является климатологический блок.

Блок климатологии основан на реализации базы данных в формате DBASE, несущей информацию о тропических циклонах с 1956 по 1996 г. Программная оболочка выполнена авторами на языках программирования CLIPPER и Си. Климатологический блок позволяет осуществить выборку и (или) сортировку циклонов по любому имеющемуся в базе параметру по районам зарождения, выхода на определенный район и т.д. Результаты оформляются в виде карт траекторий или карт поквадратной повторяемости ТЦ. Графическая информация обрабатывается и хранится в формате РСХ.

Для исследований использовалась разработанная авторами параметрическая модель строения ТЦ, выходящих на Южно-Китайское море, состоящая из 11 регрессионных уравнений, из которых пять описывают параметры циклона для ТЦ, не достигающих стадии тайфуна, и шесть для тайфунов. В уравнениях используются: давление, ветер, радиусы зон ветров определенной интенсивности, моменты количества движения как функции от параметров состояния ТЦ на момент расчета, угловые скорости, коэффициент давления, моменты количества движения торообразного вихря и вихря Рэнкина. Комплекс программ, объединенных единой оболочкой, позволяет кроме задач, присущих климатическому блоку АРМ-тайфунолога, решать в диалоговом режиме задачи по расчету параметров как для конкретных ТЦ, так и для выделенных типов. Результаты расчетов в графическом режиме представляются на экране монитора с последующей их архивацией в виде РСХ-файлов. Для графического анализа доступны 18 параметров.

Для характеристики термического состояния Южно-Китайского моря использовались карты распределения термического тайфунного потенциала (ТТП), характеризующего запасы тепла, которыми обладает океан для

---

---

поддержания температуры своей поверхности 26 °С и выше, являющейся минимальной температурой водной поверхности, при которой возможно зарождение тайфунов.

При исследованиях использовались архивы наблюдений за ТЦ с 1956 года и результаты экспедиций на судах ДВНИГМИ 1993–94 гг. в Южно-Китайском море.

При исследовании климатологии ТЦ Южно-Китайского моря его акватория интерпретировалась фрагментом координатной сетки 0–22° с.ш. и 100–120° в.д. В качестве зоны апвеллинга принимался район 11–14° с.ш., 109–111° в.д.

Выбор такой зоны апвеллинга определил анализ карт распределения ТТП, построенных по результатам морских экспедиций ДВНИГМИ в 1989–94 г.г.. Экспедиционные наблюдения на шельфе СРВ выполнены с той или иной полнотой в зимний, осенний и летний сезоны. В зимний сезон апвеллинг наиболее слабый. Тем не менее, о признаках апвеллинга вдоль побережья Вьетнама между 10 и 14 параллелями можно говорить вполне определенно.

Более уверенно о наличии апвеллинга и его границах стало возможным судить с расширением океанографических съемок за пределы шельфа на открытые мористые акватории (осень 1992г., лето 1993г.). При этом осенью 1992г. апвеллинг отчетливо наблюдался от 6 до 10° с.ш. между 109–110° в.д. Здесь же на карте динамической топографии наблюдался мощный циклонический круговорот, который, по-видимому, и являлся главной причиной подъема вод. Летом 1993 г. зона апвеллинга располагалась между 109–110° в.д. севернее 10° с.ш. вплоть до 14° с.ш., почти вплотную прижимаясь к побережью Вьетнама. Во время работы летней экспедиции преобладали западные и юго-западные ветры, которые, по-видимому, обусловили сгонный эффект, который, в свою очередь, вызвал подъем глубинных вод, усиленный системой течений шельфовой зоны Южно-Китайского моря, прилегающей к центральной части Вьетнама.

По данным океанографических съемок 1993 и 1994 гг. установлен чрезвычайно высокий термический тайфунный потенциал на большей части акватории Южно-Китайского моря, что явилось одной из причин активного тропического циклогенеза. В то же время, термический тайфунный потенциал моря в районе прибрежного апвеллинга центрального Вьетнама весьма мал, опускаясь до нуля у самого побережья (рис. 1, 2).

Всего над акваторией Южно-Китайского моря с 1956 г. прошло 342 ТЦ. Из них 189 пришлось на первую часть сезона тайфунов с июня по сентябрь и 162 на оставшуюся часть сезона (октябрь–май). При этом 121 циклон зародился непосредственно в Южно-Китайском море, а по указанным частям сезонов, соответственно, 68 и 53. Первую наиболее активную часть сезона тайфунов все их траектории проходят севернее 10° с.ш. с максимумом повторяемости в районе 15–20° с.ш. и 110–120° в.д. В зимне-весенний период траектории более равномерно распределены по всей акватории Южно-Китайского моря от 5° с.ш. к северу с максимумом в районе 10–20° с.ш. и 110–120° в.д.

Над районом апвеллинга прошли 36 ТЦ, причем только одна тропическая депрессия 1994 г. и тропический циклон 7218 пришлись на период с июня по сентябрь включительно (рис. 3). Результаты морских экспедиций ДВНИГМИ с 1985 года показывают наличие апвеллинга вод у восточного побережья полуострова Индокитай именно в этот период года. Следовательно, невозможно

судить о влиянии связанного с апвеллингом пониженного теплосодержания моря в этом районе на интенсивность ТЦ. Смещение же траекторий циклонов выше  $10\text{--}14^\circ$  с.ш. в тайфунный период (июнь–сентябрь), по-видимому, обусловлено крупномасштабной циркуляцией атмосферы в этом регионе, в частности наличием летнего юго-западного муссона (кстати, одной из основных причин развития упоминаемого апвеллинга).

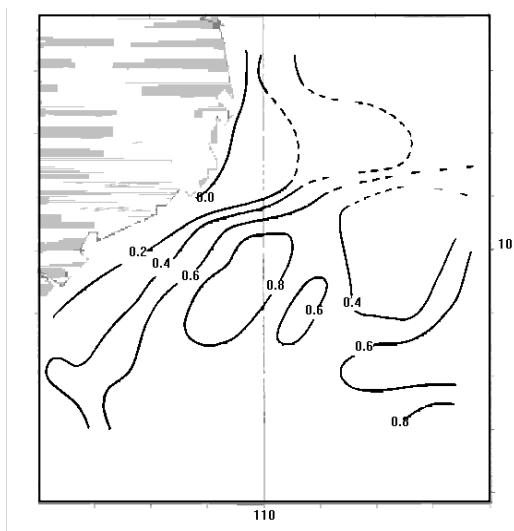


Рис. 1. Распределение термического тайфунного потенциала моря в районе прибрежного апвеллинга летом 1993 г. (ГДж/м<sup>2</sup>)

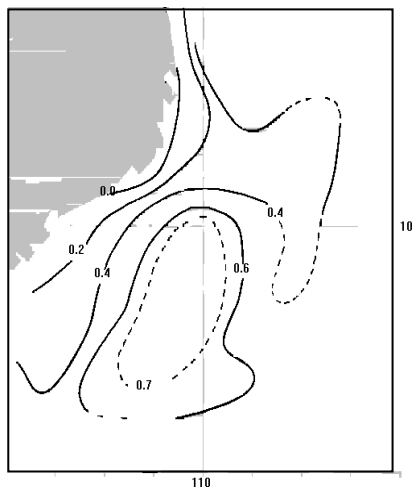


Рис. 2. Распределение термического тайфунного потенциала моря в районе прибрежного апвеллинга летом 1994 г. (ГДж/м<sup>2</sup>)

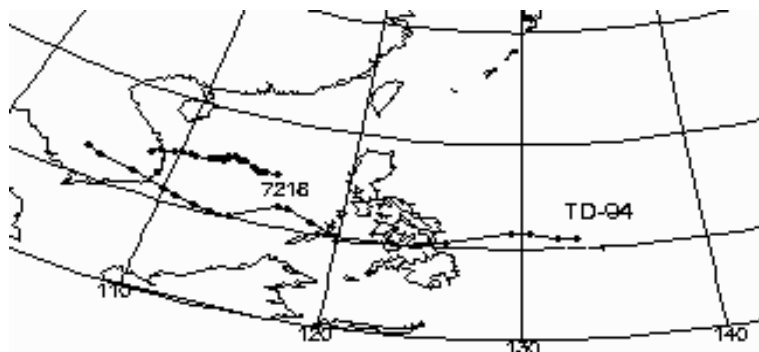


Рис. 3. Траектории смещения тропических циклонов, прошедших через район прибрежного апвеллинга

Во время развития апвеллинга над его районом проходят только редкие тропические депрессии, что фиксировалось в экспедициях 1993–94 годов. В период экспедиции 1994 г. через район апвеллинга прошла тропическая депрессия с давлением в центре 1002–1004 гПа (рис. 3). Однако, в отличие от ожидаемого резкого заполнения тропического циклона при выходе на акваторию с температурой поверхности ниже 26 °С, ничего подобного не произошло. Циклон заполнился лишь через 12 ч после выхода его центра на сушу.

На рис. 4 представлено распределение давления в ТЦ 7218, максимального ветра и момента количества движения относительного вихря на всем протяжении его развития. Тропический циклон достиг максимальной интенсивности в последней четверти периода (38 м/с), то есть при нахождении в зоне апвеллинга. Резкое заполнение циклона отмечено сразу после выхода на побережье. При нахождении над областью низких значений ТТП (данные отсутствуют) давление и максимальный ветер практически не изменялись. Этот факт дает основание полагать, что роль апвеллинга либо несущественна, либо сводится лишь к замедлению дальнейшего углубления ТЦ.

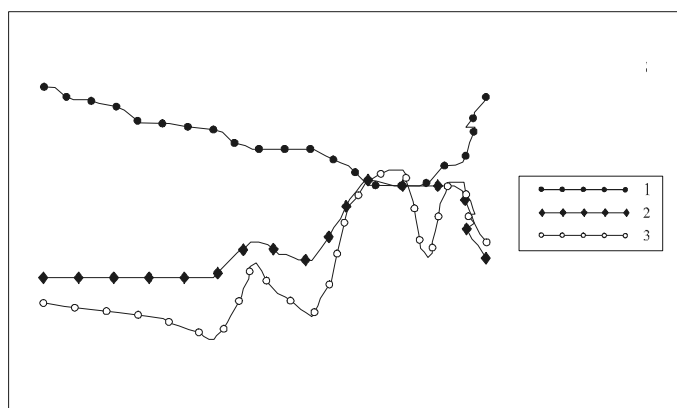


Рис. 4. Распределение давления (1), максимального ветра (2) и момента количества движения относительного вихря при представлении ТЦ в виде вихря Рэнкина в тропическом циклоне 7218



Еще одним примером эволюции тропического циклона при выходе его на район с очень низким ТТП и затем в район с температурой поверхности на 1–3 градуса ниже 26 °С может служить смещение в пределах Южно-Китайского моря ТЦ 8624 "IDA".

Тропический циклон 8624 зародился к востоку от Филиппинских островов 10 ноября 1986 г. и, спустя шесть часов, перешел в стадию тропического шторма. ТЦ 8624 смещался над архипелагом Филиппинских островов на северо-запад южнее о-ва Лусон (рис. 5).

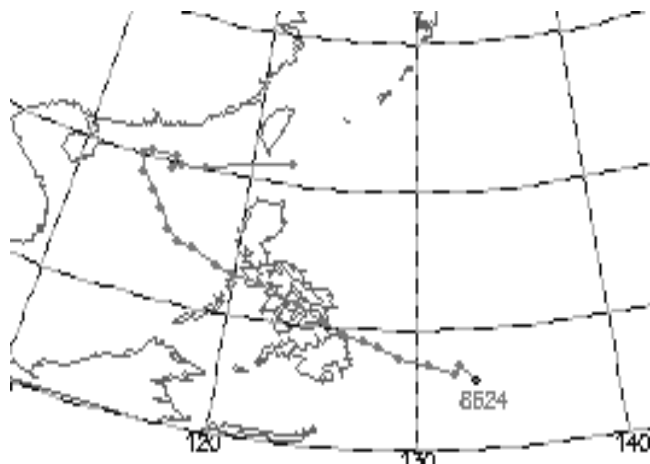


Рис. 5. Траектория тропического циклона 8624 "IDA".

Максимального развития (26 м/с) циклон достиг 15 ноября, находясь между 18° и 20° с.ш. в пределах Южно-Китайского моря. По данным НИС "Академик Королев" (данные совместной советско-вьетнамской экспедиции 1986 года), находившегося в 100 км от центра ТЦ, температура поверхности воды составляла в это время около 24 °С, то есть развитие тропического циклона продолжалось над районом, где термический тайфунный потенциал моря был нулевым. Заполнение циклона и его поворот на восток связаны с его выходом в южную периферию муссонной зоны.

На рис. 6 представлены некоторые параметры в период развития ТЦ 8624. При незначительных вариациях в распределении давления, максимального ветра и коэффициента давления обращает на себя внимание резкое уменьшение и последующий рост в последней четверти периода существования зоны сильных ветров и моментов количества движения, то есть эволюция циклона аналогична при его выходе на область апвеллинга. В то же время следует констатировать, что развитие как ТЦ 7218, так и ТЦ 8624 осуществлялось при максимально неблагоприятных условиях подстилающей поверхности, что заставляет, в какой-то степени, пересмотреть роль ТТП в эволюции ТЦ и отдать преобладающую роль боковому притоку тепла и влаги, а также величине момента количества движения, которым обладает циклон перед выходом на локальные районы с низкими запасами тепла.

Резкое изменение траекторий циклонов, выходящих на Южно-Китайское море с востока при прохождении через район Филиппинских островов,

исследовалось посредством климатологического блока АРМ-тайфунолога. Всего по имеющейся базе данных 133 тропических циклона пересекли с той или другой стороны островной архипелаг. Большинство из них при смещении с востока после выхода в Южно-Китайское море несколько сроков двигались с южной составляющей, после чего снова выходили на обычные траектории. Чем интенсивнее тропический циклон, тем меньше его отклонение к югу, и, наоборот, слабый тропический циклон, особенно в стадии тропической депрессии, может сместиться к югу на 2–3°.

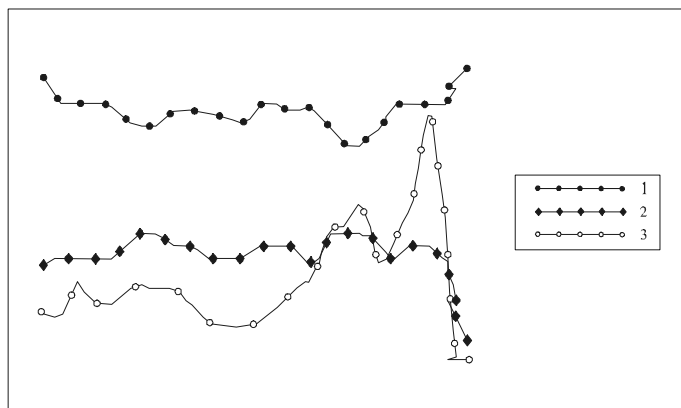


Рис. 6. Распределение давления (1), максимального ветра (2) и момента количества движения (3) относительно вихря при представлении ТЦ в виде вихря Рэнкина в тропическом циклоне 8624

Пример такого явления приведен на рис. 7, где изображены траектории тропических циклонов 7019, 9101, 9323 и 9520.

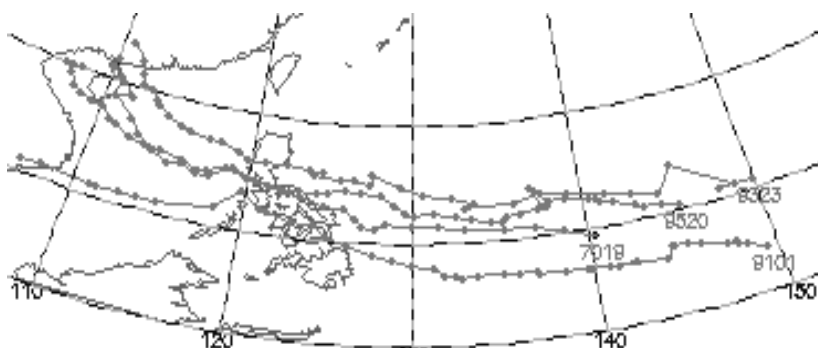


Рис. 7. Траектория тропических циклонов 7019, 9101, 9323 и 9520.

При подходе к Филиппинским островам ТЦ 9101, находясь в стадии своего максимального развития, имел давление в центре 985 гПа, максимальный ветер – 26 м/с, зону сильных ветров (более 15 м/с) – 150 миль. Пересечение архипелага происходило с северной составляющей при входе около 10.0° с.ш., а выходе 13.5° с.ш. За двое суток ТЦ покрыл расстояние около 700 км. Смещение его происходило над низкоуровневой частью архипелага со множеством мелких

островов и большой открытой акваторией. При выходе на острова циклон резко заполнился до стадии тропической депрессии. После выхода в Южно-Китайское море ТЦ имел смещение к югу на  $2.5^\circ$ , небольшое углубление депрессии до 1004 гПа отмечено в центре моря.

При подходе к Филиппинским островам ТЦ 7019, уже находясь передней частью в соприкосновении с архипелагом, достиг своего максимального развития с давлением в центре 900 гПа, максимальным ветром – 61 м/с, зоной сильных ветров (более 15 м/с) – 250 миль, зоной ураганных ветров (более 25 м/с) – 100 миль. При выходе из архипелага циклон резко заполнился до 970 гПа, ветер ослаб до 36 м/с. Достигнув центральной части Южно-Китайского моря, ТЦ вновь углубился до 950 гПа при ветре 46 м/с. Перемещение через архипелаг происходило как и для вышеупомянутого циклона, по низкоуровневой части в течение 1.5 суток. Смещение траектории к югу после выхода на свободную морскую поверхность составило 60 миль (один градус по широте). Прохождение архипелага сопровождалось уменьшением зоны ураганных ветров при одновременном увеличении зоны сильных ветров (соответственно, 75 и 350 миль).

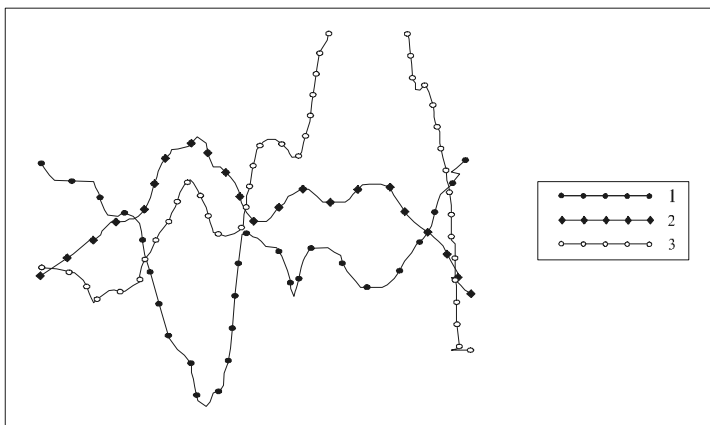


Рис. 8. Распределение давления (1), максимального ветра (2) и момента количества движения (3) относительного вихря при представлении ТЦ в виде вихря Рэнкина в тропическом циклоне 7019

Тропический циклон 9323 при подходе к архипелагу имел давление в центре 950 гПа и ветер 51 м/с. Пересечение циклоном Филиппинского архипелага происходило над о. Лусон практически по  $16^\circ$  с.ш. в течение суток и даже менее. Давление поднялось до 985 гПа, ветер ослаб до 28 м/с. Достигнув Южно-Китайского моря, циклон несколько углубился, но максимальный ветер не превышал 26 м/с. Зоны ураганных и зоны сильных ветров уменьшились. Смещение к югу траектории после прохождения не отмечено.

Тропический циклон 9520 при подходе к Филиппинским островам имел максимальный ветер 56 м/с и давление в центре 915 гПа. Траектория центра ТЦ проходила над южной оконечностью о. Лусон по  $14.0-14.2^\circ$  с.ш., то есть, как и в циклоне 9323, практически вдоль широтного круга. Давление при этом поднялось до 970 гПа, ветер ослаб до 33 м/с. После прохождения архипелага смещение траектории к югу составило  $0.7^\circ$  широты (около 40 миль).

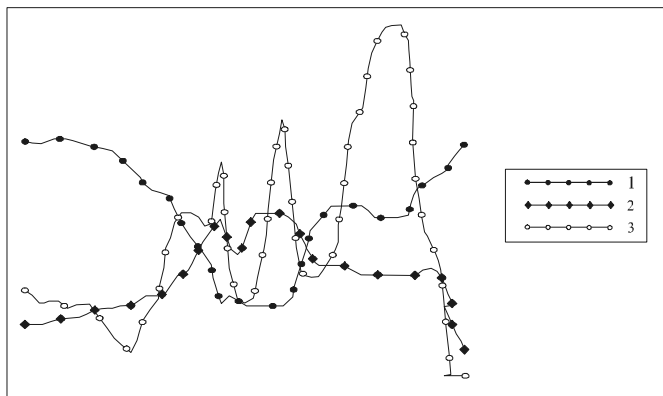


Рис. 9. Распределение давления (1), максимального ветра (2) и момента количества движения (3) относительного вихря при представлении ТЦ в виде вихря Рэнкина в тропическом циклоне 9323

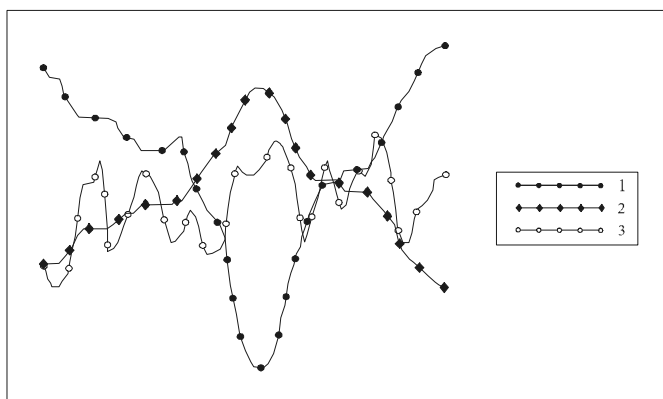


Рис. 10. Распределение давления (1), максимального ветра (2) и момента количества движения (3) относительного вихря при представлении ТЦ в виде вихря Рэнкина в тропическом циклоне 9323

На созданном программном комплексе визуализации расчетов и записи на технический носитель графиков с параметрами конкретных ТЦ, развивающихся в Южно-Китайском море, (всего 18 параметров), получено, что параметры ТЦ изменяются при выходе ТЦ на сушу (острова или материк). То есть, тропический циклон реагирует на состояние подстилающей поверхности. Указанные выше параметры и схема их расчета подробно представлены в [5]. На рис. 8–10 приводится только ход давления и ветра в ТЦ 7019, 9323 и 9520, а также величины момента количества движения относительного вихря Рэнкина.

Обращает на себя резкое уменьшение значений момента количества движения во всех тропических циклонах при пересечении архипелага островов и затем резкий последующий рост указанного параметра при движении по акватории Южно-Китайского моря. Аналогично, максимальному развитию тропического циклона соответствует минимум в ходе момента импульса при его общем росте. Из анализа следует, что наиболее существенные изменения характерны для давления в центре ТЦ, максимального ветра, коэффициента давления и т.д. Особенно ярко изменения в структуре ТЦ при их пересечении

---

---

ряды островов проявляются в вариациях момента импульса при представлении циклона в виде вихря Рэнкина.

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. При выходе тропического циклона на акваторию с температурой поверхности ниже  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$  резкого заполнения его не происходит. Отмечены единичные случаи выхода ТЦ в район апвеллинга у центрального Вьетнама. При этом, например, в ТЦ 7218 своего максимального развития достиг в последней четверти периода ( $38\text{ м/с}$ ), то есть именно при нахождении над зоной апвеллинга. Быстрое заполнение как этого, так и других циклонов, отмечено сразу после выхода на побережье и связано с потерей дополнительного источника тепла и влаги не только под центром тропического циклона, но и под всей его площадью. При этом резко ограничивается основной приток энергии через боковые границы циклона, по крайней мере с материковой стороны.

2. При нахождении ТЦ 7228 над областью низких значений ТТП давление и максимальный ветер практически не изменялись, на основании чего можно предположить, что роль апвеллинга либо незначительна, либо его роль сводится к замедлению дальнейшего углубления ТЦ. Но над областью апвеллинга в ТЦ 7228 произошло резкое уменьшение величины момента количества движения, что говорит об уменьшении геометрических размеров вихря.

3. Развитие тропических циклонов возможно и при выходе их на акватории с температурой воды, по крайней мере  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ , как это отмечено для ТЦ 8624. При незначительных вариациях в распределении давления, максимального ветра и коэффициента давления в ТЦ 8624 происходили резкое уменьшение и последующий рост в последней четверти периода существования зоны сильных ветров и моментов количества движения, то есть эволюция циклона аналогична при его выходе на область апвеллинга.

4. При общем характере хода давления и максимального ветра во всех тропических циклонах при пересечении архипелага островов обращает на себя резкое уменьшение значений момента количества движения и затем последующий его рост при смещении циклона над акваторией Южно-Китайского моря. Аналогично, максимальному развитию тропического циклона соответствует минимум в ходе момента импульса при его общем росте. Из анализа следует, что наиболее существенные изменения характерны для давления в центре ТЦ, максимального ветра, коэффициента давления и т.д. Особенно ярко изменения в структуре ТЦ при их пересечении ряды островов проявляются в вариациях момента импульса при представлении циклона в виде вихря Рэнкина.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изотова В. В., Пластуненко Е. С., Туноголовец В. П. Термический тайфунный потенциал океана и его роль в развитии ТЦ. – Эволюция тайфунов // Труды ДВНИГМИ. 1987. Вып. 138. С. 132–139.
2. Пальмен Э., Ньютон И. Циркуляционные системы атмосферы. Пер. с англ. Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 615 с.

3. Тунеголовец В. П. Трансформация поля температуры океана после прохождения тропического циклона (на примере тайфуна Тэсс) // Метеорология и Гидрология. 1976. Вып. 12. С.60–66.
4. Тунеголовец В. П. Изменение момента количества движения. – Эволюция тайфунов // Труды ДВНИГМИ. 1987. Вып. 138. С. 122–132.
5. Тунеголовец В. П. Модель эволюции ТЦ до и после достижения максимальной интенсивности. – Эволюция тайфунов // Труды ДВНИГМИ. 1987. Вып. 138. С. 104–122.
6. Шулейкин В. В. Расчет развития, движения и затухания тропических ураганов и главных волн, создаваемых ураганами. Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 96 с.

*А. Г. Петров*

## **СИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ СУДОВ НА АКВАТОРИЯХ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ**

Гидрометеорологические условия, вызывающие различную интенсивность обледенения, зависят от определенных процессов в атмосфере. В северных и умеренных широтах северного полушария обледенение судов имеет место обычно при вторжении холодных воздушных масс воздуха осенью, зимой и весной на акватории морей. Это происходит наиболее вероятно (60% случаев), в тыловых частях циклонов при С, СЗ и З ветрах и реже при СВ и В ветрах в передних частях циклонов [1]. В большинстве случаев это глубокие циклоны с давлением в центре 990 мб и ниже. Такие ситуации характерны для Японского, а также Охотского морей.

Так, при смещении в район Японского моря глубоких циклонов в тылу их происходит резкое понижение температуры воздуха до минус 18–21 °С и усиление С и СЗ ветров до 10–12 баллов, что приводит к очень быстрому обледенению судов. Это обусловлено связанными с циклонами фронтальными разделами, которые характеризуются большими горизонтальными градиентами температуры воздуха, резкими изменениями скорости и направления ветра, зонами обложных осадков в виде переохлажденного дождя или мокрого снега.

Зона обледенения в тылу циклона располагается на некотором удалении от холодного фронта, так как непосредственно за ним температура воздуха еще не достигает низких значений, необходимых для обледенения. Помимо этого, за холодным фронтом наблюдается изменение направления и скорости ветра, что несколько ослабляет волнение.

В Японском море наряду с прохождением глубоких циклонов создание своеобразных условий, вызывающих обледенение, часто обусловлено зимней муссонной циркуляцией. В данный район, а также в Охотское (реже в Берингово) море по восточной периферии азиатского максимума происходит вторжение холодных воздушных масс, создающих благоприятные условия для обледенения судов при СЗ и З ветрах даже при ясной или малооблачной погоде.

Знание синоптического положения над тем или иным районом позволяет достаточно достоверно определить возможность и интенсивность обледенения. При установлении типовых синоптических ситуаций, соответствующих определенным значениям гидрометеорологических параметров, можно прогнозировать обледенение, которое обусловлено температурно-ветровыми

---

---

параметрами, характерными для конкретных синоптических и местных условий, сезона года и так далее.

Для определения синоптических условий обледенения нами просматривалось развитие синоптических процессов за ледовый сезон с ноября 1986 г. по март 1987 г. над акваториями Японского, Охотского и Берингова морей. Исследуемый период характеризуется наибольшим числом случаев обледенения судов. В целом было рассмотрено около двух тысяч синоптических карт.

Анализ показал, что большинство синоптических ситуаций согласуется с выполненной ранее в период проведения натуральных экспериментов на судне "Ак. Бэр" в 1968 г. [2] типизацией, которая позволяет выделить два типа положений барических систем с двумя подтипами в каждом: тип I с подтипами "а" и "б" и тип II с подтипами "а" и "б".

Тип I характеризовался наличием юго-восточной периферии азиатского максимума и западной периферией северо-тихоокеанской депрессии.

Подтип Ia определялся юго-восточной периферией азиатского максимума, западной периферией северо-тихоокеанской депрессии при прохождении циклона над северной частью Японского моря.

Подтип Ib характеризовался аналогичным положением вышеуказанных центров действия атмосферы и смещением циклона по южным районам Японского моря.

Тип II обусловлен взаимодействием азиатского антициклона и депрессии над Охотским морем.

Подтип IIa характеризовался наличием охотоморской депрессии над центральными районами моря.

Подтип IIб отличался более южным расположением депрессии над Охотским морем.

В целом, данная типизация достаточно характерна для акватории Японского моря, но требует уточнений и дополнений, так как в ряде случаев обледенение наблюдается и при других синоптических ситуациях.

В рассматриваемый период времени наибольшая интенсивность обледенения наблюдалась при подтипах IIa и IIб, а наибольшая повторяемость – при типе I.

В Японском море в ноябре 1987 года отмечено 9 дней с явлением обледенения судов, которое сопровождалось, главным образом, синоптическими процессами типа II, когда над Охотским морем располагается депрессия, а над материком начинает формироваться азиатский антициклон. Обледенение происходило в тыловых частях выходящих на Охотское море циклонов, которые далее смещались в район северо-тихоокеанской депрессии, и сопровождалось осадками и преимущественно СЗ ветрами.

В декабре синоптические процессы над дальневосточными морями были характерными для этого времени года – сформировались азиатский антициклон и северо-тихоокеанская депрессия. При этом явление обледенения отмечалось в тыловых частях северо-тихоокеанской депрессии, реже – в передней части гребня азиатского максимума.

В ряде случаев обледенение имело место в ложбине северо-тихоокеанской депрессии, распространившейся на Японское море, в которой нередки смещения циклонов.

---

---

Обледенение почти повсеместно сопровождается выпадением осадков и сильными ветрами, главным образом, северо-западного направления (65%).

Развитие атмосферных процессов над дальневосточными морями в январе также было характерным для зимнего сезона – над материком господствовал устойчивый азиатский максимум, над морями – активная циклоническая деятельность.

Над Японским морем синоптическая обстановка определялась юго-восточной периферией азиатского и западной периферией северо-тихоокеанской депрессии. Обледенение происходило преимущественно (61%) в тыловой (западной, северо-западной или юго-западной) части северо-тихоокеанской депрессии (по типу I), нередко при прохождении частного циклона над южными районами Японского моря (по типу Iб).

Значительное число случаев обледенения (19%) отмечено в области антициклонального поля (гребень азиатского максимума) с сильными С и СЗ ветрами.

В ложбинах циклонов обледенение встречается при прохождении вторичных фронтальных разделов, волновых возмущений или фронтов окклюзии (23%).

В подавляющем большинстве случаев обледенения сопровождаются ветрами северных румбов (СЗ – 68%, С – 48% и СВ – 16%) и выпадением осадков.

Синоптические процессы типа II (с подтипами), характеризующиеся взаимодействием азиатского антициклона и депрессией над Охотским морем, встречались в январе реже, но обледенение в этих случаях охватывало сравнительно обширные районы.

Аналогичная картина просматривалась и в феврале – преобладали синоптические ситуации типа I, вызывающие обледенение. Однако следует отметить, что 12 и 15 февраля синоптическая обстановка над районом обледенения развивалась по типу II, когда над Охотским морем углубился сместившийся сюда циклон, вызвав осадки и сильные ветры (30 и 50 случаев обледенения соответственно).

Кроме того, в феврале наблюдались дни с обледенением, когда атмосферные процессы не соответствовали ни I, ни II типу. Встречались случаи обледенения судов в седловинах, где смещались фронтальные разделы (теплые, холодные и окклюзии), и в ложбинах с формирующимися в них частными циклонами (39%), а также в передней части азиатского антициклона или в его гребне (21%).

В марте зимние процессы над Дальним Востоком начинают ослабевать, устойчивость азиатского максимума уменьшается. Усиливается циклоническая деятельность над материком, и циклоны с материка начинают смещаться на дальневосточные моря. Обледенение в Японском море происходит в тыловой части этих циклонов. В то же время синоптическая обстановка еще сохраняет черты зимнего периода, при которой зоны обледенения отмечаются на границе азиатского максимума и северо-тихоокеанской депрессии (63%).

Анализ синоптической обстановки в ноябре и в декабре для тех случаев, когда обледенение не наблюдалось (или не было отмечено), показал, что она была благоприятной для обледенения. Суда находились либо в полосе пониженного давления, где смещались фронтальные разделы (холодный, теплый или окклюзии) или циклоны, либо в гребне азиатского максимума, где



---

---

часто наблюдались сильные ветры. Нередко суда находились на западной и юго-западной периферии северо-тихоокеанской депрессии или циклона над Охотским морем, где также смещались фронтальные разделы, отмечались сильные ветры северных румбов и осадки. В ряде случаев наблюдалось смещение циклонов с материка на Японское море (чаще в ноябре), где они углублялись, вызывая штормовые ветры и осадки, способствуя обледенению судов.

В Охотском море так же, как и в Японском, создаются благоприятные условия для обледенения судов преимущественно в тыловой части циклонов (61–77%). Последние смещаются с юго-запада на северо-восток вдоль Курильских островов или поворачивают к северу, на Охотское море, при этом, углубляясь, вызывают штормовые ветры преимущественно северных румбов (СЗ – 58–77%).

Нередко (23–36%) обледенение судов отмечается в циклонических формах барического рельефа (ложбинах, седловинах) при наличии фронтальных разделов, которые характеризуются большими горизонтальными градиентами температуры воздуха, резкими изменениями скорости и направления ветра, зонами обложных осадков в виде переохлажденного дождя или мокрого снега.

В рассматриваемый период, с января по март, обледенение судов отмечалось также в передней части азиатского антициклона либо в его гребне (7–14%). В этих случаях вдоль восточной периферии антициклона осуществляется адвекция холодных воздушных масс на море, способствующих обледенению судов.

В декабре, феврале и марте в некоторых случаях обледенение происходило в северной или северо-восточной частях циклонов (16–29%) при сильных восточных и северо-восточных ветрах, выпадении осадков, а в январе–марте – в теплом секторе (южной и юго-восточной части) циклонов (6–11%).

В Беринговом море при сохранении общих закономерностей условий обледенения можно отметить и некоторые отличия их от особенностей обледенения в Японском и Охотском морях. Так, с декабря по март наиболее вероятно обледенение судов (39–57%) в северной и северо-восточной части циклонов, а в тыловых районах циклонов вероятность понижается (22–50%).

Кроме того, отмечаются случаи обледенения судов в передних частях циклонов (от 7 до 17%). В связи с этим в районах обледенения наблюдаются ветры северо-восточного направления (61% в феврале), а также юго-восточного и южного направления (47% в январе).

Обледенение судов часто сопровождается прохождением фронтальных разделов и выпадением осадков (от 69% в декабре до 80% в январе).

В целом можно отметить, что наиболее благоприятные условия для обледенения судов на примере рассмотренного материала отмечаются в тыловой части циклонов, смещающихся на дальневосточные моря. В Беринговом море при сохранении общих закономерностей влияния синоптических условий на обледенение судов наиболее часто обледенение отмечается в северных и северо-восточных частях циклонов. Вполне вероятно, что при наличии информации по южным и юго-западным районам моря можно получить несколько иные результаты анализа влияния синоптических условий на обледенение судов.

Результаты проведенного анализа синоптических условий, при которых отмечалось обледенение судов, обобщены в табл. 1.

Повторяемость случаев обледенения судов в зависимости от синоптических условий  
Японское море

Месяц	Тыловая часть циклона		Передняя часть циклона	С, СВ периф. циклона	Ю, ЮВ периф. циклона	Циклон		Циклон, Полосчастным циклоном (седловина)	Гребень периф. антициклона	Наличие фронтальных разделов	Наличие осадков	Ветер							
	Дни	%				Теплый сектор	Холодный сектор					3	СЗ	С	СВ	В	ЮВ (Ю)	ЮЗ	
Январь	дни	19	-	2	-	4	1	3	7	6	22	28	-	21	15	5	-	-	-
	%	61	-	6	-	13	3	10	23	19	71	90	-	68	48	16	-	-	-
Февраль	дни	17	3	2	-	1	1	8	11	6	28	18	8	14	9	4	2	1	3
	%	61	11	7	-	4	4	29	39	21	100	64	29	50	32	14	7	4	11
Март	дни	17	-	-	1	-	-	8	4	1	13	16	-	16	8	-	-	-	-
	%	63	-	-	4	-	-	30	14	4	48	59	-	59	30	-	-	-	-
Ноябрь	дни	6	-	-	-	-	-	-	-	2	6	9	-	8	3	2	-	-	-
	%	27	-	-	-	-	-	-	-	22	67	100	-	89	33	22	-	-	-
Декабрь	дни	14	-	-	-	1	1	6	3	4	15	16	-	13	3	3	-	-	-
	%	70	-	-	-	5	5	50	15	20	75	80	-	65	15	15	-	-	-
Сумма	дни	73	-	4	1	6	3	25	25	19	84	87	8	72	38	14	2	1	3
	%	63	3	4	1	5	3	22	22	17	73	76	7	63	33	12	2	1	3

## Охотское море

Месяц		Тыловая часть циклона	Передняя часть циклона	С, СВ периф. циклона	Ю, ЮВ периф. циклона	Циклон		Циклон. Полоса частным циклоном	Ложбина (седловина)	Гребень периф. антициклона	Наличие фронтальных разделов	Наличие осадков	Ветер						
						Теплый сектор	Холодный сектор						3	СЗ	С	СВ	В	ЮВ (Ю)	ЮЗ
Январь	дни	22	-	-	-	1	2	8	7	2	8	30	3	23	13	7	-	-	-
	%	73	-	-	-	3	3	27	23	7	27	100	10	77	43	23	-	-	-
Февраль	дни	17	-	8	3	3	3	5	10	4	14	28	4	20	13	11	7	-	1
	%	61	-	29	11	11	11	18	36	14	50	100	14	71	46	39	25	-	4
Март	дни	21	-	8	-	2	3	2	9	3	9	23	5	18	12	17	6	1	-
	%	68	-	26	-	6	10	6	29	10	29	74	16	58	39	55	19	3	-
Ноябрь	дни	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	8	3	2	-	-	-
	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	89	33	22	-	-	-
Декабрь	дни	24	-	5	2	-	2	6	11	4	19	22	5	18	12	7	-	-	2
	%	77	-	16	6	-	6	19	36	13	61	71	16	58	39	23	-	-	6
Сумма	дни	84	-	21	5	6	10	21	37	13	50	103	17	79	50	42	13	1	3
	%	70	-	18	4	5	8	18	31	11	42	86	14	66	42	35	11	1	3

## Берингово море

Месяц		Тыловая часть циклона	Передняя часть циклона	С, СВ периф. циклона	Ю, ЮВ периф. циклона	Циклон		Циклон. Полос частным циклоном	Ложбина (седловина)	Гребень периф. антициклона	Наличие фронтальных разделов	Наличие осадков	Ветер						
						Теплый сектор	Холодный сектор						3	СЗ	С	СВ	В	ЮВ (Ю)	ЮЗ
Январь	дни	15	4	17	2	1	-	1	7	6	16	24	3	13	7	9	4	14	7
	%	50	13	57	7	3	-	3	23	20	53	80	10	43	23	30	13	47	23
Февраль	дни	9	-	11	1	1	1	-	2	8	4	14	-	5	6	17	9	5	-
	%	32	-	39	4	4	4	-	7	29	14	50	-	10	21	61	32	18	-
Март	дни	5	2	9	1	-	-	5	4	3	8	12	2	4	8	9	10	4	1
	%	22	9	39	4	-	-	22	17	13	35	52	9	17	35	39	9	17	4
Ноябрь	дни	5	2	2	1	2	-	2	1	2	4	7	2	5	5	4	-	1	1
	%	42	17	17	8	17	-	17	8	17	33	58	17	42	42	33	-	8	8
Декабрь	дни	11	2	14	-	-	-	3	1	-	11	29	-	6	5	8	4	8	5
	%	38	7	48	-	-	-	10	3	-	38	69	-	21	17	28	14	28	17
Сумма	дни	45	10	53	5	4	1	11	15	19	43	77	7	33	31	47	27	32	14
	%	37	8	43	4	3	1	9	12	16	35	63	6	63	33	12	2	1	3

---

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по предупреждению угрозы обледенения судов. Л.: Изд. ААНИИ, 1972. –81 с.
2. Буянов Н. Ф. и [др.] Эксперимент по исследованию обледенения судов в Японском море в январе–феврале 1968 г // Сб. Гидрометеорологические условия обледенения судов. Л.: ААНИИ (Ротапринт), 1969. С. 86–97

*А. Г. Петров*

## ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛЕДЕНЕНИЯ СУДОВ В ЯПОНСКОМ МОРЕ

В холодный период года на морях наиболее опасным для судов природным явлением признано обледенение. Ежедневно от него страдают десятки и сотни судов. Обледенение затрудняет и нарушает производственную деятельность, приводит к травматизму моряков, и нередко, к катастрофическим последствиям. Поэтому явление обледенения судов относят к разряду опасных и особо опасных. Для мореплавателей разработаны соответствующие инструкции поведения при обледенении, при этом основными средствами борьбы с обледенением являются: маневр судна, уменьшающий нарастание льда; околка льда силами экипажа; выход из зоны обледенения. С другой стороны мореплавателям необходимо знать условия и факторы, способствующие обледенению, среди которых имеются технические (тип судна, такелаж, загрузка, покрытие и так далее), субъективные (маневр судна) и гидрометеорологические. Учёт этих факторов наряду со знанием основных причин возникновения обледенения и влияния их на его интенсивность необходимы в практической деятельности как мореплавателей, так и служб, обеспечивающих безопасность.

В настоящее время учет гидрометеорологических условий производится на основе опыта судоводителей и результатов исследований, полученных в 60-х – 70-х годах. В этот период Гидрометцентр СССР дважды издавал "Временные указания по предупреждению и возможном обледенении судов" (в 1967 и 1969 гг.) [1], а также были изданы "Методические указания по предупреждению угрозы обледенения судов" (ААНИИ, 1972 г.) [2]. Основой этих работ послужили более 3000 специальных анкет, результаты натурных экспедиционных исследований, лабораторных экспериментов, а также обобщения судовых наблюдений. В целом полученные материалы позволили рассмотреть физическую сущность явления и синоптические условия его возникновения. Не умаляя значение этих исследований, следует подчеркнуть, что они, практически, только вскрыли многочисленные проблемы, связанные с чрезвычайно сложным и разнообразным проявлением этого природного явления. Так, до сих пор четко не установлено, какие виды обледенения следует принимать во внимание, какими значениями гидрометеорологических параметров оно сопровождается, не определены факторы (и их значимость), влияющие на обледенение, не получены достоверные количественные оценки степени обледенения, в том числе недостаточно изучены связи между различными типами судов, явлениями обледенения и поведения судна, условиями забрызгивания судна и т. д. Отсутствует стандартная терминология и методология наблюдения над

---

---

явлениями обледенения. Более того, имеющиеся к настоящему времени сведения характеризуют явление обледенения судов лишь в целом для всего Мирового океана и не отражают региональные особенности различных акваторий, что обусловлено крайне малым количеством непосредственных наблюдений. К примеру, по акватории рассматриваемого нами Японского моря количество используемых ранее наблюдений не превышало 300 [2] .

С 1965-го года в обязанности штурманов вменили регистрацию характеристик обледенения и к настоящему времени накоплено достаточно большое количество этих наблюдений (около 6 тысяч по акватории Японского моря) , что позволяет получить достаточно объективные характеристики обледенения. Несмотря на недостаточно хорошее качество этих наблюдений, вызванное различными причинами и, в первую очередь, сложностью явления и отсутствием обоснованной методологии определения характеристик интенсивности обледенения, измерения толщины льда и так далее, накопленная информация представляет несомненный интерес вследствие значительного объема. Но прежде чем представить результаты анализа этих данных, имеет смысл обобщить имеющиеся к настоящему времени сведения о причинах и интенсивности обледенения, что представляет немаловажный самостоятельный интерес.

В основе любой классификации причин обледенения в том или ином виде лежат физические или природные процессы, в которых учитывается влияние обледенения на остойчивость судна. Анализ опубликованных ранее работ позволяет получить следующую обобщенную классификацию форм обледенения судов.

Прежде всего различают обледенение от замерзания пресной и соленой воды. К пресноводному обледенению относят:

1) сублимацию пара на предметах из атмосферы, а также внутри переохлажденного тумана;

2) намерзание капель дождя или мороси;

3) смерзание твердых осадков. При этом различают белое обледенение (от парения моря) и черное обледенение (при приподнятом тумане). Образуется кристаллическая или зернистая изморозь, либо стекловидное замерзание (гололед). Гололед может быть матовым или прозрачным. Намерзать могут также сухие мелкие кристаллы (при температуре воздуха ниже  $-18^{\circ}\text{C}$ ).

Обледенение за счет соленой воды образуется вследствие попадания брызг морской воды, наката волны, а также замерзания мельчайших капель в брызговом облаке. При этом может образовываться глазированный лед, либо пористый (вследствие смерзания мелких кристаллов при температуре воздуха ниже  $-18^{\circ}\text{C}$ ), а также пористый матовый лед (вследствие наката морской волны).

В реальных условиях обледенение судов, как правило, происходит в результате совместного эффекта различных причин, а в производственной практике обычно не выделяют вид обледенения ( к примеру, черное или белое обледенение), в то время как черное обледенение чрезвычайно опасный вид, поскольку образуется на верхних частях судна, что приводит к резкой потере его остойчивости.

В официальных документах, к примеру, в "Дополнении к Наставлению гидрометеорологическим станциям и постам" [Вып. 9, часть III] указывается, что

---

---

причиной обледенения является замерзание при отрицательной температуре воздуха:

а) брызг и воды, попадающих на палубу и надстройки при свежем ветре и волнении;

б) капель дождя и тумана, оседающих на рангоуте, такелаже и надстройках;

в) брызг морской воды, попавших на палубу вместе с каплями дождя.

Соответственно определяются следующие формы обледенения:

1) от брызг;

2) от тумана;

3) от совместного воздействия тумана и брызг;

4) от дождя;

5) от совместного действия брызг и дождя.

По данным наблюдений с 1955 по 1965 гг. (421 случай обледенения для всех морей) 37% обледенения имело брызговой характер, 53% – от брызг и осадков, 10% – от тумана и брызг. При этом преобладали нерадиационные туманы при скорости ветра > 8 м/с. Статистический анализ более 3-х тысяч специальных анкет также по всем морям за 1967–1971 гг. [1] выявил, что основной причиной обледенения являются морские брызги – 89.8%. Обледенение, возникающее от совместного действия брызг, тумана, дождя, мороси наблюдается в 6.4% случаев, от брызг и твердых осадков – 1.1%, только от тумана, дождя и мороси – 2.7%.

Определение интенсивности (или степени) обледенения судна – одна из нерешенных до сих пор проблем.

Степень обледенения судна зависит, во-первых, от гидрометеорологических условий, во-вторых, от характеристик судна (размеров, типа, осадки), а также от маневра судна, то есть скорости и курсового угла относительно ветра и волнения. Так в период проведения натурных экспериментов в 1968 году в Японском море при практически одинаковых гидрометеорологических условиях и в одно и то же время на судне "Ак. Бер" фиксировалось обледенение различной интенсивности 11 раз, а на СРТМ 8–434 наблюдалось всего 2 случая слабого обледенения.

Незначительное число натурных наблюдений по обледенению, малое количество специальных экспедиций вызывали многочисленные попытки определить степень обледенения косвенными или приближенными методами. Естественно, что критерии интенсивности обледенения должны были основываться на степени опасности, которую представляет для судна образовавшийся лед. Практически до 70-х годов наблюдатели оценивали степень обледенения по 2-балльной шкале: слабое (или медленное) и сильное (или быстрое) без всяких численных критериев. Проблема численного критерия состоит в том, что если под интенсивностью обледенения понимать скорость нарастания толщины льда, то при разных условиях в разных местах судна она будет существенно различаться. Если под интенсивностью понимать объем отложившегося льда, то в зависимости от типа судна и характера обледенения, при котором лед может нарастать неравномерно на различных частях корабля, одно и то же количество льда может представлять различную опасность.

---

---

Во "Временных указаниях по предупреждению о возможном обледенении судов" [1] и в "Дополнении к Наставлению" [4] принята 3-балльная шкала, основанная на величине нароста льда:

- 1) слабое обледенение – 2 см/час;
- 2) умеренное – 2–6 см/час;
- 3) сильное – более 6 см/час.

При этом Всемирной Метеорологической Организацией предложено рассчитывать степень обледенения для стандартного судна с последующим перерасчетом на другие типы судов.

В 1972 году в "Методических указаниях" [2] была предложена 3-балльная шкала: медленное, быстрое и очень быстрое обледенение. Отмечается, что критерии интенсивности будут отличаться для различных типов судов (рассматриваются только рыбопромысловые суда водоизмещением 300–500 тонн типа СРТ). За основу критерия принята способность экипажа этих судов вести борьбу с обледенением имеющимися в распоряжении экипажа подручными средствами, чтобы обеспечить безопасность судна. С этой точки зрения медленное обледенение характеризуется скоростью отложения льда на судне не более 1.5 т/час. В этом случае экипаж в составе 25–26 человек может без посторонней помощи справиться с удалением льда с судна. С быстрым обледенением – максимально возможная скорость образования льда 1.5–4 т/час – экипаж справляется с трудом. Капитан судна обязан установить радиосвязь с начальником экспедиции (флотилии) и через каждые два часа его информировать. Очень быстрое обледенение – более 4 т/час. Капитан судна обязан установить постоянную связь с начальником экспедиции, принять самые активные меры по удалению льда и выводу судна из опасной зоны или потребовать помощи.

В принятом в 1981 г. "Коде для передачи данных г/м наблюдений с наземных и морских наблюдательных станций" КН-01 [3] принята следующая характеристика обледенения судна:

- 1) лед не нарастает;
- 2) лед нарастает медленно– 0.6 см/час и менее;
- 3) лед нарастает быстро 0.7 см/час и более;
- 4) лед тает или взламывается медленно;
- 5) лед тает или взламывается быстро.

В "Наставлении по службе прогнозов" [4] для определения обледенения судов должны использоваться следующие термины:

Обледенение – интенсивность отложения льда менее 0.6 см/час, при этом категория явления ОЯ;

Быстрое обледенение – интенсивность отложения льда от 0.7 до 1.3 см/час, категория явления ООЯ;

Очень быстрое обледенение – интенсивность отложения льда более 1.4 см/час, категория явления ООЯ.

Как видим из вышеизложенного несоответствие данных наблюдений на судах характеристикам интенсивности обледенения, принятым при выдаче прогнозов обледенения, существенно затрудняет анализ условий обледенения судов. Практически, по данным судовых наблюдений, можно судить лишь о



медленном и быстром обледенении, оставляя открытым вопрос при определении очень быстрого обледенения.

Проведенный нами анализ более 5500 попутных судовых наблюдений в Японском море показал, что обледенение за счет брызг отмечалось в 89.9% случаях, за счет тумана – 1.9%, брызг и тумана – 1.5%, дождя – 0.7%, брызг и дождя – 1.8% случаях (табл. 1). В то же время, как следует из табл. 2, анализ тех же самых данных показывает, что обледенение без осадков происходило лишь в 59.7% случаев, а с осадками в срок наблюдения в 32.1% случаев (с учетом тумана и осадками в последний час наблюдений обледенение отмечалось практически в 40% случаев). Такое несоответствие, вероятно, можно объяснить тем, что при составлении телеграммы фиксировался лишь основной вид обледенения. Но в любом случае осадки, по-видимому, играют более существенную роль, чем предполагалось ранее. Подтверждением этому служит анализ синоптических условий, при которых фиксировались случаи обледенения. В 73% случаях отмечались фронтальные разделы, а в 76% – осадки [5].

Таблица 1

**Количество случаев обледенения в Японском море в зависимости от причины обледенения**

Характеристика	Цифры кода	Число случаев	Повторяемость (%)
не используется	0	139	2.9
морские брызги	1	4204	89.9
туман	2	88	1.9
брызги и туман	3	71	1.5
дождь	4	31	0.7
брызги и дождь	5	83	1.8
Всего случаев		4616	

Таблица 2

**Количество случаев обледенения в Японском море в зависимости от погоды**

Погода	Число случаев	Повторяемость (%)
1. Без осадков в срок наблюдения в течение последнего часа	2361	59.7
2. Туман или ледяной туман		
а) в течение последнего часа	2	0.0
б) в срок наблюдения и в течение последнего часа	33	1.0
в) в срок наблюдения	85	2.0
3. Осадки		
а) в течение последнего часа	200	5.1
б) в срок наблюдения и в течение последнего часа	5	0.1
в) в срок наблюдения	1269	32.1

Исходя из логических заключений и результатов предыдущих исследований, основным видом обледенения по степени его интенсивности является медленное. При этом очень сильное или катастрофическое наблюдается крайне редко. Проведенный нами статистический анализ данных судовых наблюдений позволяет говорить, что сильное обледенение наблюдается не так редко. Практически каждое десятое обледенение судов является сильным. К примеру, в Японском море в 7.5% случаев, а в Охотском и Беринговом морях в 13.7 и 15.2% случаев отмечалось сильное обледенение, а медленное в 53.4, 32.3 и 34.9%, соответственно, по морям. Однако, если к случаям медленного обледенения присовокупить случаи, когда лед не нарастал или таял, то, в целом, количество случаев "медленного" обледенения будет в пределах 90% (табл. 3). Если учесть распределение толщины нарастающего при обледенении льда, то можно отметить, что в абсолютном большинстве случаев обледенение судов является не интенсивным, а умеренным или слабым (табл. 4). Так, в Японском море в более чем в 50% случаях лед имел толщину 1–2 см, а в 65% не превышал 3 см. В то же время, отмечаются многочисленные случаи с толщиной льда до 20 см, а отдельные случаи – вплоть до 1 м. Такое мощное нарастание льда могло быть результатом либо очень быстрого обледенения, либо продолжительного пребывания судна в опасной зоне.

Таблица 3

**Распределение количества обледенений в Японском море по величине отложившегося льда**

Толщина льда (см)	Число случаев	Повторяемость (%)
0	105	2.2
1	1035	22.2
2	1297	27.8
3	620	13.3
4	408	8.7
5	422	9.0
6	144	3.1
7	82	1.6
8	95	2.0
9	46	1.0
10	134	2.9
11	14	0.3
12	63	1.3
13	23	0.5
14	11	0.2
15	22	0.5
16	6	0.1
17	5	0.1
18	10	0.2
19	3	0.1
20	26	0.6
21	2	0.04
22	6	0.1

Толщина льда (см)	Число случаев	Повторяемость (%)
23	3	0.1
24	4	0.1
26	1	0.02
30	5	0.1
38	1	0.02
40	4	0.1
50	1	0.02
55	1	0.02
56	1	0.02
60	6	0.1
67	1	0.02
70	2	0.04
71	1	0.02
75	1	0.02
80	3	0.06
81	3	0.06
90	28	0.6
91	8	0.2
92	6	0.1
93	3	0.1
94	1	0.02
95	2	0.04
96	3	0.1
97	1	0.02
99	2	0.04

Таблица 4

**Количество случаев обледенения на дальневосточных морях  
в зависимости от характеристики обледенения**

Характеристика обледенения	Японское море		Охотское море		Берингово море	
	Количество случаев	Повторяемость (%)	Количество случаев	Повторяемость (%)	Количество случаев	Повторяемость (%)
Лед не нарастает	1243	22.5	2212	10–6	899	13.5
Лед нарастает медленно (0.6 см/ч и менее)	2945	53.4	6737	32.3	2321	34.9
Лед нарастает быстро (0.7 см/ч и более)	417	7.5	2858	13.7	1009	15.2
Лед тает или взламывается медленно	507	9.1	4495	21.6	1395	21.0
Лед тает или взламывается быстро	350	6.3	4421	21.2	998	15.0
Всего случаев	5462		20828		6647	

---

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Временные указания по предупреждению о возможном обледенении судов. М.: Изд. Гидрометцентра СССР (ротапринт), 1969. – 60 с.
2. Методические указания по предупреждению угрозы обледенения судов. Л.: Изд. ААНИИ, 1972. – 81 с.
3. Код для передачи данных гидрометеорологических наблюдений с наземных и морских станций КН–01. Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 72 с.
4. Наставление по службе прогнозов. Раздел 2. Служба метеорологических прогнозов. Части III, IV, V, VI. М.: Гидрометеиздат, 1978. – 55 с.
5. Петров А. Г. Синоптические условия обледенения на акваториях дальневосточных морей // Труды ДВНИГМИ. Наст. вып.

*Н. А. Рыков*

## ОСВЕЩЕННОСТЬ ОХОТОМОРСКОГО ШЕЛЬФА О. САХАЛИН ДАНЫМИ ГЛУБОКОВОДНЫХ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Концепция развития социальной и производственной инфраструктуры Сахалинской области и других регионов Дальнего Востока в значительной мере ориентируется на освоении биологических и углеводородных ресурсов шельфовой зоны о. Сахалин. Существенная разнонаправленность использования шельфа в сочетании с повышенными требованиями к экологической безопасности хозяйственной деятельности требуют детального изучения здесь природных процессов и определения их взаимосвязи на основе всей имеющейся в настоящее время гидролого-гидрохимической информации.

История современных регулярных и стандартизованных океанографических наблюдений на охотоморском шельфе о. Сахалин насчитывает около 50 лет. Начиная с конца 40-х годов и по настоящее время основные гидрологические наблюдения выполняются экспедиционным флотом СахУГМС и СахНИРО. В 50-е годы к наблюдениям подключились исследовательские суда ИОАН и ДВНИГМИ. Ими выполнен большой комплекс гидрохимических и гидробиологических определений состояния вод. В 80-е годы значительное количество наблюдений выполнено судами ТИНРО. Наиболее подробная сводка произведенных работ на шельфе о. Сахалин за период 1948–1987 гг. приведена в работе [1].

В 80–90-е годы для выполнения работ по теме "Моря СССР / России" в ДВНИГМИ осуществлялся сбор текущей и исторической гидролого-гидрохимической информации по акватории Охотского моря, включая область восточно-сахалинского шельфа. Источниками данных послужили архивы и фонды ВНИИГМИ–МЦД, СахУГМС, СахНИРО, ТИНРО, ДВНИГМИ и других мореведческих организаций. В середине 90-х годов с образованием в ДВНИГМИ регионального центра океанографических данных (РЦОД) сбор информации был продолжен. К настоящему времени по району, примыкающему к охотоморскому шельфу о. Сахалин (44–56° с.ш., 142–146° в.д.), собрано около 15 тыс. станций на технических носителях. По сведениям из Каталога [1] и каталога данных

ДВНИГМИ количество наблюдений составляет здесь 20–25 тыс. станций, то есть имеется перспектива увеличить объем ранее собранной информации.

Из-за суровых ледовых условий крайне мало наблюдений в холодные месяцы года. Например, в январе–марте немногочисленные наблюдения имеются только в зал. Анива и лишь в апреле выполнены отдельные станции севернее, в зал. Терпения. Сравнительно равномерная плотность распределения станций отмечается в период с июня по октябрь, а в другие месяцы года основные наблюдения смещены в южную часть региона. Дополнительные представления об объеме и составе имеющихся наблюдений можно получить из табл. 1, в которую не внесены данные многосерийных наблюдений, составляющих около 1500–2000 станций.

Таблица 1

**Помесячное и поэлементное количество наблюдений на охотоморском побережье о. Сахалин на технических носителях**

Месяц	T	S	O <sub>2</sub>	pH	Alk	PO <sub>4</sub>	PO <sub>6</sub>	SiO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>
Май	1668	1048	447	298	106	13	7	30	27
Июнь	2339	1524	757	439	127	204	5	209	208
Июль	2650	1945	885	643	103	157	24	233	182
Август	2265	1457	575	375	11	203	42	220	106
Сентябрь	1634	1303	659	563	164	146	0	308	189
Октябрь	1410	1100	592	364	134	155	18	183	170
Ноябрь	954	696	249	153	82	0	17	6	14
Декабрь	414	287	40	7	2	2	0	2	0
Всего	13334	9360	4204	2842	729	880	113	1181	896

Из приведенной сводки видно, что объем наблюдений за кислородом и pH составляет 25–30% от объема гидрологических параметров, а количество наблюдений за биогенными элементами (фосфаты, силикаты и нитраты) меньше на порядок. Причины столь значительного расхождения в количественном составе наблюдений заключаются в том, что основные гидрологические наблюдения на регулярной основе проводились судами СахУГМС и СахНИРО, в то время как комплексные исследования РАН (АН СССР) и ДВНИГМИ носили, преимущественно, эпизодический в многолетнем плане характер.

При проведении гидрометеорологических исследований, основанных на натуральных данных, возникает проблема оптимизации пространственно-временных масштабов осреднения. При отсутствии достаточного количества исходных данных использование подробной картографической сетки неизбежно должно сопровождаться увеличением временных масштабов и, наоборот, применение разреженной картографической сетки позволяет уменьшить временные масштабы осреднения. Однако, следует иметь в виду, что в том и другом случаях могут быть упущены некоторые важные особенности природных процессов.

Встает вопрос, достаточна ли имеющаяся плотность наблюдений для достоверного определения средних значений измеренных элементов при заданных пространственно-временных масштабах осреднения. Предварительные оценки показали, что на сетке 20 x 20 картографических минут

недостаточная плотность наблюдений в некоторых районах шельфовой области не позволяет использовать месячный масштаб осреднения для надежного определения среднемноголетних гидрологических характеристик. Достаточно ли наблюдений для надежного определения среднемноголетних сезонных значений на той же картографической сетке? Поквадратная освещенность наблюдениями для летнего (июль–сентябрь) и осеннего (октябрь–ноябрь) сезонов приведена на рис. 1–2.

Очевидно, что летний сезон освещен наблюдениями лучше, чем осенний. Летом в шельфовой области характерное число наблюдений в каждом картографическом квадрате составляет десятки станций, вне шельфовой области (к востоку от  $144^{\circ}40'–145^{\circ}$ ) и севернее  $54^{\circ}40'$  – до десяти. Осенью достаточно освещены наблюдениями зал. Анива и зал. Терпения, где характерное количество наблюдений составляет десятки станций на квадрат, и значительно хуже акватория, расположенная севернее, где поквадратные наблюдения единичны.

Более объективная оценка достаточности наблюдений может быть получена методами математической статистики. В качестве тестируемого параметра была выбрана плотность морской воды. Эта важная характеристика необходима для модельных и эмпирических расчетов полей течений. Кроме того, она является интегральной, так как определяется температурой и соленостью, и в этом смысле ее тестирование также весьма полезно, потому что позволяет одновременно выполнить аналогичные косвенные оценки для температуры и солености.

Плотность морской воды определялась по формуле М. Кнудсена [2] :

$$\Omega_t = Z_t + (\Omega_0 + 0.1324) (1 - A_t + B_t(\Omega_0 - 0.1324)) \quad (1)$$

где  $A_t = T (4.7867 - 0.098185 T + 0.0010843 T^2) 10^{-3}$ ;

$B_t = T (18.030 - 0.8164 T + 0.01667 T^2) 10^{-6}$ ;

$Z_t = -(T - 3.98)^2 (T + 283)/503.570/(T + 67.26)$ ;

$\Omega_0 = -0.069 + 1.4708 Cl^2 - 0.00157 Cl^3 + 0.0000398 Cl^3$ ;

$Cl$  – хлорность морской воды,  $Cl = S/1.80655$ ;

$S$  – соленость;

$T$  – температура.

Доверительная вероятность оценки математического ожидания генеральной совокупности по выборочной средней определялась в соответствии с Руководством [3]:

$$\tau = \delta \sqrt{N/\sigma}, \quad (2)$$

где  $N$  – число наблюдений;

$\delta$  – заданная точность определения математического ожидания;

$\sigma$  – среднеквадратичное отклонение;

$\tau$  – параметр интеграла Лапласа.

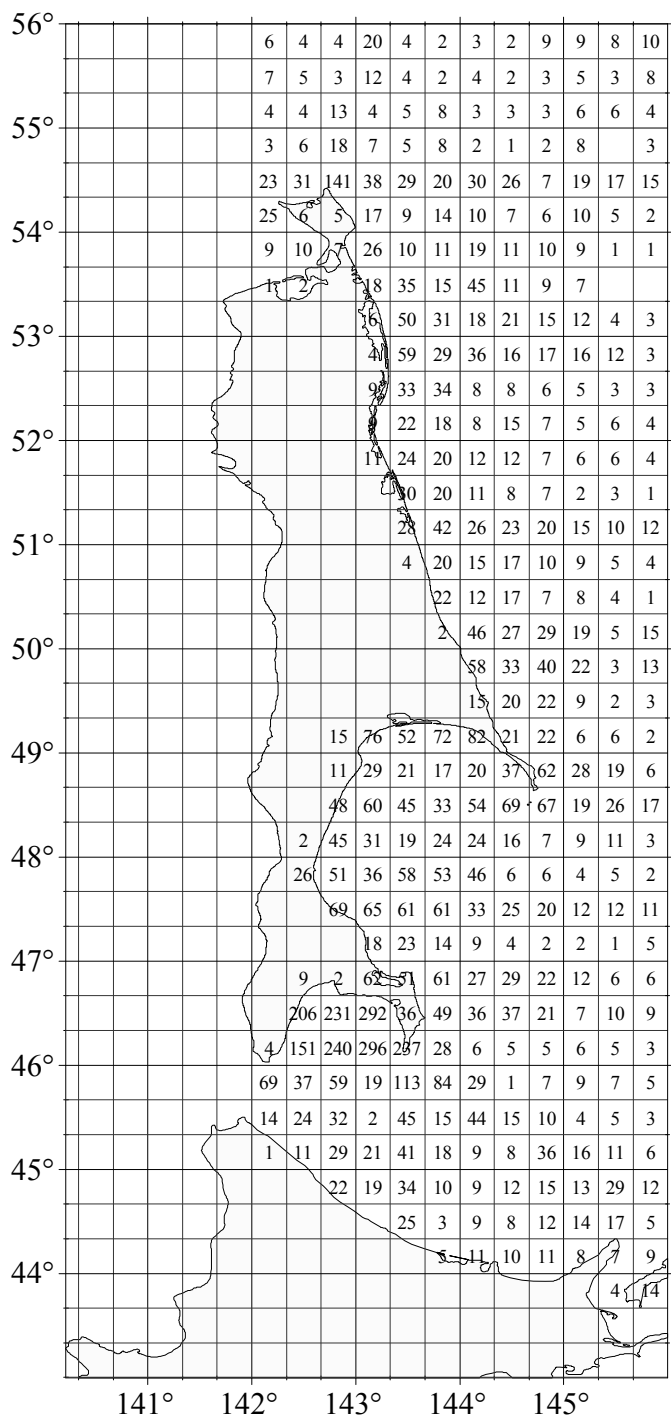


Рис. 1. Схема пространственного распределения океанографических наблюдений в летний сезон.

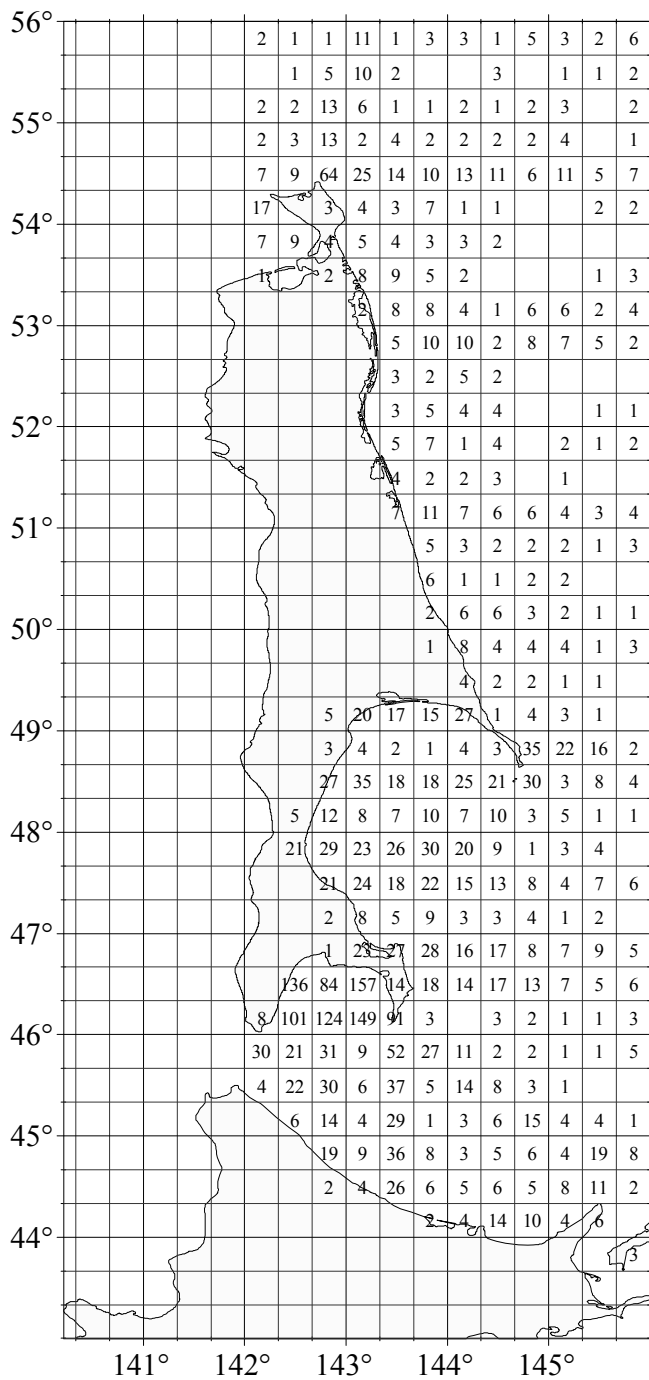


Рис.2. Схема пространственного распределения океанографических наблюдений в осенний сезон.



---

---

В некоторых квадратах количества наблюдений недостаточно для статистических оценок (менее пяти). Однако, достоверность оценки математического ожидания, как следует из выражения (2), зависит также от дисперсии. На поверхности моря наибольшие значения среднеквадратического отклонения отмечаются в прибрежных водах центрального и северного Сахалина, где они достигают 5–12 условных единиц плотности. Здесь также велики горизонтальные перепады плотности, превышая в некоторых районах 1–1.5 единиц на 20 миль. Большие перепады плотности вызваны здесь, по-видимому, распресняющим воздействием р. Амур, рек и лагун о. Сахалин. В южных и мористых районах исследуемой области типичные значения среднеквадратического отклонения составляют 0.3–0.7, а градиенты плотности обычно колеблются в пределах 0.2–0.6 ед./20 миль. С глубиной пространственно-временные перепады плотности резко уменьшаются, начиная с горизонта 20 м.

Исходя из величины наблюдаемых горизонтальных градиентов плотности, точность оценки математического ожидания (среднемногочетных сезонных значений плотности морской воды) на поверхности моря задавалась в следующих пределах:  $\delta = 0.15$  и  $0.3$  для области южнее  $51^\circ$  с.ш. и  $\delta = 0.3$  и  $0.5$  для области, расположенной севернее.

Значения доверительной вероятности, рассчитанные по одноградусным квадратам, показаны на рис. 3–4. К югу от параллели  $50^\circ$  с.ш. среднесезонные значения плотности морской воды на поверхности статистически обеспечены даже при заданной высокой точности их определения. В прибрежных водах северного Сахалина достоверность оценок резко уменьшается, особенно для летнего сезона, даже несмотря на сравнительно большое количество наблюдений в этот период времени. Как было отмечено выше, это вызвано распресняющим воздействием берегового стока.

Доверительная вероятность была рассчитана также для картографической сетки  $20 \times 20$  минут. При заданных значениях  $\delta$ , известном количестве наблюдений и вычисленном среднеквадратическом отклонении доверительная вероятность оценки математического ожидания составляет 70–99% в районе к югу от параллели  $50^\circ 20'$  с.ш. и уменьшается до 40–80% севернее. Такие же значения доверительной вероятности характерны для осеннего сезона в зал. Терпения, что отчасти обусловлено большой заданной точностью оценки. Примеры произведенных оценок приведены в табл.2.

С увеличением глубины распресняющее воздействие рек уменьшается, в результате чего уменьшается также пространственно-временная изменчивость поля плотности, а достоверность оценки ее среднемногочетных сезонных значений возрастает (табл.3).

Проведенные расчеты показывают, что достоверность оценки математического ожидания чувствительна как к изменчивости плотности, так и к количеству наблюдений. В частности, для достижения 90-процентной доверительной вероятности определения среднемногочетных сезонных значений плотности на поверхности моря в отдельных квадратах северо-восточной области рассматриваемого региона, где среднеквадратические отклонения достигают 5–12 усл. ед., требуется провести сотни наблюдений. В то же время с увеличением глубины точность и достоверность оценок резко

возрастают, что позволяет построить достоверные среднеголетние поля плотности.

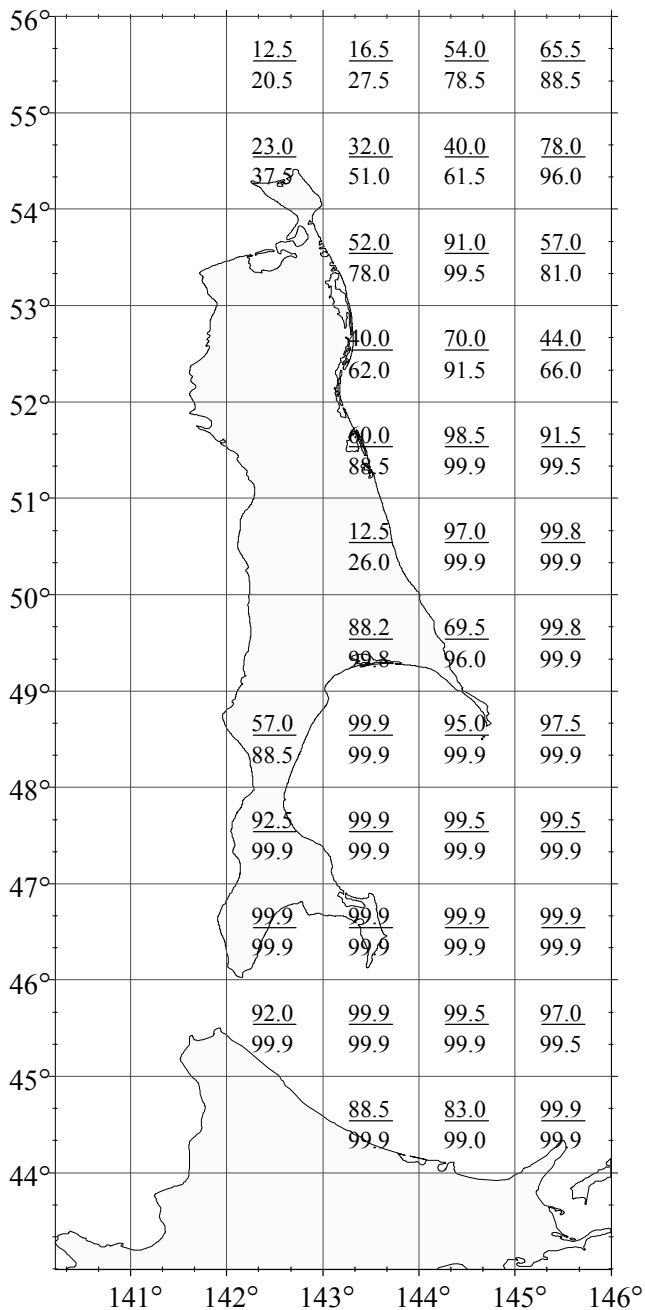


Рис.3. Значения доверительной вероятности для летнего сезона. (Южнее 51°  $\delta = 0.15/0.30$  ; севернее 51°  $\delta = 0.30/0.50$ ).

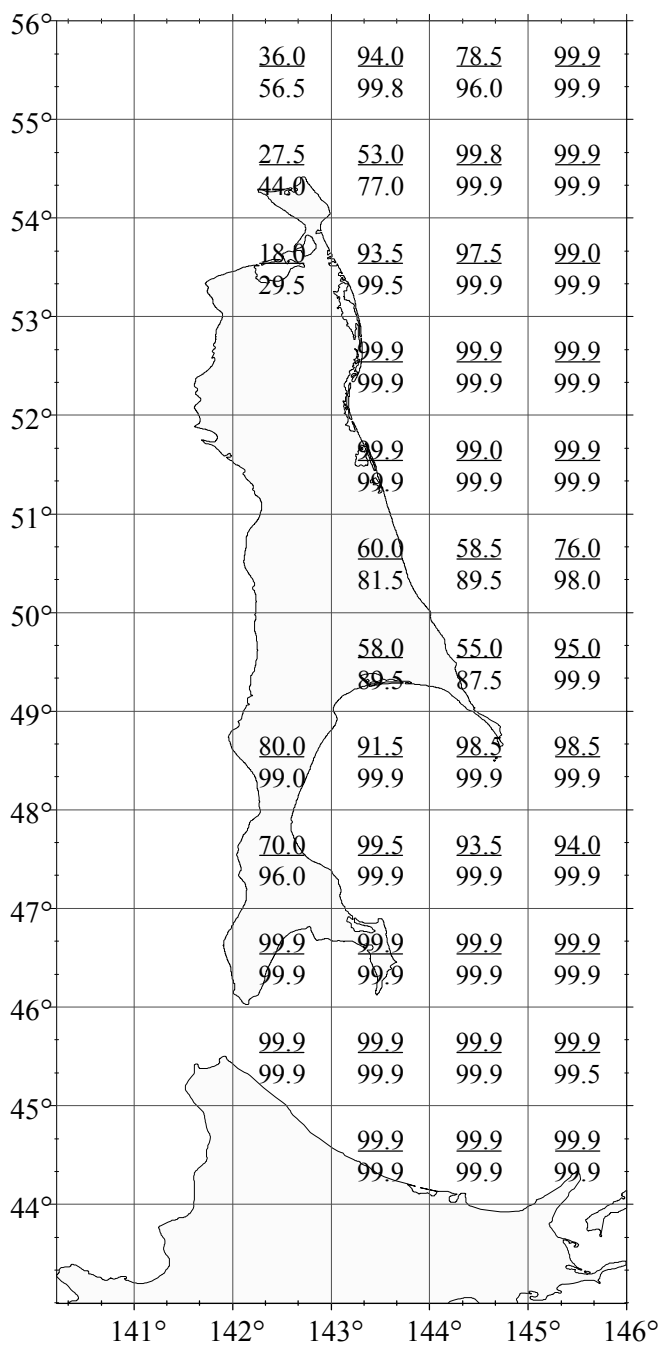


Рис.4. Значения доверительной вероятности для осеннего сезона. (Южнее 51°  $\delta = 0.15/0.30$ ; севернее 51°  $\delta = 0.30/0.50$ ).

Таблица 2

**Статистические оценки плотности морской воды для летнего сезона  
на поверхности моря**

Широта	Долгота	N	Среднее	$\sigma$	$\tau$ , %
54°20'–54°40'	142°40'–143°00'	110	17.890	11.576	35
52°40'–53°00'	143°40'–144°00'	20	21.624	3.250	51
52°40'–53°00'	144°00'–144°20'	26	22.416	2.535	69
52°40'–53°00'	144°20'–144°40'	12	22.427	3.368	39
52°40'–53°00'	144°40'–145°00'	12	22.107	2.631	49
51°40'–52°00'	143°40'–144°00'	11	23.332	1.654	68
49°40'–50°00'	144°20'–144°40'	23	24.548	1.114	79
49°00'–49°20'	143°20'–143°40'	32	22.871	0.936	93
48°20'–48°40'	143°00'–143°20'	36	23.460	0.433	99
47°40'–48°00'	142°40'–143°00'	34	23.549	0.560	99
46°40'–47°00'	144°40'–145°00'	15	24.000	0.371	99
46°20'–46°40'	144°00'–144°20'	25	23.912	0.326	99
45°00'–45°20'	143°20'–143°40'	36	23.701	0.763	98

Таблица 3

**Статистические оценки плотности морской воды для летнего  
сезона на горизонте 20 м**

Широта	Долгота	N	Среднее	$\sigma$	$\delta$	$\tau$ , %
54°20'–54°40'	142°40'–143°00'	19	25.627	0.578	0.10	53
					0.20	87
					0.30	98
52°40'–53°00'	143°40'–144°00'	18	26.005	0.480	0.10	62
					0.20	51
					0.30	71
52°40'–53°00'	144°00'–144°20'	24	25.672	0.706	0.10	51
					0.20	83
					0.30	96
52°40'–53°00'	144°20'–144°40'	11	25.680	0.317	0.10	71
					0.20	96
					0.30	99
52°40'–53°00'	144°40'–145°00'	12	25.614	0.151	0.10	98
					0.20	99
					0.30	99
51°40'–52°00'	143°40'–144°00'	9	26.037	0.193	0.10	88
					0.20	99
					0.30	99
49°40'–50°00'	144°20'–144°40'	17	25.809	0.167	0.10	98
					0.20	99
					0.30	99
49°00'–49°20'	143°20'–143°40'	16	24.836	0.636	0.10	48
					0.20	79
					0.30	94

Широта	Долгота	N	Среднее	$\sigma$	$\delta$	$\tau, \%$
48°20'–48°40'	143°00'–143°20'	33	25.076	0.608	0.10	66
					0.20	94
					0.30	99
47°40'–48°00'	142°40'–143°00'	33	25.270	0.602	0.10	66
					0.20	94
					0.30	99
46°40'–47°00'	144°40'–145°00'	16	25.495	0.432	0.10	65
					0.20	94
					0.30	99
46°20'–46°40'	144°00'–144°20'	25	25.140	0.476	0.10	71
					0.20	96
					0.30	99
45°00'–45°20'	143°20'–143°40'	31	25.291	0.277	0.10	95
					0.20	99

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пищальник В. М., Климов С. М.. Каталог глубоководных наблюдений, выполненных в шельфовой зоне острова Сахалин за период 1948–1987 гг. Южно-Сахалинск, 1991. – 166 с.
2. Океанографические таблицы. Л.: Гидрометеиздат, 1975. –478 с.
3. Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. М.: Высшая школа, 1979. –400 с.

*В. Ф. Путов, Г. В. Шевченко*

## ОСОБЕННОСТИ ПРИЛИВНОГО РЕЖИМА НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ О. САХАЛИН

### Введение

Планирование строительства промышленных объектов по освоению месторождений нефти и газа на северо-восточном побережье о. Сахалин и в прилегающей шельфовой зоне моря определяет высокие требования к расчету средних и предельных значений различных гидрометеорологических параметров, среди которых уровень моря и скорость течений являются одними из самых важных. Многие необходимые для безопасного проектирования и строительства сооружений оценки, такие как динамические и статические нагрузки (в том числе связанные с морским льдом), возможные размывы и перемещения грунтов в районе опор буровых установок и трубопроводов, распространение загрязнений при аварийных ситуациях и другие, опираются на них.

По мнению крупнейшего специалиста по приливам в Охотском море Р. А. Деевой динамика длинноволновых процессов в изучаемом районе определяется

---

---

прежде всего особенностями приливного режима, который носит здесь чрезвычайно сложный и труднообъяснимый характер.

Исследования приливного режима в данном районе затруднены из-за сильных штормов и открытых пологих песчаных берегов, что весьма осложняет организацию измерений колебаний уровня моря. Большинство имеющихся данных получено в лагунах, соединенных с морем узкими мелководными проливами, что вызывает искажения приливных волн. Тем не менее, были получены значения гармонических постоянных [7] и основанные на них оценки пространственной изменчивости характера и величины приливов [1].

Начало инженерно-геологических изысканий в районах морских месторождений нефти и газа сопровождалось наблюдениями за уровнем моря и течениями. Анализ полученных серий течений на Одоптинской, Пильтун-Астохской и Венинской площадях позволил выделить шельфовую волну (разновидность топографических волн Россби) в суточных волнах  $K_1$  и  $O_1$  [5]. Специфические особенности этого типа волн (относительно малые пространственные масштабы, большие скорости течений при умеренных колебаниях уровня, быстрое угасание при удалении от берега) во многом определяют специфику приливного режима.

К настоящему времени усилиями Дальневосточной морской инженерно-геологической экспедиции накоплен обширный материал наблюдений за уровнем и течениями, выполненных на восстановленной в 1987 г. мареографной установке в заливе Набиль, на временных береговых постах, с плавучих буровых установок и путем постановки автономных буйковых станций. Часть этих материалов была обработана авторами ранее [4]. В настоящей работе на основе детального анализа полученных натуральных данных предпринята попытка уточнить представления о приливном режиме в районе морских нефтегазоносных площадей. Помимо уровенных наблюдений проанализирована часть архивных материалов по измерению морских течений на морских нефтегазоносных площадях.

### **Материалы наблюдений за уровнем моря**

В данной работе использованы следующие материалы наблюдений:

1) ежечасные значения уровня по следующим береговым постам:

- ◆ по мареографу в заливе Набиль за 1961 и 1987–1995 гг.;
- ◆ мыс Левенштерна, июль–сентябрь 1988 г., продолжительность 1954 ч;
- ◆ залив Пильтун, июль–август 1989 г., 936 ч; июль 1988, 477 ч (прибор Ю. М. Мастерова АЭС–2);
- ◆ залив Чайво – июль–сентябрь 1982 г., 2939 ч; декабрь 1982 г., 744 ч; июль–сентябрь 1990 г., 2353 ч;
- ◆ Ныйский залив, март–апрель 1988 г., 1488 ч;
- ◆ Луньский залив, июль–сентябрь 1989 г., 1771 ч;
- ◆ мыс Беллинсгаузена, июнь–июль 1988 г., 721 ч;

2) ежечасные значения по наблюдениям со льда:

- ◆ район у входа в зал. Одопту, март–апрель 1985 г., 755 ч; март–апрель 1989 г., 808 ч;
- ◆ у входа в зал. Набиль, февраль–апрель 1987 г., 1817 ч;

- 
- 
- ♦ две серии в феврале–марте 1990 г., 792 и 912 ч;
  - 3) морские станции, выполненные на ПБУ или при помощи автономных приборов:
    - ♦ Пильтун-Астохская площадь – июнь–август 1987 г. (АЭС–2), 971 ч; август–сентябрь 1987 г., 839 ч;
    - ♦ Аркутун-Дагинская площадь – сентябрь 1989 г., 745 ч; июль–август 1991, 580 ч; август–октябрь 1991 г., 1443 ч; две пары синхронных серий – сентябрь 1996 г., 446 и 451 ч; июль 1997 г., 395 и 387 ч;
    - ♦ Чайвинская площадь – июль–август 1990 г., 658 ч (прибор Ю. М. Мастерова РВУ); сентябрь 1997 г., 468 ч;
    - ♦ Луньская площадь – сентябрь–октябрь 1984 г., 850 ч; сентябрь–октябрь 1988 г., 800 ч; июль–август 1988 г., 387 ч, и сентябрь 1989, 387 ч (РВУ);
    - ♦ Киринская площадь – август 1994 г., 494 ч;
    - ♦ Мынгинская площадь – август 1995 г., 395 ч.

Расположение пунктов наблюдения представлено на рис. 1. Из рисунка видно, что сеть береговых измерений достаточно плотно покрывает исследуемый район, морские же серии сосредоточены на Пильтун-Астохской, Аркутун-Дагинской, Чайвинской и Луньской площадях.

Все береговые наблюдения и измерения колебаний уровня с припая проводились при помощи самописца типа "Валдай", измерения на ПБУ – при помощи измерителей гидростатического давления, исключая случаи применения приборов конструкции Ю. М. Мастерова, оговоренные выше. В автономных постановках на Аркутун-Дагинской, Чайвинской, Киринской и Мынгинской площадях также использовался измеритель придонного гидростатического давления. Следует высказать несколько замечаний относительно нестандартных приборов. Регистраторы гидростатического давления различных типов не способны учитывать статическую реакцию уровня на изменения атмосферного давления, поэтому их затруднительно использовать для изучения неприливных колебаний метеорологической природы. Однако, для измерения приливов это не имеет значения, и приборы в целом работают надежно.

Акустический регистратор волнения и уровня (РВУ) работает недостаточно стабильно. Наблюдающаяся временами потеря устойчивости данных, полученных этим прибором, вероятно, связана с разрушением отражающей поверхности во время шторма (возможно, существуют и иные причины). Напротив, другой прибор конструкции Ю. М. Мастерова, АЭС–2, зарекомендовал себя как надежный и точный прибор.

Качество исходной информации оценивалось преимущественно при анализе неприливных остаточных рядов. Обычно серии содержат примерно 1–2% сбоев (вероятнее всего ошибок перфорации), которые относительно легко обнаруживаются на остаточных рядах, полученных после исключения приливов, и, соответственно, могут быть исправлены в исходных рядах. Анализ остаточных рядов позволил также обнаружить нарушения синхронизации времени, связанные с пропусками или набивкой лишних цифр. Часть этих ошибок была устранена в результате сверки таблиц, однако, часть устранить не удалось. По этой причине некоторые серии наблюдений или их фрагменты были исключены из анализа.

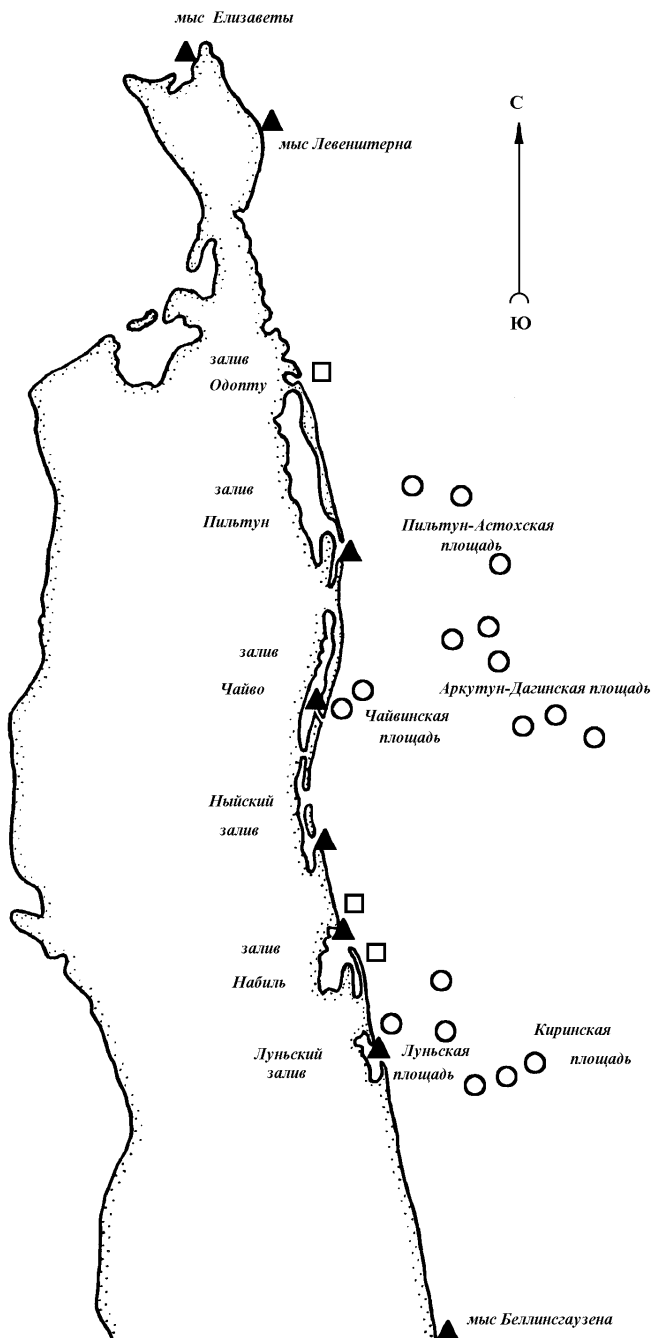


Рис. 1. Схема постановки измерителей уровня моря на северо-восточном побережье острова Сахалин. Треугольниками обозначены береговые посты, квадратами – прибрежные измерения со льда, кружками – наблюдения в море.



---

---

В целом качество исходной информации можно оценить как достаточно высокое, что позволяет с доверием относиться к полученным результатам расчетов.

### **Приливы в заливе Набиль. Сезонная изменчивость гармонических постоянных**

Гармонические постоянные приливов в зал. Набиль рассчитывались методом наименьших квадратов по мареографным наблюдениям 1961 и 1987–95 гг. Для 1961 и 1988 гг. рассчитывались параметры 67 гармоник, однако, с учетом результатов расчета в дальнейшем было решено ограничиться семью гармониками: четырьмя суточными ( $Q_1$ ,  $O_1$ ,  $P_1$ ,  $K_1$ ) и тремя полусуточными ( $N_2$ ,  $M_2$ ,  $S_2$ ). Амплитуды остальных гармоник малы (не превышают 2 см) и их роль в формировании приливного режима незначительна. Аналогичный набор гармоник определялся и по другим сериям наблюдений. Поскольку по коротким сериям гармоники  $P_1$  и  $K_1$  не разделяются, оценка гармоники  $P_1$  производилась при помощи специальных поправок. Амплитудный коэффициент по приливному потенциалу равен 0.33 и сдвиг фаз – нулю. Подобное соотношение амплитуд и фаз волн  $P_1$  и  $K_1$  получается при гармоническом анализе годовых серий наблюдений – отношение амплитуд близко к 1/3, а сдвиг фаз не превышает  $4^\circ$ .

Поправка на  $K_1$  вводилась для всех без исключения рядов уровня и течений, так как для корректного определения  $P_1$  необходимо иметь наблюдения длительностью более полугода. Аналогичная проблема разделения волн  $O_1$  и  $Q_1$  возникает при продолжительности наблюдений менее трех недель. Значительная доля имеющихся материалов относится именно к такому случаю. По результатам анализа полных годовых рядов на мареографной станции, а также в близлежащих пунктах с продолжительными наблюдениями (Москальво, Поронайск) амплитудный коэффициент составлял около 0.2, а сдвиг фаз достигает  $20^\circ$ . Эти соотношения также применялись к коротким сериям уровня и течений. В некоторых случаях вводились поправки и на полусуточные гармоники  $N_2$  и  $M_2$ , величины амплитудных и фазовых поправок между которыми определялись из годового ряда наблюдений в зал. Набиль аналогичным образом.

Следует указать на существенные отличия величины амплитуд основных гармоник между рассчитанными по 1961 году и по восьмидесятым годам (амплитуда  $O_1$  уменьшилась на 4 см,  $K_1$  – на 2.4 см,  $M_2$  – на 1.5 см). Фазы приливных составляющих, напротив, увеличились на несколько градусов. На наш взгляд, это связано с изменениями топографии рассматриваемого района – смещением песчаной косы в северном направлении и соответствующим увеличением длины пролива Асланбегова (около 1.5 км за 25 лет).

Изменчивость гармонических постоянных прилива проявляется не только в межгодовом плане, но и при расчете по различным месяцам. Первоначально предполагалось, что это обусловлено изменчивостью высоты песчаного бара в районе соединения пролива с морем и влиянием льда, накапливающегося в проливе. Определенные трудности анализа приливного режима при положении мареографных станций в мелководных заливах и бухтах имеют место практически всегда [2, 3]. Однако, расчет гармонических постоянных приливов в зал. Набиль для каждого месяца за несколько лет выявил вполне определенную закономерность и повторяемость их изменчивости [9]. Причем, если вариации

---

---

амплитуд в целом не очень значительны, то вариации фаз достаточно существенны, к тому же имеют закономерный, повторяющийся характер. Для гармоник  $M_2$  максимум фазы приходится на июль, а минимум – на март при общем размахе изменения около  $20^\circ$ . Суточные гармоники имеют локальный максимум в марте и основной – в сентябре при характерном размахе вариации около  $15^\circ$ . Данный эффект не может быть отнесен только к влиянию местных прибрежных изменений, поскольку наблюдался также в заливе Чайво, на открытом береговом посту в районе м. Левенштерна и на Аркутун-Дагинской площади. Так что результат оценки гармонических постоянных в определенной степени зависит от времени проведения измерений. Это характерно не только для береговых пунктов, но и для морских станций, что в определенной мере затрудняет анализ пространственной изменчивости амплитуд и фаз приливных волн.

### **Пространственная изменчивость гармонических постоянных, характера и величины приливов**

Согласно результатам предыдущих работ, выполненных авторами настоящей статьи [4], пространственные масштабы главных суточных волн на северо-восточном побережье о. Сахалин различны, что отражается в распределении их дисперсии (рис. 2). Кроме того, отличается положение “пучности” отмеченных волн: амплитуды  $K_1$  максимальны в районе Пильтун-Астохской – Аркутун-Дагинской площадей, а  $O_1$  – в районе зал. Набиль – Луньская.

Противоречием представлению о влиянии шельфовых волн на формирование приливного режима является излом фаз у суточных волн, который наблюдается в районе зал. Чайво. Особенно странным оказался тот факт, что для полусуточной волны  $M_2$  изменчивость фаз носит идентичный характер, хотя существование шельфовых волн в полусуточном диапазоне частот невозможно. Таким образом, предыдущие исследования [4] оставили открытыми целый ряд вопросов, подчеркнув сложный характер приливного режима на северо-восточном шельфе Сахалина.

Для более детального анализа пространственной изменчивости гармонических постоянных основных приливных волн рассчитанные значения были нанесены на график в зависимости от широты точки измерения уровня моря (рис. 3, 4, 5). Поскольку северо-восточный берег о. Сахалин ориентирован приблизительно меридионально, такое представление позволяет оценить изменения характеристик приливных волн вдоль берега. Иной, по сравнению с рис. 2, выбор шкалы продиктован исключительно вопросами удобства: для каждой точки измерения фиксировались ее координаты, вычисление же расстояний требовало дополнительных расчетов, не изменяющих смысла рисунка. Фазы на рисунках приведены к условному нулю, амплитуды нормированы на некоторую фиксированную величину.

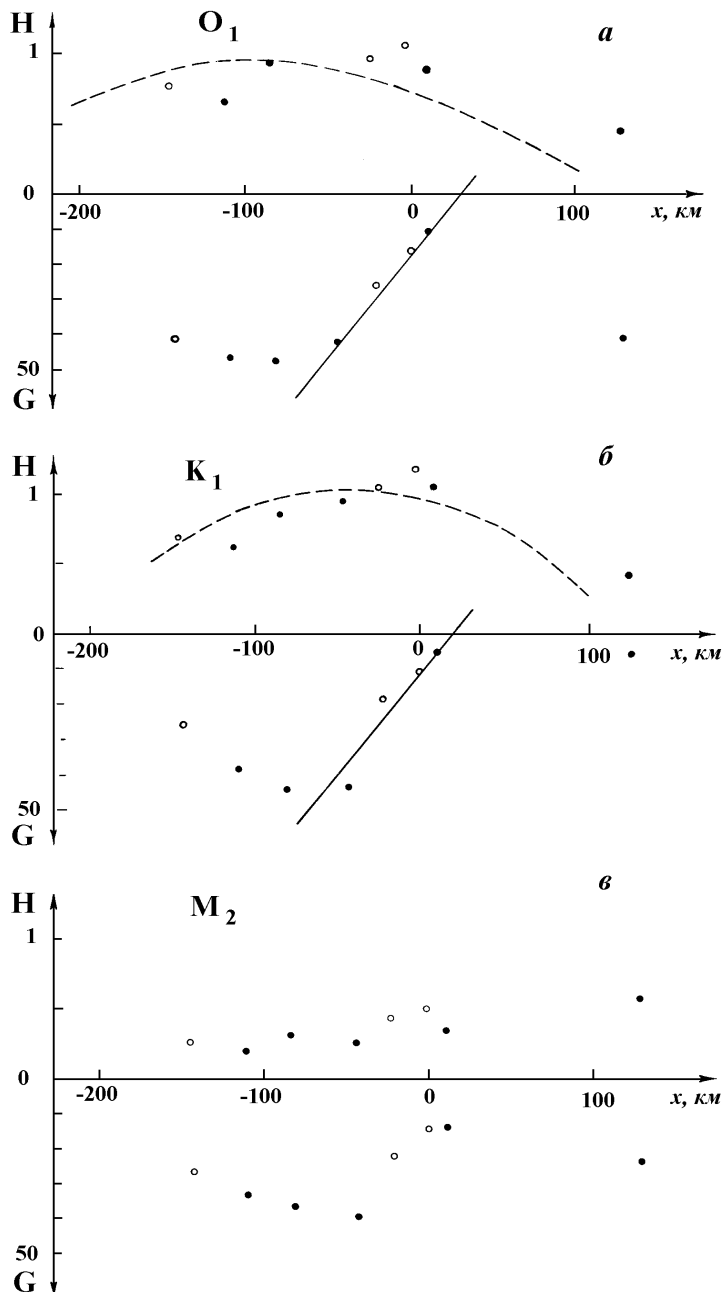


Рис. 2. Изменения нормированных амплитуд (H) и относительных фаз (G, град) вдоль северо-восточного побережья острова Сахалин (ноль соответствует положению станции на Пильтун-Астохской площади, положительное направление – на север). Полые кружки соответствуют морским станциям (Пильтун-Астохская, Аркутун-Дагинская, Луньская), залитые – береговым пунктам (м. Левенштерна, заливах Пильтун, Чайво, Ныйский, Набиль). Показано распределение вдоль берега амплитуд (штриховая линия) и фаз (сплошная) суточных волн, связанное с влиянием шельфовой составляющей согласно [5].

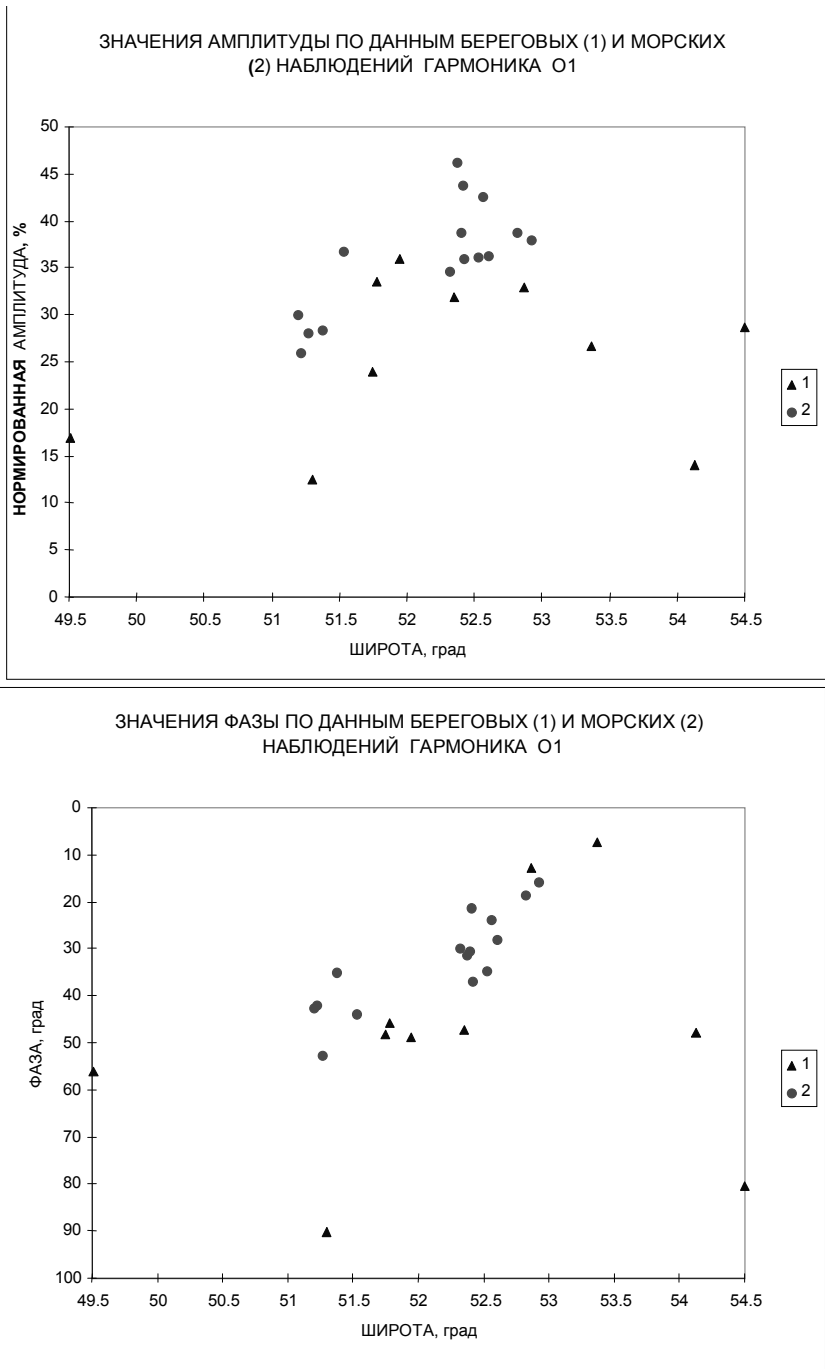


Рис. 3. Значения гармонических постоянных амплитуды и фазы для  $O_1$  по данным береговых (1, включая измерения со льда) и морских (2) наблюдений. Крайняя точка справа соответствует м. Елизаветы, слева – м. Беллинсгаузена.

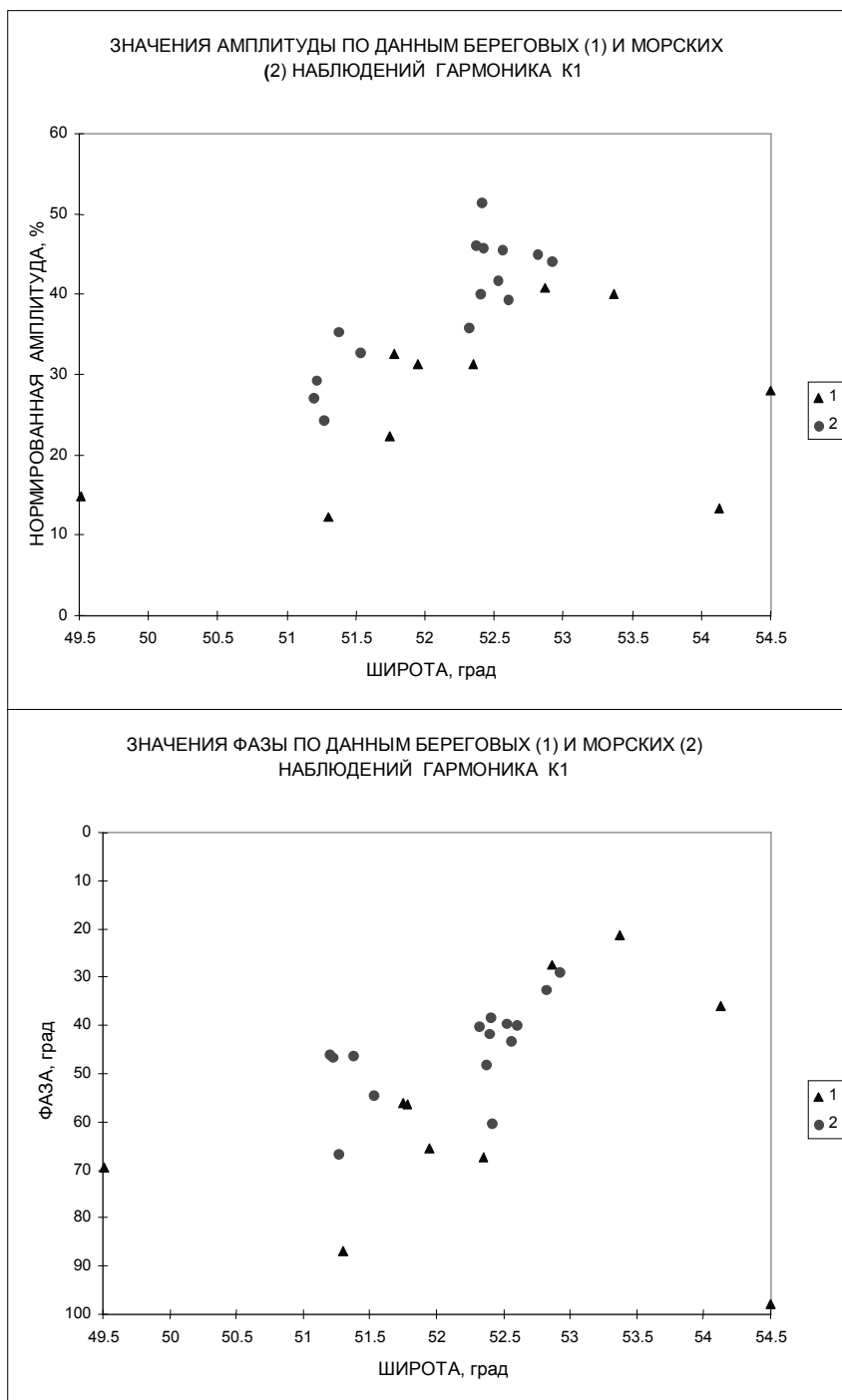


Рис. 4. Значения гармонических постоянных амплитуды и фазы для  $K_1$  по данным береговых (1, включая измерения со льда) и морских (2) наблюдений. Крайняя точка справа соответствует м. Елизаветы, слева – м. Беллинсгаузена.

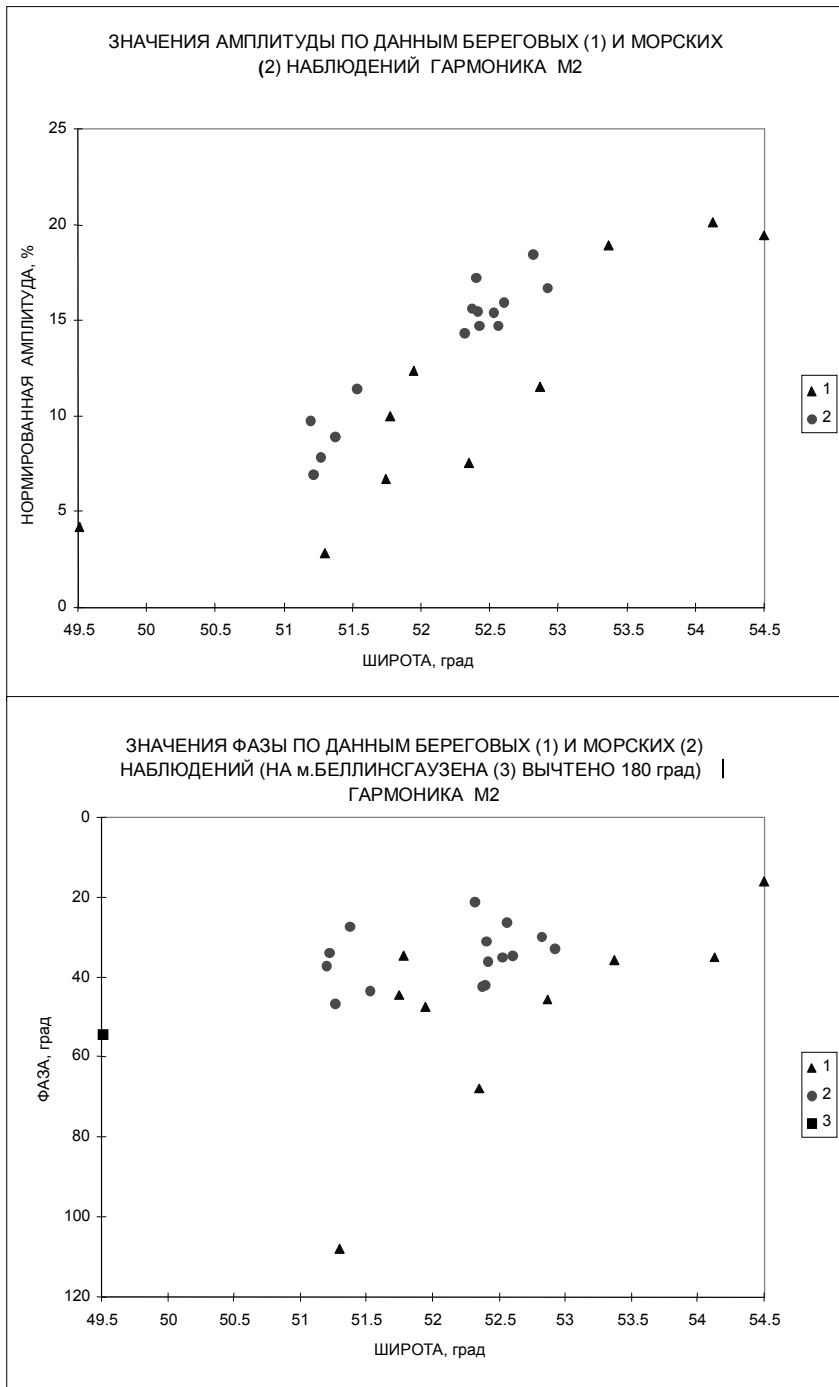


Рис. 5. Значения гармонических постоянных амплитуды и фазы для  $M_2$  по данным береговых (1, включая измерения со льда) и морских (2) наблюдений. Фаза на м. Беллинсгаузена выделена квадратом, так как уменьшена на  $180^\circ$ .

---

---

Несомненно, новые данные, полученные у залива Одопту, а также вблизи входов в заливы Набиль и Чайво с морской стороны, позволили внести определенную ясность в картину приливного режима на северо-восточном шельфе о. Сахалин. Прежде всего следует отметить, что в заливах Чайво и Луньский, соединенных с морем наиболее узкими и мелководными проливами, происходят очень значительные искажения приливов, проявляющиеся в уменьшении амплитуд и увеличении фаз основных гармоник. В заливах Пильтун и Набиль, где проливы более глубокие, наблюдается в основном уменьшение амплитуд, а фазовые искажения незначительны). Наиболее отчетливо влияние мелководья сказывается на поведении волны  $M_2$ .

В свете новых данных можно утверждать, что фаза  $M_2$  на глубоководных участках шельфа устойчива и колеблется незначительно во всем изучаемом районе, быстрые изменения ее (сдвиг в районе м. Беллинсгаузена составляет примерно  $180^\circ$ ) начинаются южнее Луньской площади. Амплитуда этой гармоники монотонно убывает в направлении с севера на юг, причем в открытой части шельфа не так быстро, как у побережья. Наибольшие вариации амплитуды волны  $M_2$ , составляющие около 10 см на  $1^\circ$  широты, наблюдаются между Пильтун-Астохской и Луньской площадями.

Пространственная изменчивость суточных гармоник носит более сложный характер. Очень большие изменения гармонических постоянных наблюдаются в северной части изучаемого района: амплитуда  $O_1$  в районе м. Елизаветы и зал. Одопту имеет близкие значения, а у м. Левенштерна – в два раза меньше; значения фазы уменьшаются примерно на  $70^\circ$ . Аналогичный характер носят изменения параметров гармоники  $K_1$ , только амплитуда к зал. Одопту возрастает сильнее. Подобные изменения параметров суточных волн у северной оконечности о. Сахалин обнаруживаются также при численном моделировании приливов в Охотском море [10, 11] и обусловлены, вероятно, их дифракцией.

Фазы обеих гармоник к югу от зал. Одопту убывают в южном направлении с одинаковой скоростью, что согласуется с представлениями о влиянии шельфовой волны, описанными в [5]. К югу от Луньской площади, где влияние шельфовой волны уменьшается, вариации фаз не так значительны. Новые данные показывают также, что смена направления изменения фазы отмечается лишь в одном месте, между м. Левенштерна и зал. Одопту. Представление о наличии второго места, расположенного, согласно рис. 2, в районе зал. Чайво [4], было следствием искажений амплитуд и фаз суточных гармоник в мелководном и узком проливе Кале.

Анализ изменения амплитуд существенно осложняется неоднородностью значений в близлежащих точках, что особенно проявляется на Аркутун-Дагинской и Луньской площадях. Однако, здесь вариации обусловлены скорее всего не временем измерений, а расстоянием от берега. Экстремальные значения амплитуд отмечены в Чайвинской площади при глубине в точках постановки станций 12 и 20 м. На Луньской площади наибольшие амплитуды получены также на наиболее близкой к берегу станции в 1984 г. Это хорошо согласуется с теоретическими оценками особенностей шельфовых волн, амплитуда которых быстро уменьшается по мере удаления от берега в открытое море. Не противоречат полученным результатам и модельные расчеты вариаций амплитуд суточных волн в рассматриваемом районе, выполненные в [5].

Следствием описанной выше изменчивости гармонических постоянных являются значительные вариации характера и величины приливов. Характер прилива определялся по отношению сумм двух основных суточных и полусуточных гармоник:

$$R = (H_{O1} + H_{K1}) / (H_{M2} + H_{S2}) \quad (1)$$

Для характеристики величины использовались максимальные и минимальные значения приливного уровня, предвычисленные по 1987 году – году “больших приливов” (ниже этот момент обсуждается подробнее). Рассчитанные значения приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Предвычисленные значения максимального и минимального приливного уровня (от нулевого среднего) и отношение амплитуд суточных и полусуточных гармоник (R) для различных станций.**

Станция	X <sub>max</sub>	X <sub>min</sub>	R
Ныврово			2.2
мыс Левенштерна	41	-64	1.1
зал. Одопту	90	-116	3.0
Пильтун-Астохская	98	-136	3.9
зал. Пильтун	94	-114	4.6
Аркутун-Дагинская	89	-128	4.1
Чайвинская	110	-150	5.1
зал. Чайво	81	-94	7.0
зал. Ныйский	87	-107	5.8
зал. Набиль	64	-77	6.0
Набиль–море	86	-105	5.1
Луньская	73	-93	5.0
Кириная	66	-82	4.1
зал. Луньский	36	-38	7.0
мыс Беллинсгаузена	51	41	4.8

В исследуемом районе наблюдается преобладание суточных приливов, кроме станции на м. Левенштерна, где амплитуды суточных и полусуточных волн практически равны. Отношение *R* возрастает в направлении с севера на юг: вблизи зал. Одопту его величина составляет около 3, в районе зал. Пильтун – около 4, южнее – около 5. Величина отношения возрастает, если рассматривать гармоники, рассчитанные по наблюдениям в заливах, что, вероятно, связано с указанным выше более быстрым затуханием полусуточных волн. Это проявляется во всех случаях сравнения характера прилива внутри и вне заливов Пильтун, Чайво, Набиль и Луньский.

Сравнение значения *R* в прибрежных и более мористых точках наблюдений (Чайвинская – Аркутун-Дагинская и Луньская – Кириная площади) показывает



---

---

его уменьшение с удалением от берега что, вероятно, связано с более значительным затуханием шельфовой волны, участвующей в формировании суточных приливных волн.

Изменчивость величины приливов, рассматриваемая здесь как размах между максимальными и минимальными предвычисленными значениями, также достаточно велика. Обращает на себя внимание и существенная асимметрия между высокими и низкими водами – величина понижения уровня на 20–30 см превосходит его повышение. Наименьший размах колебаний приливного уровня наблюдается у м. Левенштерна на севере района, после чего резко, более чем в два раза, увеличивается к зал. Одопту. Наибольшие приливные колебания наблюдаются на Пильтун-Астохской и Чайвинской площадях, южнее величина приливов уменьшается в сторону Луньской площади и далее к м. Беллингаузена. Величина приливов также уменьшается при удалении от берега, что особенно ярко видно при сравнении размаха колебаний в районах Чайвинской (260 см) и Аркутун-Дагинской (217 см) площадей. Причиной этому, вероятно, служит придонное трение в более мелководной прибрежной зоне, сильно демпфирующее шельфовые волны, характерной особенностью которых являются большие скорости течений у берега.

### **Межгодовая и внутригодовая изменчивость приливов**

На северо-восточном шельфе о. Сахалин наблюдается внутригодовая и межгодовая изменчивость величины приливов, характерная для районов с преобладанием суточных волн. Типичная картина внутригодовой изменчивости в таком случае – максимальные колебания, приходящиеся на период летнего и зимнего солнцестояния, и минимальные колебания, соответствующие дням равноденствия. В межгодовой изменчивости величин приливов важную роль играет цикл с периодом 18.6 лет, соответствующий времени обращения узла лунной орбиты. Примеры проявления этого цикла в зал. Набиль и Ныйский приведены в работе [8]. Рассмотрим количественные характеристики обоих видов вариаций для других пунктов изучаемого района.

Для выявления роли межгодовой изменчивости были вычислены ежегодные значения дисперсии приливов, а также величины максимального и минимального уровня путем предвычисления приливов за период 1950–2000 гг. для м. Левенштерна, Пильтун-Астохской и Луньской морских площадях (рис. 6).

Как видно из рисунка, величина приливов колеблется незначительно у берегов п-ова Шмидта, где амплитуды суточных и полусуточных гармоник близки вследствие противоположного характера их межгодовой изменчивости. На двух других станциях 19-летний цикл играет существенную роль – величина колебаний приливных максимумов на Луньской и Пильтун-Астохской площадях составляет 20–21 см и 25–26 см, соответственно; диапазон изменения минимумов несколько больше: 21–22 см и 28–30 см. Настоящее время относится к периоду малых приливов как и 1959–1960, 1978–1979 гг., большие приливы наблюдались в 1949–1950, 1968–1969, 1987–1988 гг. Отношение величины энергии (дисперсии) колебаний в период максимальных и минимальных приливов составляет около 1.7.

Для характеристики внутригодовой изменчивости рассмотрим рис. 7, на котором изображены суточные значения минимальных и максимальных высот приливного уровня на станциях м. Левенштерна и Пильтун-Астохская за 1987 г.

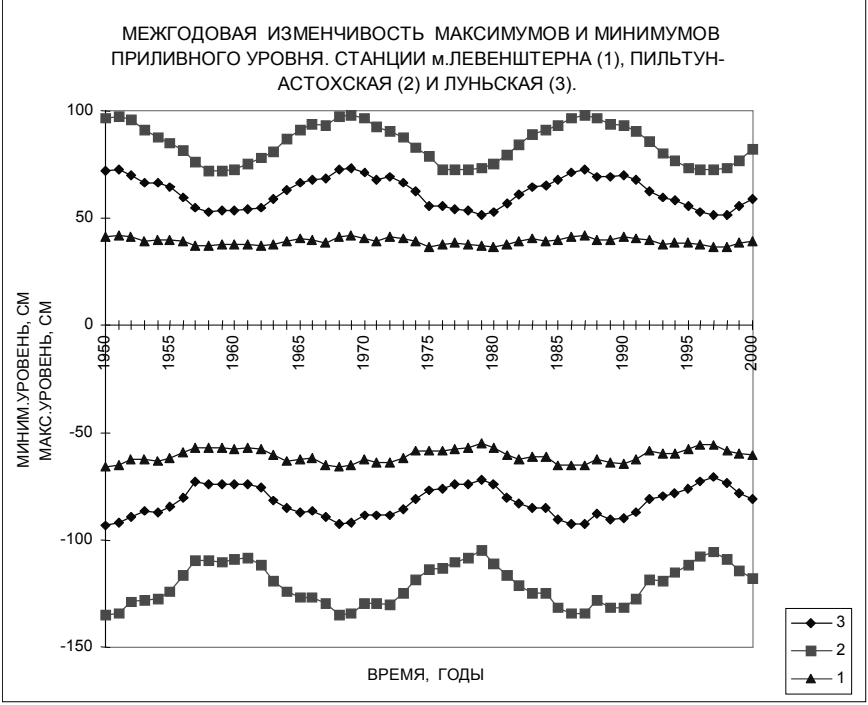


Рис. 6. Межгодовая изменчивость энергии (дисперсии) приливов, а также максимальных и минимальных годовых уровней для станций м. Левенштерна (1), Пильтун-Астохская (2) и Луньская (3).

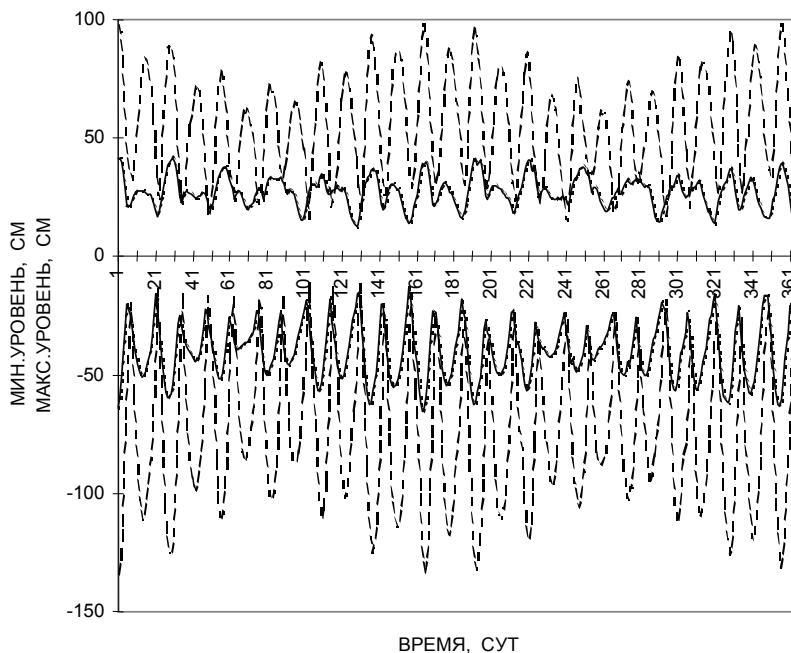


Рис. 7. Суточные максимальные и минимальные приливные уровни за 1987 год для станций м. Левенштерна (сплошная линия) и Пильтун-Астохская (пунктирная).

На фоне ярко выраженных полумесячных неравенств приливов на Пильтун-Астохской площади отчетливо просматривается низкочастотная модуляция с увеличением колебаний в июне–июле и декабре–январе и уменьшением в марте и сентябре. Масштаб модуляции составляет около 25 см для максимумов и около 35 см для минимумов. На м. Левенштерна такой картины, особенно для максимумов, обнаружить не удалось, хотя для всего района с месторождениями нефти и газа в целом характерна внутригодовая изменчивость, аналогичная представленной для Пильтун-Астохской площади.

### Временные и пространственные градиенты приливного уровня

Для целого ряда практических задач, в том числе при расчете ледовых нагрузок, важное значение имеют такие характеристики, как пространственные и временные градиенты приливного уровня.

Для характеристики последней величины, обычно именуемой скоростью подъема и спада уровня, рассмотрим табл. 2, которая иллюстрирует максимальные значения этих скоростей для каждого месяца (скорость спада приведена в скобках со знаком минус). В первом столбце таблицы помещены величины, рассчитанные по исходному ряду ежечасных значений уровня на мареографной станции в зал. Набиль за 1987 год, во втором – по предвычисленному приливному на тот же период. Из таблицы видно, что приливы играют определяющую роль в изменениях уровня поверхности, по крайней мере, это явно наблюдается в год больших приливов. Вероятно, в годы малых приливов относительная роль метеорологических вариаций и иных видов

длинноволновых процессов может быть больше. Однако, учитывая, что амплитуды приливных волн в шельфовой зоне моря больше, чем в заливе, при оценке скоростей подъема и спада можно ограничиться приливной компонентой. В конечном итоге несложно оценить суммарные скорости методом композиции распределений приливной и метеорологической составляющей [4, 8].

В табл. 2 приведены также максимальные для каждого месяца значения этих величин для Пильтун-Астохской и Луньской площадей, полученные по предвычисленному за 1987 г. приливному ряду. Характерная структура внутригодовой изменчивости приливов распространяется и на величины скоростей изменения уровня во времени. Интересно отметить, что в зал. Набиль и на Луньской площади максимальные скорости спада приливного уровня превышают скорости подъема, в то время, как в северной части рассматриваемого района, на Пильтун-Астохской площади, в месяцы сильных приливов скорости подъема выше, а в месяцы малых – наоборот.

Таблица 2.

**Максимальные за месяц значения скорости подъема (спада) наблюдаемого и приливного уровня моря в заливе Набиль, а также предвычисленного приливного для Пильтун-Астохской и Луньской площадей в 1987 году (см/час).**

Месяц года	Залив Набиль		Пильтун-Астохская	Луньская
	исходный	Прилив		
январь	24 (-26)	17 (-20)	35 (-34)	20 (-25)
февраль	23 (-22)	13 (-16)	26 (-29)	16 (-21)
март	17 (-16)	12 (-15)	25 (-27)	15 (-19)
апрель	21 (-19)	15 (-17)	30 (-29)	19 (-21)
май	27 (-27)	17 (-19)	34 (-32)	21 (-23)
июнь	24 (-23)	17 (-20)	36 (-34)	22 (-24)
июль	24 (-23)	16 (-19)	34 (-34)	20 (-23)
август	25 (-25)	15 (-18)	29 (-31)	18 (-22)
сентябрь	21 (-20)	13 (-16)	26 (-27)	16 (-20)
октябрь	24 (-21)	15 (-17)	31 (-29)	19 (-21)
ноябрь	26 (-28)	17 (-19)	34 (-32)	21 (-23)
декабрь	26 (-25)	17 (-20)	35 (-33)	22 (-24)

Вдольбереговые градиенты приливного уровня рассматривались по отношению к Пильтун-Астохской площади на больших расстояниях (от м. Левенштерна и Луньской площади) и на малых (зал. Одопту и Аркутун-Дагинская). Для оценки уклонов уровенной поверхности попарно вычитались предвычисленные на 1987 г. ряды и для полученных разностей определялись максимальные и минимальные значения для каждого месяца. Оказалось, что для вдольбереговых перепадов уровня также характерна типовая структура внутригодовой изменчивости, поэтому обсудим наибольшие значения, приходящиеся на декабрь–январь и июнь–июль. Максимальные уклоны уровня отмечаются между Пильтун-Астохской площадью и м. Левенштерна (78 см при более высоком уровне на севере и 85 – на юге). При равном расстоянии до Луньской площади величины разности уровней на этом промежутке береговой черты несколько меньше (53 и 58 см соответственно).

---

---

Представляется интересным проследить изменчивость наклонов уровня в направлении поперек шельфа. Аналогичные вычисления позволили получить значения 25 см на прибрежной станции Чайвинской площади (глубина 12 м) и 33 см, в более удаленной точке наблюдений (Аркутун-Дагинская площадь, глубина 39 м). Здесь разности уровня обусловлены прежде всего изменениями амплитуд в поперечном направлении, так как отклонения фаз незначительны.

Рассмотренные примеры показывают, что в районе морских месторождений нефти и газа наблюдаются быстрые изменения приливного уровня во времени и значительные уклоны в пространстве как вдоль берега, так и поперек шельфа, что следует учитывать при оценке динамических и статических нагрузок льда на опоры, трубопроводы и иные сооружения и объекты.

### Приливные течения

Инженерно-геологической экспедицией на северо-восточном шельфе о. Сахалин был выполнен большой объем наблюдений за течениями. Информационная база содержит несколько сотен серий, большинство из которых были подвергнуты лишь поверхностному экспресс-анализу. Для анализа приливных течений авторами были отобраны наиболее качественные ряды продолжительностью не менее 12 суток (предпочтение отдавалось более надежным измерителям иностранного производства типа МТС или Toho Dentan). Обработаны следующие серии, полученные на морских площадях:

- ◆ Одоптинская – сентябрь 1976 г., 360 ч; июль 1983 г., 413 ч;
- ◆ Пильтун-Астохская – сентябрь 1987 г., 340 ч (поверхностный горизонт) и 700 ч (придонный горизонт); июль–август 1989 г., 1140 ч (поверхностный горизонт) и 715 ч (придонный горизонт);
- ◆ Аркутун-Дагинская – август 1978 г., 450 ч; июль–август 1979 г., 380 ч; сентябрь–октябрь 1996 г., 978 ч;
- ◆ Чайвинская – июль–август 1978 г., 370 ч; август 1981 г., 316 ч и 540 ч; август 1986 г., 440 и 720 ч; три серии в 1990 г. – июль, 540 ч, август–сентябрь, 780 ч, сентябрь–октябрь, 740 ч;
- ◆ Луньская – сентябрь 1989 г., 290 ч (поверхностный горизонт) и 370 ч (придонный горизонт).

По всем указанным сериям методом наименьших квадратов рассчитывались гармонические постоянные 7 основных гармоник. При этом использовались описанные ранее поправки на неразделяющиеся волны. Как отмечалось в [5], главной особенностью приливных течений в рассматриваемом районе является их ярко выраженный суточный характер – большие полуоси эллипсов течений для гармоник  $O_1$  и  $K_1$  для большинства станций составляют 35–40 см/с, а для основной полусуточной волны  $M_2$  – 3–5 см/с. Такое соотношение обусловлено влиянием шельфовой волны, участвующей в формировании суточных приливов. Выше отмечалось, что большие скорости течений являются специфической особенностью этих волн.

На рис. 8, 9 представлены эллипсы течений для гармоник  $K_1$  и  $O_1$ , по одному для каждой площади. Исключение составляет Аркутун-Дагинская площадь, где в 1979 г. одна серия была выполнена на относительно больших глубинах (около 48 м), все остальные измерения производились вблизи побережья.

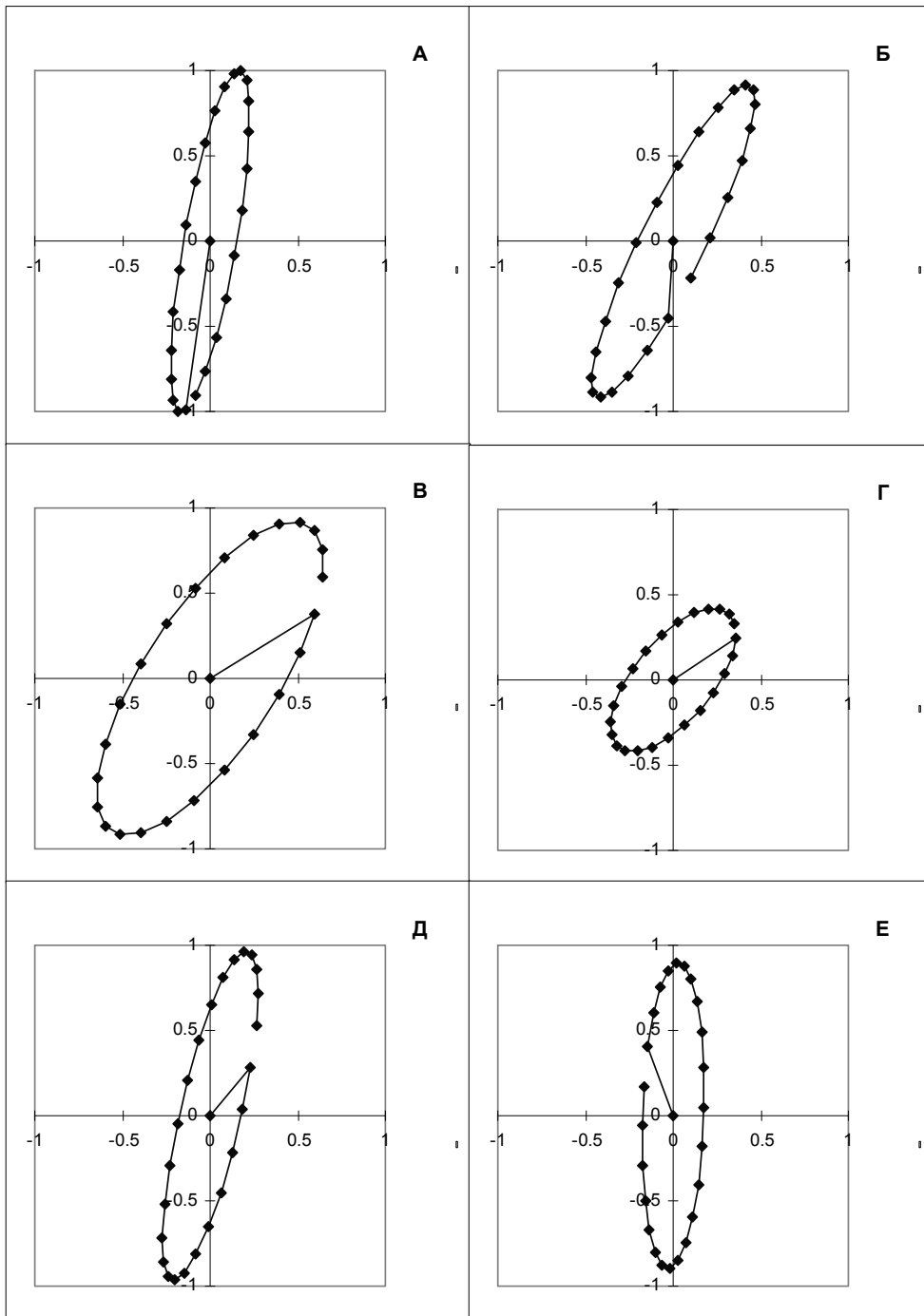


Рис. 8. Приливные эллипсы гармоники K1 (амплитуды нормированы, фазы приведены к условному нулю) для морских площадей Одоптинская (а), Пильтун-Астохская (б), Аркутун-Дагинская (в, г – удаленная станция 1979 г), Чайвинская (д) и Луньская (е). Направления вектора в приливном цикле отмечены через 1 час.

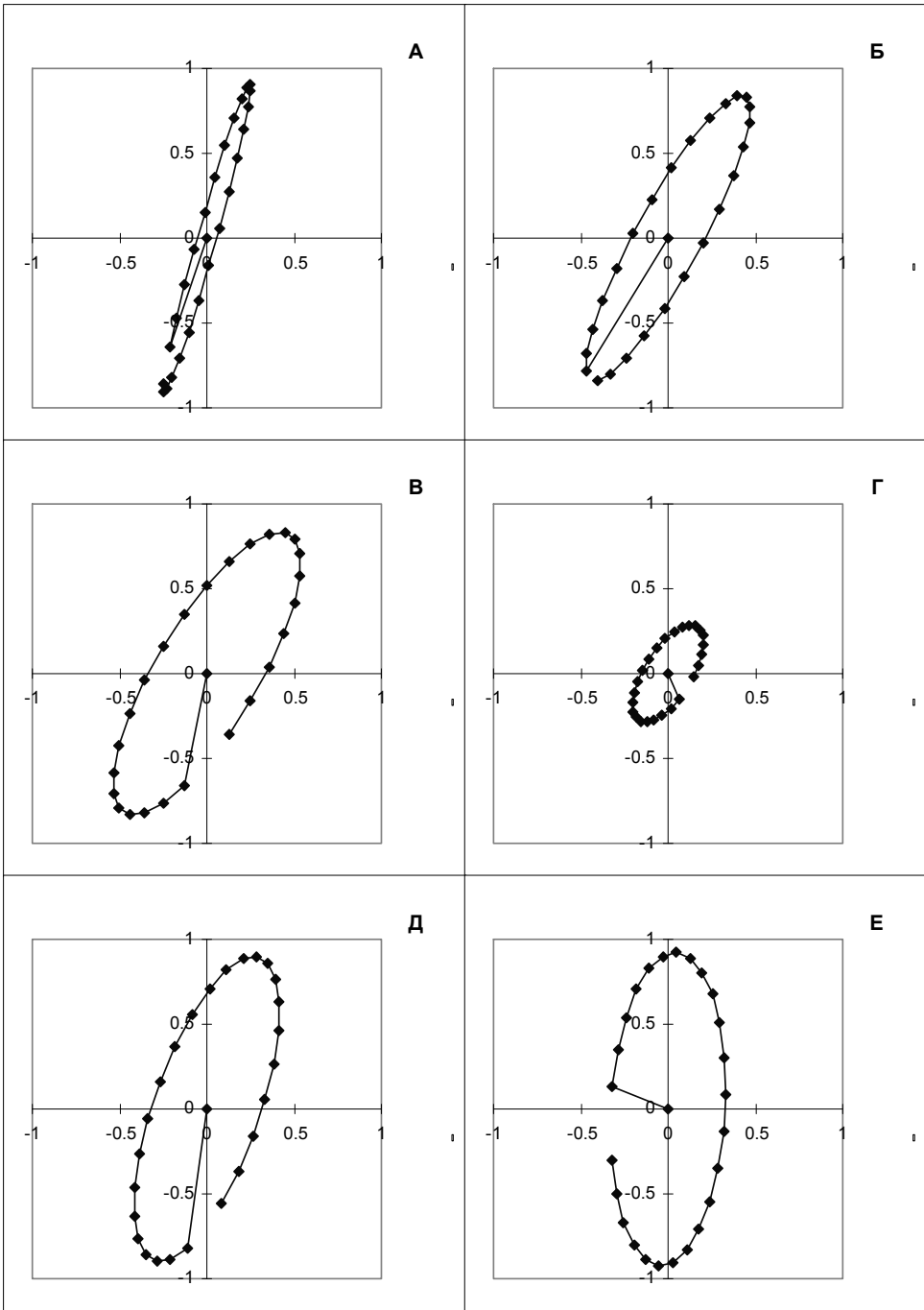


Рис. 9. Приливные эллипсы гармоники  $O_1$  (амплитуды нормированы, фазы приведены к условному нулю) для морских площадей Одоптинская (а), Пильтун-Астохская (б), Аркутун-Дагинская (в, г – удаленная станция 1979 г), Чайвинская (д) и Луньская (е). Направления вектора в приливном цикле отмечены через 1 час.

---

---

Данные результаты относятся только к поверхностному горизонту. Анализ вертикальной структуры приливного потока, имеющий важное самостоятельное значение, выходит за рамки данной работы. Заметим только, что влияние донного трения, обычно существенное для шельфовых волн [6] и выражающееся в значительном уменьшении большой полуоси приливных эллипсов и повороте ее против часовой стрелки с глубиной, наблюдается практически на всех станциях. Роль донного трения уменьшается с увеличением глубины в районе измерения.

Эллипсы суточных течений в поверхностном слое имеют на разных площадях примерно одинаковую овальную форму – они вытянуты (отношение малой и большой полуосей для большинства серий составляют 0.1–0.25) и ориентированы почти меридионально (большие оси эллипсов образуют углы около  $30^\circ$  с линией берега). Направление обхода вектора в приливном цикле – по часовой стрелке.

Наиболее характерная особенность течений на северо–восточном шельфе Сахалина – быстрое изменение фазы вдоль берега (положения вектора течения в начальный момент времени, показанное линией, проведенной из начала координат). Из рисунков видно, что данный эффект характерен для обеих суточных гармоник. Если в момент времени, выбранный в качестве начального, на Одоптинской площади течение на частоте  $K_1$  ориентировано на юго–запад, то на Пильтун-Астохской – на юг, на Аркутун-Дагинской – северо-восток, а на Луньской – на северо-запад. Аналогичная картина характерна и для гармоники  $O_1$ . Из этого следует, что для двух точек на побережье Сахалина, расположенных на относительно небольшом расстоянии друг от друга, приливное течение может иметь противоположное направление – навстречу друг другу, либо в противоположные стороны, причем при достаточно большой скорости потока.

На Луньской площади к настоящему времени обработана только одна серия, причем самая короткая из всех, подвергнутых анализу. Недостаточная уверенность в высокой точности оценок гармонических постоянных в наиболее удаленной от других точке измерений не позволяет корректно рассчитать фазовые скорости и оценить дисперсию суточных шельфовых волн. Этому вопросу в будущем предполагается посвятить отдельное исследование. Заметим также, что на всех площадях, кроме Луньской, для гармоники  $K_1$  характерны более высокие скорости течений, что согласуется с результатами анализа пространственной изменчивости амплитуд колебаний уровня и теоретическими представлениями [5], рис. 2.

Обратим внимание на изменения параметров приливных эллипсов в поперечном шельфу направлении (рис. 8, 9 (в, г, д)). Положение точек измерения мало отличалось по широте, в то время, как глубины варьировали от 21 до 47 м. Можно констатировать, что с приближением к берегу приливные эллипсы несколько сжимаются и разворачиваются параллельно береговой линии, а по мере удаления от берега происходит резкое уменьшение скоростей течений. Причем, форма эллипса, а также положение вектора в начальный момент на средних и больших глубинах практически идентичны, особенно для гармоники  $K_1$ . Это также хорошо согласуется с представлениями о быстром затухании шельфовых волн по мере удаления от берега.



---

---

## Заключение

Анализ большого объема данных наблюдений за уровнем моря на береговых и морских станциях на северо-восточном побережье о. Сахалин позволил существенно уточнить картину приливного режима в данном районе.

Представления Р. А. Деевой о быстром, характерном для амфидромий, изменении изофаз гармоник  $M_2$  и выводы авторов [4] о сложном, пилообразном их характере на северо-восточном шельфе Сахалина обусловлены мелководными эффектами при измерениях в заливах; морские наблюдения обнаруживают устойчивые значения фазы от северной оконечности острова до Луньской площади. Амплитуды  $M_2$  монотонно убывают в направлении с севера на юг.

Некоторые сомнения возникли у авторов в отношении описанного А. Б. Рабиновичем и А. Е. Жуковым [5] немонотонного изменения фаз волн  $O_1$  и  $K_1$  в зал. Чайво. При анализе береговых и морских наблюдений за уровнем вдоль северо-восточного шельфа о. Сахалин удалось установить, что указанный эффект является лишь следствием мелководности. В целом, многочисленные морские измерения указывают на монотонный характер изменения фаз суточных волн от зал. Одопту до Луньской площади.

Обнаруженные различия во вдольбереговом распределении амплитуд суточных гармоник, а также существенное уменьшение амплитуд колебаний уровня и скоростей приливных течений в направлении поперек шельфа хорошо согласуются с представлениями о влиянии шельфовых волн на формирование суточных приливов.

Анализ наблюдений в районе м. Елизаветы, м. Левенштерна и зал. Одопту позволил выявить значительные и сложные изменения суточных волн у берегов п-ова Шмидта. Вероятно, это связано с дифракцией их у северной оконечности острова, которая проявляется также при численных расчетах [10, 11].

Полученные количественные оценки демонстрируют важное значение межгодовой изменчивости величины приливов – колебания максимальных годовых уровней составляют 20–25 см, а минимумов – 25–30 см. Исключение представляет район у м. Левенштерна, где межгодовая изменчивость практически отсутствует.

Существенны также внутригодовые вариации приливов, модуляция месячных максимумов достигает 25 см, а минимумов – 35 см.

В работе рассчитаны значения скоростей подъема (спада) уровня, а также уклонов поверхности моря во вдольбереговом и поперечном направлениях, достигающие в исследуемом районе значительных величин.

Полученные оценки могут быть полезны при проектировании объектов промышленного освоения месторождений нефти и газа на северо-восточном шельфе Сахалина.

Необходимо подчеркнуть, что сложный характер распространения приливных волн в исследуемом районе делает его весьма неудобным объектом для численного гидродинамического моделирования, при котором необходимо максимально учитывать имеющуюся информацию о значениях гармонических постоянных в различных точках района.

Авторы выражают благодарность Л. Н. Като (Сахалинское управление Росгидромета), предоставившую для анализа серию наблюдений за уровнем в районе Ныврово.

---

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас океанов. Тихий океан. ГУКО МО СССР, 1974. – 302 с.
2. Дуванин А. И. Приливы в море. Л.: Гидрометеоиздат, 1960. – 390 с.
3. Некрасов А. В. Приливные волны в окраинных морях. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 247 с.
4. Путов В. Ф., Шевченко Г. В. Пространственно-временная изменчивость колебаний уровня моря на северо-восточном шельфе острова Сахалин // Метеорология и гидрология. 1991. № 10. С. 94–101.
5. Рабинович А. Б., Жуков А. Е. Приливные колебания на шельфе острова Сахалин // Океанология. 1984. №2. С. 238–244.
6. Рабинович А. Б., Шевченко Г. В. О двухтактном механизме диссипации приливной энергии в океане // Доклады АН СССР. 1984. Т.276. № 6. С. 1470–1473.
7. Таблицы приливов. Воды азиатской части СССР и прилегающих зарубежных районов. Л.: Гидрометеоиздат, 1960.
8. Шевченко Г. В., Файн А. В., Рабинович А. Б., Мансуров Р. Н. Оценка экстремальных колебаний уровня моря в районе устья реки Тымь. – В кн.: Природные катастрофы и стихийные бедствия в дальневосточном регионе. Т.2. Владивосток, 1990. С. 253–276.
9. Шевченко Г. В. О квазипериодической сезонной изменчивости гармонических постоянных приливов в северо-западной части Охотского моря // Метеорология и гидрология. 1996. № 8. С. 90–99.
10. Kowalik Z., Polykov I. Tidally generated continental shelf waves in the Sea of Okhotsk // J. of Phys. Oceanography (в печати).
11. Sudzuki K., Kanari S. Tides in the Sea of Okhotsk // Marine Sci. 1986. Vol. 18. №. 7. P. 445–463.

***А. В. Савельев***

## **ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ УРОВНИ НА ОТЕЧЕСТВЕННОМ ПОБЕРЕЖЬЕ БЕРИНГОВА МОРЯ**

Экстремальные уровни определяются сочетанием, главным образом, приливных и сгонно-нагонных колебаний. В предустьевых зонах существенную роль в процессе формирования экстремальных уровней играют колебания стока рек. При появлении таких уровней возникает опасность затопления прибрежных районов, угроза разрушения промышленных объектов и построек, расположенных вблизи берега.

Вышесказанное подтверждается конкретными примерами. 8–10 декабря 1950 г. в районе пос. Анадырь на стадии полного прилива при ураганном ветре 30–40 м/с нагонными водами были затоплены склады и дома, построенные на берегу. 18–19 октября 1961 г. там же под действием ураганного ветра уровень воды в лимане поднялся на 1.5 м выше своего невозмущенного состояния. Под напором воды и льда был поврежден пирс Анадырского морского порта, разбито о причал 3 баржи; из-за поднятия уровня на второй рыббазе льдом полностью снесен причал, смыта часть грузов. 21 ноября 1982 г. возникла катастрофическая ситуация в Анадырском заливе. В результате сильного урагана в Анадырском лимане вода поднялась на 2 м выше среднего уровня. При этом была затоплена и вышла из строя городская электростанция. Ущерб составил 14 млн. руб. в ценах 80-х годов.

Перечисленные примеры свидетельствуют о том, что знание режима экстремальных уровней крайне необходимо для обеспечения безопасности народнохозяйственных объектов, нормальной работы торгового и рыболовного флота, при строительстве прибрежных гидротехнических сооружений. Тем не менее, в настоящее время практически отсутствуют какие-либо обобщенные характеристики экстремальных уровней отечественного побережья Берингова моря. Настоящая работа является первой попыткой подобного обобщения.

Наблюдения за уровнем свидетельствуют о том, что на преобладающей части западного побережья Берингова моря его максимальные отклонения выше среднего и ниже среднего соизмеримы и варьируют в пределах 1.1–1.4 м. Исключение составляет Анадырский залив, в котором максимальные понижения уровня моря составляют 2 м, в то время, как максимальные повышения уровня над средним могут достигать 2.4–2.5 м (табл.1 ).

Таблица 1

**Периоды и дискретность рядов наблюдений за уровнем, его экстремальные отклонения в пунктах Берингова моря.**

**Условные обозначения:  $h_{\text{макс}}$ ,  $h_{\text{мин}}$  – максимальные отклонения уровня выше и ниже среднего соответственно.**

Пункт наблюдений	Период наблюдений	4-х срочные	Ежечас-ные	$h_{\text{макс}}$ (см)	$h_{\text{мин}}$ (см)
о. Ратманова	1944–1983 гг.	17	23	134	-124
б. Провидения	1944–1971, 1973–1990 гг.	–	46	144	-149
Эвбекинот	1956, 1958–1960, 1965–1971, 1974–1990 гг.	5	23	248	-202
Анадырь	1972–1990 гг.	10	9	243	-195
Угольная	1949–1971, 1979–1990 гг.	–	34	176	-110
б. Лаврова	1967–1968, 1975–1980, 1985–1986 гг.	10	–	126	-140
о. Беринга	1956–1960, 1963, 1973–1990 гг.	9	15	143	-136
Усть-Камчатск	1968–1987 гг.	–	20	112	-145

Значительные колебания уровня в указанном районе обусловлены относительной мелководностью, а также блокирующим влиянием стока р. Анадырь, что благоприятствует развитию больших величин приливов и сгонно-нагонных эффектов.

Наблюдения показывают, что наибольшая повторяемость и интенсивность максимальных повышений уровня приходится на осенне-зимний период (преимущественно октябрь–январь), что связано, главным образом, с развитием в это время активного циклогенеза над всеми дальневосточными морями (табл. 2).

Следует заметить, что ледовый режим не оказывает существенного влияния на время появления и величины максимальных повышений уровня. Так, в Анадырском заливе средняя дата окончательного замерзания поверхности моря приходится на начало ноября – середину декабря. Тем не менее, наибольшая повторяемость и высота максимальных отклонений уровня отмечается именно в эти месяцы.

Аналогичная ситуация характерна и для большинства других районов отечественного побережья Берингова моря. По-видимому, это связано с эластичностью ледового покрова, который способен совершать колебательные движения синхронно с изменениями уровня моря. Известно, что отклик уровня на перепады атмосферного давления при наличии ледяного покрова идентичен отклику уровня в безледный период.

Таблица 2

**Повторяемость ( в % ) экстремальных годовых уровней в пунктах Берингова моря (в числителе – повторяемость максимальных, в знаменателе – минимальных уровней).**

Пункт наблюдений	МЕСЯЦЫ											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
о. Ратманова	$\frac{3}{22}$	$\frac{5}{15}$	$\frac{0}{12}$	$\frac{0}{15}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{0}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{16}{0}$	$\frac{5}{0}$	$\frac{33}{3}$	$\frac{27}{10}$	$\frac{5}{10}$
б. Провидения	$\frac{27}{20}$	$\frac{6}{10}$	$\frac{3}{7}$	$\frac{0}{12}$	$\frac{0}{5}$	$\frac{3}{0}$	$\frac{0}{3}$	$\frac{5}{10}$	$\frac{8}{0}$	$\frac{19}{15}$	$\frac{19}{15}$	$\frac{9}{3}$
Эгвекино	$\frac{24}{9}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{0}{13}$	$\frac{3}{9}$	$\frac{0}{9}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{6}{0}$	$\frac{0}{8}$	$\frac{17}{17}$	$\frac{0}{9}$	$\frac{32}{22}$	$\frac{18}{0}$
Анадырь	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{7}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{7}{0}$	$\frac{14}{0}$	$\frac{0}{7}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{21}{43}$	$\frac{37}{29}$	$\frac{14}{7}$
Угольная	$\frac{30}{30}$	$\frac{5}{17}$	$\frac{0}{10}$	$\frac{0}{17}$	$\frac{0}{10}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{10}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{10}{0}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{35}{10}$	$\frac{10}{7}$
Усть-Камчатск	$\frac{27}{8}$	$\frac{14}{15}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{0}{45}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{5}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{13}{0}$	$\frac{18}{12}$	$\frac{18}{8}$
о. Беринга	$\frac{38}{7}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{5}{0}$	$\frac{0}{7}$	$\frac{5}{17}$	$\frac{0}{28}$	$\frac{5}{10}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{9}{7}$	$\frac{38}{24}$

В отличие от максимальных уровней повторяемость минимальных годовых уровней Берингова моря не обнаруживает отчетливо выраженного сезонного хода. На различных участках побережья минимальные уровни могут формироваться в разные месяцы, что, вероятно, связано с гидрометеорологическими условиями и физико-географическими особенностями района.

На севере (о. Ратманова) наибольшая повторяемость минимальных уровней приходится на зимне-весенний период. На преобладающей части Анадырского залива минимальные уровни наиболее часто наблюдаются в осенне-зимний период и обусловлены сгонными явлениями во время сильных штормов и уменьшением объема стока р. Анадырь. В южной части моря выделить какой-либо характерный период с наибольшей повторяемостью минимальных уровней невозможно.

Для практических целей наибольший интерес представляют экстремальные уровни редкой повторяемости. Однако продолжительность рядов наблюдений за уровнем в Беринговом море не превышает нескольких десятков лет (см. табл.1) , в связи с чем получить значения максимальных и минимальных уровней повторяемостью один раз в 50 лет, один раз в 100 лет и т. д. по таким коротким выборкам невозможно. Поэтому возникает необходимость аппроксимации эмпирической кривой распределения экстремумов теоретической функцией,

---

---

посредством которой можно экстраполировать эмпирическую кривую в область редких повторяемостей.

Для решения указанной задачи использовался метод, основанный на статистическом анализе годовых экстремумов уровня, подробно изложенный в [1, 3–5]. Метод базируется на асимптотической теории экстремальных значений и состоит из следующих этапов [1] :

1) исключение однонаправленных тенденций (тренда) из рядов экстремальных уровней;

2) учет нерепрезентативности рядов экстремальных уровней путем совместного анализа рядов для пунктов, расположенных в одном районе (определение однородности выборок посредством критерия однородности и построение региональной эмпирической функции распределения, которая отражает особенности, присущие индивидуальным кривым распределения экстремумов);

3) аппроксимация и экстраполяция эмпирической функции распределения теоретической на основе двойного экспоненциального закона;

4) вычисление максимальных отметок уровня и оценка их точности.

Существенную трудность при получении оценок экстремальных уровней редкой повторяемости представляло отсутствие в большинстве пунктов достаточно длинных рядов, частые перерывы в наблюдениях. Наиболее продолжительный ряд наблюдений не превышал 46 лет. Недостающие, из-за перерывов в наблюдениях, экстремумы восстанавливались по уравнениям связи с рядами экстремальных уровней близлежащих пунктов, либо с рядами тех пунктов, в которых имеются наиболее продолжительные наблюдения (б. Провидения)

Следует также обратить внимание, что за исключением отдельных пунктов, в которых производились только ежечасные наблюдения, почти повсеместно ряды наблюдений неоднородны: в различные годы имели место как ежечасные, так и срочные наблюдения. Наличие срочных наблюдений, безусловно, сказывается на экстремальных значениях уровня моря, в какой-то степени искажая их истинные значения, а следовательно, понижая их достоверность.

По результатам наблюдений за уровнем моря в 8 пунктах побережья региональную функцию распределения максимальных и минимальных уровней удалось построить только для Анадырского залива, используя однородные выборки годовых экстремумов в б. Провидения, Эгвекиноте и Угольной. С целью исключения влияния тренда на величины экстремумов анализировались ряды отклонений максимальных и минимальных годовых высот уровня моря от соответствующих среднегодовых значений. Для остальных пунктов определены индивидуальные функции распределения экстремумов. Поскольку уровеньный режим Анадыря несколько отличается от других пунктов, расположенных в этом районе, для него также определялась индивидуальная функция распределения экстремумов.

В табл. 3–4 представлены оценки экстремальных отклонений уровня редкой повторяемости, рассчитанные на основе полученных функций. За оптимальный период повторяемости, на который можно экстраполировать функцию распределения экстремумов, был выбран учетверенный период наблюдений в соответствии с рекомендациями [6]. С учетом наибольшей продолжительности

рядов наблюдений за уровнем (46 лет), использованных для расчетов, предельный период повторяемости не может превышать 100 лет.

Таблица 3

**Экстремальные отклонения уровня выше среднего ( $h_p$ ) редкой повторяемости для пунктов Берингова моря (см).  $Q$  – обеспеченность (в %),  $T$  – период повторяемости (годы),  $\sigma(h_p)$  – доверительный интервал (см). В скобках указаны высоты уровня, выраженные в Балтийской системе высот (ГВО СССР, 1977 г.), за исключением пунктов, отмеченных звездочкой, в которых высоты уровня выражены в условной системе.**

Пункт наблюдений	Q	20	10	4	2	1
	T	5	10	25	50	100
о. Ратманова *	$h_p$	<u>112(221)</u>	<u>124(233)</u>	<u>138(247)</u>	<u>149(258)</u>	<u>160(269)</u>
	$\sigma(h_p)$	4	6	8	9	12
б. Провидения *	$h_p$	<u>122(266)</u>	<u>131(275)</u>	<u>141(285)</u>	<u>149(293)</u>	<u>157(301)</u>
	$\sigma(h_p)$	3	4	6	8	9
Эгвекино́т	$h_p$	<u>231(698)</u>	<u>247(714)</u>	<u>267(734)</u>	<u>282(749)</u>	<u>297(764)</u>
	$\sigma(h_p)$	6	8	12	14	17
Анадырь	$h_p$	<u>178(631)</u>	<u>205(658)</u>	<u>238(691)</u>	<u>263(716)</u>	–
	$\sigma(h_p)$	17	23	32	39	
Угольная	$h_p$	<u>143(582)</u>	<u>153(592)</u>	<u>166(605)</u>	<u>175(614)</u>	<u>184(623)</u>
	$\sigma(h_p)$	4	5	7	9	10
Усть-Камчатск *	$h_p$	<u>93(245)</u>	<u>100(252)</u>	<u>109(267)</u>	<u>115(267)</u>	<u>122(274)</u>
	$\sigma(h_p)$	4	6	8	9	11
о. Беринга	$h_p$	<u>107(558)</u>	<u>114(565)</u>	<u>123(574)</u>	<u>129(580)</u>	–
	$\sigma(h_p)$	5	6	9	11	

Таблица 4

**Экстремальные отклонения уровня ниже среднего ( $h_p$ ) редкой повторяемости для пунктов Берингова моря (см). Условные обозначения аналогичны табл.3.**

Пункт наблюдений	Q	20	10	4	2	1
	T	5	10	25	50	100
о. Ратманова *	$h_p$	<u>-112(-18)</u>	<u>-108(-25)</u>	<u>-121(-38)</u>	<u>-130(-47)</u>	<u>-139(-56)</u>
	$\sigma(h_p)$	4	5	7	9	11
б. Провидения*	$h_p$	<u>-113(5)</u>	<u>-121(-3)</u>	<u>-131(-13)</u>	<u>-139(-21)</u>	<u>-146(-28)</u>
	$\sigma(h_p)$	3	4	6	7	8
Эгвекино́т	$h_p$	<u>-189(255)</u>	<u>-202(242)</u>	<u>-219(225)</u>	<u>-232(212)</u>	<u>-245(199)</u>
	$\sigma(h_p)$	5	7	10	12	14
Анадырь	$h_p$	<u>-168(263)</u>	<u>-189(242)</u>	<u>-211(220)</u>	<u>-230(201)</u>	–
	$\sigma(h_p)$	12	17	23	28	
Угольная	$h_p$	<u>-99(312)</u>	<u>-106(305)</u>	<u>-116(295)</u>	<u>-122(289)</u>	<u>-129(282)</u>
	$\sigma(h_p)$	3	4	5	6	7
Усть-Камчатск *	$h_p$	<u>-101(27)</u>	<u>-108(20)</u>	<u>-116(12)</u>	<u>-122(6)</u>	<u>-129(-1)</u>
	$\sigma(h_p)$	4	5	7	9	11
о. Беринга	$h_p$	<u>-135(309)</u>	<u>-142(302)</u>	<u>-151(293)</u>	<u>-157(287)</u>	–
	$\sigma(h_p)$	5	7	9	11	

При проектировании, как правило, необходимы не столько отклонения уровня от его невозмущенного (среднего) положения, сколько экстремальные высоты уровня относительно нуля поста данного пункта, которые рассчитываются согласно формуле:

$$H_P = H_{\text{СР.ЭКСТР}} + h_P \pm \sigma(h_P), \quad (1)$$

где  $H_{\text{СР.ЭКСТР}}$  – наибольшее (для максимумов), либо наименьшее (для минимумов) из среднегодовых высот уровня, имевших место в многолетнем ряду наблюдений;

$h_P$  – экстремальное отклонение уровня от среднего заданной вероятности превышения;

$\sigma(h_P)$  – ошибка определения величины  $h_P$  (доверительный интервал).

Поэтому в табл. 3–4 совместно с экстремальными отклонениями уровня в скобках приводятся соответствующие высоты уровней, полученные согласно выражению (1).

Экстремальные уровни, как отмечалось ранее, рассчитывались без учета тренда. Однако, при строительстве капитальных долгосрочных прибрежных гидротехнических сооружений влияние тренда может оказаться весьма существенным. Согласно [1], при наличии тренда в каком-либо районе в выражение (1) необходимо вводить поправку, которая определяется из соотношения:

$$\Delta h = C \times t, \quad (2)$$

где  $C$  – скорость вековых изменений уровня в см/год;

$t$  – проектный срок службы сооружения.

Для выделения из многолетних колебаний уровня Берингова моря однонаправленных тенденций использовалась методика В. А. Зенина [2, 5]. Результаты расчетов представлены в табл. 5.

**Таблица 5**

**Средние скорости многолетних изменений (трендов) уровня Берингова моря ( $C$ ) и среднеквадратические ошибки их расчета ( $\pm\sigma_C$ ).**

Пункт наблюдений	Период наблюдений	$C$ (см/год)	$\pm\sigma_C$ (см/год)
о. Ратманова	1944–1983 гг.	+0.16	0.05
б. Провидения	1944–1990 гг.	+0.23	0.06
Эгвекино	1956–1990 гг.	+0.23	0.07
Анадырь	1959–1990 гг.	+0.45	0.16
Угольная	1949–1990 гг.	+0.28	0.06

Примечание: В большинстве пунктов наблюдений ряды среднегодовых уровней имеют пропуски (см. табл.1). Поэтому в ряде пунктов недостающие значения средних уровней, необходимые для расчета скоростей трендов, восстанавливались по уравнениям связи их со среднегодовыми значениями уровня в близлежащих пунктах, где имеются надежные продолжительные непрерывные ряды наблюдений.

Анализ величин  $S$  свидетельствует о положительном тренде в многолетнем ходе уровня на всей исследуемой акватории Берингова моря. Причем, в отдельных районах величина скорости вековых изменений уровня настолько значительна, что ее необходимо принимать во внимание.

Как правило, наибольший практический интерес представляют максимальные уровни редкой повторяемости, поскольку именно они отнесены к разряду особо опасных явлений, наносящих ущерб прибрежной полосе. С этой позиции интересно оценить вклад отдельных составляющих в формирование максимальных уровней. Для этого из рассчитанных значений максимальных суммарных уровней редкой повторяемости вычитались значения наибольшего возможного по астрономическим причинам прилива ( $h_{МПР}$ ), взятые из архивных материалов ДВНИГМИ.

Следует заметить, что для отдельных пунктов со значительной сезонной изменчивостью гармонических постоянных,  $h_{МПР}$  выбиралось за те периоды, когда в данном районе отмечается наибольшая повторяемость и интенсивность нагонов. Так, для Усть-Камчатска использовалось значение  $h_{МПР}$ , рассчитанное за период ноябрь–апрель, на который приходится 82% всех нагонов. Аналогично, значение  $h_{МПР}$  для Анадыря и о. Ратманова было выбрано за зимний период.

Полагалось, что остаточная часть максимума определяется, в основном, нагонными повышениями уровня, а в районах, расположенных вблизи устьев рек, сочетанием нагона со стоком. Результаты такой оценки иллюстрирует табл. 6.

Таблица 6.

**Роль отдельных составляющих в формировании максимальных подъемов уровня редкой повторяемости в Беринговом море.**

Пункты наблюдений	Характеристика	Период повторяемости (годы)			
		50		100	
		h (см)	доля (%)	h (см)	Доля (%)
о. Ратманова	прилив нагон	9	6	9	5
		140	94	151	95
б. Провидения	прилив нагон	62	42	62	39
		87	58	95	61
Эгвекино	прилив нагон	161	57	161	54
		121	43	136	46
Анадырь	прилив нагон+сток	46	18	–	–
		217	82		
Угольная	прилив нагон	54	31	54	29
		121	69	130	71
Усть-Камчатск	прилив нагон + сток	52	45	52	43
		63	55	70	57
о. Беринга	прилив нагон	74	57	–	–
		55	43		

При составлении таблицы использовалась гипотеза о линейной суперпозиции максимального прилива и нагона. В реальных условиях высоты нагонов, по-видимому, должны быть больше, поскольку вероятность такого совпадения максимумов невелика. Тем не менее, положительным моментом



---

---

таких несложных вычислений является возможность, хотя бы ориентировочно, оценить высоты нагонов редкой повторяемости и их вклад в процесс максимальных повышений уровня.

Анализ табличных данных указывает на возможность денивеляции уровня только за счет штормового нагона в северной части Берингова моря до 1.5 м относительно среднего, а в районе Анадыря высота его может достигать 2.2 м при сочетании нагона с речным стоком с повторяемостью раз в 50 лет. В южной части моря максимальные высоты штормовых нагонов не столь велики.

Доминирующая роль нагонов в процессе формирования максимальных уровней отмечается на севере моря и в Анадырском заливе. В южной части роль нагонов и приливных колебаний уровня соизмеримы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герман В. Х. Исследование и расчет вероятностных характеристик экстремальных уровней моря // Тр. ГОИН. 1971. Вып.107. –150 с.
2. Зенин В. А. Метод водного нивелирования // Тр. ГОИН. 1961. Вып. 61. С. 66–116.
3. Левкович А. М. Гидрологическое обоснование изменчивости уровней по кривым распределения // Тр. Союзморниипроекта. 1968. Вып.20(26). С.50–57.
4. Марютин Т. П. Методы обработки наблюдений над уровнем моря, различные его расчеты и экстраполяция найденных экстремумов // Тр. ГОИН. 1969. Вып. 55. С. 122–171.
5. Руководство по расчету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях. Л.: Гидрометиздат, 1973. –535 с.
6. Blakman D. L. and Graff J. The analysis annual extreme sea level at certain ports in Southern England // Proc. Inst. Civ. Eng. 1978. Part 2. V. 65. P. 339–357.

*А. А. Богдановский, И. Е. Кочергин*

### ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ДЛЯ ТИПИЧНЫХ УСЛОВИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ШЕЛЬФА САХАЛИНА.

#### Введение

Рассматриваемый ниже инженерный подход применяется для расчета распространения и осаждения загрязняющих веществ (ЗВ). В настоящее время эта задача становится весьма актуальной для перспективного района освоения морских месторождений нефти и газа на северо-восточном шельфе о. Сахалин, поэтому приводимые в работе практические примеры будут относиться к этому району.

Под параметрами перемешивания в дальнейшем будут пониматься **характеристики переноса** (определяемые скоростями потоков или частиц) и расчетные **параметры турбулентности** (вертикальная и горизонтальная турбулентность, вызванная сдвиговой неустойчивостью, поверхностным воздействием, придонным трением и другими факторами). В первом случае *параметры переноса* определяют траекторию движения пятна ЗВ, что может быть с достаточной степенью точности рассчитано для заданной

---

---

гидрометеорологической ситуации с использованием характеристик ветра, течений и др. факторов.

Более сложным является определение *параметров турбулентности*, то есть характеристик эволюции пятна ЗВ, для которых не существует унифицированных методов описания и многое определяется авторским подходом и опытом расчетов. Параметры турбулентности подбираются под конкретную расчетную модель, в которой могут использоваться различные методы от простых инженерных формул до систем дифференциальных уравнений. В прикладных расчетных задачах перемешивания применяются два подхода к заданию параметров турбулентности по аналогии с эйлеровыми и лагранжевыми уравнениями среды. В случае численного решения уравнения диффузии (эйлерово описание) параметры турбулентности задаются коэффициентами вертикальной и горизонтальной турбулентности. Этот метод ограничивает возможности численных расчетов для прикладных задач. Существенно большие возможности дает применение методов "прямого счета" (лагранжево описание), где используется форма задания параметров турбулентности в виде скоростей турбулентных пульсаций. Такой подход хорошо зарекомендовал себя при расчетах характеристик распространения загрязняющих веществ с использованием трехмерной адвективно-диффузионной модели ДВНИГМИ на шельфе Сахалина, а также при расчетах для залива Петра Великого в Японском море. Кроме того, используемые при моделировании параметры скоростей турбулентных пульсаций проходили верификационные испытания, в том числе и для исследуемого района. В связи с этим, приведенные ниже результаты по определению параметров перемешивания будут основаны на использовании характеристик скоростей турбулентных пульсаций при лагранжевом описании уравнений среды.

Параметры перемешивания определяются для конкретного района гидрометеорологическими и гидрологическими факторами. Наиболее значимыми характеристиками для определения параметров перемешивания являются: температура, соленость и плотность морской воды, поверхностные волны, течения, ветер

Параметры турбулентности будут рассмотрены при условиях лагранжева описания среды. Для корректного представления характеристик турбулентности приведем краткое описание используемой модели расчета переноса и осаднения ЗВ.

### **Описание модели**

Для расчетов переноса загрязняющих веществ и зоны осадков используется трехмерная диффузионно-адвективная модель на основе метода "блуждающих частиц" с использованием датчика случайных чисел для имитации недетерминированных процессов в соответствии с общей идеологией [20]. Примеры использования отечественными и зарубежными авторами для расчетов распространения взвешенных веществ аналогичных моделей прямого счета (лагранжево описание) или основанных на решении уравнения диффузии (эйлерово описание) можно найти в работах [23–1, 4–11, 14, 18–20]. Модели, основанные на методе "блуждающих частиц", имеют ряд практических преимуществ в численной реализации прикладных задач, что исследовалось в работах [7, 11, 11, 20].

Применяемая модель основана на общих теоретических положениях, описанных в [20], однако, имеет некоторые особенности по сравнению с моделями [23, 24, 4, 7–9, 20] в практической постановке граничных условий, описании турбулентности и др., поэтому приведем ее краткую формулировку (что также можно найти в [11–13]). Основные уравнения, описывающие траектории движения маркеров, представляются в виде:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= u(x_i, y_i, z_i, t) + u'(x_i, y_i, z_i, t); \\ \frac{dy}{dt} &= v(x_i, y_i, z_i, t) + v'(x_i, y_i, z_i, t); \\ \frac{dz}{dt} &= w(x_i, y_i, z_i, t) + w'(x_i, y_i, z_i, t) + w_0(x_i, y_i), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $x_i, y_i, z_i$  – текущие координаты  $i$ -го маркера;  
 $u, v, w$  – компоненты скоростей движения жидкости (течений);  
 $u', v', w'$  – компоненты скоростей турбулентных пульсаций;  
 $w_0$  – скорость естественного осаждения примесей.

Начальные условия определяют координаты начального поля маркеров  $x_{0i}, y_{0i}, z_{0i}$  и соответствующее им время включения  $t_{0i}$ . Количество маркеров  $N$ , определяющих поле загрязняющих веществ в момент времени  $t$ , находится как сумма выпущенных источником маркеров  $n_s$  и маркеров фона  $n_\phi$  за исключением "погибших" маркеров (ушедших за границы расчетной области, или исчезнувших вследствие неконсервативности примеси). Концентрация загрязняющих веществ в объеме  $\Delta V$  определяется в соответствии с распределением маркеров и их весом:

$$C = \frac{\Delta n \cdot P}{\Delta V \cdot m}, \quad (2)$$

где  $\Delta n$  – количество маркеров в объеме  $\Delta V$ ;  
 $P$  – мощность источника (кг/с);  
 $m$  – количество выпускаемых в единицу времени маркеров.

Для определения концентрации с заданной точностью  $\Delta C$  количество необходимых маркеров  $N$  оценивается из соотношения:

$$N_{\min} \geq \frac{C_{\max} \cdot V}{C_\phi \cdot \Delta V}, \quad (3)$$

где  $C_{\max}$  – максимальная концентрация взвеси в пятне;  
 $V$  – общий объем пятна;  
 $\Delta V$  – дискретность по пространству.

Условия на границе с воздушной средой для сброса шлама и бурового раствора определяют полное отражение:

$$z = 0 \rightarrow w = 0, w_0 = 0, w' = |w'|. \quad (4)$$

На твердых границах задаются условия частичного осаждения или отражения:

$$z = h \rightarrow w = 0, w_0 = 0, w' = -\delta \cdot |w'|, \quad (5)$$

где  $h(x_i, y_i)$  – глубина бассейна в точке  $x_i, y_i$ ;

$\delta$  – принимает значение 0 при прилипании ко дну, условие  $\chi < k$  ( $\chi$  – случайная величина, равномерно распределенная в интервале  $\{0,1\}$ ;

$k$  – коэффициент сцепления принимает значение в пределах  $0 < k < 1$  или равен 1 при отражении от дна (условие  $\chi > k$ ). Для оценки коэффициентов сцепления частиц различных фракций с дном могут применяться инженерные соотношения из [15] или результаты исследований [2, 3].

### Характеристики переноса течениями

Компоненты скоростей течений  $u, v, w$  для определенной площадки, на которой располагается источник, могут задаваться различными способами в зависимости от постановки задачи 4 типа используемых данных. Можно использовать как суммарные инструментальные течения, так и сумму остаточной и приливной компонент течения, которые получены из наблюдений или посредством моделированием.

### Характеристики переноса вследствие естественного осаждения частиц

Скорость естественного осаждения  $w_0$  для легких и средних фракций в (1) находится из решения уравнения баланса трех сил для шарообразных частиц приведенного эквивалентного радиуса (диаметра), которое можно записать в виде формулы О. М. Тодеса, Р. Б. Розенбаума с учетом влияния неправильности формы падающей частицы [15]:

$$w_0 = \frac{g(\rho_i - \rho(z))l_i^2 \sqrt{1 + 0.862 \lg k}}{\mu \rho(z) (18 + 0.61 \sqrt{g(\rho_i - \rho(z))l_i^3 / (\mu^2 \rho(z))})}, \quad (6)$$

где  $l_i$  – характерный диаметр частицы;

$\rho_i$  – удельный вес частицы;

$\rho(z)$  – плотность жидкости;

$k$  – геометрический коэффициент формы;

$\mu$  – коэффициент вязкости, определяемый из эмпирического соотношения, которое для пресной воды имеет вид:

$$\mu = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2}, \quad (7)$$

где  $t$  – температура в градусах Цельсия.

Механизм определения в (7) эквивалентного диаметра частицы шарообразной формы  $l_i$  для частиц неправильной формы с определенной степенью шероховатости рассмотрен в [15], а более точный учет сопротивления при больших числах Рейнольдса – в [17].

### Параметры турбулентности

Компоненты скоростей турбулентных пульсаций  $u'$ ,  $v'$ ,  $w'$  в (1) можно определить, используя рассчитанные по экспериментальным данным наблюдений за течениями дисперсии  $\sigma_u$ ,  $\sigma_v$ ,  $\sigma_w$ . Основываясь на гипотезе о нормальном распределении спектра пульсаций океанской турбулентности [20] и полагая, что математическое ожидание пульсационных компонент скорости равно 0, можно записать выражения для определения пульсационных компонент скорости в (1) при каждом статистическом испытании:

$$\begin{aligned} u' &= \sigma_u \sqrt{-2 \cdot \ln P} \cdot \text{sgn}(\lambda); \\ v' &= \sigma_v \sqrt{-2 \cdot \ln P} \cdot \text{sgn}(\lambda); \\ w' &= \sigma_w \sqrt{-2 \cdot \ln P} \cdot \text{sgn}(\lambda), \end{aligned} \quad (8)$$

где  $P$  – случайная величина, равномерно распределенная в интервале  $\{0.1\}$ ;  
 $\lambda$  – случайным образом принимает значения 1 и -1.

На практике специальных измерений дисперсии скорости потоков для районов северо-восточного шельфа Сахалина не проводилось. Некоторое представление о величинах дисперсий скорости турбулентных пульсаций дает анализ рядов инструментальных наблюдений, хотя анализируемые ряды не имели достаточной дискретности для оценки турбулентных пульсаций наиболее характерного масштаба поверхностных волн. Эксперимент по анализу рядов наблюдений течений включал:

- ◆ выделение приливной составляющей;
- ◆ анализ времени перестройки полей поверхностных течений под воздействием метеорологических факторов (определение коэффициента инерционности ряда);
- ◆ сглаживание неприливногo ряда фильтром Дудсона с характерным масштабом инерционности;
- ◆ выделение сглаженного тренда из неприливногo ряда;
- ◆ дисперсионный анализ (в том числе и составляющих).

Полученные характеристики компонент скоростей турбулентных пульсаций (дисперсий скорости) составили:

- ◆ для лета – широтная 3–5 см/с, меридиональная 5–8 см/с;
- ◆ для осени – широтная 4–6 см/с, меридиональная 8–15 см/с.

Еще раз следует подчеркнуть, что эти данные нельзя использовать для практических расчетов по северо-восточному шельфу Сахалина, так как, во-первых, дискретность инструментальных наблюдений недостаточна для анализа наиболее интенсивной составляющей спектра турбулентности, во-вторых, собственная погрешность измерений не определена, в-третьих, анализируемые ряды охватывали только отдельные участки района.

При отсутствии или недостаточности экспериментальных данных для определения турбулентных пульсаций используется методика на основе теории сдвиговой неустойчивости, связывающая дисперсию компонент скорости с критерием Ричардсона [18, 20, 21]. В простейшем случае турбулентность

связывается со скоростью потока формулой Л. Д. Пухтыря, Ю. С. Осипова [22], которая используется в практике при отсутствии натуральных измерений дисперсии скорости для (8). Используя соотношения Л. Д. Пухтыря, Ю. С. Осипова [22] и линеаризацию зависимостей параметров турбулентности на границах [18, 20, 21], авторы предлагают инженерные формулы расчета дисперсии для скорости турбулентных пульсаций. На основе приведенных ниже формул будет рассмотрена сезонная изменчивость характеристик турбулентности. Формулы получены из предположения, что основное значение дисперсии обусловлено непосредственно самим потоком с добавлением ветровой и придонной поправок, получаемых из разложения в ряд параметризации воздействия ветровых волн ( $\tau$ ) на турбулентность  $a \approx K_1 Z \tau \exp(-K_2 Z)$  и параметризации воздействия донного трения, пропорционального  $(z-h)^2$ .

Таким образом, выражения для расчета дисперсии скорости турбулентных пульсаций имеют следующий вид:

$$\sigma_{u'} = \sqrt{2 + 0.196v_x^2 + 0.076v_y^2 * (K_1 + K_2 \exp(-\alpha z) + \frac{K_3}{\beta(h-z)^2 + 1})};$$

$$\sigma_{v'} = \sqrt{2 + 0.196v_y^2 + 0.076v_x^2 * (K_1 + K_2 \exp(-\alpha z) + \frac{K_3}{\beta(h-z)^2 + 1})}; \quad (9)$$

$$\sigma_{w'} = \gamma \sqrt{\sigma_u^2 + \sigma_v^2} * f(Ri),$$

где  $v_x, v_y$  – скорости потока жидкости в см/с;  
 $K_1, K_2, K_3$  – параметры относительного вклада различных процессов в турбулилизацию;  
 $\alpha$  – масштаб влияния поверхностных воздействий (ветровых волн);  
 $\beta$  – параметр влияния придонных условий (неровности дна);  
 $\gamma$  – переходный параметр, характеризующий среднее отношение горизонтальной и вертикальной диффузии (применяется значение 0.083);  
 $f(Ri)$  – функция, определяемая критерием Ричардсона, которая подавляет турбулентное перемешивание в условиях устойчивой стратификации и усиливает при неустойчивой стратификации. Критерий Ричардсона является отношением квадратов частоты Вьяйсяля-Брента и Кельвина-Гельмгольца и определяет ламинарность или турбулентность характеризующего потока. Формулы (9) проходили верификационные испытания при экспериментах со сбросами в районе залива Петра Великого и на северо-восточном шельфе Сахалина.

### **Общие тенденции переноса загрязняющих веществ в районе северо-восточного шельфа Сахалина**

При аварийных разливах основную опасность представляет перенос ЗВ с положительной плавучестью в поверхностном слое (нефтяные пленки) и, особенно, возможный вынос на берег. Как правило, вещества с отрицательной плавучестью быстро осаждаются или перемешиваются в толще, и потенциальная зона воздействия может быть существенно меньше. Однако,

---

---

распространение таких веществ также имеет значение при оценке размеров шлейфов мутности буровых растворов и шлама, образующихся при бурении нефтяных скважин на шельфе. На основе описанных выше данных и ранее выполненных расчетов может быть определены основные тенденции переноса ЗВ.

Для района северо-восточного шельфа Сахалина характерны интенсивные течения с преобладающим вдольбереговым переносом и высокими скоростями приливных потоков. С учетом особенностей режима района были выделены следующие типичные гидрологические сезоны, для которых обобщены гидрометеорологические данные:

- ◆ лето: июль–сентябрь (в сентябре самая высокая средняя температура воды, хотя ветровой режим уже начинает перестраиваться);
- ◆ осень: октябрь–декабрь (характеризуется сильными северо–западными ветрами при отсутствии сплошного ледяного поля);
- ◆ зимний (ледовый) период: январь–апрель (припай и ледовое поле при интенсивной динамике в заприпайной полынье);
- ◆ весна: май–июнь (разрушение ледового покрова и начало формирования летней термохалинной структуры).

Летом ветровой режим более спокоен с преобладанием южных и юго-восточных румбов. Следует ожидать возможный слабый дрейф загрязнений на север. При слабых и умеренных ветрах перенос ЗВ поверхностными течениями более ориентирован на восток (от берега), чем на запад. Эту особенность подтверждает корреляционный анализ синхронных наблюдений ветра и течений. За счет более высокой повторяемости сильных ветров с восточной составляющей может несколько увеличиться вероятность выноса ЗВ к берегу. Масштабы дрейфа пятна ЗВ достигают 200 км за 10 дней.

Осенью ветры усиливаются и меняют направление с преобладанием северной и западной составляющих. Соответственно, перенос нефтяного пятна поверхностными течениями должно осуществляться в южном и юго-восточном направлениях. Подобная ситуация наблюдалась в ходе экспериментов по сбросу буровых растворов при разведочном бурении скважины Аркутун-Даги № 5 в 1996 году. Вероятность выноса ЗВ на берег в 1.5–2 раза больше, чем летом. При типичных для осеннего сезона северо-западных ветрах ЗВ способны преодолевать более 400 километров за 10 суток.

Зимой в период открытого или полукрытого моря на северо-восточном шельфе Сахалина отмечается ослабление приливных течений и выраженная тенденция переноса на юг. При средней скорости около 20 см/с суммарный перенос за 10 дней может составлять около 150 км в южном направлении.

### **Скорости естественного осаждения частиц**

Расчет скорости естественного осаждения частиц производился согласно выражения (6). На рис. 1, 2 указаны осредненные по сезонам значения плотности и температуры морской воды для расчетной площади центральной части северо-восточного шельфа (примерно 52° с.ш.), которые принимались в качестве исходных данных для расчета осаждения.

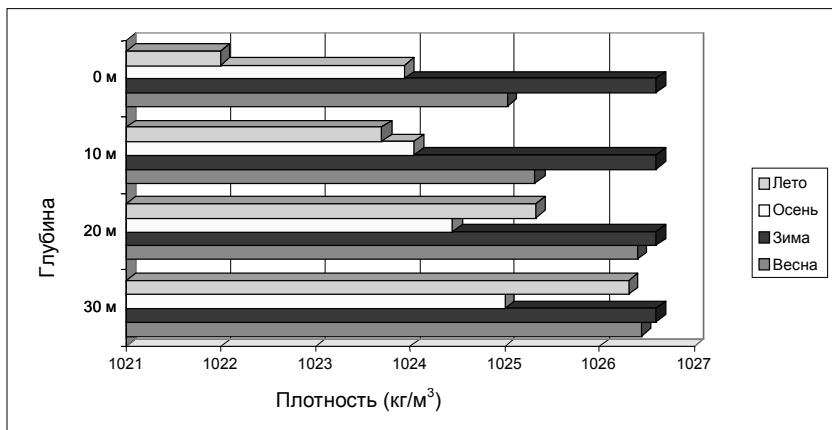


Рис. 1. Средние значения плотности морской воды по сезонам

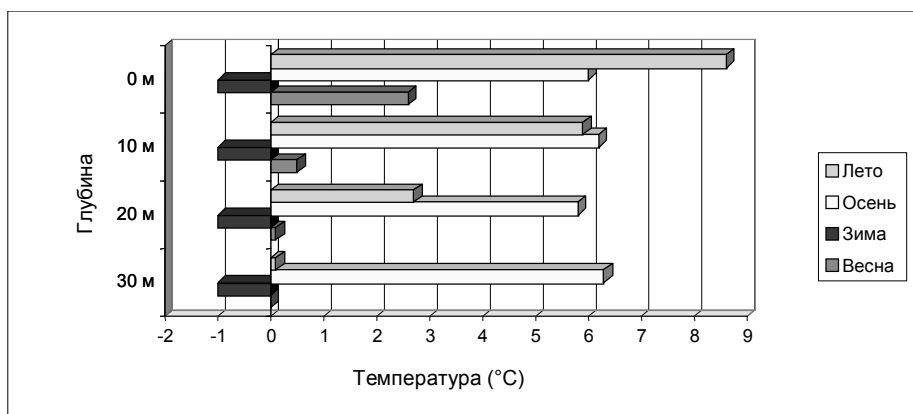


Рис. 2. Средние значения температуры морской воды по сезонам\*

В табл. 1 представлены рассчитанные значения скоростей осаждения. Градации эффективного диаметра частиц соответствуют крупнозернистым, мелкозернистым и пылеватым пескам от 1.5 мм до 0.005 мм. Плотность частиц принималась равной 2000 кг/м<sup>3</sup>.

Следует подчеркнуть, что при реальных сбросах больших объемов наблюдается увеличение скорости осаждения за счет эффекта “кома”, когда основная масса сбрасываемых частиц может осаждаться как условное тело существенно больших размеров. Реальное увеличение скорости осаждения при этом зависит от размеров и массы этого условного “кома”. Таким образом, время осаждения для отдельных частиц (характерных размеров шлама, табл. 1) для глубин 30 метров – несколько десятков минут. При залповом сбросе характерное время осаждения не превышает 10 минут. Горизонтальный перенос может быть оценен по характеристикам преобладающих течений.

\* Для зимнего сезона используется среднее значение, т.к. данные о распределении температуры воды по горизонтам зимой отсутствуют.



Таблица 1.

**Расчетные значения скорости естественного осаждения частиц (см/с)**

Диаметр частицы (мм)	Горизонт			
	0 м	10 м	20 м	30 м
Летний сезон				
1.5–1.0	4.89	4.63	4.30	4.03
1.0–0.5	2.04	1.92	1.76	1.64
0.5–0.25	0.56	0.52	0.48	0.44
0.25–0.1	0.127	0.118	0.107	0.099
0.1–0.05	0.024	0.022	0.020	0.018
0.05–0.01	0.004	0.004	0.003	0.003
0.01–0.005	0.000237	0.00022	0.0002	0.000184
Осенний сезон				
1.5–1.0	4.61	4.63	4.59	4.64
1.0–0.5	1.91	1.92	1.90	1.92
0.5–0.25	0.52	0.52	0.52	0.52
0.25–0.1	0.117	0.118	0.117	0.118
0.1–0.05	0.022	0.022	0.022	0.022
0.05–0.01	0.004	0.004	0.003	0.004
0.01–0.005	0.000219	0.00022	0.000218	0.000221
Зимний сезон				
1.5–1.0	3.86	3.86	3.86	3.86
1.0–0.5	1.56	1.56	1.56	1.56
0.5–0.25	0.42	0.42	0.42	0.42
0.25–0.1	0.094	0.094	0.094	0.094
0.1–0.05	0.017	0.017	0.017	0.017
0.05–0.01	0.003	0.003	0.003	0.003
0.01–0.005	0.000175	0.000175	0.000175	0.000175
Весенний сезон				
1.5–1.0	4.25	4.03	3.98	3.97
1.0–0.5	1.74	1.63	1.61	1.61
0.5–0.25	0.47	0.44	0.43	0.43
0.25–0.1	0.106	0.099	0.097	0.097
0.1–0.05	0.020	0.018	0.018	0.018
0.05–0.01	0.003	0.003	0.003	0.003
0.01–0.005	0.000197	0.000184	0.000181	0.000181

**Параметры скоростей турбулентных пульсаций**

Расчет дисперсии меридиональной, зональной и вертикальной составляющих турбулентных пульсаций производился по выражениям (9) для поверхностного и придонного слоев. Для выбора эмпирических коэффициентов принимались следующие критерии. Параметр  $\alpha$  выбирался как величина,

---

---

обратно пропорциональная характерному масштабу воздействия ветровых волн,  $0.25 L$ , где  $L$  характерная длина ветровых волн. В случае глубокой воды длина волны определяется соотношением  $L = T^2 * g / 2\pi$ , где  $T$  – период ветровых волн. Параметр  $\beta$  характеризует толщину придонного пограничного слоя и оценивается в соответствии с теорией [16], для средних скоростей придонных течений принимался равным 0.16. Коэффициент  $K_1$  определялся опытным путем и составлял 0.5, что не противоречит работе [22]. Коэффициент  $K_2$  оценивался в пределах от 0.1 до 0.4 по характеристикам ветра (для оценок принимаем 0.03 модуля скорости ветра). Коэффициент  $K_3$  принимался равным 0.1.

Для расчета дисперсий вертикальных скоростей используются следующие полуэмпирические параметры. Характерный переходный коэффициент  $\gamma$  от горизонтального масштаба к вертикальному определен расчетным методом по анализу соотношений вертикального и горизонтального масштаба скоростей. Установленное значение 0.083 согласуется с оценками, приводимыми в литературе [18, 20]. Для определения функции от числа Ричардсона  $f(Ri)$  авторами использовались полиномиальные и экспоненциальные приближения [18, 20, 21]. Наилучшим образом зарекомендовала себя экспоненциальная форма для устойчивой стратификации [21], что характерно для большей части временного периода. Таким образом, принималось  $f(Ri) = \exp(-1.1 * Ri)$ .

По данным береговых и попутных судовых наблюдений на северо-восточном шельфе Сахалина было выделено 7 характерных ветровых сценариев для летнего периода и 9 для осеннего:

- ◆ Летний период – штилевые (до 1 м/с); слабые западные, северо–западные, северные ветры (З, СЗ, С, СВ <5 м/с); слабые восточные, юго-восточные, восточные, юго-западные (В, ЮВ, Ю, ЮЗ <5 м/с); сильные южные (Ю  $\geq$  5 м/с); сильные восточные, юго-восточные (В, ЮВ  $\geq$  5 м/с); сильные юго-западные, западные (ЮЗ, З  $\geq$  5 м/с); сильные северо-западные, северные, северо-восточные (СЗ, С, СВ  $\geq$  5 м/с).
- ◆ Осенний период – штилевые (до 1 м/с); слабые западные, северо-западные, северные, северо-восточные (З, СЗ, С, СВ <5 м/с); слабые восточные, юго-восточные, южные, юго-западные (В, ЮВ, Ю, ЮЗ <5 м/с); сильные юго-западные (ЮЗ  $\geq$  5 м/с); сильные западные (З  $\geq$  5 м/с); сильные северо-западные (СЗ  $\geq$  5 м/с); сильные северные (С  $\geq$  5 м/с); сильные северо-восточные, восточные (СВ, В  $\geq$  5 м/с); сильные юго-восточные, южные (ЮВ, Ю  $\geq$  5 м/с).

Ввиду малого объема данных в зимний период, принимался один усредненный ветровой сценарий: западный ветер силой 7 м/с.

Поля течений, соответствующие данным ветровым сценариям, необходимо определять для каждого конкретного района. Пределы изменений величины модуля скорости течения на северо-восточном шельфе Сахалина следующие:

- ◆ для летнего сезона – 20–70 см/с;
- ◆ для осеннего сезона – 25–100 см/с;
- ◆ для зимнего сезона – 10–30 см/с.

В табл. 2 представлены рассчитанные (в соответствии с (9) и описанной выше параметризацией) дисперсии турбулентных пульсаций для поверхностного, промежуточного и придонного слоев при различных гидрометеорологических условиях. Весенний режим может быть

охарактеризован переходными характеристиками от зимы к лету. На рис. 3–5 представлены графики средних сезонных дисперсий турбулентных пульсаций.

Как упоминалось выше, при анализе факторов перемешивания не существует унифицированной методики расчета коэффициентов турбулентности или скоростей турбулентных пульсаций. Возможно, при использовании других подходов к решению задачи перемешивания, а также при других эмпирических зависимостях могут быть получены иные оценки дисперсий. Однако, в целом приведенные оценки дисперсий отражают сезонные и погодные условия, неоднократно тестировались по результатам экспериментальных наблюдений и сравнивались с расчетами по другим моделям [23, 4, 5].

Таблица 2.

**Расчетные значения дисперсии турбулентных пульсаций (см/с)**

Ветровая ситуация	Поверхностный слой			Промежуточный слой			Придонный слой		
	$\sigma_u'$	$\sigma_v'$	$\sigma_w'$	$\sigma_u'$	$\sigma_v'$	$\sigma_w'$	$\sigma_u'$	$\sigma_v'$	$\sigma_w'$
Летний сезон									
Штиль	8.46	9.59	0.99	7.91	9.14	0.93	5.45	7.59	0.72
З, СЗ, С, СВ (<5 м/с)	10.44	12.11	1.28	8.20	9.61	1.01	5.61	7.85	0.77
В, ЮВ, Ю, ЮЗ (<5 м/с)	10.82	12.73	1.34	8.41	9.94	1.05	5.77	8.11	0.80
Ю ( $\geq 5$ м/с)	19.73	26.06	2.71	12.71	16.29	1.71	7.86	11.23	1.14
В, ЮВ ( $\geq 5$ м/с)	19.06	23.23	2.49	11.93	14.68	1.56	7.21	10.18	1.03
ЮЗ, З ( $\geq 5$ м/с)	15.55	17.58	1.93	10.15	11.92	1.29	6.46	8.72	0.89
СЗ, С, СВ ( $\geq 5$ м/с)	19.95	26.42	2.74	12.71	16.29	1.71	7.70	10.97	1.11
Осенний сезон									
Штиль	9.77	11.70	1.23	8.73	10.47	1.10	6.09	8.62	0.85
З, СЗ, С, СВ (<5 м/с)	12.46	15.07	1.60	9.27	11.23	1.19	6.41	9.14	0.91
В, ЮВ, Ю, ЮЗ (<5 м/с)	10.63	12.42	1.28	8.41	9.94	1.02	5.93	8.37	0.80
ЮЗ ( $\geq 5$ м/с)	15.99	18.29	2.00	10.23	12.05	1.30	6.30	8.46	0.87
З ( $\geq 5$ м/с)	22.75	26.38	2.88	13.14	16.02	1.72	8.57	11.61	1.19
СЗ ( $\geq 5$ м/с)	29.18	37.76	3.96	16.36	21.32	2.23	9.72	13.98	1.41
С ( $\geq 5$ м/с)	24.61	33.21	3.43	14.48	19.27	2.00	9.06	12.93	1.31
СВ, В ( $\geq 5$ м/с)	20.64	23.33	2.58	12.79	15.36	1.65	8.40	11.02	1.15
ЮВ, Ю ( $\geq 5$ м/с)	18.98	24.51	2.57	13.56	17.12	1.81	7.48	10.77	1.09
Зимний сезон									
Средний зимний ветер (3, 7 м/с)	5.76	7.77	0.80	3.96	5.32	0.55	3.67	4.87	0.51

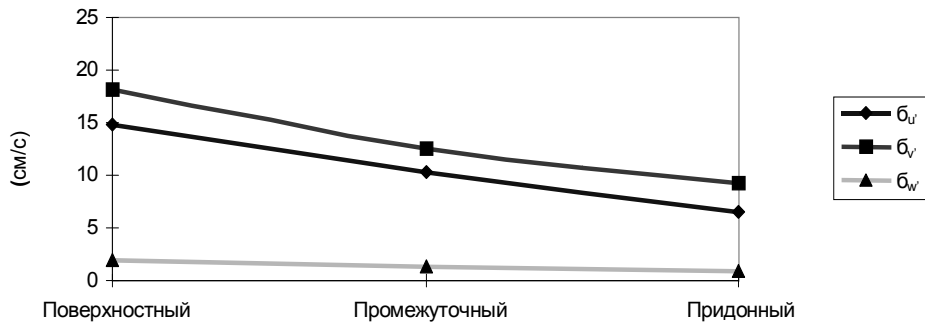


Рис. 3. Средние значения дисперсии турбулентных пульсаций для летнего сезона.

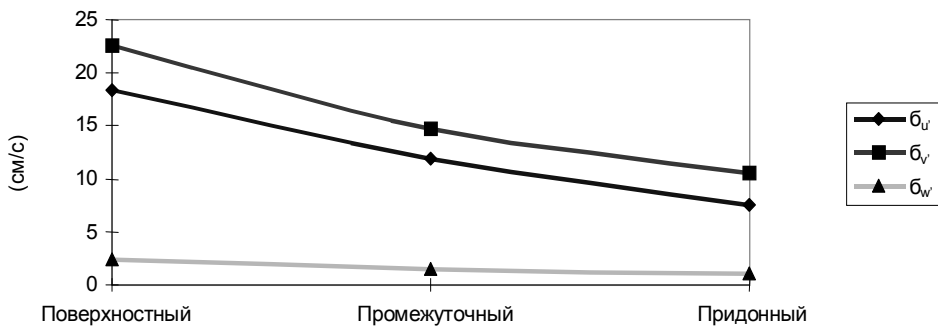


Рис. 4. Средние значения дисперсии турбулентных пульсаций для осеннего сезона.

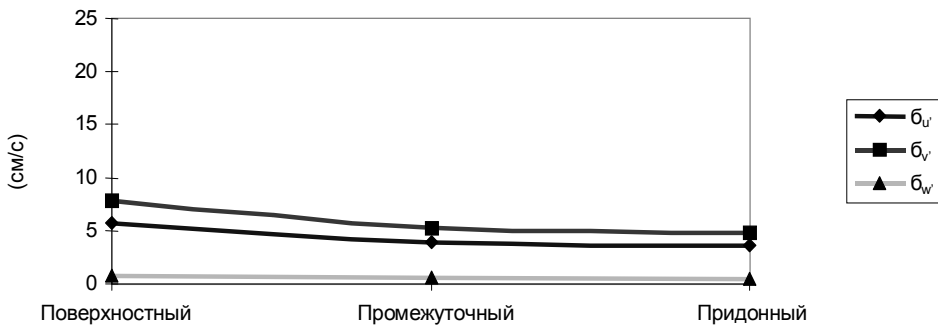


Рис. 5. Средние значения дисперсии турбулентных пульсаций для зимнего сезона.

---

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. Астраханцев Г. П., Руховец Л. А., Егорова Н. Б. Математическое моделирование распространения примеси в водоемах // Метеорология и гидрология. 1988. № 6. С. 71–79.
2. Белошапкина С. Г., Белошапков А. В. Механика отрыва частиц под действием когерентных структур в водных потоках (модель фильтрационного взвешивания) // Океанология. 1994. Том 34. № 1. С. 127–132.
3. Белошапкина С. Г., Белошапков А. В. Механика отрыва частиц под действием когерентных структур в водных потоках (модель опрокидывания) // Океанология. 1994. том 34. №4. С. 527–532.
4. Брандсма М. Д. и др. Отчет о компьютерном моделировании бурового раствора и шлама для Пильтун-Астохского и Луньского месторождений // Подготовлено компанией Брандсма Инжиниринг для отчета по мониторингу. 1992.
5. Брандсма М. Д. и др. Уточненная модель сбросов бурового раствора, шлама и пластовой воды при бурении и эксплуатации скважин. Пильтун-Астохское месторождение, Сахалинская область, Россия. // Подготовлено компанией “Брандсма Инжиниринг” для проекта ОВОС. 1996.
6. Вольцингер Н. Е., Клеванный К. А., Тузова О. И. К задаче расчета переноса и диффузии примесей в произвольной области // Метеорология и гидрология. 1990. № 5. С. 56–58.
7. Дмитриев Н. В., Двуреченская Е. А. Численный анализ переноса примеси для верхних турбулентных слоев морей и океанов // Метеорология и гидрология. 1994. № 12. С. 53–62.
8. Зайцев О. В., Зайцева Т. В. Моделирование переноса примеси в прибрежной зоне методом Монте-Карло // Труды ДВНИИ. 1984. Вып. 131. С. 50–61.
9. Коротенко К. А., Лелявин С. Н. Расчет переноса примеси в море методом блуждающих частиц // Океанология. 1990. Т. 30. Вып. 5. С. 930–936.
10. Кочергин В. П., Боковиков А. Г. Трехмерная численная модель распространения примеси в прибрежной зоне глубокого водоема // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1980. Т. 16. № 7. С. 729–737.
11. Кочергин И. Е. Расчет зон повышенной концентрации взвешенных веществ в море при строительстве объектов нефтегазопромыслового комплекса на шельфе Сахалина // Тр. ДВНИГМИ. 1997. Вып. 140 (в печати).
12. Кочергин И. Е., Кулинченко М. Н., Севастьянов А. В. Технологические аспекты моделирования распространения пассивной примеси в морской среде // Рукопись депонирована в ИЦ ВНИИГМИ МЦД. № 1118–гм92 от 08.06.92. 29 с.
13. Кочергин И. Е., Савельев В. Ю. Моделирование реальных условий сбросов бурового раствора и шлама при разведочном бурении в шельфовой зоне / Методическое руководство “Теоретические и экспериментальные исследования на шельфе” (Росгидромет). В печати.
14. Кочергин И. Е., Севастьянов А. В., Федоров Э.В. Численное моделирование динамики распространения взвешенных веществ в открытом океане // Тр. ДВНИГМИ. 1992. Вып. 137. С. 215–218.
15. Курганов А. М., Федоров Н. Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации. Л.: Стройиздат, 1973. –408 с.
16. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. М: Наука, 1986. –736 с.
17. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1973. –847 с.
18. Моделирование морских систем / под. Ред. Айзатуллина Т. А. Л: Гидрометеоиздат, 1978. –280 с.
19. Никольский М. А., Федоров А. Л., Дорожкин А. И. Численное решение задачи о распространении пассивных примесей в прибрежной зоне моря // Метеорология и гидрология. 1990. №1. С. 57–63.
20. Озмидов Р. В. Диффузия примесей в океане. Л: Гидрометеоиздат. 1986. –280 с.

- 
- 
21. Природные условия Байдарацкой губы. Основные результаты исследований для строительства трубопроводов Ямал-Центр. М: ГЕОС, 1997. –423 с.
  22. Пухтяр Л. Д., Осипов Ю. С. Турбулентные характеристики прибрежной зоны моря // Тр. ГОИН. 1981. Вып. 158. С. 35–41.
  23. O'Reilly J. E., Sauer T. C., Ayers R. C., Brandsma M. G., Meek R. Field verification of the OOC mud discharge model // Drilling wastes. New York. 1989. P. 647–665.
  24. Sharp J. J., Moore E. Marine outfall design-computer models for initial dilution in a current // Proc.Inst.Civil.Eng. 1989–86. № 1. P. 953–961.

*А. В. Гаверилевский, Т. А. Гаврилова, И. Е. Кочергин*

## **КОМПЛЕКСНАЯ КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ АКВАТОРИИ, ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К ВЛАДИВОСТОКУ**

Прибрежная зона залива Петра Великого является одним из самых густонаселенных районов российского Дальнего Востока. Здесь отмечается интенсивное судоходство, развит прибрежный промысел и разведение марикультуры, акватория залива является местом, где возможен полноценный морской отдых в летнее время, имеется сеть пляжей, санаториев, грязелечебниц, домов отдыха, заповедных зон. В тоже время акватория залива Петра Великого подвергается воздействию большого числа источников загрязнения (ИЗ) и относится к экологически неблагополучным морским районам Российской Федерации.

К наиболее интенсивно эксплуатируемой зоне залива Петра Великого следует отнести акваторию вокруг г. Владивостока, включающую Амурский залив, бухту Золотой Рог, пролив Босфор-Восточный и прилегающую к полуострову Муравьева-Амурского часть Уссурийского залива (рис. 1). В эту зону поступают большие объемы загрязняющих веществ (ЗВ) от различных источников: речного стока, водовыпусков промышленных объектов и жилищных массивов, паводковых вод и др. Для прогноза состояния морской среды, в первую очередь, необходимо детальное исследование интегральных воздействий. В настоящей работе проведено обобщение информации по различным загрязняющим факторам для рассматриваемой акватории с выделением укрупненных зон и сравнительной детализацией воздействий по зонам и видам ИЗ.

В общем случае, в качестве ИЗ морской среды рассматриваются процессы поступления ЗВ в море извне в количестве, достаточном для изменения существующих фоновых концентраций в ограниченной зоне. Согласно этому определению, выделяются следующие типы ИЗ морской среды в пределах городской черты Владивостока:

1. Водовыпуски предприятий и жилых массивов, (ИЗ-1), сбрасывающие условно чистые, очищенные и загрязненные промышленные и хозяйственно-бытовые воды. Водовыпуски, в свою очередь, можно условно разделить на две категории. К первой относятся морские глубоководные и береговые сбросы, которые могут оказывать прямое воздействие на морскую акваторию. Ко второй относятся сбросы загрязнений в водотоки, впадающие в море (реки, ручьи и т.д.), которые оказывают косвенное влияние на состояние морской среды.

---

---

2. Впадающие в море реки и ручьи (водотоки), которые несут в море ЗВ природного происхождения (например, повышенное содержание взвешенных веществ) и связанные с хозяйственной деятельностью (ИЗ-2).

3. Ливневая канализация (ИЗ-3). Это наиболее сложно учитываемый фактор загрязнения, связанный с климатическими условиями, рельефом местности и спецификой Владивостока. Оценки годового расхода и загрязненности стоков сделаны экспертно-расчетными методами с использованием характеристик осадков, площадей водосбора, контрольных измерений загрязненности ливневых стоков и сравнения с литературными данными [3, 9, 10].

4. Стоки с рельефа (ИЗ-4). При сильных ливневых дождях и массовом таянии снега значительное влияние на водоем оказывают стоки с рельефа, особенно в районах свалок и других объектов высокой концентрации ЗВ. Качественно-количественные оценки могут быть сделаны экспертным путем по аналогии с предыдущим пунктом.

5. Сбросы с судов, ИЗ-5.

6. Неорганизованные или незарегистрированные источники (частный сектор пригорода Владивостока, небольшие, полукустарные предприятия и другие неучтенные объекты), ИЗ-6.

7. Аварийные ситуации, приводящие к поступлению больших количеств ЗВ в морскую среду, ИЗ-7.

В соответствии с собранной информацией и критериями ее достоверности установлено, что корректную оценку интегральных характеристик ИЗ можно провести по следующим ЗВ: взвешенные вещества; БПК<sub>5</sub>; азот аммонийный; фосфаты; СПАВ; нефтепродукты; фенолы. По тяжелым металлам и другим ингредиентам имеющейся информации по ИЗ недостаточно.

Для детального анализа параметров ИЗ прилегающая к Владивостоку прибрежная акватория условно разделена на пять зон с учетом географического расположения, особенностей промышленных узлов и режима циркуляции (рис. 1). Порядок нумерации зон соответствует наиболее характерному режиму переноса водных масс с поступающими ЗВ – от Уссурийского залива через пролив Босфор-Восточный к бухте Золотой Рог и далее в Амурский залив преимущественно циклонической циркуляцией [4, 6]. Полагая, что основное смешение стоков с морскими водами происходит вблизи береговой черты, зоны условно были ограничены примерно двумя милями со стороны моря [8]. Со стороны суши зоны охватывают площади водосбора впадающих водотоков (кроме зоны 5). Ниже приводятся краткие характеристики выделенных зон.

Первая зона включает в себя береговую область Уссурийского залива от детского оздоровительного лагеря "Океан" до п-ова Басаргина и пролив Босфор-Восточный. В нее входит ряд малых бухт Уссурийского залива и пролива Босфор-Восточный, где располагаются зоны отдыха населения. К основным потенциальным источникам загрязнения морской среды следует отнести районы возможного паводкового смыва (свалки и золоотвалы, расположенные вблизи уреза), портово-промышленные объекты в малых бухтах, систему городской канализации, рейдовые суда и др. Эта зона граничит с относительно чистыми водами Уссурийского залива и имеет достаточно высокую степень водообмена.

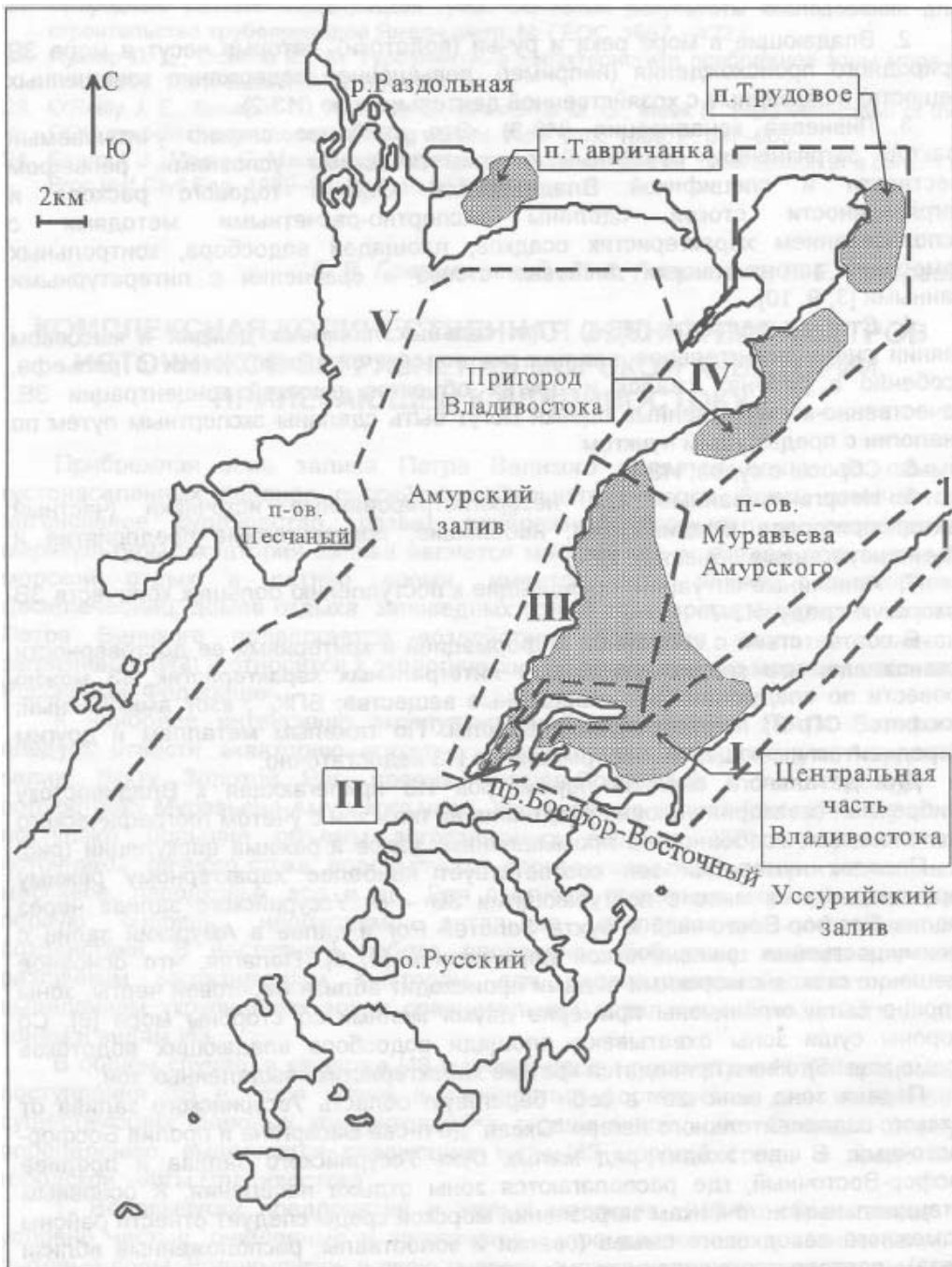


Рис. 1. Схема деления прибрежной территории Владивостока на условные зоны:

— — — — — границы прибрежных акваторий и условных зон; ◐ — жилые районы;  
I, II, III. — номера условных зон;



---

---

Вторая зона – бухта Золотой Рог. Эта зона наиболее интенсивно подвергается влиянию городских стоков. Практически вся береговая линия представляет собой причальную стенку. В Золотой Рог поступает значительный объем сточных вод системы городской канализации. Кроме того, существенное воздействие на состояние вод здесь оказывают крупнейшие городские порты и судоремонтные заводы. Загрязнения поступают сюда также с водами реки Обьяснения, которая сама является приемником сточных вод большого количества объектов, а ее высокий расход обеспечивается оборотными водами ТЭЦ–2. Особенностью гидрологического и экологического режима бухты Золотой Рог является ее “промывание” более теплыми водами реки Обьяснения, что, с одной стороны, приводит к дополнительному загрязнению акватории, а с другой стороны, устанавливает режим более интенсивной циркуляции, благоприятствующий выносу загрязняющих веществ и самоочистке.

Третья зона – городская зона Амурского залива от п-ова Эгершельда до о. Скребцова, включая бассейны малых городских рек. Основные источники загрязнения – стоки системы городской канализации, нефтебаза, городские предприятия и заводы, речной сток и др. Район прилегает к центральной части Амурского залива, где сохраняется интенсивная циркуляция и достаточно большие глубины [4, 6]. В этом районе располагаются городские зоны отдыха.

Четвертая зона – пригородная зона Владивостока, включая побережье кутовой части Амурского залива от о. Скребцова до п-ова Де-Фриза, залив Угловой и малые реки. Источниками загрязнения являются промышленные предприятия пригородной зоны Владивостока, хозяйственно-бытовые стоки населения. Здесь расположены городские зоны отдыха, грязелечебницы, дома отдыха и санатории. Загрязненность кутовой части Амурского залива выше, чем в среднем по заливу, из-за мелководности и менее интенсивного режима циркуляции.

Пятая зона – западная прибрежная зона Амурского залива, включая северную приустьевую зону реки Раздольной до п-ова Де-Фриза. В целом эта зона менее подвергается воздействию, здесь отсутствуют крупные промышленные объекты и высоко урбанизированные территории. Основным источником поступления загрязняющих веществ является река Раздольная.

Воздействие г. Владивостока наиболее сильно проявляется в зонах II, III, IV, что подтверждается результатами наблюдений за качеством морской среды [6]. Однако, зоны I и V, вследствие особенностей циркуляции вод [4, 6], также оказывают важное влияние на уровень загрязненности акватории. Различный характер воздействия ИЗ на всю акваторию можно исследовать путем моделирования с учетом водообмена через границы зон и открытых территорий.

В связи с тем, что существуют определенные трудности точной оценки объемов и концентраций ЗВ, поступающих в морскую среду от различных ИЗ, вводится ряд допущений. По водовыпускам предприятий (ИЗ–1) используются данные химических анализов, проводимые предприятиями или обслуживающими их лабораториями, которые собраны по результатам анкетирования и/или выборочной инвентаризации предприятий. В некоторых случаях использованы статистические данные формы 2-ТП-водхоз. За период 1994–1996 гг. было обследовано около 70 предприятий, самостоятельно сбрасывающих сточные воды, посредством 150 выпусков. Суммарный объем

---

---

сточных вод оценивается величиной 420 млн.м<sup>3</sup> в год, в том числе 310 млн.м<sup>3</sup> от систем оборотного водоснабжения или условно чистых, 95 млн.м<sup>3</sup> загрязненных или недостаточно очищенных, 15 млн. м<sup>3</sup> очищенных. Главным водопотребителем города является муниципальное предприятие горводоканала (МПП ВКХ), имеющее 22 выпуска, через которые отводятся хозяйственные сточные воды от жилмассивов и промышленные стоки предприятий. Через сети ВКХ сбрасывается в среднем около 100 млн.м<sup>3</sup>/год сточных вод.

Для впадающих в море рек (ИЗ–2) технология определения объемов и концентраций поступающих ЗВ состоит в определении расходов рек и показателей концентрации ЗВ в контрольном устьевом створе. Для рек, имеющих гидрологические посты, расход определяется по наблюдаемым данным, для остальных (большинство мелких рек) оценки сделаны методом аналогов [5]. Количество исследуемых рек в выделенной нами зоне 14. Среднегодовой объем речных вод, поступающих в море, по имеющимся кадастровым данным составляет ориентировочно 2250 млн. м<sup>3</sup>, основной вклад вносит р. Раздольная.

Объемы вод, поступающих в море с ливневой канализацией и стоками с рельефа (ИЗ 3–4), рассчитывались с учетом из климатических условий района [1, 4], площади водосбора и технических характеристик (проектная пропускная способность коллекторов и другие данные). Общее количество основных выпусков ливневой канализации в море 50 (без учета рек). Через них отводится около 55 млн.м<sup>3</sup> в год ливневых стоков.

Согласно требованиям наставления по предотвращению сбросов с судов МАРПОЛ 73/78, большинство предприятий города, имеющих флот (ИЗ–5), проводят, собственными силами или по договорам, сбор льяльных вод с последующей утилизацией. Сброс хозяйственно-бытовых судовых отходов в море может допускаться только для судов с ограниченным экипажем или после соответствующей очистки при выполнении определенных требований. Однако, несмотря на предъявляемые требования и ограничения, фактическое загрязнение от судов имеет место, что подтверждается повышенным содержанием нефтепродуктов в районах рейда и портов (зоны I, II) [7]. Влияние незарегистрированных источников (ИЗ–6) частично учитывается при расчете поступления ЗВ со стоками рек и ливневой канализацией (ИЗ–3, 4), и, за исключением зоны IV, незначительно. Случаи аварийных сбросов (ИЗ–7) регистрируются контрольно-инспекторской службой комитетов по охране природы и центром мониторинга среды управления гидрометслужбы. При значительных авариях происходит существенное ухудшение экологической обстановки бассейна. В этом случае виновные предприятия должны принять меры по ликвидации последствий аварий.

Экспертные оценки, сделанные по ИЗ-5, 6, 7 показали, что ориентировочный объем сбросов составляет по различным зонам 1–3% от общего объема сбросов учитываемых источников.

Общая масса ЗВ оценивалась как сумма ингредиентов, поступающих за год в морскую среду из различных источников:

$$M = \sum_i V_{1i} C_{1i} + \sum_j V_{2j} C_{2j} + \bar{C}_3 H \sum_k S_k K_k + M_{5,6,7}, \quad (1)$$

---

---

где  $V_{1i}$  и  $C_{1i}$  – годовой расход и концентрация загрязняющего ингредиента по  $i$ - му выпуску;  
 $V_{2j}$  и  $C_{2j}$  – годовой расход и концентрация загрязняющего ингредиента по  $j$ - му водотоку;  
 $\bar{C}_3$  – средние концентрации загрязняющего ингредиента в ливневых стоках;  
 $\bar{H}$  – средний уровень годовых осадков;  
 $S_k$  – площадь водосбора ливневых стоков для  $k$ -го участка береговой черты;  
 $K_k$  – коэффициент перехода выпавших осадков в ливневые стоки, учитывающий урбанизацию территории;  
 $M_{5,6,7}$  – масса поступления загрязнений от ИЗ – 5, 6, 7.

Сравнительные характеристики объемов загрязненных вод, поступающих в море от разных источников, и объемы воды в выделенных прибрежных зонах помещены в табл. 1. В табл. 2 приводятся осредненные концентрации ЗВ в стоках, используемые для расчетов в (1) и рассчитанная полная масса поступающих в морскую среду ЗВ. Следует отметить, что наиболее широкий диапазон колебаний концентраций наблюдается в выпусках сточных вод предприятий вследствие большого разнообразия технологий производства и систем очистки. В целом по исследуемому району доля объемов ЗВ в стоках от соответствующих объемов в водовыпусках составляет около 15% (с учетом оборотных вод), речной стока – 82%, ливневых стоков и других источников – 3%. При этом средние оценочные соотношения массы сбрасываемых ЗВ по семи контрольным ингредиентам распределяются следующим образом: водовыпуски предприятий – 41.3% (по отдельным ингредиентам минимальное значение – 18%, максимальное – 63%); речной сток – 54.3% (27–80%); выпуски ливневой канализации – 4.4% (1–10%).

Более детальные количественные оценки поступления ЗВ в выделенные прибрежные участки водоема четырех загрязняющих ингредиента с анализом вклада различных ИЗ иллюстрируют рис. 2–5. В верхней части гистограмм показаны абсолютные величины массы ЗВ в целом для зоны и по отдельным типам ИЗ (водовыпуски предприятий, реки, ливневые стоки и другие источники). Нижняя часть гистограмм отражает относительное воздействие – отношение массы поступающего со стоками вещества к объему жидкости в выделенной зоне.

Полученные результаты свидетельствуют о различном соотношении объемов сбрасываемых ингредиентов по зонам. Так, половина массы взвешенных веществ и треть БПК<sub>5</sub> попадает в пятую зону со стоком реки Раздольная, около 40% поступлений нефтепродуктов приходится на II зону (Золотой Рог), объемы азота аммонийного распределены примерно одинаково между I, II, III и V зонами и существенно меньше в IV; основная масса фенолов поступает от источников II и IV зон.

Таблица 1.

## Оценочные объемы стоков

Зона	Водовыпуска		Речной сток		Ливневая канализация и другие источники		Все источники	
	Годовой расход, млн. м <sup>3</sup> /год	Отношение объема годового стока к объему зоны	Годовой расход, млн. м <sup>3</sup> /год	Отношение объема годового стока к объему зоны	Годовой расход, млн. м <sup>3</sup> /год	Отношение объема годового стока к объему зоны	Объем стоков, млн. м <sup>3</sup> /год	Отношение объема годового стока ко всему выделенному объему
I	26.3	0.03	156.9	0.160	8.9	0.02	192.1	0.2
II	338.8	2.71	224.2	1.79	11.6	0.1	574.6	4.6
III	42.3	0.08	134.5	0.28	15.9	0.04	192.7	0.4
IV	11.7	0.14	156.9	1.82	15.8	0.19	184.4	2.0
V	0.6	0.0006	1569.0	1.78	10.8	0.02	1580.4	1.8
Всего	419.7	0.17	2241.5	0.89	63.0	0.03	2724.2	1.1

Таблица 2

## Среднегодовые показатели массы и концентраций ЗВ, поступающих в морскую среду от различных источников

Ингредиент	Оценочная масса, сбрасываемого вещества от всех источников Тыс. т/год	Средние концентрации ЗВ в стоках			
		Водовыпуска предприятий и жилищных массивов мг/л	Водотоки (реки, ручьи) мг/л	Ливневая канализация мг/л	По всем типам источников мг/л
Взвешенные вещества	64.8	39.2	19.5	85.9	23.79
БПК <sub>6</sub>	32.6	32.6	8.0	17.8	11.97
Азот аммонийный	3.3	4.2	0.6	3.5	1.21
Фосфаты	1.29	1.9	0.21	0.25	0.47
СПАВ	0.26	0.11	0.1	0.17	0.095
Нефтепродукты	0.61	0.92	0.073	1.09	0.224
Фенолы	0.025	0.015	0.008	0.011	0.0092

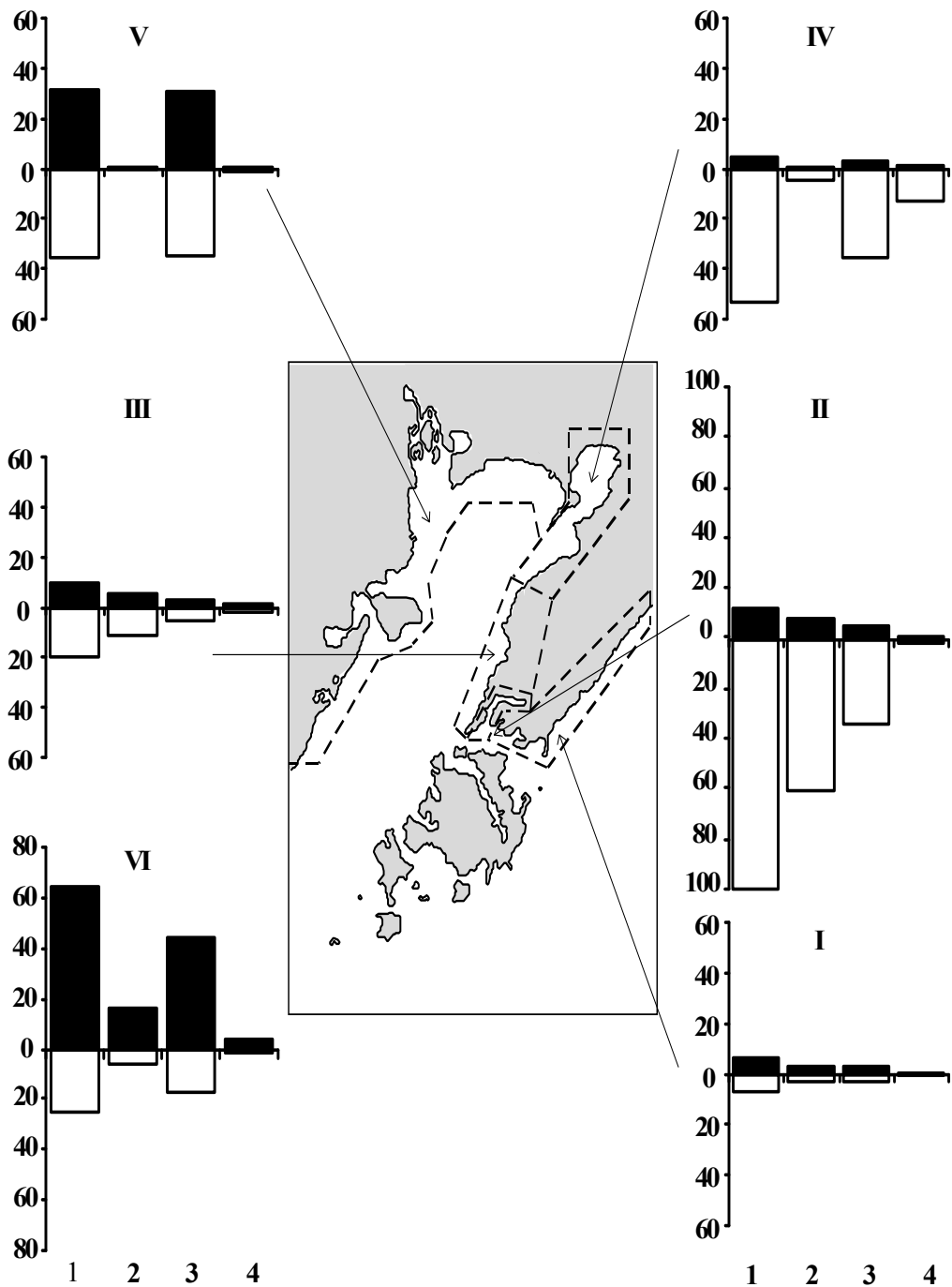


Рис. 2. Абсолютные и относительные массы поступающих в море взвешенных веществ от различных ИЗ: 1 – всего; 2 – водовыпуск; 3 – речной сток; 4 – ливневая канализация и другие источники; I, II, III, IV, V – номера условных зон, VI – вся выделенная прибрежная зона.

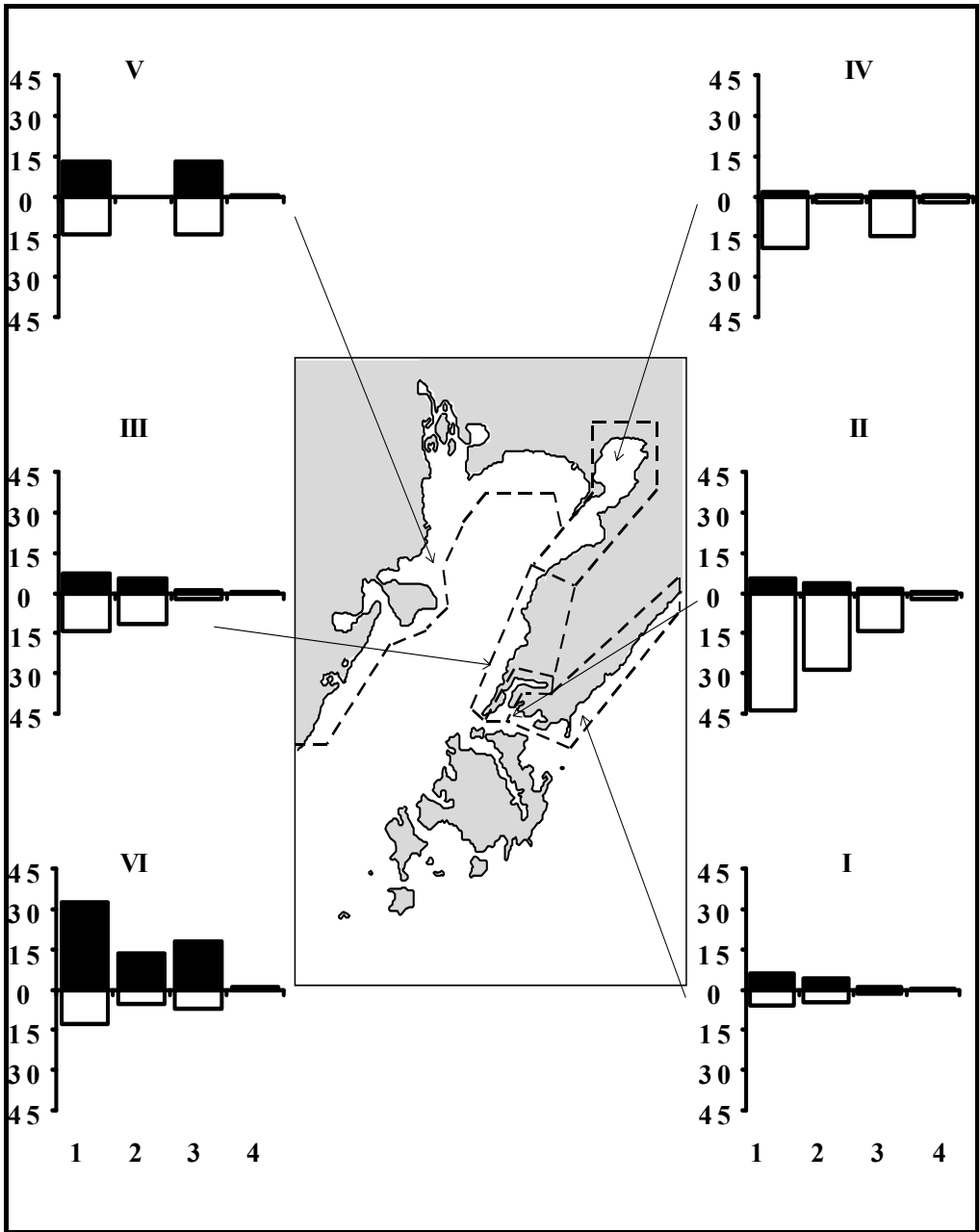


Рис. 3. Абсолютные и относительные массы поступления БПК<sub>5</sub> в море: 1 – всего; 2 – водовыпуск; 3 – речной сток; 4 – ливневая канализация и другие источники; I, II, III, IV, V – номера условных зон, VI – вся выделенная прибрежная зона.

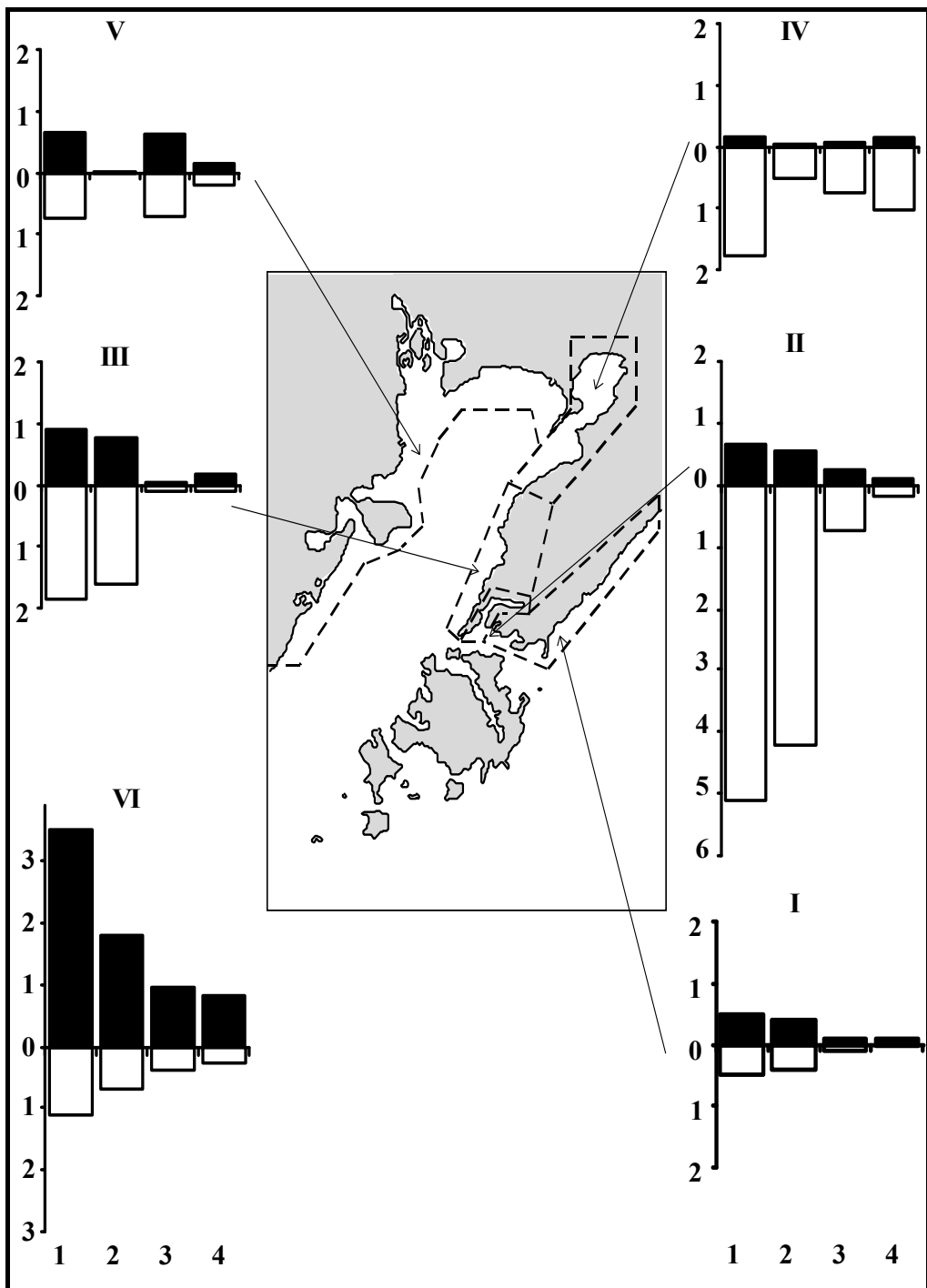


Рис. 4. Абсолютные и относительные массы поступающего в море азота аммонийного: 1 – всего; 2 – водовыпуск; 3 – речной сток; 4 – ливневая канализация и другие источники; I, II, III, IV, V – номера условных зон, VI – вся выделенная прибрежная зона.

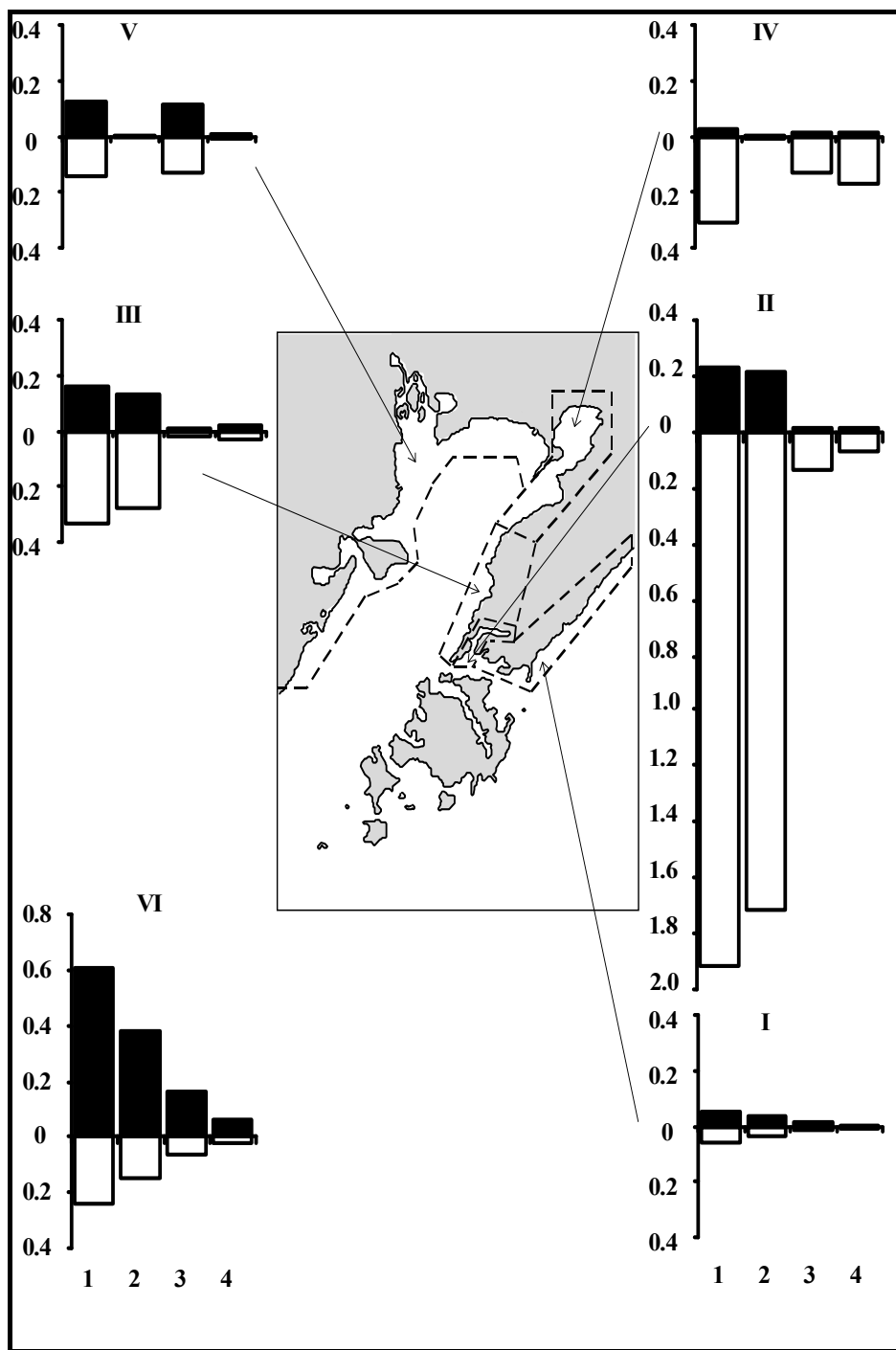


Рис. 5. Абсолютные и относительные массы поступающих в море нефтепродуктов: 1– всего; 2 – водовыпуск; 3 – речной сток; 4 – ливневая канализация и другие источники; I, II, III, IV, V – номера условных зон, VI – вся выделенная прибрежная зона.



---

---

Анализ относительных величин сбросов (см. рис. 2–5) показывает, что максимальная нагрузка по всем загрязняющим веществам приходится на зону II – бухту Золотой Рог. Второй по интенсивности воздействия большинства ингредиентов является зона IV, далее III, а наименее подвержена воздействию ИЗ зона I. В целом наблюдения Приморских организаций гидрометслужбы за загрязнением моря подтверждают эти результаты. На основе рассчитанных относительных воздействий на зоны должен определяться приоритет природоохранных мероприятий, обеспечивающих, в первую очередь, снятие экстремальных нагрузок на зону II и снижение воздействий в IV и III зонах.

Для последующего определения степени деградации и прогноза качества морской среды различных участков акватории необходим учет ассимиляционной емкости, слагающейся из естественных фоновых характеристик, водообмена на границах участка, деструкции и седиментации ЗВ [2]. Учет этих факторов, наряду с приведенными выше комплексными оценками количества поступающих ЗВ, позволит объяснить особенности состояния морской среды в зонах с различным воздействием и распределение биологических видов на исследуемой акватории.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режимах и ресурсах поверхностных вод суши. Том 1. Выпуск 21. Бассейны Уссури и рек Японского моря. Л.: Гидрометеоздат, 1986. –387 с.
2. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеоздат, 1984. –560 с.
3. Кичев Д. С. Влияние дождевых сточных вод на качество воды Нижней Волги // Водоснабжение и санитарная техника. 1994. № 2. С. 10.
4. Климат Владивостока / Под ред. Швер Ц. А. Л.: Гидрометеоздат, 1978. –167 с.
5. Методические рекомендации по учету влияния хозяйственной деятельности на сток малых рек при гидрологических расчетах для водохозяйственного проектирования. Л.: Гидрометеоздат, 1986. –163 с.
6. Некоторые региональные последствия антропогенного воздействия на морскую среду / Под ред. Ткалина А. В. // Тр. ДВНИГМИ. 1990. Вып. 144. С. 106.
7. Обзор загрязнения окружающей природной среды в Российской Федерации за 1995 г. Гидрохимия моря / Под. ред. Израэль Ю. А. М.: Гидрометеоздат, 1996. С. 148.
8. СанПиН № 4631–88. Санитарные правила и нормы охраны прибрежных вод, морей от загрязнения в местах водопользования населения. М.: Министерство здравоохранения СССР, 1988. –15 с.
9. Пряжинская В. Г. Современные методы управления качеством речных вод урбанизированных территорий // Вод. ресурсы. 1996. № 2. С. 168.
10. Скакальский Б. Г. Влияние урбанизации на качество речных вод // Тр. ГГИ. 1973. Вып. 206. С. 134.

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ В РАЙОНЕ ВЛАДИВОСТОКА ПО СОДЕРЖАНИЮ ПОЛЛЮТАНТОВ В МОЛЛЮСКАХ И ГРУНТАХ

В августе 1996 года специалисты отдела экологического мониторинга (ОЭМ) ДВНИГМИ при поддержке добровольцев международной организации EARTHWATCH выполнили рекогносцировочную съемку залива Петра Великого по программе "Mussel Watch" с отбором проб моллюсков и донных отложений для анализа содержания приоритетных поллютантов (токсичных металлов, хлорированных углеводородов и радионуклидов). Успешное использование моллюсков для мониторинга загрязнения морской среды было продемонстрировано в США во время выполнения программ "Mussel Watch" в 1970-х и 1980-х годах [6–8]. В настоящее время подпрограмма "Mussel Watch" входит составной частью в национальную программу США "National Status and Trends" [11]. Одновременно в стадии выполнения находится международная программа "Mussel Watch", включая ее азиатско-тихоокеанскую фазу [13].

Для залива Петра Великого имеются данные по содержанию только токсичных металлов в моллюсках некоторых акваторий [1, 2]. Отсутствуют данные по радионуклидам, ДДТ или другим органическим поллютантам. Данные по радионуклидам особенно интересны, так как в заливе Петра Великого расположены потенциальные источники радиоактивного загрязнения: бухта Чажма (в которой в 1985 году произошла авария на атомной подводной лодке), бухта Большого Камня (где расположены предприятия по ремонту и перезарядке реакторов атомных подводных лодок) и т.п.

Некоторые данные по содержанию приоритетных поллютантов в донных отложениях залива Петра Великого уже имеются в ДВНИГМИ и частично опубликованы [14, 15, 17, 18]. Данные съемки 1996 года существенно дополняют имеющуюся информацию.

### 1. Ход выполнения работ

Для пробоотбора использовалось экспедиционное судно ДВНИГМИ "Гидробиолог" и весельная лодка. Моллюски (мидии видов *Modiolus diffcilis* и *Crenomytilus grayanus*, наиболее распространенные в заливе Петра Великого) отбирались аквалангистом с глубин 3–10 м. Донные отложения отбирались дночерпателем Ван-Вина (0.11 м<sup>2</sup>). Для анализа использовался только поверхностный слой толщиной 1–2 см. Всего было отобрано 14 проб донных отложений (рис. 1) и 9 проб моллюсков. Для анализа подбирались моллюски примерно одного размера (от 8 до 11 см).

В пробах моллюсков и донных отложений анализировалось содержание хлорированных углеводородов, тяжелых металлов и радионуклидов с применением стандартных методик Росгидромета. Результаты анализов приведены в последующих разделах.

Вследствие дождливой погоды условия пробоотбора в начальный период были неблагоприятными (высокая мутность). Соленость морской воды в поверхностном слое на станциях, подверженных влиянию речного стока,

составляла 12–18‰ (на остальных станциях соленость варьировала от 28 до 32‰). Температура поверхности воды на всех станциях изменялась в пределах 18.9–22.1°С.

## 2. Искусственные радионуклиды

В пробах донных отложений не были обнаружены искусственные радиоизотопы  $^{60}\text{Co}$  и  $^{134}\text{Cs}$ . Их активности были ниже 3.2 и 2.5 Бк/кг соответственно (сухой вес). Активность  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях изменялась от 1.8 Бк/кг в районе о. Рейнеке до 13–16 Бк/кг в вершине Амурского залива (рис. 1). Измеренные активности  $^{137}\text{Cs}$  соответствуют фоновым значениям и обусловлены глобальными выпадениями радиоизотопов. Повышенные активности  $^{137}\text{Cs}$  на некоторых станциях объясняются поступлением радионуклидов со взвесью, выносимой реками с водосборов. Аналогичные величины были зафиксированы в донных отложениях залива Петра Великого в 1994 году [16].

В пробах моллюсков искусственные радиоизотопы  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  не были обнаружены. Их активности были соответственно ниже 2.0, 1.2 и 1.8 Бк/кг (сырой вес). Измерения проб проводились в Региональной лаборатории радиационного мониторинга Приморскгидромета.

## 3. Токсичные металлы

Характеристики распределения токсичных металлов в донных отложениях залива Петра Великого достаточно изучены. Некоторые результаты работ специалистов ОЭМ ДВНИГМИ опубликованы [14, 15, 18]. Результаты летней съемки 1996 года (табл. 1) оказались сопоставимы с данными экспедиции 1994 года [18]. Как и следовало ожидать, максимальные концентрации металлов преимущественно антропогенного происхождения (свинец, медь, цинк) наблюдались в Амурском заливе в районе Владивостока, а в Уссурийском заливе – в районе городской свалки и бухты Тихой (рис. 2). Фоновые концентрации металлов наблюдались в районе о. Рейнеке и бухты Емар. Существенного вклада речного стока в загрязнение донных отложений упомянутыми металлами не отмечается. Распределение железа, марганца, никеля, кобальта и хрома обусловлено, в основном, гранулометрическим и минералогическим составом грунтов и не позволяет выделить заметного антропогенного воздействия на микроэлементный состав донных осадков.

Таблица 1

**Сравнительное содержание токсичных металлов в донных отложениях залива Петра Великого (мкг/г, сухой вес) по данным экспедиции 1996 г. и по результатам программы National Status and Trends (NS&T)**

Район, год	Металлы			Источник информации
	Zn	Pb	Cu	
Залив Петра Великого, 1996 г.	22–116	12–92	8–128	Настоящая работа
“Высокие” концентрации (NS&T)	135	45	42	[5]
Концентрации, оказывающие влияние на биоту	150	47	34	[9]

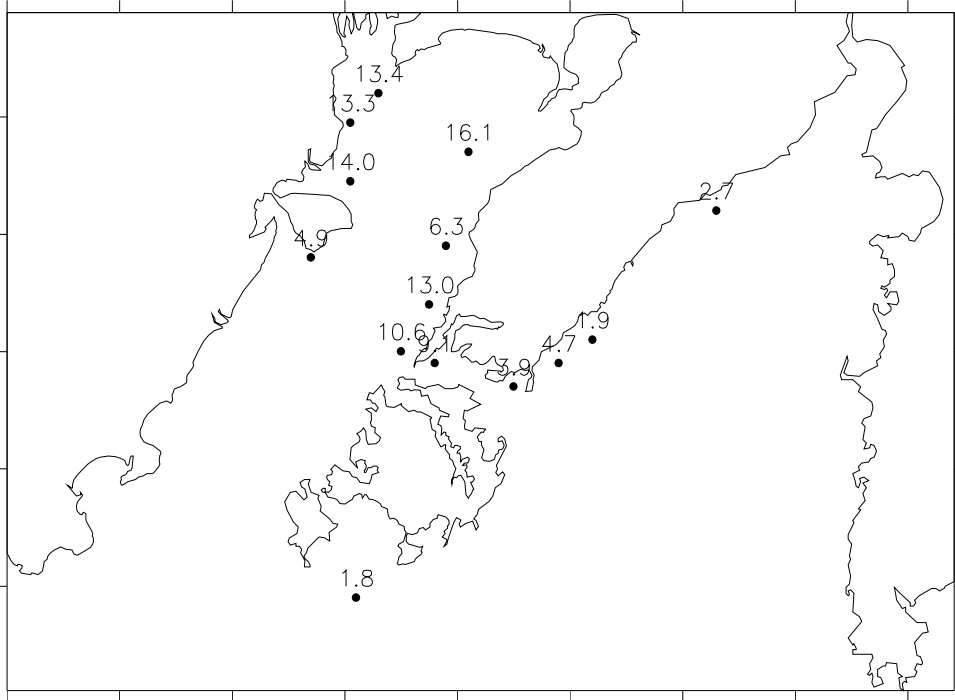
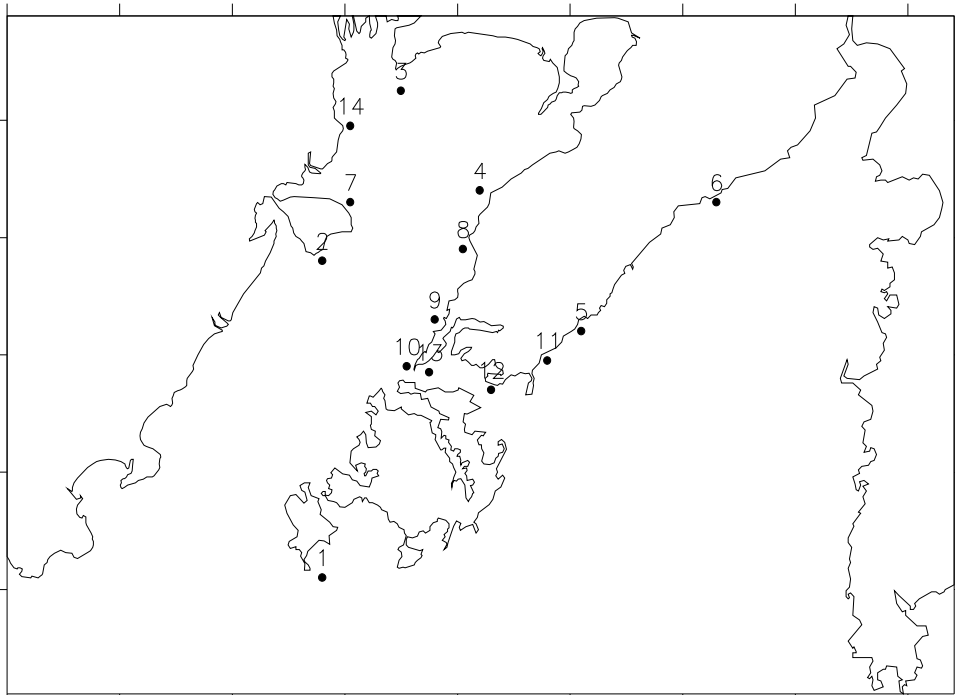


Рис. 1. Расположение станций отбора проб (вверху) и активность  $^{137}\text{Cs}$  (Бк/кг) в донных отложениях (внизу)

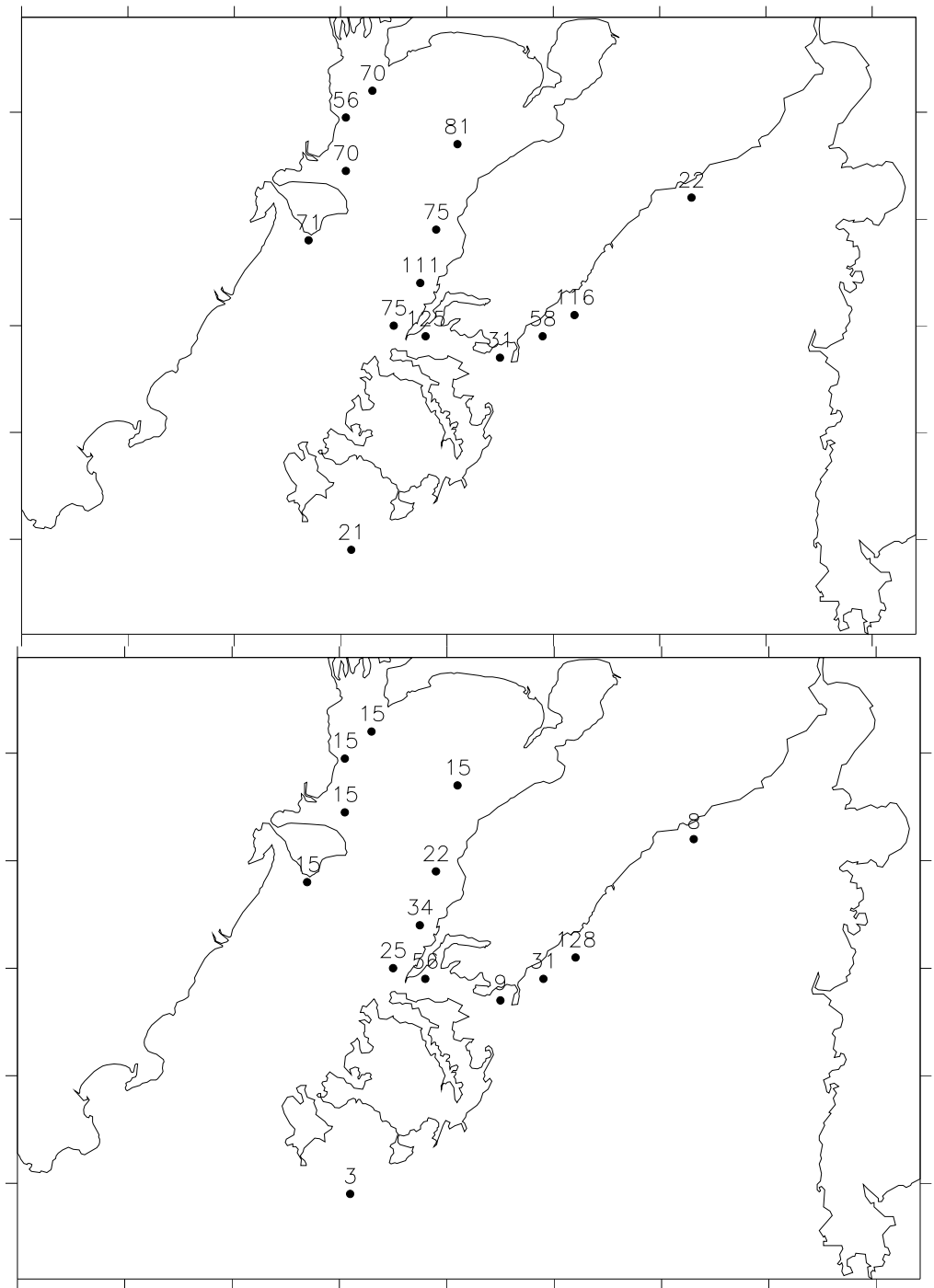


Рис. 2. Распределение цинка (вверху) и меди (внизу) в донных отложениях (мкг/г)

В табл. 1 для сравнения приведены “высокие” концентрации металлов, определенные по многолетним данным американской программы “National Status and Trends” (NS&T), а также концентрации, оказывающие негативное влияние на гидробионтов [9]. Как следует из сравнения, содержание свинца и меди на некоторых станциях залива Петра Великого превышает “высокий” уровень и даже выше концентраций, вызывающих биологические эффекты.

В пробах моллюсков, отобранных в заливе Петра Великого в августе 1996 года, преобладала мидия Грея (*Crenomytilus grayanus*). К сожалению, в северной части Амурского залива мидии этого вида отсутствовали и были собраны моллюски вида *Modiolus difficilis*. Так как тип питания этих моллюсков существенно различен, ниже приводятся данные по содержанию микроэлементов только в мидии Грея. Мидии этого вида питаются за счет фильтрации придонной взвеси, поэтому микроэлементный состав их тканей связан, в основном, с содержанием металлов во взвешенном веществе изучаемых акваторий [3].

В качестве примера на рис. 3 показано распределение цинка и меди. Отчетливо выделяется лишь район свалки в бухте Горностай, концентрации металлов на остальных станциях сравнимы с их фоновыми значениями в районе о-ва Рейнеке и бухты Емар. В отличие от донных отложений микроэлементный состав мидии Грея позволяет выделить импактные зоны не только по упомянутым металлам, но также по никелю и марганцу (сброс сточных вод Владивостока в Амурском заливе, городская свалка). В табл. 2 приведены данные по содержанию микроэлементов в моллюсках, отобранных в заливе Петра Великого в 1996 г., и некоторые результаты по концентрациям металлов в мидиях из прибрежной зоны США [11, 12]. Как и в случае донных отложений, содержание меди, кадмия и свинца в мидиях из залива Петра Великого (на некоторых станциях) превышает “высокий” уровень, определенный при выполнении программы “National Status and Trends”.

Таблица 2

**Сравнительное содержание микроэлементов (мкг/г сухого веса) в мидии Грея из залива Петра Великого и в мидиях из прибрежной зоны США**

Район, год	Металлы				Источник информации
	Zn	Cu	Cd	Pb	
Залив Петра Великого, 1996	65–125	3.8–15.0	2.9–5.8	0.8–60.0	Настоящая работа
Прибрежная зона США (средние за 1986–1993)	130–140	8.1–10.0	2.1–3.1	1.6–2.2	[12]
“Высокие” концентрации (NS&T)	190	11.0	5.7	4.3	[11]

#### 4. Хлорорганические пестициды

Распределение хлорорганических пестицидов в донных отложениях залива Петра Великого изучено достаточно хорошо, и некоторые результаты опубликованы [14, 17]. Результаты летней съемки 1996 года приведены в табл. 3 наряду с результатами предыдущих исследований и данными программы “National Status and Trends” (NS&T) США. Распределение суммы изомеров

гексахлороциклогексана (ГХЦГ), а также суммы ДДТ и его метаболитов (ДДД и ДДЭ) в донных отложениях показано на рис. 4.

Таблица 3

**Содержание хлорированных углеводов в донных отложениях (нг/г)**

Район, год	Сумма ГХЦГ	Сумма ДДТ	Источник информации
Залив Петра Великого, 1996 г.	0.57–5.70	1.01–26.10	Настоящая работа
Залив Петра Великого, 1994 г.	< 0.20–5.50	0.80–22.70	[17]
“Высокие” концентрации по данным программы NS&T	–	22.00	[12]
Концентрации, оказывающие негативное влияние на биоту	–	1.58	[9]

Несмотря на сравнительно хорошую изученность распределения хлорированных углеводов в донных отложениях, по данным 1996 года обнаружен новый источник поступления пестицидов в Амурский залив (ст. 9 в районе мыса Бурный, между бухтой Федорова и водной станцией ТОФ). Очень высокое содержание изомеров гексахлороциклогексана (5.7 нг/г) на этой станции свидетельствует о недавнем сбросе пестицидов в море. Повышенные концентрации ГХЦГ наблюдались также на близлежащей станции 10 и в районе бухты Тихой.

Максимальное содержание ДДТ и его метаболитов (26.10 нг/г) также наблюдалось на станции 9 (рис. 4). Недавние сбросы ДДТ (судя по повышенному процентному отношению содержания собственно ДДТ к суммарной концентрации ДДТ и продуктов его распада) производились на станциях 9, 10, 12 и 13, т.е. в южной части Амурского залива и в проливе Босфор Восточный. Скорее всего, это сбросы с судов, стоящих на рейде и проводящих борьбу с насекомыми химическими средствами. Как следует из табл. 3, суммарное содержание ДДТ и его метаболитов в донных отложениях залива Петра Великого на некоторых станциях превышает “высокий” уровень, вычисленный по данным программы NS&T [12] и концентрации, которые вызывают негативные эффекты на биоту [9].

Как и в случае тяжелых металлов, в распределении хлорированных углеводов не прослеживается существенное влияние стока реки Раздольной на уровень загрязнения донных отложений. Фоновые концентрации пестицидов наблюдались в районе о. Рейнеке и бухты Емар (рис. 4).

Данные по содержанию хлорированных углеводов в моллюсках приведены в табл. 4. Концентрации пестицидов в моллюсках залива Петра Великого сравнимы с таковыми для прибрежной зоны США и превышают величины, зарегистрированные японскими исследователями. Справедливости ради следует заметить, что на станциях 4, 7 и 9 моллюски были представлены видом *Modiolus diffcilis*, а на остальных станциях – *Crenomytilus grayanus*. Тем не менее, полученные данные позволяют проследить некоторые закономерности пространственного распределения пестицидов. Во-первых, как и в случае донных отложений, максимальное содержание ГХЦГ в моллюсках наблюдается на станции 9 в Амурском заливе (рис. 5). Здесь же отмечено и наибольшее

соотношение изомеров ( $\alpha$ -ГХЦГ/ $\gamma$ -ГХЦГ), достигающие 8.9 (на остальных станциях – от 0.8 на ст. 4 до 3.5 в районе бухты Тихой). Во-вторых, повышенные концентрации ДДТ и его метаболитов в моллюсках распространены более широко, чем в грунтах, и отмечены даже в фоновых районах вблизи бухты Емар (рис. 5). В-третьих, в отличие от грунтов, максимальное содержание ДДТ и продуктов его распада в моллюсках отмечалось в районе бухты Тихой Уссурийского залива. И, наконец, наибольший процент “свежего” ДДТ в моллюсках был отмечен на станциях 5, 10 и 11, т.е. в южной части Амурского и Уссурийского заливов. Отмеченные различия в распределении пестицидов в донных отложениях и в моллюсках объясняются, в первую очередь, тем, что концентрации химических субстанций в организме мидий вида *Crenomytilus grayanus* коррелируют с их содержанием в придонном слое воды, а в мидиях вида *Modiolus difficilis* – с содержанием в донных отложениях (см. раздел по металлам). Очевидно, в отдельные периоды (например, во время паводков) загрязненные пестицидами водные массы находятся и в северных частях Амурского и Уссурийского заливов.

Таблица 4

**Содержание хлорированных углеводородов в моллюсках (нг/г)**

Район, год	Сумма ГХЦГ	Сумма ДДТ	Источник информации
Залив Петра Великого, 1996 г.	0.85–15.89	3.69–37.58	Настоящая работа
Залив Петра Великого, 1995 г.	4.60–7.50	5.90–16.20	[4]
Прибрежная зона США (средние за 1986–1993 гг)	----	20.00–46.00	[12]
Прибрежная зона Японии	----	ND–7.10	[10]

**Заключение**

Основной задачей летней съемки 1996 года было определение содержания хлорорганических пестицидов, токсичных металлов и искусственных радионуклидов в моллюсках и грунтах залива Петра Великого. Станции располагались как в импактных районах Амурского и Уссурийского заливов (прибрежные воды Владивостока, городская свалка), так и в районах рекреации (бухта Емар, остров Рейнеке, п-ов Песчаный). В отмеченных районах проводится также любительский лов рыбы и моллюсков.

Оказалось, что содержание искусственных радиоизотопов ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$ ) в донных отложениях соответствует фоновому уровню и определяется глобальными выпадениями из атмосферы и поступлением взвешенных веществ с речным и поверхностным стоком. Активности радионуклидов в моллюсках были ниже предела обнаружения применяемой методики.

Повышенное содержание тяжелых металлов преимущественно антропогенного происхождения (свинец, медь, цинк) в донных отложениях наблюдались в Амурском заливе в районе сброса городских сточных вод, а в Уссурийском заливе – в районе городской свалки. Радиус зон антропогенного воздействия по содержанию металлов в грунтах составляет 5–10 км от источников загрязнения. По содержанию металлов в тканях моллюсков выделяются те же импактные зоны.



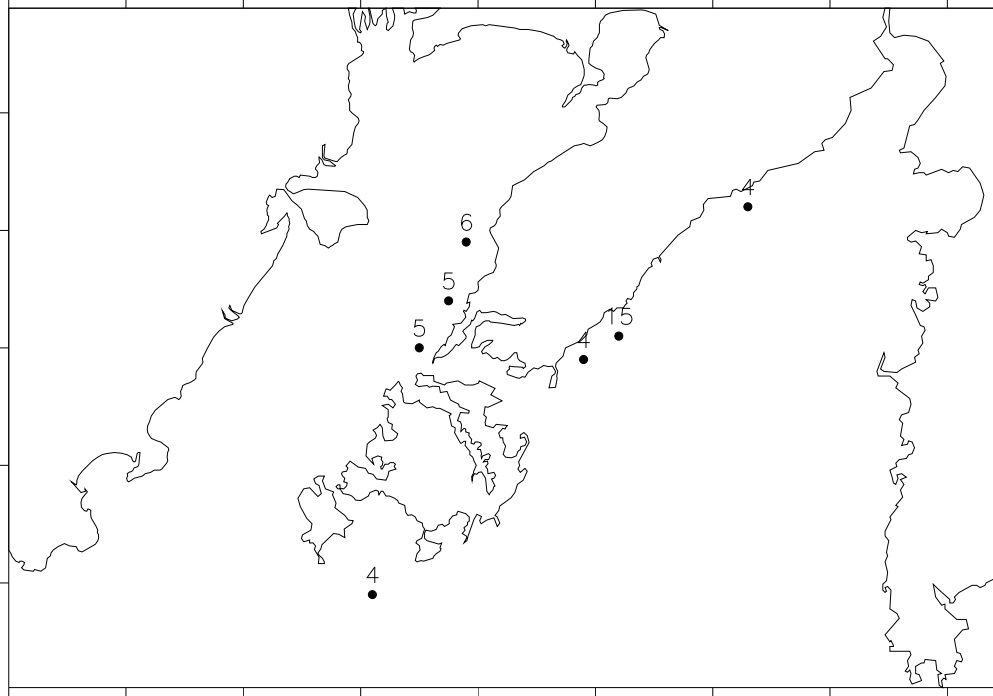
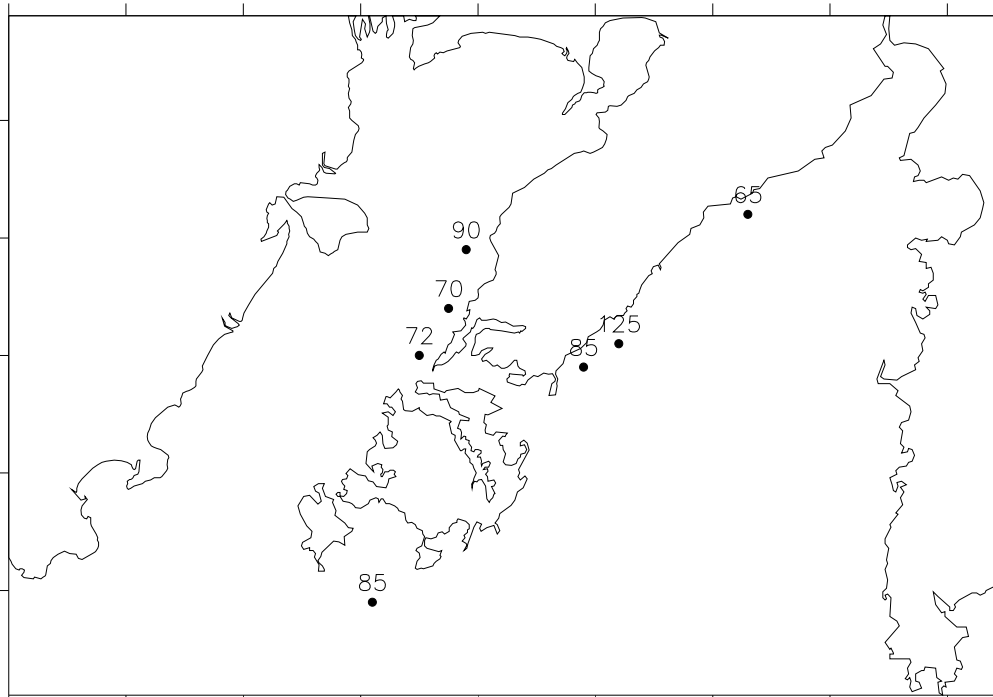


Рис. 3. Распределение цинка (вверху) и меди (внизу) в мидии Грея (мкг/г)

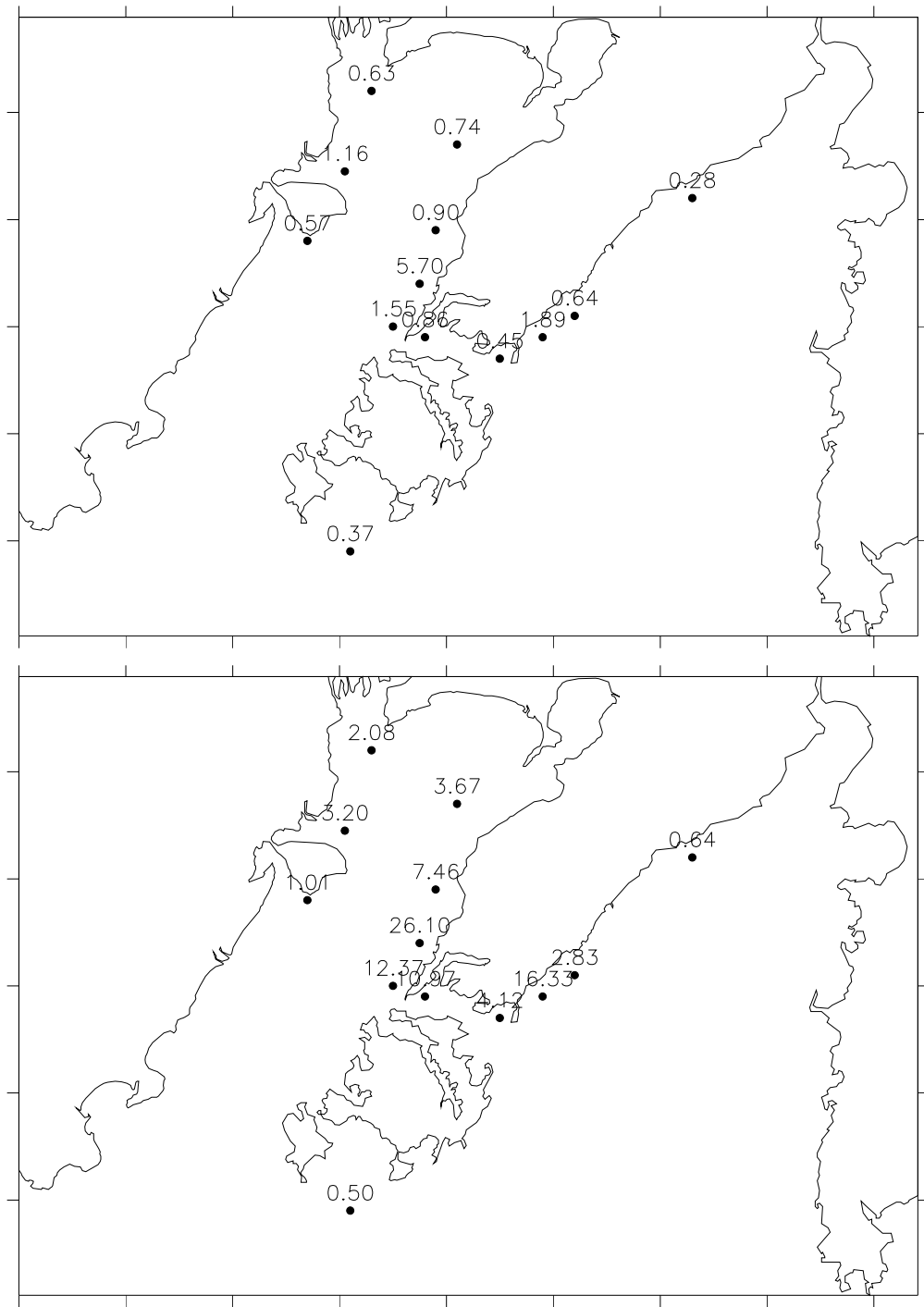


Рис. 4. Содержание суммы изомеров ГХЦГ (вверху) и суммы ДДТ и его метаболитов (внизу) в донных отложениях (нг/г)

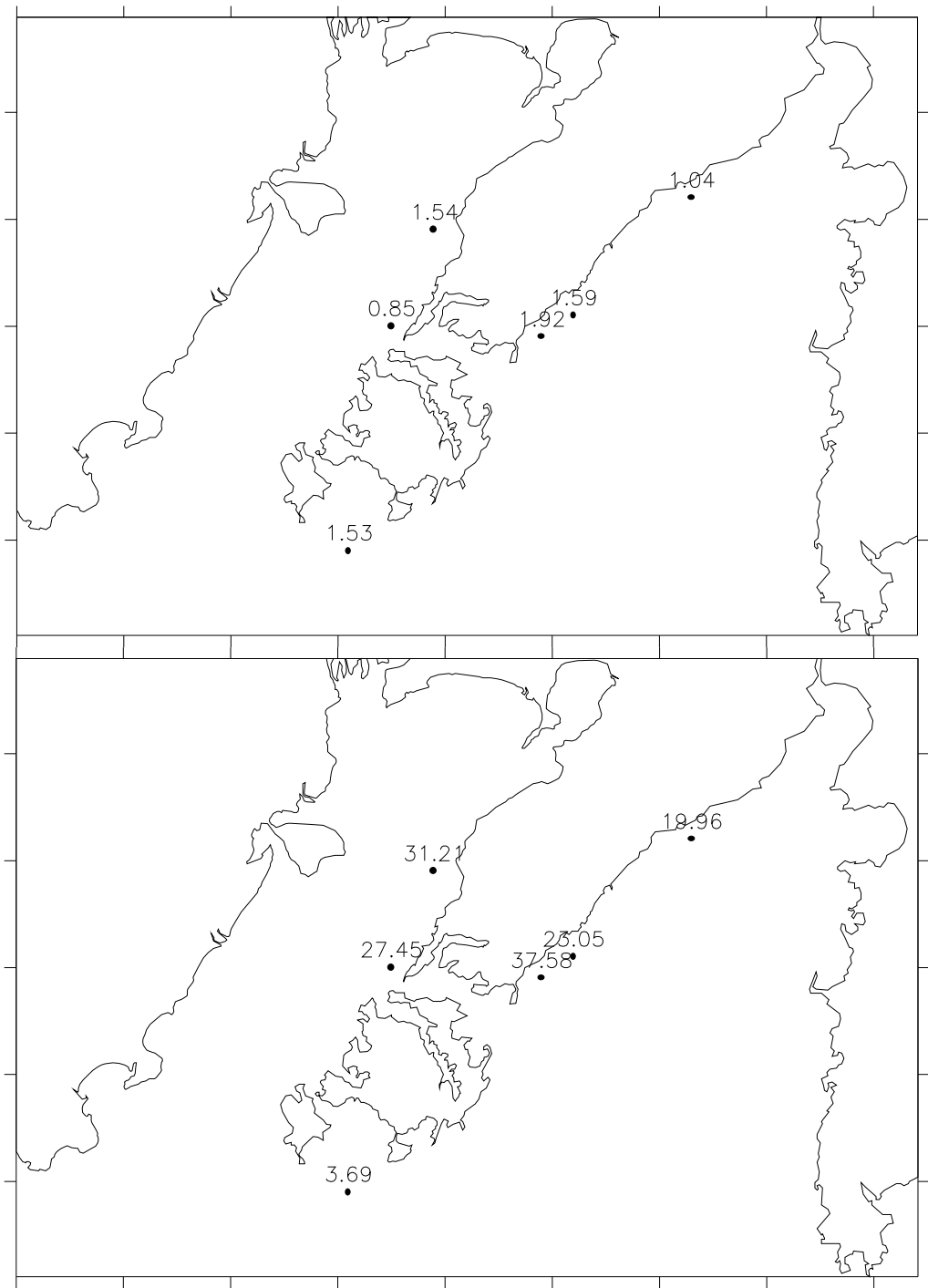


Рис. 5. Содержание суммы изомеров ГХЦГ (вверху) и суммы ДДТ и его метаболитов (внизу) в моллюсках (нг/г)

---

---

Максимальные концентрации хлорированных углеводородов в грунтах отмечены в районе мыса Бурный в Амурском заливе и вблизи бухты Тихой в Уссурийского залива. Источник в Амурском заливе ранее не прослеживался. Судя по соотношению изомеров ГХЦГ и метаболитов ДДТ, в районах рейдовых стоянок судов в южной части Амурского и Уссурийского заливов, а также в проливе Босфор Восточный производятся сбросы пестицидов в море. В тканях моллюсков пестициды в исследуемой акватории распространены более широко, чем в грунтах, что объясняется сорбцией органических поллютантов непосредственно из морской воды и их последующей биоаккумуляцией.

Проведенные в 1996 г. работы подтвердили безусловную перспективность использования моллюсков для мониторинга экологического состояния прибрежных акваторий залива Петра Великого, широко используемых для рекреации, рыболовства и добычи морепродуктов.

Автор выражает искреннюю благодарность всем участникам отбора проб и их последующего анализа.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саенко Г. Н., Зорина Л. Г., Радкевич Р. О., Бирюкова Т. А., Карякин А. В. Микроэлементы в экосистеме залива Петра Великого // *Океанология*. 1988. Т. 28. Вып. 2. С. 322–330.
2. Христофорова Н. К., Шулькин В. М., Кавун В. Я., Чернова Е. Н. Тяжелые металлы в промысловых и культивируемых моллюсках залива Петра Великого. Владивосток: Дальнаука, 1993. – 296 с.
3. Шулькин В. М., Чернова Е. Н. Концентрации тяжелых металлов в митилицах Амурского залива (Японское море) // *Экология*. 1994. № 4. С. 80–88.
4. Belan, T. A., Tkalin, A. V. & Lishavskaya, T.S. (1996). Organochlorines in mussels from Peter the Great Bay. North Pacific Marine Science Organization (PICES) Fifth Annual Meeting, October 11–20, 1996, Nanaimo, British Columbia, Canada. Abstracts. P. 4.
5. Daskalakis, K. D. & O'Connor, T. P. Distribution of chemical concentrations in US coastal and estuarine sediments // *Mar. Environ. Res.* 1995. № 40. P. 381–398.
6. Farrington, J. W., Goldberg, E. D., Risebrough, R. W., Martin, J. H. & Bowen, V. T. U.S. "Mussel Watch" 1976–1978: an overview of the trace-metal, DDE, PCB, hydrocarbon, and artificial radionuclide data // *Environ. Sci. Technol.* 1983. № 17. P. 490–496.
7. Goldberg, E. D., Koide, M., Hodge, V., Flegal, A.R. & Martin, J. U.S. Mussel Watch: 1977–1978 results on trace metals and radionuclides // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 1983. № 16. P. 69–93.
8. Lauenstein, G. G., Robertson, A. & O'Connor, T.P. Comparison of trace metal data in mussels and oysters from a Mussel Watch Programme of the 1970s with those from a 1980s Programme // *Mar. Pollut. Bull.* 1990. № 21. P 440–447.
9. Long, E. R., MacDonald, D.D., Smith, S.L. & Calder, F.D. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments // *Environ. Management*. 1995. № 19. P. 81–97.
10. Morita, M., ed. Trace elements and organic pollutants in mussels and other bivalves in Japan. The National Institute for Environmental Studies: Tsukuba, Japan, 1989. –108 p.
11. O'Connor, T. P. Mussel Watch: recent trends in coastal environmental quality: results from the first five years of the NOAA Mussel Watch Project. Special publication. NOAA/NOS/ORCA, Silver Spring, MD, 1992. –46 p.
12. O'Connor, T. P. Trends in chemical concentrations in mussels and oysters collected along the US coast from 1986 to 1993 // *Mar. Environ. Res.* 1996. № 41. P. 183–200.

- 
- 
13. Tanabe, S. International Mussel Watch in Asia-Pacific Phase // *Mar. Pollut. Bull.* 1994. № 28. P. 518.
  14. Tkalin, A. V. Bottom sediment pollution in some coastal areas of the Japan Sea // *Ocean Res.* 1992. № 14. P. 71–75.
  15. Tkalin, A. V., Belan, T. A. & Shapovalov, E. N. The state of the marine environment near Vladivostok, Russia // *Mar. Pollut. Bull.* 1993. № 26. P. 41–422.
  16. Tkalin, A. V. Investigation of marine environment radioactivity in the dumping areas and coastal zone of the Sea of Japan // *Arctic Research of the United States.* 1995. № 9. P. 88–89.
  17. Tkalin, A. V. Chlorinated hydrocarbons in coastal bottom sediments of the Japan Sea // *Environ. Pollut.* 1996. № 91. P. 183–185.
  18. Tkalin, A. V., Presley, B.J. & Boothe, P.N. Spatial and temporal variations of trace metals in bottom sediments of Peter the Great Bay, the Sea of Japan // *Environ. Pollut.* 1996. № 92. P. 73–78.

*Т. А. Белан*

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗАЛИВЕ СРЕЛОК И БУХТЕ РИФОВОЙ**

В последние годы выполнены обширные исследования по оценке уровня химического загрязнения различных районов Мирового океана и состояния морских экосистем. Накопленная информация свидетельствует о том, что открытый океан относительно “чист”, в то время как прибрежные зоны являются районами хронического загрязнения высокотоксичными соединениями: тяжелыми металлами, нефтяными углеводородами, биогенными элементами. Темп поступления последних в морскую среду продолжает нарастать, и области эвтрофикации, как и поля хронического загрязнения, расширяются. В условиях высокой антропогенной нагрузки, когда опасность деградации экосистем достигает критического уровня, важна информация об их фактическом состоянии.

В настоящей работе предпринята попытка получить интегральную оценку экологического состояния изучаемых акваторий с использованием данных по химическому загрязнению донных осадков и анализа видовой структуры и количественных значений донных беспозвоночных.

В качестве исходных материалов послужили сборы бентоса и донных отложений в заливе Стрелок и бухте Рифовой в сентябре 1992 и 1994 гг. (рис. 1). На каждой станции отбирали по две пробы грунта дночерпателем Ван-Вина (площадь захвата 0.11 м<sup>2</sup>), из поверхностного слоя которых изымалось около 50 г для последующего анализа содержания тяжелых металлов (ТМ) и нефтяных углеводородов (НУ). Остальной грунт промывался через сито с ячейей 1 мм, организмы макробентоса фиксировались 4% раствором формалина. Последующая обработка заключалась в определении видового состава, а также численности и биомассы каждого вида. Для группы полихет подсчитывались индекс видового разнообразия Шеннона-Винера (H) и индекс выровненности Пиелу (e). Кроме того, для выявления возможных различий между изучаемыми акваториями в работе использовались методы множественного статистического анализа [7]. Содержание ТМ определялось методом непламенной атомно-абсорбционной спектроскопии, НУ – методом инфракрасной

спектрофотометрии. Все анализы были выполнены в лаборатории Приморского управления по гидрометеорологии.

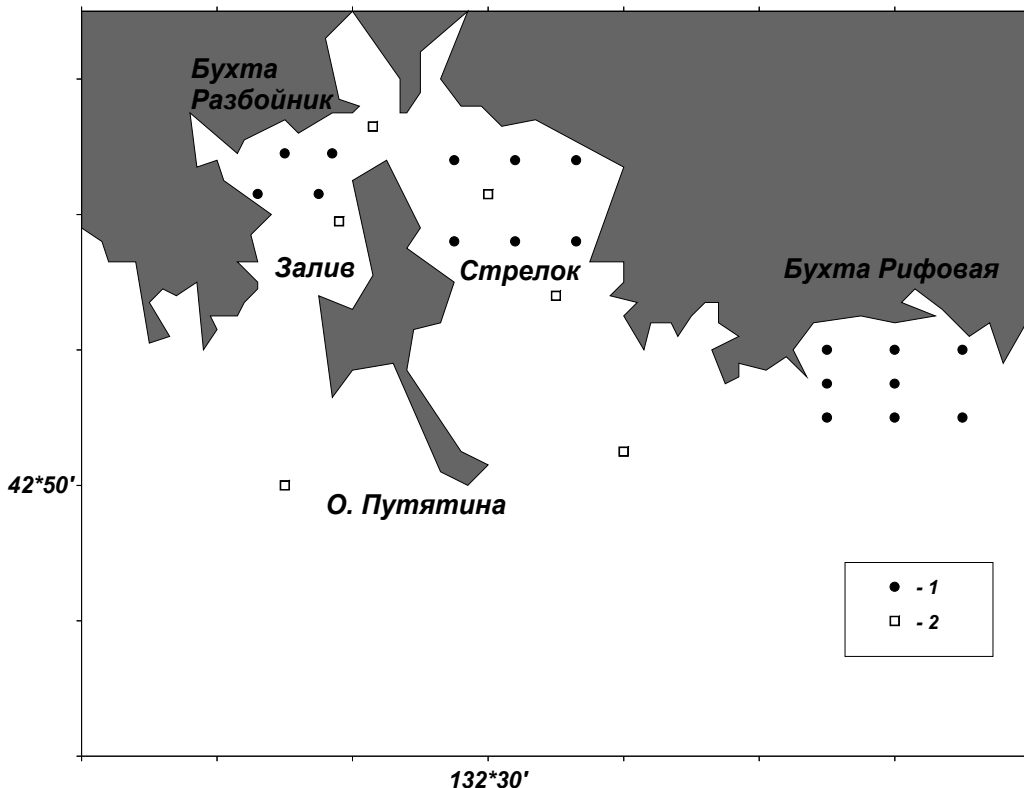


Рис. 1. Расположение района исследований.  
Условные обозначения: 1 – станции 1992 года, 2 – станции 1994 года

В 1992 г. были выполнены гидробиологическая и геохимическая съемки трех полигонов. Первый полигон, состоящий из восьми станций, располагался в бухте Рифовой на глубинах от 12 до 42 м на крупных и мелкозернистых песках. Второй полигон включал шесть станций в открытой части залива Стрелок на глубинах от 8 до 29 м, где грунты были представлены мягкими илами. На отдельных станциях донные осадки имели техногенный характер, на четырех точках в грунтах был зафиксирован сероводород. В мелководном участке бухты Разбойник был выполнен третий полигон из четырех станций на глубинах от 8 до 14 м. Грунт в бухте Разбойник в основном был представлен алевролитом с примесью техногенного материала, мертвых двустворчатых и брюхоногих моллюсков. На всех четырех станциях в донных осадках был обнаружен сероводород.

В табл. 1 приведены данные по содержанию нефтяных углеводородов и тяжелых металлов в поверхностном слое донных отложений трех исследуемых полигонов в 1992 г. Максимальные концентрации загрязняющих веществ, за исключением кадмия, зарегистрированы в бухте Разбойник, минимальное

содержание загрязнителей в донных осадках наблюдалось в бухте Рифовой, открытая часть залива занимала промежуточное положение.

Таблица 1

**Средние концентрации некоторых загрязнителей в донных осадках исследуемых районов в 1992 г.**

Загрязнители	Бухта Рифовая	Открытая часть залива	Бухта Разбойник
HY (мг/г)	0.07	0.23	0.38
Zn (мкг/г)	13.0	46.8	72.8
Pb	5.6	8.5	20.0
Cu	1.3	6.7	18.3
Ni	3.2	8.5	14.4
Co	3.3	3.0	6.0
Cd	0.7	2.6	1.9
Hg	0.03	0.04	0.08

Распределение средней биомассы бентоса, приведенное в табл. 2, а также соотношение основных групп макробентоса в указанных районах (табл. 3), указывают на неблагоприятную ситуацию в бухте Разбойник. Столь низкие величины средней биомассы и исключительное доминирование многощетинковых червей, как правило, наблюдаются в наиболее экологически напряженных районах [6].

Таблица 2

**Количественная характеристика бентоса в исследуемых районах в 1992 году (г/м<sup>2</sup>)**

	Бухта Рифовая	Открытая часть	Бухта Разбойник
N	8	6	4
Min	38.1	27.8	7.0
Max	154.3	149.4	19.2
$\bar{x} \pm \sigma_{n-1}$	89.8 ± 39.	52.1 ± 48.1	11.9 ± 5.2

Таблица 3

**Величина средней биомассы и соотношение основных групп бентоса исследуемых районов в 1992 г. (в числителе – г/м<sup>2</sup>; в знаменателе – %)**

Группа	Бухта Рифовая	Открытая часть	Бухта Разбойник
<i>Bivalvia</i>	<u>2.0</u> 2.2	<u>8.8</u> 16.9	
<i>Echinoidea</i>	<u>20.8</u> 23.2	—	
<i>Gastropoda</i>	<u>8.6</u> 9.6	<u>4.8</u> 9.2	
<i>Ophiuroidea</i>	<u>37.4</u> 41.6	<u>0.4</u> 0.8	
<i>Polychaeta</i>	<u>13.9</u> 15.5	<u>22.0</u> 42.2	<u>11.0</u> 92.4

В табл. 4 приведены количественные характеристики группы полихет для трех изучаемых районов. Наибольшее число видов полихет, а также максимальные величины индекса разнообразия (H) для данной группы, отмечаются в бухте Рифовой, несмотря на то, что в количественном отношении (биомасса и плотность) полихеты уступали остальным группам макробентоса в этом районе (табл. 3). Самые низкие величины числа видов, а также индексов разнообразия и выровненности (e), но максимальные значения их плотности отмечены в бухте Разбойник. Открытая часть залива Стрелок занимает промежуточное положение.

Таблица 4

**Количественные показатели группы полихет в районах исследований в 1992 г.**  
(среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение; плотность – экз/м<sup>2</sup>,  
биомасса – г/м<sup>2</sup>)

Параметры	Бухта Рифовая	Открытая часть	Бухта Разбойник
Число видов	$\pm 2.8$	$12.0 \pm 2.2$	$10.0 \pm 0.8$
H	$\pm 0.5$	$2.7 \pm 0.2$	$2.2 \pm 0.3$
e	$\pm 0.1$	$0.8 \pm 0.1$	$0.7 \pm 0.1$
Плотность	$810 \pm 508$	$1255 \pm 362$	$1483 \pm 849$
Биомасса	$\pm 10.1$	$22.0 \pm 7.9$	$10.9 \pm 3.3$

Такая картина состояния бентофауны очень показательна и типична, что подтверждается литературными данными. В районе максимального загрязнения обычно отмечается низкая биомасса, высокая плотность животных и обедненный видовой состав; на некотором удалении – повышенная биомасса, высокая плотность и появление новых видов; в “чистой” зоне – богатый видовой состав и уменьшение плотности бентоса при одновременном увеличении биомассы [5, 10, 2, 11, 4].

Известно, что под влиянием загрязнения происходит изменение не только количественных показателей сообществ, но, в первую очередь, их видовой структуры [3, 8, 10]. В сообществе начинают преобладать позитивные индикаторы загрязнения. В табл. 5 приводятся коэффициенты встречаемости некоторых индикаторных видов полихет, выделенных ранее для прибрежной зоны Японского моря [1]. Как следует из таблицы, коэффициент встречаемости всех перечисленных видов последовательно увеличивается от бухты Рифовой, где был отмечен только один из приведенных видов, до бухты Разбойник.

Таблица 5

**Коэффициенты встречаемости (%) некоторых индикаторных видов полихет в исследуемых районах залива Стрелок в 1992 г.**

Виды	Бухта Рифовая	Открытая часть	Бухта Разбойник
<i>Tharyx pacifica</i>	38	50	100
<i>Polydora sp.</i>	---	33	67
<i>Capitella capitata</i>	---	33	67
<i>Cirratulus cirratus</i>	---	---	33
<i>Nereis sp.</i>	---	---	67



В 1994 г. в заливе Стрелок было выполнено пять станций (рис. 1), расположенных в интервале глубин от 12 до 46 м. Данные 1994 г. подтвердили полученные ранее результаты. На большинстве станций в донных осадках присутствовали мертвые двустворчатые и брюхоногие моллюски, на одной из станций в грунте зафиксирован сероводород. Максимальные концентрации нефтяных углеводородов и тяжелых металлов (меди, кадмия, свинца, никеля, цинка и ртути) были отмечены в районе бухты Разбойник и составляли 0.42 мг/г, 13 мкг/г, 1.3, 13, 13, 53 и 0.08, соответственно. Эти данные оказались сопоставимыми с материалами, полученными в 1992 г. Самые низкие величины загрязняющих веществ наблюдались на выходе из залива. Станция, расположенная в открытой части зал. Стрелок, занимала промежуточное положение.

Для того, чтобы наглядно показать различия между тремя акваториями, на рис. 2 приводится ординация параметров среды методом главных компонент. В качестве параметров среды были выбраны следующие характеристики антропогенного характера: содержание нефтяных углеводородов и тяжелых металлов в донных осадках (Cu, Co, Cd, Pb, Ni, Zn, Fe, Hg), а также глубина и гранулометрический состав грунтов. Нагрузка на две главные компоненты составила 69%, что говорит о достаточно адекватном отражении существующей ситуации. На диаграмме выделяется три группы станций: станции бухты Разбойник (Р), открытой части залива Стрелок (С) и бухты Рифовой (Ф), где содержание поллютантов характеризовалось фоновым уровнем.

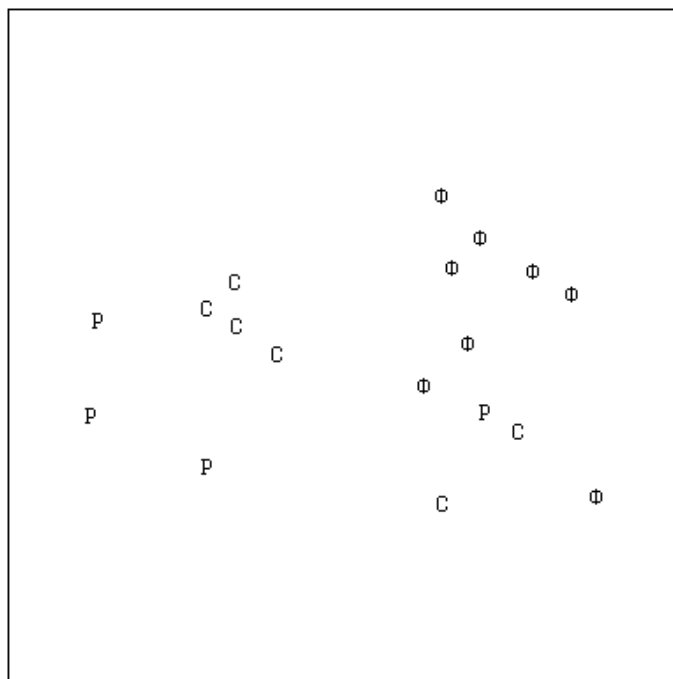


Рис. 2. Ординация параметров среды методом анализа главных компонент  
Р– бухта Разбойник, С – открытая часть залива Стрелок, Ф – бухта Рифовая

На рис. 3 приведена ординация проб макрозообентоса методом многомерного шкалирования, основанная на коэффициенте видового сходства Брэя-Кертиса. Приведенная диаграмма также свидетельствует о достаточно четком разграничении трех изучаемых акваторий (условные обозначения те же, что на рис. 2).

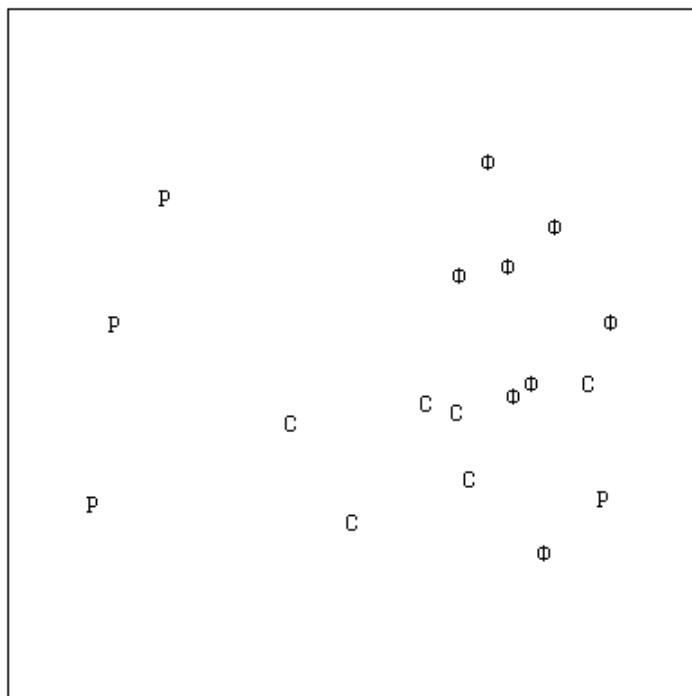


Рис. 3. Ординация проб макрозообентоса методом многомерного шкалирования.  
Р – бухта Разбойник, С – открытая часть залива Стрелок, Ф – бухта Рифовая.

Таким образом, экологическая ситуация в районе бухты Рифовой может быть оценена как благополучная (фоновый уровень загрязнения, высокое видовое разнообразие, доминирование нетолерантных к загрязнению видов: иглокожих и двустворчатых моллюсков). Бухта Разбойник, где отмечены самые высокие величины содержания поллютантов в донных осадках, низкая биомасса бентоса, элиминирование его основных групп, доминирование позитивных индикаторов загрязнения, может быть отнесена к одному их самых неблагополучных районов залива Петра Великого. Открытая часть залива Стрелок в настоящее время занимает промежуточное положение среди двух упомянутых районов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белан Т. А. Полихеты как индикаторы загрязнения Амурского залива (Японское море). В сб.: Многощетинковые черви и их экологическое значение. ЗИН РАН: Санкт-Петербург, 1992. С 120–125.

2. Мокеева Н. П. Отклик морских биоценозов на сброс грунта. В сб.: Итоги исследований в связи со сбросом отходов в море. М.: Гидрометеоиздат, 1988. С 89–104.
3. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. –740 с.
4. Ткалин А. В. и др. Некоторые региональные последствия антропогенного воздействия на морскую среду. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. –107 с.
5. Anger K. On influence of sewage pollution on inshore benthic communities in the south of Kiel Bay. Part I. Qualitative studies on indicator and communities // *Merentutkimuslaitok julk.* 1975. №. 293. P. 116–122.
6. Belan T. A., Oleynik E. V. Ecologically stressed areas of the Peter the Great Bay. International Conference on the Sustainability of Coastal Ecosystems in the Russian Far East. Vladivostok, 16–20 September, 1996. Abstracts. P. 10–11.
7. Clarke K. R., Green R. N. Statistical design and analysis for a 'biological effects' study // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1988. Vol. 46. №. 1–3. P. 213–226.
8. Gray J. S., Pearson T. H. Objective selection on sensitive species indicative of pollution-induced change in benthic communities. I. Comparative methodology // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1982. Vol. 9. №. 2. P. 111–119.
9. Gray J. S. et al. Analysis of community attributes of the macrobenthos of Frierfjord / Langesundfjord and in a mesocosm experiment // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1988. Vol. 46. №. 1–3. P. 151–165.
10. Rygg. B. Effects of sediment copper on benthic fauna // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1985. Vol. 25. №. 1. P. 83–89.
11. Warwick R. M. Analysis of community attributes of the macrobenthos of Frierfjord/Langesundfjord at taxonomic levels higher than species // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1988. Vol. 46. №. 1–3. P. 167–170.

*Е. В. Олейник*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ СООБЩЕСТВ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ В АМУРСКОМ ЗАЛИВЕ**

Моллюски являются одной из наиболее важных и массовых групп морского бентоса Японского моря. Целью настоящего исследования явилось изучение распределения и экологии двустворчатых моллюсков в Амурском заливе, где по сравнению с остальной акваторией залива Петра Великого (кроме бухты Золотой Рог) проявляется наибольшее антропогенное воздействие на морскую среду и биоту [4]. Сведения о составе и распределении двустворок Амурского залива могут служить показателем качества морской среды.

Материалом для работы послужили сборы бентоса экспедиций Дальневосточного регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института (ДВНИГМИ) за период с 1986 г. по 1994 г. Всего было обработано около 140 проб, собранных на 55 станциях (рис. 1). Материал собирали дночерпателем Ван-Вина с площадью захвата 0.11 м<sup>2</sup>. Пробы промывали на сите с ячейей 1 мм<sup>2</sup>, фиксировали 4%-ным раствором формалина. На каждой станции брали 2–3 дночерпательные пробы. Обработку материала проводили в отделе экологического мониторинга ДВНИГМИ. Были определены видовой состав, численность, биомасса, индексы видового разнообразия Шэннона-Винера и выровненности Пиелу.

На большей части района исследования преобладали черный и серый илы, часто с примесью ракуши, запахом сероводорода. В пробах встречались шлак и техногенный материал, мазут и гниющая органика.

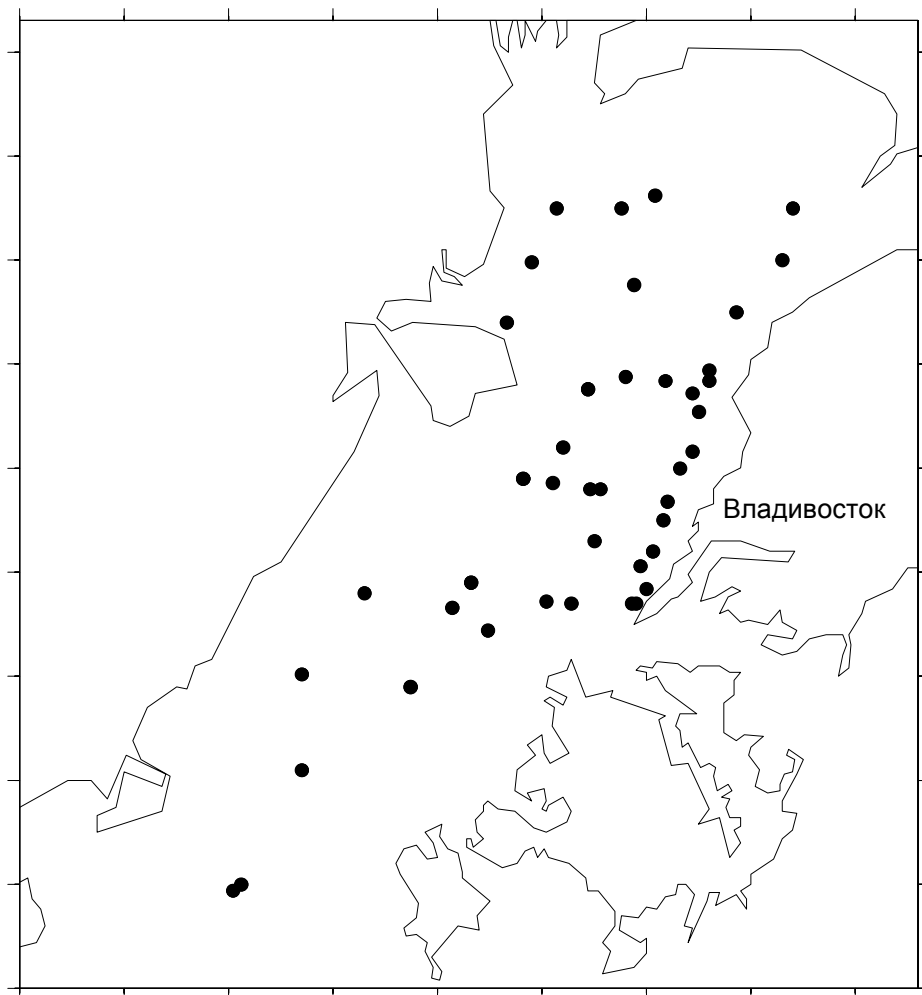


Рис. 1. Схема расположения станций

Средняя биомасса бентоса для района исследования составила  $113.7 \text{ г/м}^2$  с колебаниями от  $8.5$  до  $788.2 \text{ г/м}^2$ , что в два раза меньше, чем, например, в заливе Посъета в 1993 г. –  $203.5 \text{ г/м}^2$  (по собственным исследованиям). На долю двустворчатых моллюсков приходилось 24.5%, в то время, как по данным [3] для залива Посъета, например, доля двустворчатых моллюсков достигает 40.6%. По всему Амурскому заливу средняя биомасса двустворчатых моллюсков составила  $44.9 \text{ г/м}^2$  с колебаниями от  $0.02$  до  $674.8 \text{ г/м}^2$ .

Исходя из схемы распределения двустворчатых моллюсков (рис. 2), площадь исследования была условно поделена на два района. В один район была выделена восточная часть залива, ограниченная биомассой двустворчатых моллюсков менее  $10 \text{ г/м}^2$ , куда входили станции, приближенные к г. Владивостоку. К другому району была отнесена вся остальная часть исследуемой акватории залива, на которой располагались удаленные от города станции с биомассой выше  $10 \text{ г/м}^2$ .



Рис. 2. Распределение двухстворчатых моллюсков (г/м)

В приближенном к г. Владивостоку районе наблюдались наименьшие значения всех количественных характеристик (табл. 1). Средняя биомасса бентоса составляла  $82.0 \text{ г/м}^2$ , причем доля двухстворчатых моллюсков не превышала 8 % биомассы, в то время как биоценозы многощетинковых червей (полихеты) были обнаружены почти на всех станциях (частота встречаемости – 96.8%). Среди полихет преобладали *Tharyx racifica*, виды рода *Polydora*, которые служат индикаторами загрязнения и свидетельствуют о том, что в этой части залива донные сообщества находятся в стадии экологической депрессии [1]. Кроме того, в этой части залива наблюдалось много мертвых моллюсков и деформаций раковин.

В удаленном от г. Владивостока районе имело место увеличение всех количественных характеристик. Средняя биомасса бентоса была  $154.7 \text{ г/м}^2$ , двухстворчатые моллюски составили по биомассе 46.4% и были более многочисленными (частота встречаемости биоценозов двухстворчатых моллюсков – 62%) по сравнению с полихетами (46%).

Общее количество видов двустворчатых моллюсков достигало 37, наиболее многочисленными среди которых были (табл. 2): *Yoldia sp. juv.* (частота встречаемости – 56.2%), *Raeta pulchella* (52.1%), *Callithaca adamsi* (43.8%), *Mya sp. juv.* (43.8%), *Axinopsida orbiculata. subquadrata* (37.5%), *Alveinus ojianus* (29.2%), *Macoma orientalis* (18.8%), *Leionucula ovatotruncata* (20.8%).

Таблица 1

**Количественные показатели сообществ двустворчатых моллюсков для различных районов Амурского залива (средние значения)**

Район	Число видов	Общая биомасса бентоса (г/м <sup>2</sup> )	Биомасса дв. моллюсков (г/м <sup>2</sup> )	Процент биомассы дв. мол. (%)	$\bar{H}$	$e$
Приближенный район	4.0	82.0	4.5	8.4	0.9	0.5
Удаленный район	6.1	154.7	97.0	46.4	1.6	0.7
Весь район	4.7	113.7	44.9	24.5	1.3	0.6

Таблица 2

**Количественная характеристика некоторых видов двустворчатых моллюсков для различных районов Амурского залива**

Виды	Приближенный район			Удаленный район			Весь район		
	Частота встречаемости (%)	Средняя биомасса (г/м <sup>2</sup> )	Средняя плотность (экз/м <sup>2</sup> )	Частота встречаемости (%)	Средняя биомасса (г/м <sup>2</sup> )	Средняя плотность (экз/м <sup>2</sup> )	Частота встречаемости (%)	Средняя биомасса (г/м <sup>2</sup> )	Средняя плотность (экз/м <sup>2</sup> )
<i>Alveinus ojianus</i>	25.0	0.4	84.6	34.8	1.0	520.0	29.2	0.7	302.3
<i>Axinopsida orbiculata subquadrata</i>	25.0	0.3	26.7	50.0	0.2	50.6	37.5	0.2	38.6
<i>Callithaca adamsi</i>	20.8	0.2	4.0	66.7	8.2	28.4	43.8	4.1	16.2
<i>Leionucula ovatotruncata</i>	–	–	–	43.5	1.1	45.8	20.8	0.6	22.9
<i>Macoma orientalis</i>	8.3	0.6	4.8	30.4	15.4	12.4	18.8	8.1	8.6
<i>M. calcarea</i>	–	–	–	21.7	10.1	6.7	10.4	4.9	3.3
<i>M. nipponica</i>	8.3	0.1	17.9	13.0	3.3	1.9	10.4	1.6	9.9
<i>M. sp. juv.</i>	25.0	0.1	7.4	25.0	0.2	17.9	25.0	0.2	12.7
<i>Mya sp. juv.</i>	54.2	0.5	33.1	33.3	1.0	33.1	43.8	0.7	33.1
<i>Raeta pulchella</i>	45.8	0.1	28.3	58.3	3.0	77.9	52.1	1.5	53.1
<i>Yoldia seminuda</i>	–	–	–	29.2	0.8	17.3	14.6	0.4	8.6
<i>Y. sp. juv.</i>	75.0	0.3	98.1	37.5	0.6	172.1	56.2	0.5	135.1

По методу В. П. Воробьева [2] было выделено 10 биоценозов двустворчатых моллюсков (рис. 3). Биоценозы *R. pulchella*, *C. adamsi*, *Panomya arctica*, *P. japonica* (*M. calcarea* и *A. ojanus* как субдоминантные виды) занимали центральную часть Амурского залива. Такие крупные моллюски, как *M. orientalis*, *M. calcarea*, *M. tokyensis*, *M. nipponica*, *Cr. grayanus* оккупировали зоны, далекие от Владивостока. В прилегающей к городу зоне биоценозы двустворчатых моллюсков обнаружены не были.

Таким образом, прибрежная область вблизи индустриальной зоны (г. Владивосток) характеризуется уменьшением биоразнообразия и деградацией сообществ двустворчатых моллюсков. Анализ количественных и качественных показателей позволяет сделать вывод о более значительном нарушении структуры сообществ этой группы животных в восточной части Амурского залива, находящейся под влиянием загрязнения промышленными и бытовыми отходами, по сравнению со всей остальной акваторией залива.

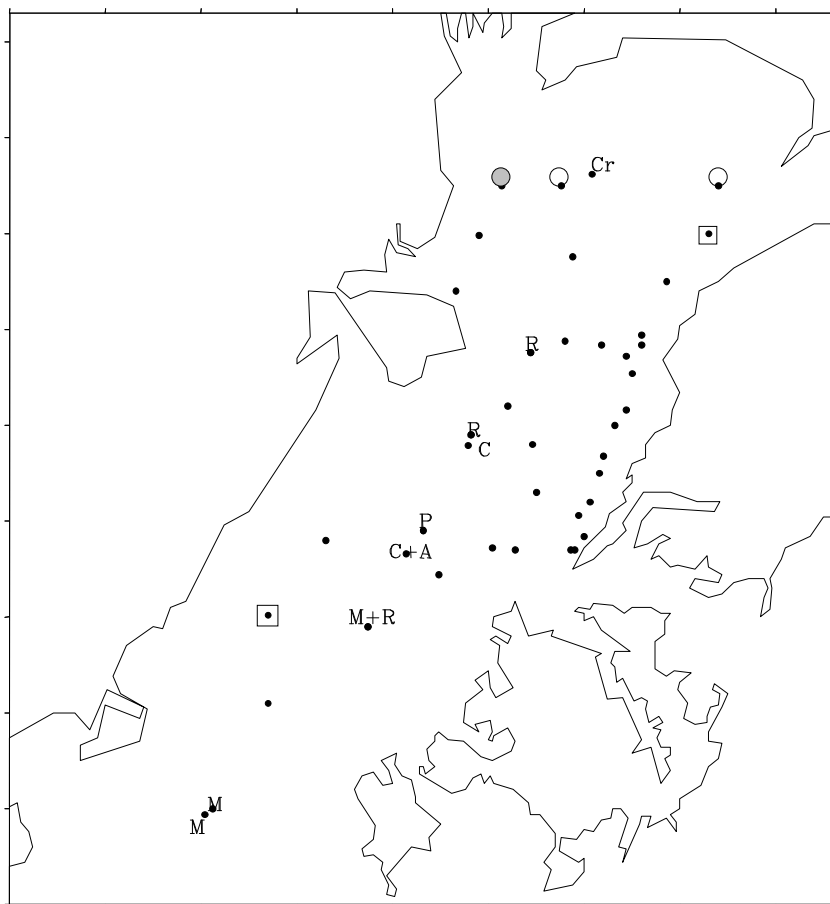


Рис. 3. Биоценозы двустворчатых моллюсков Амурского залива

*R* – *Raeta pulchella*; *C* – *Callithaca adamsi*; *C+A* – *C. adamsi* + *Alveinus ojanus*; *Cr* – *Chrenomytilus grayanus*; *P* – *Panomya arctica* + *P. japonica* + *M. calcarea*; *M* – *M. orientalis*; *M+R* – *M. orientalis* + *R. pulchella*; □ – *M. calcarea*; ○ – *M. tokyensis*; ● – *M. nipponica* + *A. ojanus*

---

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белан Т. А. Полихеты как индикаторы загрязнения Амурского залива (Японское море) // Сб.: Многочетинковые черви и их экологическое значение. ЗИН РАН: Санкт-Петербург. 1992. С. 120–125.
2. Воробьев В. П. Бентос Азовского моря // Тр. АзчерНИРО. 1949. Т. 13. –193 с.
3. Климова В. Л. Донная фауна залива Посьета // Прибрежный планктон и бентос северной части Японского моря. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 1985. С. 20–31.
4. Tkalin A. V., Belan T. A. Ecological consequences of marine environmental pollution near Vladivostok. Second International Ocean Pollution Symposium, 1–8 October, 1993, Beijing. Abstracts. P. 115–116.

*Г. А. Воронов*

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРИОКОМПЛЕКСАХ НЕФТЕПРОМЫШЛЕННОЙ ЗОНЫ СЕВЕРНОГО САХАЛИНА

В настоящее время нефтегазопромышленная зона северного Сахалина включает в себя территории Охинского и Ногликского административных районов общей площадью 23 тыс. кв. км (около 30% площади о. Сахалин). Наиболее густой сетью размещения нефтегазопромыслов и сопутствующих им транспортно-промышленных объектов выделяются в ней прибрежные северо-восточная и крайняя северо-западная части острова. Это район господства лиственничных лесов, озер, морских заливов и прилежащих к ним тундроподобных марей и приморских лугов. В соответствии с зоогеографическим районированием указанная территория входит в округ "Северный равнинный Сахалин", и его фауна имеет большое сходство с фауной материковой части Дальнего Востока России [22]. При сравнительно низком уровне фаунистической изученности северного Сахалина в целом, что подтверждается продолжающимися находками здесь новых видов птиц и млекопитающих [28, 8], в современном составе прибрежных териокомплексов зарегистрировано 28 видов наземных млекопитающих, что составляет (без рукокрылых) около 73% видового разнообразия териофауны о. Сахалин ([26]; наши данные). В числе обитающих здесь млекопитающих имеются виды, играющие важную биоценотическую роль, объекты охотничьего промысла и спортивной охоты, а также редкие представители фауны, нуждающиеся в особой охране. Присутствие этих животных (не говоря уже о других позвоночных) свидетельствует о довольно высоком уровне биоразнообразия и существенной хозяйственной и природоохранной значимости прибрежных экосистем северного Сахалина.

В течение последнего полувека эти слабо изученные в эколого-фаунистическом отношении природные системы находятся под значительным антропогенным воздействием, прямо или опосредованно обусловленным промышленным освоением запасов нефти и газа.

Известно [16, 21, 33], что при существующей технологии разведки, освоения и транспортировки нефти и газа неблагоприятное воздействие на природную среду неизбежно. Утечка и разливы нефти, буровых растворов, шламовых вод



---

---

наряду с техногенными нарушениями ландшафтов приводят к широкомасштабным, нередко необратимым трансформациям биогеоценозов, в том числе массовой гибели, сокращению ареалов и численности животных.

Аналогичные негативные процессы, очевидно, имеют место и в экосистемах нефтегазопромышленной зоны Сахалина. В настоящее время они не изучены. Известно лишь, что на некоторых нефтепромысловых участках острова уничтожены природные ландшафты, гидросеть и биоценозы [20]; многие реки, загрязнённые нефтепромбытстоками, полностью утратили своё рыбохозяйственное значение [17]; участились случаи нефтезагрязнения почв, вод, животных и гибели последних [4, 5, 28 и др.]. Однако, в перечисленных и многих других научных публикациях [2, 36, 37], затрагивающих современные аспекты охраны животных на Сахалине, не рассматриваются количественные критерии трансформации зоосообществ в зависимости от степени антропогенной нарушенности среды обитания различных видов. В связи с реализацией проектов дальнейшего развития нефтегазодобычи на суше и шельфе Сахалина отсутствие таких сведений не позволяет объективно спрогнозировать возможные при этом эколого-фаунистические изменения в местных экосистемах, а также затрудняет организацию рационального природопользования и охраны животных. Предлагаемое сообщение частично восполняет этот пробел.

В основе настоящей статьи лежат материалы эколого-териологических исследований, собранных на северном Сахалине в 1990 – 1993 гг. Объектами изучения служили охотничье-промысловые виды зверей (соболь – *Martes zibellina*, выдра – *Lutra lutra*, американская норка – *Lutreola vison*, лисица – *Vulpes vulpes*, белка – *Sciurus vulgaris*, ондатра – *Ondatra zibethica*, бурый медведь – *Ursus arctos*, северный олень – *Rangifer tarandus*, горностай – *Mustela erminea*, заяц-беляк – *Lepus timidus*), а также мелкие грызуны (красная полёвка – *Clethrionomys rutilus*, красно-серая полёвка – *Cl. rufocanus*, лесная азиатская мышь – *Apodemus peninsulae*, бурундук – *Tamias sibiricus*, серая крыса – *Rattus norvegicus*), являющиеся главными пищевыми объектами многих видов хищных млекопитающих островного региона.

На 10 экологических полигонах (площадь каждого составляла 60–100 км<sup>2</sup>), сравнительно равномерно размещённых в прибрежной части нефтегазопромышленной зоны северного Сахалина (рис. 1) и отличающихся между собой, главным образом, различной степенью антропогенной нарушенности природной среды, изучался видовой состав, распространение, биотопическое размещение, численность, плотность обитания, трофические условия и плодовитость перечисленных выше млекопитающих.

При сборе материала использовали широко апробированные методики. В частности, данные по относительной численности мелких грызунов получены в результате отлова зверьков стандартными ловчими линиями [30], отработано 6924 ловушко-суток. При определении плотности обитания этих грызунов на “объединённом гектаре” [23] производился полный их вылов на 19 пробных площадках размером 400–2500 м<sup>2</sup>, изолированных полиэтиленовой плёнкой [31]. Плотность охотничье-промысловых видов определена путём зимнего предпромыслового их учёта на постоянных и одноразовых маршрутах (общей протяжённостью 2318 км) по следам, норам и гнездовым участкам [38, 42, 35]. Сведения о плодовитости животных приведены на основании подсчёта эмбрионов, послеродовых пятен в рогах матки и детёнышей в выводке [30, 43 и

др.]. Часть фактического материала для этой цели получена от охотников из промысловых выборок.

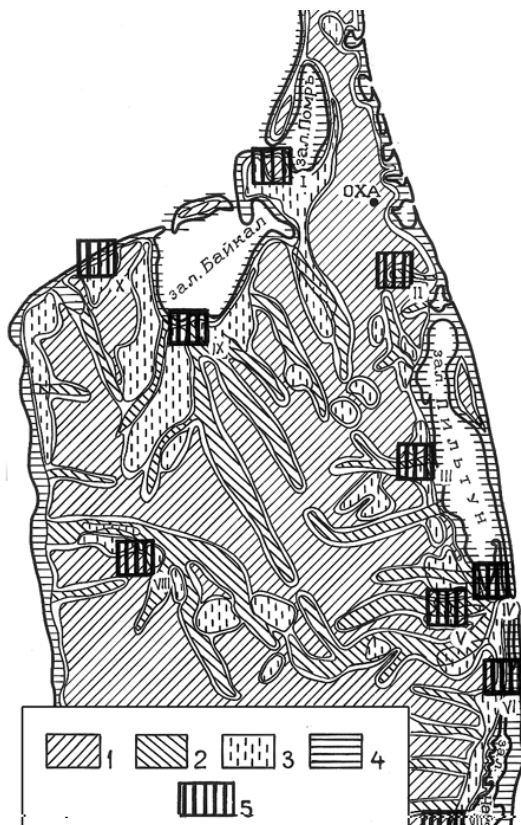


Рис. 1. Районы полевых работ и принципиальная схема размещения основных эколого-фаунистических комплексов в нефтепромышленной зоне северного Сахалина.  
1 – лесного, 2 – приречно-пойменного, 3 – лугово-болотного, 4 – прибрежно-морского; 5 – обследованные экологические полигоны: I – Некрасовка, II – Гиляко-Абуан, III – Сабо, IV – Пильтун, V – Паромай, VI – Астох, VII – Катангли – Уйглекуты, VIII – Ланеры, IX – Большая – Байкал, X – Люги-Невельская

При определении уровня антропогенной нагрузки на животных и среду их обитания применена четырехбальная визуальная оценка распространения каждого антропогенного фактора, регистрируемого на территории полигонов. Для некоторых из них она дополнена данными геохимического анализа содержания нефтепродуктов в почвах\*. Несмотря на определённую условность такой оценки, она позволила получить более-менее сопоставимые количественные показатели изменчивости сообществ животных в зависимости от степени нарушенности условий их существования. При подготовке настоящей работы использовались также ведомственные материалы лесного и охотничьего департаментов Сахалинской области, опросные сведения и собственные

\* Свои неопубликованные материалы по этому вопросу любезно предоставили сотрудники ИМГиГ ДВО РАН Е. В. Грецкая и Т. М. Побережная, за что автор им искренне благодарен.

---

---

материалы, собранные в 1967, 1986–1990 гг. в северных и других районах острова, не входящих в активную нефтепромышленную зону, но находящихся под воздействием иных антропогенных факторов, характерных для северо-сахалинского региона.

Еще в исторические времена териосообщества Сахалина испытывали определённый антропогенный пресс. Не без участия человека на острове исчезли кабан, тигр, два вида волков, лось, благородный олень, снежный баран [29, 11, 18, 1], а позже появились новые, намеренно и случайно интродуцированные виды – ондатра, американская норка, енотовидная собака, изюбрь и другие млекопитающие [6]. Начиная с XVII–XVIII вв. островные популяции животных оказались под постоянным воздействием антропогенных факторов, обусловленных промысловой охотой, рыболовством и домашним оленеводством [18, 41, 39]. В XIX–XX вв. антропогенные нагрузки на популяции животных и среду их обитания дополнительно возросли в связи с освоением на острове месторождений каменного угля, нефти, газа, золота, лесных ресурсов, а также развитием животноводства, сельского хозяйства и строительства промышленных и транспортных объектов. Вследствие различной хозяйственной деятельности и неумеренной охоты уже в начале XX в., на Сахалине заметно сократились внутриостровной ареал и численность северного оленя, кабарги, соболя и целого ряда других животных [12, 14, 2, 6 и др.].

Однако, северо-сахалинские популяции млекопитающих, несмотря на определённую нарушенность природной среды (рубки леса, строительство железной дороги, населённых пунктов, освоение углеводородных месторождений и т.п.), до начала 1960-х годов оставались ещё в удовлетворительном состоянии. Северный Сахалин в это время был одним из высокопродуктивных охотничье-промысловых районов. В общем объёме охотничьей продукции, заготавливаемой ежегодно в Сахалинской области, его доля составляла не менее 30–40%. Указанная обстановка резко изменилась в конце 1960-х – начале 1970-х годов, когда здесь особенно интенсивно развернулись нефтегазоразведочные работы и строительство с целью дальнейшего развития нефтегазопромышленного комплекса (НГПК). Вследствие этого природные системы северного Сахалина, особенно его северо-восточной части, претерпели значительные изменения. Лесные массивы, пройденные промышленными и другими рубками, а также "изрезанные" частой сетью нефтегазоразведочных геофизических профилей, дорог, просек и нефтепроводов, утратили свою целостность [40]. Стало отмечаться усыхание марей и болот. Пастбища северных оленей утратили былую оленеёмкость. Довольно обычным стало и нефтезагрязнение территории и водотоков не только в окрестностях нефтепромысловых участков, но и морских заливов, расположенных в десятках километров от них.

Существенной трансформации местных экосистем способствовали также лесные пожары. Они наблюдаются здесь ежегодно и, по материалам лесного департамента, их возникновение тоже имеет антропогенный характер. Особенно большой (за последнее десятилетие) пожар, уничтоживший около 250–300 тыс. га лесных угодий и оленьих пастбищ (около 15% от общей их площади в нефтепромышленной зоне) и явившийся, по словам очевидцев, причиной значительной гибели медведей, оленей и других животных, отмечался здесь в 1989 г.

Таким образом, в настоящее время природные ландшафты и популяции животных северного Сахалина в той или иной мере претерпели заметные антропогенные изменения. О существенных негативных последствиях этих изменений в отношении сообществ крупных парнокопытных, например, может свидетельствовать график многолетней динамики численности северного оленя – наиболее типичного представителя фауны северной части острова (рис. 2). Он достаточно ярко отражает устойчивую тенденцию сокращения численности популяции дикого северного оленя по мере увеличения поголовья домашних оленей и резкое падение численности обеих форм этих животных в период интенсификации добычи и разведки нефти и газа (1960–1970 гг.).

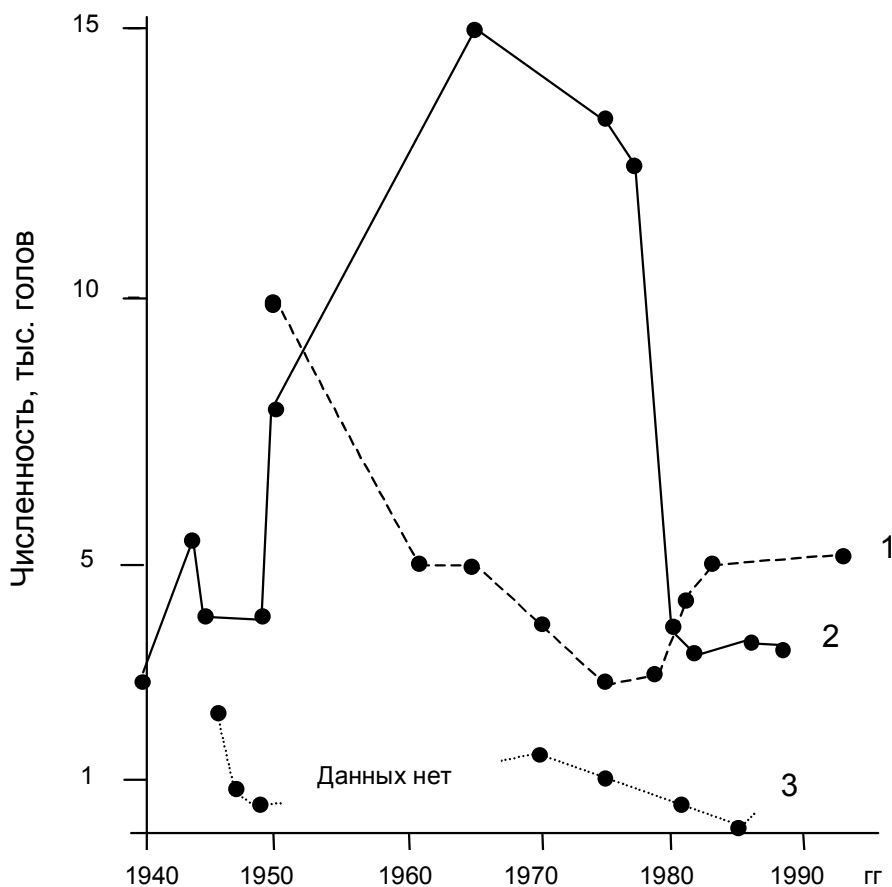


Рис. 2. Динамика численности северного оленя на Сахалине (по: [41, 15, 13] и материалам управления охотничье-промыслового хозяйства Сахалинской области). 1 – дикие и одичавшие животные, 2 – домашние олени; данные о численности за 1940–1950 гг. приведены только по одному колхозу “Вал”, из трёх имеющих в это время; 3 – домашние олени, “отколовшиеся” от стад;

В соответствии с видовыми особенностями биотопического размещения наземные млекопитающие северного Сахалина входят в состав четырёх

---

---

основных сформировавшихся здесь эколого-фаунистических комплексов – лесного, лугово-болотного, приречно-пойменного и прибрежно-морского.

Среди исследуемых нами 15 видов млекопитающих имеются фоновые представители каждого из них. Принципиальная схема размещения перечисленных группировок животных на территории нефтегазопромышленной зоны показана на рис. 1.

Данные, собранные на 10 указанных полигонах, дают основание полагать, что наибольшим разнообразием фоновых видов и сравнительно высокими показателями их обилия в прибрежной части северного Сахалина выделяется приречно-пойменный териокомплекс (табл. 1). Заметное исключение по плотности обитания составляют в нём восточно-азиатская мышь, бурундук и белка – типичные семенояды и, в меньшей степени соболь, лисица, серая крыса, которые имеют более тесные трофические связи с другими ценозами.

Как можно заметить по данным табл. 1, несмотря на высокие максимальные пределы показателей численности и плотности обитания, наблюдающиеся у ряда видов в отдельных комплексах, средние значения обилия животных в них свидетельствуют, в целом, о существовании сравнительно низкоплотностных сообществ наземных млекопитающих на прибрежной территории нефтепромышленной зоны.

Характерной особенностью всех местных териокомплексов являются также значительные вариации численности и плотности обитания фоновых видов по различным биотопам. Максимальные значения этих признаков в микропопуляциях многих видов (за исключением пластичных к антропогенным изменениям – серой крысы, зайца-беляка, лисицы) наблюдались в период исследований, главным образом, в хорошо сохранившихся первичных или слабо нарушенных и успевших восстановиться ценозах. В лесном экокомплексе такими являются климаксовые и спелые лиственничные и лиственнично-тёмнохвойные сообщества с присутствием кедрового стланика и ягодных кустарничков; зрелые леса, незначительно пройденные выборочными рубками, а также гари 50–80-летней давности, восстановившиеся с незначительной сменой первичных пород. В приречно-пойменном комплексе – старовозрастные приречные лиственнично-елово-пихтовые леса с багульниково-вейнико-папоротниковым покровом, примыкающие к рекам, по которым никогда не сплавляли или 30–40 лет назад прекратили молевой лесосплав. В лугово-болотном – луга и мари, не используемые в качестве пастбищ домашних животных, сенокосов, устройства буровых и т.п. В прибрежно-морском – приустьевые ценозы, слабо изменённые хозяйственной деятельностью. В то же время, минимальные показатели численности и плотности обитания этих же видов зверей регистрировались, как правило, в заметно нарушенных угодьях – на свежих лесосеках, слабо восстановившихся гарях, нефтезагрязнённых и техногеннонарушенных участках пойм, марей, лугов и морского побережья.

Таким образом, установленные пределы варьирования показателей относительной численности и плотности животных в сочетании со средними их значениями (см. табл. 1) характеризуют, очевидно, не только современный количественный состав микропопуляций исследуемых видов млекопитающих, но и состояние среды их обитания. Чем шире предел колебаний и ниже средние значения показателей обилия животных в исследуемых эколого-фаунистических комплексах, тем в большей степени (и на большем пространстве) нарушены в них станции, свойственные этим видам.

Состав, численность и плотность обитания фоновых видов наземных млекопитающих основных эколого-фаунистических комплексов прибрежной части нефтепромышленной зоны северного Сахалина, в среднем по 10 полигонам (рис. 1) за 1990–1992 гг.

Виды животных	Численность <sup>1</sup> и плотность обитания <sup>2</sup>				
	Лесной	Лугово-болотный	Приречно-пойменный	Прибрежно-морской	В среднем по комплексам
Полёвка красная	8.1(2–25)	– <sup>3</sup>	17.1(2–60)	–	12.6(2–60)
Полёвка красно-серая	–	2.8(0.1–9)	9.5(0.5–40)	3.8(0.1–25)	5.3(0.1–40)
Серая крыса	–	–	0.2(0.1–2)	2.0(0.1–5)	1.1(0.1–5)
Восточно-азиатская мышь	8.0(0.4–20)	–	1.5(0.5–3)	7.5(0.1–30)	5.6(0.1–20)
Бурундук	4.7(2–10)	–	2.0(0.1–3)	–	3.3(0.1–10)
Белка	1.6(0.5–5)	–	0.5(0.1–2)	–	1.0(0.1–5)
Ондатра	–	1.3(0.1–5) <sup>4</sup>	1.9(0.1–3) <sup>4</sup>	–	1.6(0.1–5) <sup>4</sup>
Зяцз беляк	6.9(2–15)	2.7(1–5)	4.0(1–7)	–	4.5(1–15)
Горностай	5.6(1–21)	2.0(0.1–10)	3.2(0.1–6)	–	3.6(0.1–21)
Соболь	1.2(0.5–4)	–	0.9(0.1–5)	–	1.0(0.1–5)
Американская норка	–	2.0(1–4) <sup>5</sup>	3.3(0.1–10) <sup>5</sup>	–	2.6(0.1–10) <sup>5</sup>
Выдра	–	–	1.4(0.1–3) <sup>5</sup>	0.2(0.1–0.3) <sup>5</sup>	0.8(0.1–3) <sup>5</sup>
Лисица	1.8(0.3–3)	2.0(0.1–4)	1.9(0.1–5)	2.3(0.5–6)	2.0(0.1–6)
Бурый медведь	0.1(0.01–0.5)	–	0.1(0.01–0.5)	–	0.1(0.01–0.5)
Северный олень	1.5(0.1–2)	3.9(0.1–30) <sup>6</sup>	1.5(0.1–3)	–	2.3(0.1–30)

<sup>1</sup>– для мелких грызунов, из расчёта количества особей на 100 ловушко-суток (n=6924 л/сут); в скобках пределы варьирования учётных данных по разл. биотопам;

<sup>2</sup>– для охотничьих зверей – количество особей на 10 км<sup>2</sup> собственных угодий (общая протяжённость учётных маршрутов 2318 км);

<sup>3</sup>– вид не зарегистрирован или очень редок;

<sup>4</sup>– сотни особей;

<sup>5</sup>– количество особей на 10 км русел рек и ручьёв;

<sup>6</sup>– данные на июнь – июль, позже плотность северного оленя снижается здесь до 0.1 особи на 10 км<sup>2</sup>

Такой подход, применённый, в частности, к оценке современного состояния охотничьих зверей, даёт основание считать, что сообщества большинства этих видов на прибрежной территории нефтепромышленной зоны северного Сахалина формируются в более нарушенных стациях и с плотностью в 1.5–3 раза ниже, чем в других районах острова, не входящих в активную зону влияния НГПК (табл. 2). Данные, полученные в 1967 г. при зимнем учёте животных в Ногликском районе, в 50–60 км южнее полигона Катангли – Уйглекуты, указывают на то, что плотность обитания многих видов зверей оказалась здесь, в среднем, в 2–3 раза ниже, чем 25 лет назад, когда влияние НГПК не имело ещё такого обширного распространения, как в настоящее время. Заметно меньше варьировали тогда и показатели плотности обитания большинства исследуемых видов млекопитающих по различным биотопам.

Таблица 2

**Плотность обитания охотничье-промысловых млекопитающих в нефтегазопромышленных и других районах о.Сахалин, в среднем по различным биотопам за указанные годы**

Виды животных	Плотность обитания, особей на 10 км <sup>2</sup> свойственных виду угодий; годы исследований и протяжённость учётных маршрутов		
	Нефтепромышленные районы Северного Сахалина		Другие районы о. Сахалин
	1967 г., 635 км	1990–1992 гг., 2318 км	1986–1990 гг., 1712 км
Соболь	3.8 (1–6) <sup>1</sup>	1.0 (0.1–5)	3.5 (0.3–5)
Лисица	4.1 (2–6)	2.0 (0.1–6)	3.0 (0.1–4)
Американская норка	– <sup>2</sup>	2.6 (0.1–10) <sup>3</sup>	4.0 (0.5–9) <sup>3</sup>
Выдра	2.3 (1–4) <sup>3</sup>	0.8 (0.1–3) <sup>3</sup>	2.0 (0.1–3) <sup>3</sup>
Белка	9.8 (2–15)	1.0 (0.1–5)	14.0 (1–50)
Ондатра	–	1.6 (0.1–5) <sup>4</sup>	5.0 (0.1–7) <sup>4</sup>
Заяц-беляк	11.3 (5–18)	4.5 (1–15)	14.0 (1–20)

<sup>1</sup> В скобках указаны пределы варьирования учётных показателей;

<sup>2</sup> данных нет;

<sup>3</sup> количество особей на 10 км протяжённости русел рек и ручьев;

<sup>4</sup> сотни особей.

При анализе возможных причин деградации сообществ животных на территории нефтепромышленной зоны северного Сахалина нам удалось выделить ряд причин, которые, по нашему мнению, могли наиболее заметно способствовать этому процессу в течение последних 30 лет.

Во-первых, особенно широкое распространение получили здесь промышленные рубки леса, нефтепромбытзагрязнение, техногенные и пирогенные нарушения ценозов. Во-вторых, как и ранее, в пределах этой зоны довольно интенсивно велись промысловая охота, домашнее оленеводство, заготовка дикоросов и стало процветать охотничье и рыболовное браконьерство. В-третьих, вследствие увеличения численности населения,

---

---

строительства крупных населённых пунктов городского типа, а также прокладки дорог, нефтепроводов, геофизических профилей и развития вездеходного автотранспорта, здесь существенно возросли рекреационные нагрузки и беспокойство животных. Всю эту разнообразную деятельность человека, прямо и опосредованно обусловленную преимущественно развитием НГПК, по характеру воздействия на животных и среду обитания можно объединить в шесть основных антропогенных факторов:

- 1) техногенные нарушения природных систем при разведке и освоении нефте-газовых месторождений;
- 2) нефте- и промбытзагрязнение территории водоёмов;
- 3) промышленные рубки леса;
- 4) лесные пожары антропогенного возникновения;
- 5) охота, рыболовство и использование недревесных растительных ресурсов в хозяйственных и бытовых целях;
- 6) рекреационные нагрузки.

Как показали полевые исследования, в результате многолетнего комплексного воздействия перечисленных факторов на месте крупных массивов климаксовых хвойных лесов северного Сахалина [19, 24, 25] теперь господствуют слабо восстановившиеся гари и лесосеки, занимающие примерно около 70–80% лесопокрытой территории нефтепромышленной зоны. Небольшие площади сохранившихся лесов, как отмечалось выше, изрежены и повреждены при прокладке нефтепроводов, дорог, просек и геофизических профилей. Почвы и водоёмы во многих местах (особенно, в районе полигонов Катангли, Уйглекуты, Некрасовка, Пильтун, Сабо и др.) оказались существенно загрязнены нефтепродуктами. На некоторых участках полигонов, например, Некрасовка и Катангли – Уйглекуты, где 17–20 лет назад прекратили промысловую добычу нефти, содержание нефтепродуктов в бурых лесных и торфянистых почвах по неопубликованным данным Т. М. Побережной остаётся в 90–119 раз выше и без того довольно высокого их фонового уровня (40–317 мг/кг).

Безусловно, промысел животных и указанные изменения природной среды, повлекшие за собой фрагментацию местообитаний, снижение трофической, гнездовой и защитной функций угодий, не способствовали образованию высокой численности исследуемых видов. Об этом свидетельствуют современное состояние териокомплексов, в целом, на обследованной территории (см. табл. 1–2) и состояние сообществ отдельных видов млекопитающих на экологических полигонах, сгруппированных по степени антропогенного воздействия на их экосистемы (табл. 3).

Данные таблицы свидетельствуют о том, что на сравниваемых полигонах проявляется довольно чёткая тенденция сокращения средних значений показателей плотности обитания охотничьих зверей с возрастанием общей антропогенной нагрузки на экосистемы и их нефтезагрязнением. Различное состояние сообществ этих животных, наблюдающееся на двух соседних полигонах (Катангли – Уйглекуты и Астох), расположенных в одном ландшафтном округе – "Восточное побережье" [32], но отличающихся между собой максимальной степенью нарушенности природной среды (см. табл. 3), даёт основание полагать, что примерно двукратное увеличение комплексной антропогенной нагрузки на экосистемы вызывает в местных прибрежных териокомплексах почти адекватное снижение плотности микропопуляций зайца-



---

---

беляка, ондатры; трёхкратное – лисицы и выдры и четырёхкратное – горностая. Принимая во внимание отсутствие на полигоне Астох нефте-промзагрязнения (при небольшом различии на сравниваемых полигонах степени воздействия других пяти перечисленных выше антропогенных факторов), можно предположить, что именно нефтезагрязнение способствовало на полигоне Катангли–Уйглекуты сокращению численности этих животных в указанных пределах.

Оценка трофических условий обитания хищных зверей (лисицы, горностая и др.) с помощью абсолютного учёта численности грызунов (основных пищевых объектов плотоядных) на пробных площадках пяти полигонов также выявила довольно чёткую закономерность сокращения плотности обитания “кормовых объектов” и хищных млекопитающих с повышением уровня общей антропогенной нарушенности природной среды (табл. 4). Максимальные различия в показателях плотности на нефтезагрязнённых и условно чистых полигонах наблюдаются в микропопуляциях красной полёвки, бурундука, горностая и околотовных зверей – американской норки и выдры. В меньшей мере это свойственно сообществам красно-серой полёвки, лесной мыши и лисицы. Средние значения учётных показателей по этим видам дают основание считать, что увеличение в 1.4 раза (на 15%) антропопрессинга (за счёт комплексного воздействия всех указанных выше факторов, в т.ч. нефтезагрязнения) снижает плотность обитания мелких грызунов и хищных зверей в среднем в 1.8 и 1.7 раз (на 23 и 27%) соответственно.

При этом у ряда видов (красной полёвки, бурундука, горностая, норки, выдры), обитающих в условиях, отличающихся между собой по степени антропогенной нагрузки на среду обитания в 1.5–2 раза (например, на двух парах полигонов – Катангли, Астох и Пильтун, Большая), различия в плотности микропопуляций достигают 30–60%. Проведенный анализ показывает, что возрастание общей антропогенной нагрузки на 1.5–2% способно повлечь за собой в прибрежных экосистемах нефтепромышленной зоны Сахалина сокращение численности мелких грызунов и хищных млекопитающих примерно на 2–3%.

В этой связи интересно отметить, что на полигоне Катангли, где в период исследований отмечалась минимальная численность мышевидных, лисицы, горностаи и ласки пытались разыскивать мелких грызунов и бурузубок даже на сильно нефтезагрязнённой территории. Однако основу питания, например, лисицы в летне-осенний и ранне-зимний сезоны составляли здесь только рыбы, птицы, орехи кедрового стланика и ягоды голубики, брусники, шиповника, рябины. Встречаемость остатков перечисленных пищевых объектов в экскрементах и содержимом желудка зверьков этого вида (n=147) соответствовала 88, 71, 68, 47, 23, 10 и 5%, при кормовом коэффициенте 12–55% (от объёма пищевого комка и исследованных образцов). В это же время, частота встречаемости остатков грызунов (полёвок, лесной мыши, бурундука) и бурузубок составляла всего около 9% против 60–94%, регистрируемых обычно ([3], наши данные) в питании этого вида в других районах Сахалинской области. Безусловно, зимой, когда запасы используемых кормов истощаются и станут недоступны, лисицы вынуждены будут покинуть данный район.

**Плотность обитания охотничье-промысловых млекопитающих на экологических полигонах, испытывающих различные антропогенные нагрузки**

Обследованные полигоны	Общая антропогенная нагрузка, в баллах <sup>1</sup>	Максимальное содержание нефтепродуктов в почвах, г/кг	Плотность обитания, в среднем особей на 10 кв. км свойственных виду угодий (1990–1992 гг.)							
			Заяц-беляк	Белка	Ондатра <sup>2</sup>	Лисица	Соболь	Выдра <sup>3</sup>	Норка <sup>3</sup>	Горностай
<b>Нефтезагрязнённые:</b>										
Катангли-Уйглекуты	24	8.74	2.5	– <sup>4</sup>	1.0	1.3	–	1.0	2.0	2.5
Паромай	22	–	10.0	2.5	3.0	3.0	1.8	2.8	5.0	3.2
Пильтун	22	–	8.0	1.5	1.0	2.5	1.5	1.0	2.5	4.1
Сабо	22	–	3.5	0.7	1.3	1.2	0.3	1.0	2.5	3.7
Некрасовка	20	4.76	3.5	2.6	–	1.7	0.7	–	–	3.5
В среднем по нефтезагрязнённым	22	6.75	5.5	1.8	1.5	1.9	1.0	1.2	3.0	3.4
<b>Условно чистые:</b>										
Лангры	20	–	6.7	4.0	1.4	2.2	2.5	2.0	6.0	2.4
Люги – Невельская	18	–	8.1	2.5	2.2	2.0	2.2	2.0	5.0	3.5
Большая – Байкал	16	0.002	6.9	1.2	–	1.9	2.5	–	6.0	6.0
Астох	14	нет	4.2	–	1.9	4.0	–	2.9	–	10.0
В среднем по условно чистым	17	–	6.5	2.5	1.8	2.5	2.4	2.3	5.6	5.4

<sup>1</sup> – к каждому из шести основных антропогенных факторов (см. выше), отмечаемых на территории полигонов, применена следующая система оценки: 4 балла – фактор регистрируется не менее, чем на 50% площади полигона; 2 балла – фактор встречается на 20–40% площади обследованной территории; 1 балл – то же до 10%; максимальная комплексная антропогенная нагрузка на один полигон – 24 балла;

<sup>2</sup> – плотность ондатры в сотнях особей;

<sup>3</sup> – количество учтённых зверьков на 10 км протяжённости рек и ручьёв;

<sup>4</sup> – данных нет.

## Плотность обитания грызунов и хищных млекопитающих на нефтезагрязнённых и условно чистых полигонах

Обследованные полигоны	Общая антропо-генная нагрузка, в балапах <sup>2</sup>	Количество учётных площадок	Дата учёта (год, месяц)	Плотность обитания <sup>1</sup>																	
				Грызуны, особей на объединённый га				Хищные звери, особей на 10 км <sup>2</sup> свойственных угодий			Выдра <sup>3</sup>	Норка <sup>3</sup>	Всего хищных зверей								
				Полевка красная	Полевка красно-лесная	Мышь бундук	Всего грызунов	Лисица	Горностай												
<u>Нефте-промбытзагрязнённые:</u>																					
Катангли	24	3	1992, VII–VIII	3.6	3.0	6.0	3.2	15.8	1.3	2.5	2.0	1.0	6.8								
Пильтун	22	4	1990, X; 1991, VI–VIII	7.0	3.4	3.4	1.4	15.2	2.5	4.1	2.5	1.0	11.6								
В среднем на загрязнённых	23			$\frac{5.3^4}{35.1}$	$\frac{3.2}{43.3}$	$\frac{4.7}{42.8}$	$\frac{2.3}{34.9}$	$\frac{15.5}{38.3}$	$\frac{1.9}{41.3}$	$\frac{3.3}{35.2}$	$\frac{2.3}{27.7}$	$\frac{1.0}{29.4}$	$\frac{9.2}{36.4}$								
<u>Условно чистые:</u>																					
Лангры	20	4	1992, VIII	8.0	2.8	7.6	6.0	24.4	2.2	2.4	6.0	2.0	15.1								
Большая	16	6	1990, VIII–IX	14.6	7.0	5.2	4.1	30.9	1.9	6.0	6.0	– <sup>5</sup>	16.4								
Астох	14	2	1990, VII; 1992, VIII	6.8	4.0	6.1	3.0	19.9	4.0	10.0	–	2.9	16.9								
В среднем на условно чистых	16.6			$\frac{9.8}{64.9}$	$\frac{4.2}{56.7}$	$\frac{6.3}{57.2}$	$\frac{4.3}{65.1}$	$\frac{25.0}{61.7}$	$\frac{2.7}{58.7}$	$\frac{6.1}{64.8}$	$\frac{6.0}{72.3}$	$\frac{2.4}{70.6}$	$\frac{16.1}{63.6}$								
Степень различий в средних показателях плотности обитания животных на загрязнённых и условно чистых полигонах				$\frac{1.8^6}{29.8}$	$\frac{1.3}{13.4}$	$\frac{1.3}{14.4}$	$\frac{1.8}{30.2}$	$\frac{1.8}{23.4}$	$\frac{1.4}{17.4}$	$\frac{1.8}{29.6}$	$\frac{2.6}{44.6}$	$\frac{2.4}{41.2}$	$\frac{1.7}{27.2}$								

1 – в среднем по различным биотопам лесного, лугово-болотного, приречно-пойменного и прибрежно-морского комплексов;

2 – см. табл. 3;

3 – количество особей на 10 км протяжённости русел рек и ручьёв;

4 – над чертой количество особей, под чертой – их доля от учённых особей вида на всех обследованных полигонах, в %;

5 – данных нет;

6 – над чертой кратность различий (раз), под чертой – разница между средними показателями плотности обитания на сравниваемых полигонах, в %.

Принимая во внимание, что количественной деградации териосообществ на территории нефтепромзоны может способствовать также снижение репродуктивности животных, нередко наблюдающееся в антропогенных условиях других регионов [27 и др.], мы сравнили потенциальную плодовитость особей исследуемых видов, обитающих в различных районах Сахалина и материковой части Дальнего Востока. Проведённое на небольшом объёме фактического материала и опубликованных сведений сравнение не выявило между ними резких различий (табл. 5). Незначительные расхождения по максимальному количеству молодых в выводке, наблюдающиеся у ряда видов зверей северо-сахалинских микропопуляций, объяснимо малой выборкой использованного нами материала.

Таблица 5

**Потенциальная плодовитость наземных млекопитающих нефтепромышленного и других районов о. Сахалин**

Виды животных	n	Нефтепромышленный район Сахалина (наши данные )	Остров Сахалин и Дальний Восток (по опубликованным сведениям)
Полёвка красная	23	4–7 (2) <sup>1</sup>	3–9 (2) <sup>2</sup>
Полёвка красно-серая	15	5–8 (2)	4–6 (2) <sup>2</sup>
Серая крыса	4	7–10 (2)	6–12 (2–3) <sup>2</sup>
Лесная мышь	17	5–9 (2)	2–10 (3) <sup>2</sup>
Бурундук	11	3–9 (1)	2–9 (1) <sup>3</sup>
Белка	3	4–6 (1–2)	2–9 (1–2) <sup>3</sup>
Ондатра	2	6–9 (2)	2–10 (2–3) <sup>4</sup>
Заяц-беляк	2	1–6 (1–?)	2–6 (2) <sup>2</sup>
Лисица	7	4–6 (1)	6.6±0.2 (1) <sup>5</sup>
Соболь	4	2–3 (1)	2–6 (1) <sup>2</sup>
Выдра	1	2 (1)	1–3 (1) <sup>6</sup>
Норка американская	3	3–5 (1)	3–6 (1) <sup>4</sup>
Бурый медведь	2	1–2 (1)	1–4 (1) <sup>2</sup>
Северный олень	5	1 (1)	1–2 (1) <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Пределы варьирования количества эмбрионов, послеродовых пятен в рогах матки и молодых в выводке; в скобках - периодичность размножения за сезон;

<sup>2</sup> [26];

<sup>3</sup> [7, 8, 9];

<sup>4</sup> [6];

<sup>5</sup> [44];

<sup>6</sup> [10].

На основании вышеизложенного мы пришли к следующему заключению.

Прибрежные экосистемы северного Сахалина в течение последнего 50-летнего периода находятся под влиянием шести основных антропогенных факторов (техногенные нарушения ландшафтов; нефтепромысловое загрязнение суши и вод; промышленные рубки леса; лесные пожары антропогенного возникновения; охота, рыболовство и использование запасов дикоросов; рекреационные нагрузки), прямо и опосредованно обусловленных развитием

---

---

здесь нефте-газодобывающей отрасли промышленности. Комплексное многолетнее их воздействие повлекло за собой существенную трансформацию природной среды в нефтепромышленной зоне острова (занимающей около 30% площади о. Сахалин), деградацию количественного состава микропопуляций охотничье-промысловых млекопитающих (соболя, американской норки, выдры, лисицы, бурого медведя, северного оленя, горностая, зайца-беляка, ондатры, белки) и мелких грызунов (бурундука, красной и красно-серой полёвок, лесной мыши). Плотность обитания этих животных в прибрежных териокомплексах северного Сахалина в настоящее время в 1.5–3 раза ниже, чем в других районах острова, не входящих в нефтепромзону. В некоторых угодьях Ногликского района в течение последних 25 лет произошли 2–3-кратное сокращение плотности микропопуляций соболя, лисицы и выдры.

Сравнительная оценка состояния сообществ охотничьих видов зверей на 10 экологических полигонах, отличающихся между собой различной степенью нарушенности природных ландшафтов, позволяет считать, что двукратное увеличение антропогенной нагрузки на животных и среду обитания (за счёт комплексного воздействия перечисленных выше факторов) влечёт за собой снижение плотности прибрежных микропопуляций соболя, ондатры и зайца-беляка, в среднем, в 2 раза; лисицы, выдры, норки – в 3 раза; горностая – в 4 раза. При этом увеличение антропопрессинга на 15–26% способствует сокращению плотности обитания здесь хищных зверей и мелких грызунов (основных пищевых объектов млекопитающих) на 23–60%. Иными словами, с ростом антропогенной нагрузки на 1%, численность этих животных, в сравнении с исходным состоянием сокращается примерно на 1.5–2%. Нефтезагрязнение среды обитания придаёт этому процессу особенно острый и скоротечный характер.

По предварительным данным, полученным на небольшом фактическом материале, наземные млекопитающие исследуемых видов в прибрежных териокомплексах нефтепромышленной зоны северного Сахалина не имеют заметных репродуктивных отклонений. По количеству детёнышей в выводке, эмбрионов и послеродовых пятен в рогах матки, а также периодичности размножения за сезон они не отличаются от особей своего вида из других районов Сахалина и Дальнего Востока, не входящих в зону воздействия нефтегазопромышленного комплекса.

Таким образом, на современном этапе развития НГПК отмечаемая деградация популяций 15 исследуемых видов наземных млекопитающих в прибрежных экосистемах нефтепромышленной зоны северного Сахалина пока не связана со снижением репродуктивности этих животных, а обусловлена сокращением биологической ёмкости занимаемых ими угодий вследствие их уничтожения, фрагментации и токсического загрязнения. Следует полагать, что дальнейшее увеличение территории нефтепромышленной зоны (при реализации существующих крупномасштабных проектов освоения нефтегазовых месторождений на суше и шельфе Сахалина) может повлечь за собой более значительные эколого-фаунистические изменения, чем отмеченные в настоящее время. В этой связи, сохранение биоразнообразия северо-сахалинского региона окажется возможным только при разработке специальной природоохранной программы, включающей создание в нём разветвлённой сети особо охраняемых территорий высокого ранга (заказников, природных парков и заповедников).

---

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева Э. В. Ископаемые остатки снежного барана на Сахалине // Вестник ДВО РАН. 1995. № 6. С. 92–93.
2. Беньковский Л. М. Динамика численности дикого северного оленя на Сахалине // Копытные фауны СССР. М.: Наука, 1980. С. 73.
3. Берзан И. П. К данным по питанию лисицы Сахалина и Курильских островов // Актуальные вопросы геологии, геофизики и биологии. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО АН СССР. 1990. С. 157–162.
4. Большаков П. Беды острова сокровищ // Советский Сахалин. 1990. № 140. С. 2.
5. Варламова С. Текут "нефтяные" реки // Советский Сахалин. 1990. № 92. С. 2.
6. Воронов Г. А. Акклиматизация млекопитающих на Сахалине и Курильских островах. М.: Наука, 1982. –136 с.
7. Воронов Г. А. К экологии и рациональному использованию белкообразных Сахалина // Итоги исследований по вопросам рационального использования и охраны биологических ресурсов Сахалина и Курильских островов. Южно-Сахалинск, 1984. С. 58–60.
8. Воронов Г. А. *Microtus fortis* (Rodentia, Cricetidae) – новый вид фауны о-ва Сахалин // Зоологический журнал. Т. 71. 1992. Вып. 4. С. 85–89.
9. Воронов Г. А. Обыкновенная белка острова Сахалин. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1996. –54 с.
10. Вшивцев В. П. Выдра Сахалина. Новосибирск: Наука, 1972. –108 с.
11. Гальцев-Безюк С. Д. О соединении Сахалина с материком и о. Хоккайдо в четвертичное время // Известия Академии Наук СССР. Сер. географ. 1964. № 1. С. 56–62.
12. Гептнер В. Г., Насимович А. А., Банников А. Г. Млекопитающие Советского Союза. М.: Высшая школа, 1961. Т. 1. –776 с.
13. Ерёмин Ю. П. О численности и распространении северного оленя на Сахалине. Тез. докл. Всесоюзн. совещ. по проблеме кадастра и учёта животного мира. Уфа, 1989. Ч. 2. С. 195–197.
14. Загородских Е. Е., Реймерс Н. Ф. Дикий северный олень Сахалина // Дикий северный олень в СССР. М.: Изд-во Советская Россия, 1975. С. 223–228.
15. Кан Ми Дя, Тимошина С. И. Развитие оленеводства на Сахалине. Тез. докл. XV конф. молод. учёных и специалистов. Южно-Сахалинск, 1987. С. 58.
16. Кесельман Г. С., Махмудбеков Э. А. Защита окружающей среды при добыче, транспортировке и хранении нефти и газа. – М.: Недра, 1981. –256 с.
17. Ключанов В. А., Андреева М. Т., Великанов Л. Я. и др. Антропогенное воздействие хозяйственных комплексов на биоресурсы пресных и шельфовых вод Сахалина. // Экологические основы рационального природопользования на Сахалине и Курильских островах. Южно-Сахалинск, 1990. С. 128–130.
18. Козырева Р. В. Древний Сахалин. Л.: Наука, 1967. –118 с.
19. Конторович В. Сахалинские очерки. Изд-во Молодая гвардия, 1932. –216 с.
20. Куликов Н. В., Гнездова Т. В. Устойчивость экосистем Северного Сахалина под воздействием нефтегазопромышленного комплекса // Проблемы защиты окружающей среды и рационального природопользования в связи с перспективами социально-экономического развития Сахалина и Дальнего Востока. – М., 1991. С. 94–96.
21. Куллини Дж. Леса моря. Жизнь и смерть на континентальном шельфе. Л.: Гидрометеиздат, 1981. –280 с.
22. Куренцов А. И. Зоогеография Приамурья. М.–Л.: Наука, 1965. –165 с.
23. Кучерук В. В. Количественный учёт важнейших видов вредных грызунов и землероек // Методы учёта численности и географического распределения наземных позвоночных. М.: Изд-во Академии Наук СССР, 1952. С. 9–46.
24. Лебедев Е. В. Советский Сахалин. М.: Изд-во Советская Азия, 1933. –47 с.

- 
- 
25. Луцкий С. Л. Остров Сахалин. М.: Изд-во Главсевморпуть, 1946. –55 с.
  26. Наземные млекопитающие Дальнего Востока СССР: Определитель. М.: Наука, 1984. –368 с.
  27. Наумов Н. П. Экология животных. М.: Изд-во Высшая школа, 1963. –620 с.
  28. Нечаев В. А. Птицы острова Сахалин. Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. –748 с.
  29. Никольский А. М. Остров Сахалин и его фауна позвоночных животных // Прилож. к 60 т. Запис. АН. 1889. №5. Спб. С. 185–240.
  30. Новиков Г. А. Полевые исследования по экологии наземных позвоночных. М.: Советская наука, 1953. –502 с.
  31. Охотина М. В., Костенко В. А. Полиэтиленовая плёнка – перспективный материал для изготовления ловчих заборчиков // Фауна и экология наземных позвоночных юга Дальнего Востока СССР. Владивосток: БПИ ДВНЦ АН СССР, 1974. С. 193–196.
  32. Пармузин Ю. П. Физико-географическое районирование // Атлас Сахалинской области. М.: ГУГК, 1967. С. 128.
  33. Петункин Н. И., Петункина Л. О., Антипов А. М. Влияние промышленного загрязнения водоёмов на успешность размножения водоплавающих птиц в северных районах Западной Сибири // Биологические основы учёта численности охотничьих животных. М.: Наука, 1990. С. 153–155.
  34. Пиковский Ю. И. Трансформация техногенных потоков нефти в почвенных экосистемах // Восстановление нефтезагрязнённых почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 7–22.
  35. Приклонский С. Г., Кузякин В. А. Методические указания по организации и проведению зимнего маршрутного учёта охотничьих животных в РСФСР. М.: Главохота, 1980. –28 с.
  36. Приходько В. И. Состояние популяции кабарги на о. Сахалин // Копытные фауны СССР. М.: Наука, 1980. –С. 98–99.
  37. Приходько В. И. Кабарга на Сахалине // Охота и охотничье хозяйство. 1983. № 6. С. 10–11.
  38. Раевский В. В. Жизнь кондо-сосвинского соболя. М.: Изд-во Главн. управл. по заповедникам, 1947. –222 с.
  39. Роон Т. П. Уйльта Сахалина. Южно-Сахалинск, 1996. –176 с.
  40. Сахалинская область. Топографическая карта. Хабаровск: ВТУ ГШ, ДВО, 1993. С. 5–23.
  41. Сыроечковский Е. Е. Северный олень. М.: Агропромиздат, 1986. –256 с.
  42. Теплов В. П. Учёт животных на постоянных маршрутах // Методы учёта численности и географического распределения наземных позвоночных. М.: Изд-во Академии Наук СССР, 1952. С. 255–259.
  43. Туманов И. Определение плодовитости куниц и соболей: Экспресс-метод // Охота и охотничье хозяйство. 1988. № 10. С. 15.
  44. Юдин В. Г. Лисица Дальнего Востока СССР. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. – 284 с.

## **НОВЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ РЕГРЕССИОННЫЙ СПОСОБ ПРОГНОЗА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТАЙФУНОВ, ДАВЛЕНИЯ В ЦЕНТРЕ, МАКСИМАЛЬНОГО ВЕТРА И ЗОН С СИЛЬНЫМИ, УРАГАННЫМИ И МАКСИМАЛЬНЫМИ ВЕТРАМИ**

Тропические циклоны, называемые тайфунами в северо-западной части Тихого океана, достигают восточных территорий российского Дальнего Востока и акваторий прилегающих морей, оказывая влияние на погодные условия.

Наиболее подвержены их влиянию Приморский край, Сахалинская область, Японское море и южная часть Охотского моря. За период с 1965 по 1996 г. из 781 тропического циклона, зародившегося в северо-западной части Тихого океана, 118 достигли районов российского Дальнего Востока. Из них на Приморский край оказало непосредственное влияние 32 ТЦ, косвенное – 6 ТЦ, на о. Сахалин – 16, на южные Курильские острова – 26. За этот же период на Японское море вышло 99 тропических циклонов.

Частота воздействия тропических циклонов варьирует от 0 до 5 в год. Наиболее активными в этом отношении были 1990 (4) и 1994 (5) годы.

При выходе на Приморский край тропические циклоны обычно находятся в стадии тропической депрессии или слабого тропического шторма с давлением в центре, в основном, выше 990 гПа и максимальным ветром над акваторией Японского моря в пределах 20 м/с. При подходе к побережью за счет орографических эффектов интенсивность ветра значительно возрастает, достигая в 36.8% случаев ураганной силы (порывами до 40 м/с). В редких случаях при выходе ТЦ на берег в стадии тайфуна (например, тайфун "Ирвинг" (7910)) давление в центре может составлять 975 гПа и ветер 34 м/с порывами более 40 м/с.

Тропические циклоны, выходящие на Приморский край, вызывают сильные дожди в 76% случаев. Наиболее часто (84%) такие дожди выпадают на побережье, реже – в центральных районах края (64%). Повсеместное выпадение сильных осадков в крае связано только с тайфунами, смещающимися вглубь территории Дальнего Востока. Классическими примерами такого смещения являются выход тайфуна "Ирвинг" 14–18 августа 1979 г. и тайфуна "Орчид" 11–13 сентября 1980 г. В случае смещения тайфунов над акваторией Японского моря обильные дожди обычно выпадают только на побережье, в то время, как на остальной территории края в это время отмечается погода без осадков.

Тропические циклоны, выходящие на Сахалинскую область, смещаются по траекториям, проходящим через Японское море на о. Сахалин и вдоль восточного побережья Японии на Курильские острова. В силу островного расположения Сахалинской области наводнения, вызванные выпадением дождей тайфунного происхождения, отмечаются, в основном, в южной части о. Сахалин, тогда как ветры ураганной силы (до 50 м/с) могут наблюдаться над всей территорией и зачастую сопровождаются сильными ливневыми дождями.

Например, ураганные ветры, вызванные ТЦ "Тип" (7920), отмечались в Южно-Курильском и Курильском районах (45–50 м/с). В Новиково скорость ветра составила 34 м/с, порывами до 40 м/с, Южно-Курильске – 32 м/с, порывами до 44 м/с.



---

---

Значительные дожди, связанные с тайфуном Тип, продолжались более 2-х суток (19–21 октября 1979 г.) ООЯ были зарегистрированы более, чем в 15 пунктах Сахалинской области. Наибольшее количество осадков выпало на ГМС Малокурильское (197 мм), Курильск (112 мм), Южно-Курильск (105.1 мм), Симушир (92.6 мм), Новиково (91.0 мм).

При выходе 17 сентября 1970 г. ТЦ "Джорджия" (7013) наводнение охватило южные районы Сахалина, юг центральной части острова и носило катастрофический характер. Наблюденные при этом уровни на отдельных реках относились к разряду редко повторяющихся. Величина подъема уровня составила 1–5 метров; наибольший подъем уровня 5 метров наблюдался на р. Леонидовка – в районе пос. Гончарово, Айнская – пос. Дачный. Экстремальные подъемы уровня воды наблюдались в бассейнах рек Лютога, Сусуя и на реках, впадающих в залив Терпения. Юго-восточные ветры создали подпор воды в устьях рек, что еще более обострило обстановку. Высота воды на пойме достигала 0.5–1.0 м, а в отдельных местах доходила до 2.5 м.

Во многих случаях тайфуны, находясь на достаточном удалении от берегов, оказывают косвенное влияние на обострение фронтальных разделов, увлажнение воздушных масс, что проявляется в необычно сильных ливневых дождях с грозами, градом, шквалистым ветром. Именно таким было воздействие тайфуна "Мелисса" 17–21 сентября 1994 г. Только во Владивостоке с 17 по 20 сентября выпало 188 мм осадков, ежедневно превышая 30 мм/сутки.

До настоящего времени в оперативных прогностических подразделениях УГМС Дальнего Востока отсутствуют расчетные методы прогноза интенсивности и перемещения тайфунов, в качестве основного применяется синоптический метод.

В 1996 г. в ДВНИГМИ в числе других (статистический аналоговый и гидродинамический) подготовлен к внедрению в оперативную практику статистический регрессионный способ прогноза перемещения ТЦ, давления в центре, максимального ветра и зон с сильными, ураганными и максимальными ветрами с заблаговременностью до трех суток. Статистический регрессионный способ прогноза ТЦ создан за принципах ранее разработанного статистического метода прогноза интенсивности с заблаговременностью до 72 ч [10]. Основная идея при построении метода прогноза состоит в дополнительном использовании в качестве предикторов безразмерных параметров и критериев подобия. Структура предикторов и их физическая интерпретация представлены в [8, 9].

Разработанный ранее статистический метод прогноза интенсивности ТЦ обеспечивал прогноз минимального давления в центре (P) и максимального ветра (W) в циклоне с заблаговременностью от 12 до 72 часов. Исходный массив содержал более 11000 наблюдений за более чем 550 ТЦ за период 1956–1984 гг. Состав наблюдений – минимальное давление, максимальный ветер, размеры зон ветров определенной интенсивности, координаты ТЦ и скорость его перемещения.

Метод построения прогностических уравнений – пошаговая множественная регрессия. Общее число уравнений – 36, число рассмотренных предикторов – 177, число наборов – три (TS на первых этапах развития, STS и T к югу от 28° с.ш., STS и TS – к северу от 28° с.ш.). Состав предикторов – безразмерные параметры и коэффициенты подобия, а также различные их комбинации [3, 4]. Все предикторы приводились к соответствующему "безразмерному времени".

---

---

В реализованной в 1998 г. версии метода прогноза пересчет прогностических величин давления и ветра от "безразмерного" периода заблаговременности к "реальным" периодам осуществлен на базе географической параметризации полной продолжительности цикла эволюции ТЦ в зависимости от географических координат зарождения циклона (формирование тропической депрессии из тропического возмущения).

Согласно результатам авторской проверки по данным о ТЦ 1985 г. средняя абсолютная ошибка прогноза с заблаговременностью 24 ч для ветра составила 5.0 м/с, давления – 7.8 гПа; 48 ч – 6.2 м/с и 11.0 гПа, соответственно. По данным МЦЭ ТОПЭКСа аналогичные оценки по давлению равны 13.2 и 17.8 гПа.

Решением ЦМКП от 30 марта 1988 г. по результатам оперативных испытаний в ГМЦ СССР метод был рекомендован к использованию в прогностических органах в качестве основного [1].

Новый статистический способ прогноза интенсивности и перемещения тропических циклонов с заблаговременностью до 3-х суток реализован на ПЭВМ, причем как в среде ПТК ЛАССО (визуализация полей давления и геопотенциала Н500 в момент составления прогноза), так и в виде самостоятельного программного комплекса.

Для разработки объективного автоматизированного метода прогноза интенсивности и перемещения тропических циклонов с заблаговременностью до 3-х суток в данной работе использована схема, основанная на совместном графическом и дискриминантном анализе с автоматической нормализацией предиктора, оценкой и пошаговым выбором оптимальной многомерной функции для определения типа тропического циклона в зависимости от параметров циклона на ранней стадии развития (зональная или параболическая траектория, траектории с выходом ТЦ на акватории Восточно-Китайского и Японского морей, тропические циклоны Южно-Китайского моря) и последующем регрессионном анализе с автоматическим выбором оптимального сочетания предикторов.

При дискриминантном анализе выбор исходных данных выполнен с использованием параметрического дискриминантного алгоритма, реализующего построение линейной дискриминантной функции для нормального распределения предикторов при условии равенства ковариационных матриц и неравенства математических ожиданий внутри различных классов.

Исходной информацией для разработки метода послужили данные о параметрах тропических циклонах за период с 1970 по 1993 г. Архив по ТЦ создан на основе архива, полученного из ВНИИГМИ–МЦД (1956–1976г.г.) и дополненного данными за 1977–1996 г. в отделе метеорологии и изучения тропических циклонов ДВНИГМИ. На основе архива о параметрах ТЦ для каждого типа ТЦ и каждого срока заблаговременности прогноза рассчитывались наборы данных, состоящие из предикторов (изменчивость на периоде заблаговременности давления, ветра, координат, радиусов зон со скоростями ветра 30 и 50 узлов) и предикторов (параметры ТЦ на момент прогноза и на предыстории до 1.5 суток, безразмерные коэффициенты динамического подобия, моменты импульса и др., всего от 88 до 118 переменных в каждом из 48 наборов данных). Все наборы созданы по принципу безразмерного времени – то есть нормированы на временном отрезке развития.

Расчеты проводились с целью построения трех типов регрессионных уравнений – линейных, квадратичных и гиперболических. Из указанных трех отбирались наиболее обеспеченные уравнения и включались в схему

---

---

статистического метода прогноза интенсивности и перемещения тропических циклонов.

Схема статистического метода предполагает использование дискриминантных функций для разделения ТЦ на типы уже на ранней стадии развития и последующий расчет параметров циклона (давление, ветер, координаты, радиусы зон ветров определенной силы) по более чем 200 регрессионным уравнениям для шести градаций заблаговременности (от 12 до 72 ч).

Расчеты проводились для наборов, составленных из отобранных тропических циклонов следующих типов и подтипов:

- ◆ тропические циклоны с периодом существования более 4.5 суток;
- ◆ тропические циклоны с периодом существования менее 4.5 суток;
- ◆ тропические циклоны с зональной траекторией, достигшие стадии тайфуна и более;
- ◆ тропические циклоны с зональной траекторией, достигшие стадии сильного тропического шторма и менее;
- ◆ тропические циклоны с параболической траекторией, достигшие стадии тайфуна и более;
- ◆ тропические циклоны с параболической траекторией, достигшие стадии сильного тропического шторма и менее;
- ◆ тропические циклоны, зародившиеся в Южно-Китайском море;
- ◆ тропические циклоны, вышедшие на Восточно-Китайское море;
- ◆ тропические циклоны, вышедшие на Японское море;
- ◆ комбинированные наборы.

Анализ выбранных уравнений показал их статистическую достоверность. Множественный коэффициент корреляции для линейных уравнений или корреляционное отношение для квадратичных уравнений находятся в пределах 0.6–0.9 при величине F–критерия 35.0–500.0 (предельное значение для исходных рядов 2.10–2.35). Средняя относительная ошибка прогностических соотношений изменяется от 0.19 до 0.6, лишь для некоторых уравнений достигая 0.9. При построении схемы прогноза такие уравнения исключались и заменялись либо на интерполяционные соотношения, либо на функциональные зависимости, найденные для параметров тропического циклона как функции от исходных параметров на момент явления. Средняя относительная ошибка по отношению к  $2/3$  среднеквадратического отклонения изменяется от 0.6 до 0.95 для различных прогнозируемых элементов.

Предлагаемая схема прогноза включает в себя несколько этапов, которые полностью реализованы на ПЭВМ. Схематично последовательность составления прогноза интенсивности и перемещения тропических циклонов сводится к следующему:

- ◆ создание набора параметров ТЦ от момента зарождения до момента прогноза;
- ◆ создание набора в кодах ГРИД поля приземного давления и поля геопотенциала для изобарической поверхности H500 на момент прогноза;

- 
- 
- ◆ построение карт поля приземного давления и поля геопотенциала для изобарической поверхности H500 на момент прогноза и траектории тропического циклона от момента зарождения до момента прогноза;
  - ◆ расчет переменных (до 118) и их нормализация по времени;
  - ◆ определение типа и класса тропического циклона (на основании дискриминантных функций, либо с использованием географического анализа параметров на начальном этапе развития, либо с использованием элементов синоптического анализа);
  - ◆ выбор соответствующих типу и классу тропического циклона уравнений регрессии;
  - ◆ расчет, по соответствующим типу и классу тропического циклона уравнениям регрессии, прогностических значений изменчивости давления, ветра, координат, радиусов зон со скоростями ветра 30 и 50 узлов и зоны максимальных ветров на периоде заблаговременности;
  - ◆ расчет, на основании значений изменчивости на периоде заблаговременности и значений параметров на момент прогноза прогностических значений давления, ветра, координат, радиусов зон со скоростями ветра 30 и 50 узлов и зоны максимальных ветров и пересчет в реальное время;
  - ◆ расчет радиусов зон со скоростями ветра 30 и 50 узлов и зоны влияния тропического циклона для каждого из квадрантов циклона;
  - ◆ представление прогностических значений давления, ветра, координат, радиусов зон со скоростями ветра 30 и 50 узлов и зоны максимальных ветров на периоде заблаговременности в табличном виде и на географической карте.

В настоящей версии автоматизированного метода прогноза использована схема, согласно которой требуется участие прогнозиста для определения типа траектории (зональная или параболическая) и уточнения продолжительности полного периода существования ТЦ при нахождении циклона южнее  $25^{\circ}$  с.ш. Определение типа траектории проводится по выведенным на экран монитора полям приземного давления и геопотенциала на H500 посредством упрощенного синоптического анализа циркуляционных процессов: учитываются характерные особенности барических полей – интенсивность антициклона и расположение его оси и гребня. Уточнение продолжительности полного периода существования ТЦ происходит на основании экспертной оценки предполагаемого периода "жизни" тропического циклона. Практически во всех случаях прогноза определение продолжительности осуществляется автоматически.

Описанная выше в кратком изложении схема прогноза интенсивности и перемещения тропических циклонов с заблаговременностью до 3-х суток реализована на ПЭВМ в виде отдельных программных модулей, разработанных в ОМТЦ ДВНИГМИ. Практически все программные единицы составлены автором.

Программный комплекс прогноза интенсивности и перемещения тропических циклонов с заблаговременностью до 3-х суток дополнен программой, предназначенной для расчета статистических характеристик, надежности модели [2, 5, 6].

Для составления прогноза привлекаются имеющиеся в наличии данные о параметрах тропического циклона, сведения о которых содержатся в приземных картах погоды, передаваемых по факсимиле Японским РМЦ.

Прогноз интенсивности и перемещения тропических циклонов по предлагаемой методике требует исходную информацию от момента зарождения тропического циклона до момента прогноза с дискретностью в шесть часов. Моментом зарождения тропического циклона считается его переход от тропического возмущения к тропической депрессии.

Итогом прогноза является создание трех информативных наборов: непосредственно с результатами расчета; с ошибками расчетов, а также наборы в виде РСХ–слайдов с фактической и прогностической траекториями тропического циклона. На последнюю нанесены ветры различной интенсивности в виде кольцевых зон с шагом 5 м/с. Расчет силы ветра на радиусах ведется с учетом скорости перемещения самого тропического циклона. На рис. 1 показан пример визуализации результатов прогноза.

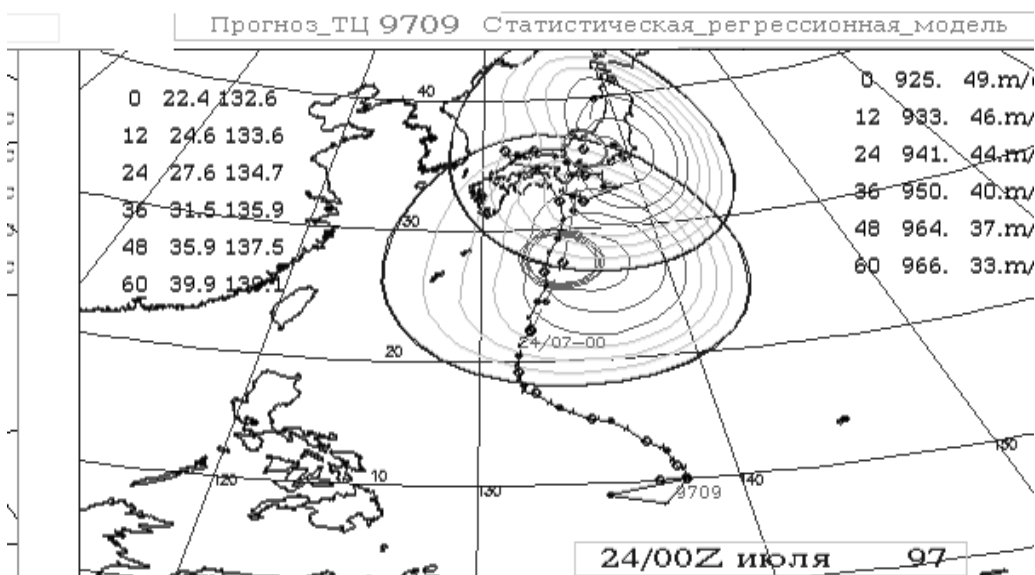


Рис. 1. Пример расчета прогноза тропического циклона 9624 от 24 июля 1997 г (00 ч GMT) и реальная траектория перемещения.

В качестве независимой выборки при верификации прогностических моделей использовались наборы данных за 1994–1995 гг. В этот период оба сезона тайфунов оказались крайне аномальными по интенсивности тропического циклогенеза. Достаточно отметить, что в сезон 1994 г. из 39 тропических циклонов (норма 27.5) 36 достигли стадии тропического шторма и выше, в сезон 1995 г., наоборот, количество тропических циклонов оказалось необычайно низким (к сентябрю было зарегистрировано всего семь ТЦ).

Для оценки метода были отобраны 19 тропических циклонов. В контрольную выборку не включались циклоны с продолжительностью существования менее 4-

---

---

х суток, циклоны с особенно сложными траекториями и зародившиеся в западном полушарии.

Оценка качества прогнозов выполнялась в соответствии с методическими указаниями по прогнозу тропических циклонов, представленными в [2, 5, 6, 7]. При этом результаты авторских испытаний сравнивались с инерционными прогнозами.

При прогнозе параметров ТЦ с заблаговременностью 24 ч ошибки расчета положений ТЦ составляют 191 км, скорости перемещения – 127 км/сутки, направления – 14 град., 48 ч – 367 км, 126 км/сутки, 14 град., соответственно; 60 ч – 417 км, 123 км/сутки, 11 град., соответственно. При прогнозе минимального давления в центре ТЦ с заблаговременностью 24 ч относительная ошибка расчета давления составляет 0.69, оправдываемость знака изменения 66.7%; с заблаговременностью 48 ч – 0.55 и 61.4% соответственно; с заблаговременностью 60 ч – 0.44 и 68.0% соответственно. При прогнозе максимального ветра с заблаговременностью 24 ч относительная ошибка расчета скорости ветра составляет 0.76, оправдываемость знака изменения 76.8%, оправдываемость прогноза ветра 88.9%; 48 ч – 0.55, 72.8%, 68.9% соответственно; 60 ч – 0.52, 68.0%, 66.7%, соответственно.

К сожалению в рекомендациях [2, 5] не приводится оценка оправдываемости прогнозов зон ветров со скоростями более 30 узлов (15 м/с) и более 50 узлов (25 м/с). Поэтому указанные оценки выполнялись с небольшой модификацией по тем же формулам, что и оценки скорости максимального ветра в ТЦ. С заблаговременностью 24 ч относительная ошибка прогноза зон ураганных ветров составляет 0.86, оправдываемость знака изменения – 78.3%, 48 ч – 0.67 и 79.5% соответственно; 60 ч – 0.56 и 76.0%, соответственно.

Аналогично, для зон сильных ветров с заблаговременностью 24 ч относительная ошибка прогноза составляет 0.96, оправдываемость знака изменения 76.3%; 48 ч – 0.86 и 75.5%, соответственно; 60 ч – 0.86 и 61.5%, соответственно.

Разработанные и усовершенствованные прогнозы перемещения ТЦ можно интерпретировать как хорошие, прогнозы показателей интенсивности – как удовлетворительные и хорошие. Наиболее успешными оказались прогнозы для открытых акваторий и при выходе циклонов в умеренные широты.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агренич Е. А., Разливанова В. А. О результатах испытания метода прогноза интенсивности тайфунов с заблаговременностью до 72 ч (метод В. П. Тунеголовца) // Информационный сборник ГМЦ СССР. 1989. № 18. С. 14–18.
2. Дополнение к Наставлению по службе прогнозов. Раздел 2. Служба метеорологических прогнозов. Части Ш, IV, V. Терминология и оценка оправдываемости прогнозов на первые, вторые, пятые сутки и предупреждений об опасных, стихийных гидрометеорологических явлениях и резких изменениях погоды. ГМЦ СССР, 1988. –25 с.
3. Казанцев Ю. В., Тунеголовец В. П. Модель эволюции ТЦ на ранней стадии развития // Тр. ДВНИГМИ. 1987. Вып. 138. С. 6–17.
4. Казанцев Ю. В., Тунеголовец В. П. Применение теории подобия для изучения эволюции тропических циклонов // Деп. в ИЦ ВНИИГМИ–МЦД 16.10.85, № 440–ГМ.
5. Методические указания по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. РД 52.27. 284 – 91. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. –90 с.

6. Наставление по службе прогнозов. Раздел 2. Служба метеорологических прогнозов. Части III, IV, V.: МО Гидрометеоиздата, 1981. –56 с.
7. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. II. Вып. 5. Дальний Восток. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. –176 с.
8. Туноголовец В. П. Модель эволюции ТЦ до и после достижения максимальной интенсивности. – Эволюция тайфунов // Труды ДВНИГМИ. 1987. Вып. 138. С. 104–122.
9. Туноголовец В. П. Изменение момента количества движения.– Эволюция тайфунов // Труды ДВНИГМИ. 1987. Вып. 138. С. 122–132.
10. Туноголовец В. П. Статистический метод прогноза интенсивности тайфунов.– Эволюция тайфунов // Труды ДВНИГМИ. 1987. Вып. 138. С. 146–179.

***В. Ю. Савельев, В. Н. Храмушин***

## **О СОЗДАНИИ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО АНАЛИЗА ОБСТАНОВКИ НА МОРЕ**

В соответствии с базовой концепцией создания и развертывания комплексной системы мониторинга нефтепромысловых районов как составной части системы наблюдения и контроля обстановки на море в техническое оснащение мониторинга должны входить:

1) создание и адаптация к условиям сахалинского шельфа специального математического обеспечения, позволяющего оценивать океанологические процессы и моделировать гидродинамический режим в районе нефтепромыслов, а также проигрывать различные сценарии развития опасных морских явлений на основе режимной и срочной информации морских служб СахУГМС и данных сейсмической сети СахОМСП;

2) создание компьютерных экспертно-информационных систем и океанологических баз данных, на основе которых должны быть отработаны и протестированы различные варианты вычислительных экспериментов, изучены конкретные варианты оптимального расположения океанографических приборов и комплексных систем наблюдения. Целью таких исследований является создание базы для оперативного использования численного моделирования в случае возникновения опасных морских явлений и информационного обеспечения при принятии решений по ликвидации последствий аварийных ситуаций или экологических катастроф;

3) развертывание непрерывных и долговременных наблюдений морских приборных комплексов, включение их в единую систему оперативного информационного обеспечения о состоянии окружающей среды. Морские измерительные комплексы должны быть развернуты только после отработки основной концепции комплексного мониторинга нефтепромысловых районов на сахалинском шельфе, основывающейся не только на достоверности и точности приборного контроля, но и на работе постоянно действующей экспертно-аналитической службы, отвечающей за контроль, прогноз и предупреждение об опасных явлениях природы и принятие мер по недопущению потенциально необратимых экологических последствий.

Действующие в Сахалинской области оперативные службы, выполняющие контроль обстановки на море, давно нуждаются в техническом переоснащении и

---

---

совершенствовании регламента их работы, в том числе с включением в использование инструментария, состоящего из высокоэффективной вычислительной техники и электронных систем сбора и рассылки оперативной информации.

Одним из первых шагов на пути такого технического переоснащения может быть внедрение географических информационных систем как новых средств для наглядного представления оперативной информации о состоянии природной среды, возникновении опасных ситуаций, а также для использования в качестве океанологической и метеорологической базы данных для информационной поддержки прогнозного численного моделирования и гидродинамических вычислительных экспериментов.

### **Наработки в области географических информационных систем**

Для выбора стратегии при разработке информационно-аналитической системы были сформулированы основные требования, перечисленные ниже в соответствии с их научной и прикладной значимостью:

1) информационная система должна обеспечивать выполнение вычислительных экспериментов при решении задач океанологии: гидродинамики, гидроакустики, общей гидрофизики океана;

2) система должна обеспечивать систематизацию и эффективное использование различных массивов океанографической и гидрометеорологической информации, поддерживать актуальность специализированных баз данных, которые в условиях непрерывных научных разработок должны быстро перестраиваться без потери качества уже накопленной или ретроспективной информации;

3) система должна легко перестраиваться (с предсказуемыми и положительными последствиями) для создания специализированных информационных систем и автоматизированных рабочих мест по заказам оперативных служб наблюдения за состоянием окружающей среды;

4) информационная система должна поддерживать картографические материалы с различной тематической нагрузкой, а также не противоречить включению в нее научно-прикладных и конструкторских архивов и баз данных;

5) система должна быть гибкой и посильной для обслуживания даже при ограниченных вычислительных мощностях;

На рынке информационных технологий можно отыскать большое разнообразие универсальных программных продуктов, которые, без сомнения, позволяют решать широкий круг информационно-картографических задач. Тем не менее, решение океанографических задач не всегда удовлетворяет базовым принципам, которые заложены в техническое задание на разработку "рыночных" информационных систем. Более того, часто возникают проблемы при попытке поиска этих базовых принципов или точного описания назначения широко известных программных продуктов.

Современные реалии российской науки, к сожалению, не позволяют использовать какие-либо профессиональные информационные системы, описание которых легко найти на страницах Интернет, поскольку системы либо ориентированы на другие вычислительные платформы, либо являются частью больших архивов международных служб наблюдений. С другой стороны, это не



---

---

мешает принимать обоснованные решения, где в качестве наиболее приоритетных ставятся первые по приводимому выше списку условия, призванные к обеспечению современных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

### Обзор существующих систем

В настоящее время на российском рынке продолжает широко рекламироваться продукция фирмы Auto-Desk, и в частности, чертежная программа Auto-CAD. Отметим сразу, что при использовании в качестве океанографического инструмента эта программа не дала ожидаемых результатов. Экспертно-информационный поиск позволил подобрать альтернативу AutoCAD, в качестве которой могла бы выступить система проектирования CAD-du, разработанная в Германии. По результатам переписки и переговоров с представителями фирмы "Point-M" в Москве было выяснено, что это модульная система, позволяющая решать конструкторские задачи, содержит встроенную систему программирования, которая может быть задействована для реализации научных разработок. При всех положительных качествах этой инженерной и картографической системы ей свойственны и недостатки, характерные для всех графических систем, представленных на российском рынке информационных технологий:

- 1) программный комплекс привязывается к конкретному компьютеру с помощью защитного ключа (затычки) в параллельном порту;
- 2) программный комплекс имеет огромные размеры как по объему двоичных данных, так и по количеству системных файлов;
- 3) выполненные с использованием комплекса работы не могут быть доведены до уровня нового специализированного АРМ и переданы заказчику;
- 4) систематизированные с помощью этой системы массивы данных не могут быть использованы в качестве исходных данных при специализированной обработке (проблема засекреченности формата представления исходных данных);
- 5) очень высокая стоимость как приобретения, так и освоения указанных программных продуктов, сравнимая со стоимостью разработки специализированного мат-обеспечения собственными силами.

Среди наиболее привлекательных по составу прикладных средств выделяется российская разработка ГИС-системы **ГеоКАД** (*GeoCAD System 3.1*). Описание системы отличается стройностью системно-теоретической проработки программных комплексов, которые ориентированы на решение кадастровых задач. К примеру, из практических приложений ГеоКАД известны разработки: "Городской земельный кадастр" и "Районный земельный кадастр". Эти системы сегодня позволяют решать следующие задачи:

- 1) собственно учет метрической информации об объектах территории;
- 2) предоставление юридически обоснованных и достоверных данных о правах на землю и недвижимость для органов управления, юридических и физических лиц;
- 3) установление ставок земельного налога и нормативов платежей в бюджет;

---

---

4) учет количества и качества земли, создание банка данных о наличии и состоянии земельных ресурсов.

5) другие управленческие задачи и контрольные функции...

GeoCAD System 3.1 работает в среде Windows и, по определению авторов, является “открытой системой в смысле возможностей информационного наращивания посредством включения в информационное пространство существующих банков данных”.

При всех положительных качествах данной информационной системы ее назначение не соответствует океанографическому профилю работ.

Стандартные описания импортных систем типа Arc/Info, MapInfo и др. всегда начинаются с определений “... высокоуровневая ГИС–система с полным набором средств геообработки, включая сбор данных, их интеграцию, хранение, автоматическую обработку, редактирование, создание и поддержку топологии, пространственный анализ, визуализацию и создание твердых копий любой картографической информации”. Практическое же применение этих продуктов наталкивается на решение проблем отсутствия русских шрифтов и творческого переделывания иностранных стандартов под российские. Однако, в силу сугубо рыночного отношения к наукоемким технологиям, подобные иностранные разработки защищены от вмешательства с целью их совершенствования и адаптации к общепринятым российским стандартам.

В конечном итоге, имеющиеся на рынке зарубежные и отечественные разработки либо позволяют решать ограниченный круг задач, либо чрезмерно дорогостоящи и тяжелы в адаптации к морскому профилю картографических работ в сахалинской области. Этот факт вынуждает самостоятельно осуществлять довольно сложные проекты и создавать специализированные программные комплексы для анализа обстановки и наблюдения за состоянием моря.

### **Основные математические и программные принципы, реализованные в информационной системе “Сахалин”**

В разработке информационной системы заложены принципы открытости математических алгоритмов и методов обработки данных, что означает доступность используемых форматов представления графической, гипертекстовой и другой информации для обработки традиционными или общедоступными вычислительными средствами.

Важнейшим звеном всей работы является создание новой среды и системы программирования, которая позволяет систематизировать графические или картографические материалы, объединять их в специализированные информационные системы, и при этом весь комплекс вычислительных средств доступен для совершенствования в виде полного комплекта исходных текстов на языке программирования C++.

В качестве базового формата представления графической информации выбран двумерный вариант описания данных Design–CAD 2D, который имеет подробное описание в документации к этой универсальной системе проектирования. К достоинствам выбранного формата следует отнести его доступность для прямого использования в программах написанных на рабочих языках программирования (C++, Паскаль, Фортран), что относится как к текстовому (.dc2), так и к двоичному (.dw2) формату представления данных. К

---

---

особенностям выбранного в качестве базового формата графических данных следует отнести следующее:

- ◆ достаточно высокую плотность кодирования информации;
- ◆ универсальность и большой набор графических примитивов (или объектов);
- ◆ наличие сплайновых кривых, которые позволяют получать качественные графические изображения независимо от масштаба (аналогичных возможностей нет ни в “AutoCAD”, ни в метафайлах “Windows”);
- ◆ гибкие средства записи текстовой информации, которые позволяют подготавливать описания объектов на графическом поле в том виде, как это обычно принято в российской картографии (эти средства отсутствуют в MapInfo и ArcInfo);
- ◆ наличие возможностей объединения графических объектов и примитивов в группы (блоки), а также расслоение информации по уровням (с пересечением блоков), что необходимо как для выделения сложных графических объектов, так и для расслоения информации по тематическим уровням;
- ◆ штриховки, указатели, метки, точки привязки и другие инструментальные и графические средства, которые необходимы не только для подготовки качественной графики, но и для пополнения и корректировки графической информации в будущем.

Разработка базовых форматов представления данных, а также проектирование, создание и отладка всех программных комплексов уже завершены, что позволяет в будущем эффективно развивать структуру географической информационной системы, включать в нее новые алгоритмы обработки данных, а также встраивать математические модели и экспертные запросы для анализа информации повышенной сложности. Последнее особенно важно для информационной системы, создаваемой, в том числе, для использования в условиях оперативных служб островной Сахалинской области – области с уникальным географическим положением, обусловленным высокой сейсмической и гидрометеорологической активностью и целым комплексом опасных природных и морских явлений, оперативный учет которых осложняется недостатком практически всех видов коммуникации.

В алгоритмах программ информационной системы “Сахалин” заложены методы выборки и группировки исходной информации в виде метафайлов, которые по мере считывания данных заносятся в оперативную память ЭВМ, что существенно ускоряет работу программы при повторных обращениях к картографической и текстовой информации. Применение такой технологии обработки информации в будущем может быть использовано при разработке моделей и алгоритмов для оперативной обработки информации или для построения информационно-экспертных моделей и проведения вычислительных экспериментов.

В новой информационной системе и программе “Сахалин” реализовано считывание географических карт, масштабирование и выбор региона на экране ЭВМ, предусмотрена возможность расслоения графической информации по уровням и выбор географических объектов с помощью указателя или списка. Каждой карте соответствует специальный текстовый файл с описательной информацией, который содержит списки связанных с картой объектов, также

расслоенных по уровням, и дополнительную информацию, необходимую для формирования справочной или географической информационной системы (рис. 1).

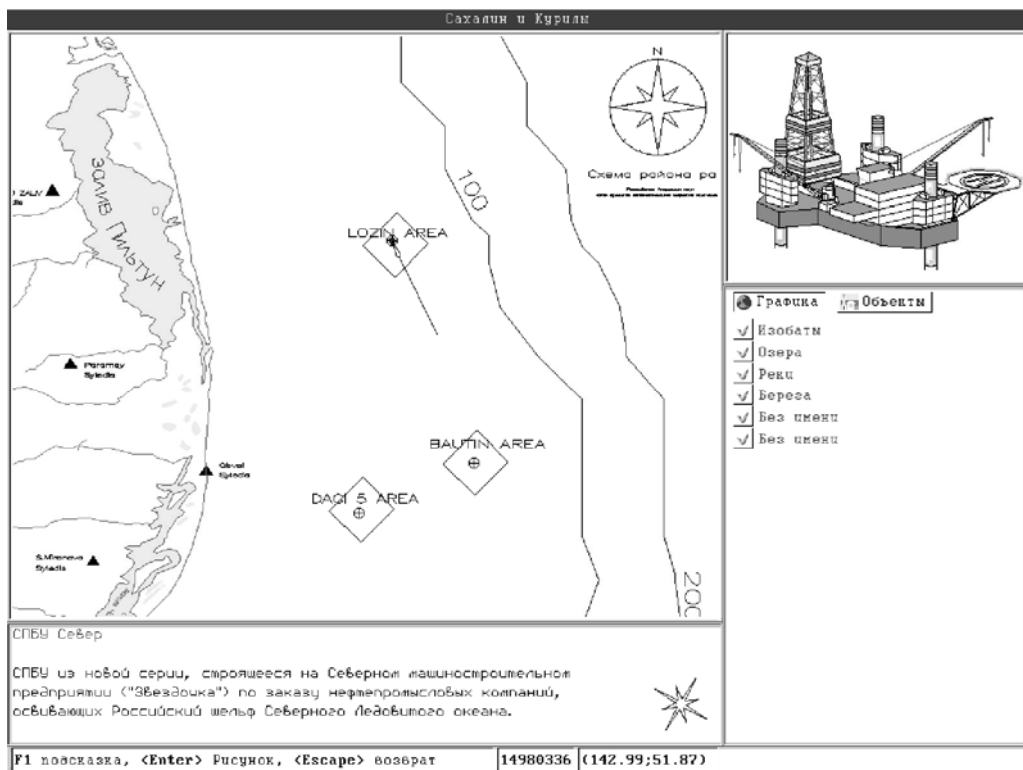


Рис. 1. Пример изображения на экране ЭВМ во время работы информационной системы “Сахалин”

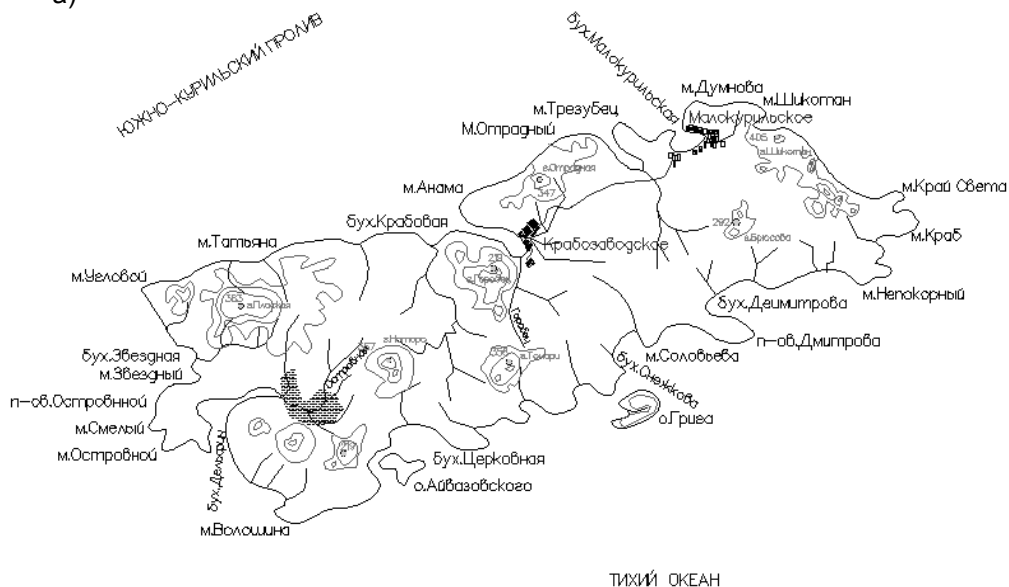
В целом, такое объединение графических и текстовых данных с помощью интерактивной системы с элементами гипертекстовых связей между различными информационными объектами представляет собой базовое инструментальное средство для объединения различных, в том числе океанографических и инженерно-конструкторских данных.

Проектирование и разработка программных комплексов выполнена с учетом необходимости включения в новую информационную систему специализированных математических моделей для анализа состояния окружающей среды и выполнения других информационных запросов.

Информационная система “Сахалин” представляет собой электронный атлас Сахалинской области и Курильских островов. В состав атласа входит несколько десятков географических карт, задающих картографическую основу для Сахалинской области в целом с включением географических карт для каждого из 17 Сахалинских районов в отдельности, а также планы города Южно-Сахалинска, районных центров, территории и схемы помещений СКБ САМИ и другие графические данные (рис. 2). С основными картами связана

дополнительная информация, в которой приведено текстовое описание географических объектов.

а)



б)



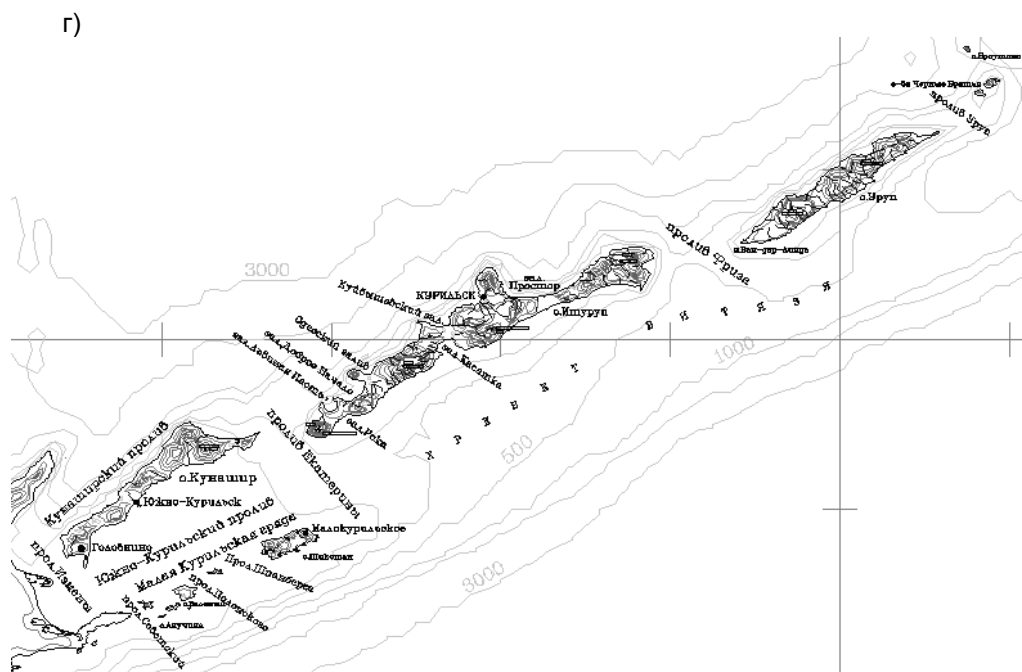
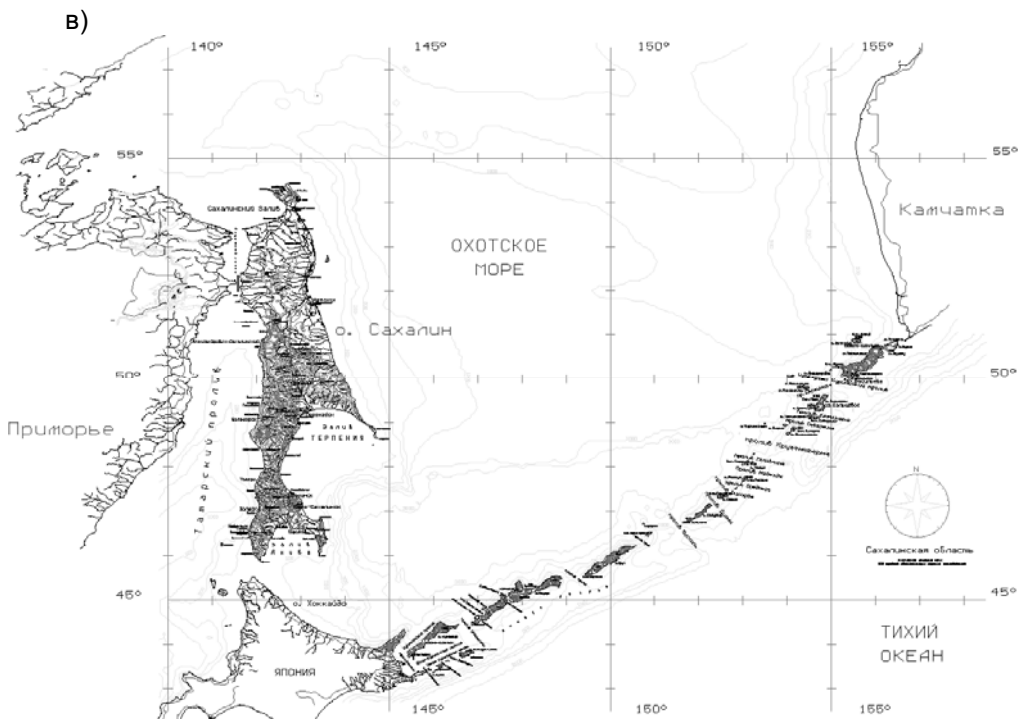


Рис. 2. Образцы электронных географических карт Сахалинской области и Курильских остров, оцифрованные в векторном формате и расслоенные по базовым тематическим уровням. Карты включены в специализированную географическую информационную систему "Сахалин".

---

---

## **Информационно-аналитические модели анализа гидродинамического режима в Охотском море и в районе нефтепромыслов на сахалинском шельфе**

Основу информационной системы, обеспечивающей наблюдения за состоянием моря, наравне с базами данных с результатами исторических наблюдений, должны составлять математические и экспертные модели, основанные на численном гидродинамическом моделировании. Такое моделирование может быть задействовано в оперативном использовании только при условии непрерывного поступления гидрометеорологической информации от локальных систем наблюдения в районе нефтепромыслов и с постов СахУГМС, а также данных дистанционного зондирования океана из космоса. Комплекс информации о реальном состоянии моря необходим для подготовки исходных и начальных данных при выполнении вычислительных экспериментов и адаптации текущего процесса численного моделирования к меняющимся океанологическим и метеорологическим условиям в контролируемых акваториях.

Для примера покажем два варианта численного моделирования гидродинамических процессов: 1) по упрощенной математической модели, позволяющей выполнять быстрые экспертные оценки ситуации; 2) по сложной модели, которая требует больших вычислительных ресурсов, и результаты расчета по которой могут использоваться для определения эволюции явлений.

Для ускоренного анализа гидродинамических процессов в океане удобно использовать упрощенную кинематическую модель распространения длинных волн, которая позволяет строить карты изохрон и волновых лучей.

Наиболее наглядное представление результатов такого моделирования оформляется в виде карт с сеткой изохрон, фиксирующих положение волновых фронтов через равные интервалы времени, перпендикулярно к которым строятся линии лучей – направлений распространения волновой энергии. В местах сходимости лучей и обратной кривизны волновых фронтов криволинейной сетки следует ожидать существенного усиления волн штормовых нагонов и цунами. В тех регионах, где изохроны сгущаются, следует ожидать усиления собственных колебаний мелководного шельфа, период которых оценивается суммированием интервалов между изохронами в месте их сгущения.

Рис. 3 иллюстрирует проникновение в Охотское море длинных приливных волн с акватории Тихого океана и их деформацию. Хорошо видно, что волны из Тихого океана подходят к восточно-сахалинскому шельфу с фронтами, вытянутыми вдоль побережья. В районе нефтедобычи волновые фронты имеют обратную кривизну (сходящиеся волновые лучи), что свидетельствует о значительной величине длинных волн. В целом для шельфа Сахалина преобладание суточных приливных волн с амплитудой около 1 метра.

Включение в информационную систему оперативной океанографической информации, в первую очередь, необходимо при решении задач обеспечения безопасности человеческой жизни на море, а также с целью предупреждения об опасных морских явлениях. Далее покажем пример анализа реального ряда наблюдений за течениями, выполненными в районе нефтепромыслов на Сахалинском шельфе.

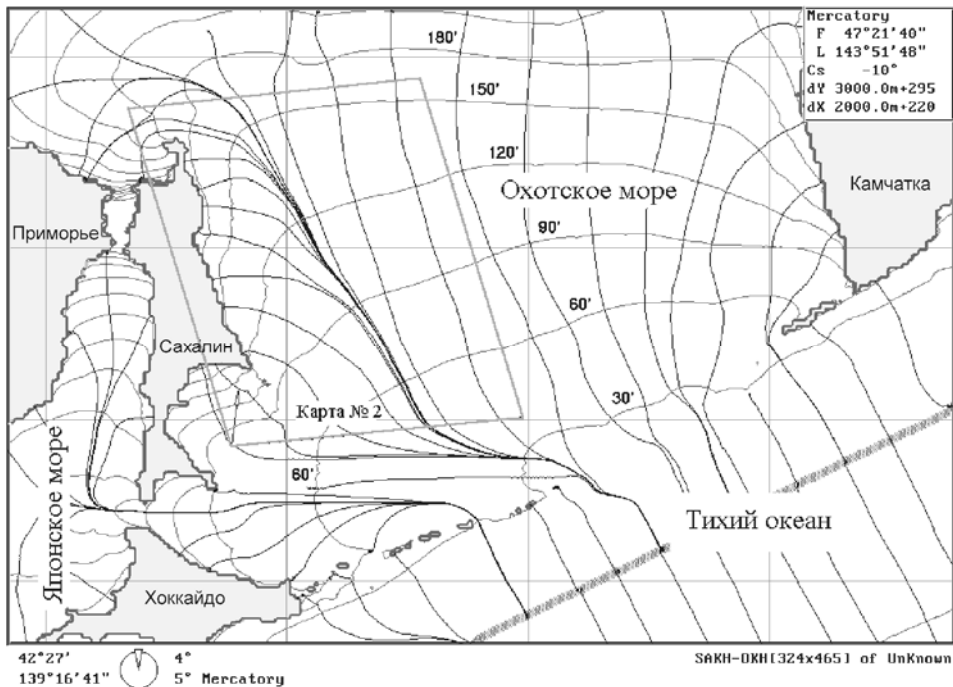


Рис. 3. Ортогональная сетка лучей и фронтов длинных волн относительно прямой, проходящей вдоль тихоокеанской стороны Курило-Камчатского желоба. Область, отмеченная как "Карта №2", в последующем используется при анализе гидродинамического режима на сахалинском шельфе.

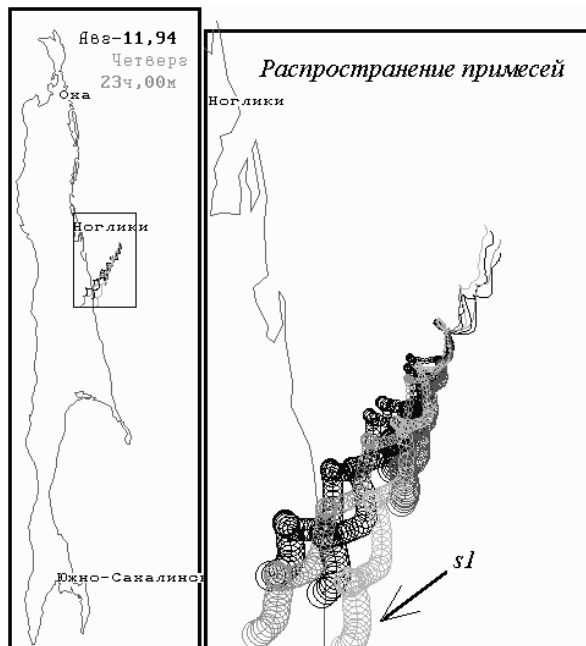
Наблюдения течений выполнялись в 1994 г. с помощью шести одновременно работающих приборов АЦИТ, установленных с борта ИГС "Триас" на трех горизонтах (придонный, подповерхностный и средний) в двух близлежащих точках с координатами  $51^{\circ}15'56.6''$  с.ш.,  $144^{\circ}13'32.3''$  в.д. и  $51^{\circ}16'08''$  с.ш.,  $144^{\circ}13'48.7''$  в.д.

Из рис. 4 следует, что в районе нефтепромыслов на сахалинском шельфе присутствуют интенсивные постоянные и приливные течения, которые к тому же обладают ярко выраженной изменчивостью во времени. Показанная кинематика распространения загрязнений, построенная на основе наблюдений в 1994 г., убеждает в сложном характере этого процесса и его зависимости от многих факторов. Для реальной оценки влияния сбросов отходов бурения на экологическую обстановку в этом районе требуются создание и адаптация к реальным условиям специализированных численных гидродинамических моделей, а также существенно более длительные ряды непрерывных океанологических наблюдений.

В процессе буровых работ такие наблюдения должны выполняться непрерывно и в оперативном режиме, что необходимо как для регистрации распространения загрязнения, так и для экспертных оценок воздействия опасных морских явлений или ликвидации последствий аварийных выбросов нефти.



a)



б)

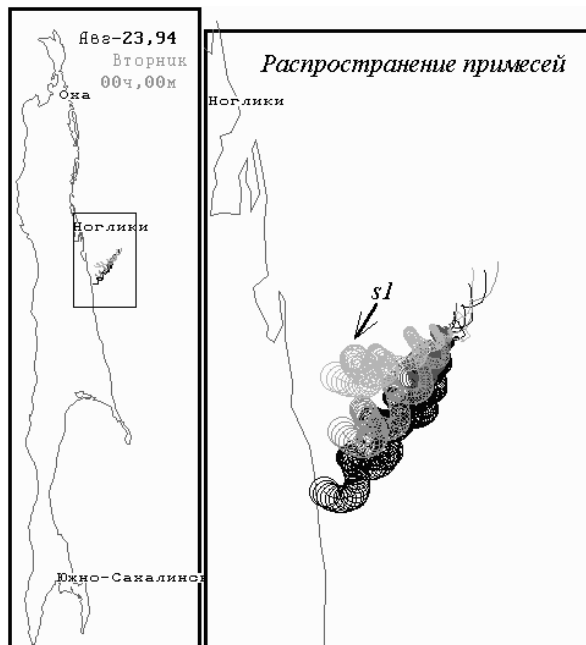


Рис. 4. Факел загрязнения моря за 5-ти дневный период (а – 12–16 августа 1994 г., б – 23–27 августа 1997 г.). Характер распространения взвешенных в водной среде примесей по наблюдениям в двух близлежащих точках, в придонном, подповерхностном и в среднем горизонтах (6 следов). Стрелками с меткой s1 показаны подповерхностные течения.

На рис. 5 показаны обобщенные результаты численного моделирования штормовых нагонов и цунами для прибрежных районов сахалинского шельфа. Такие расчеты полезны для быстрой оценки опасности наводнений на побережье

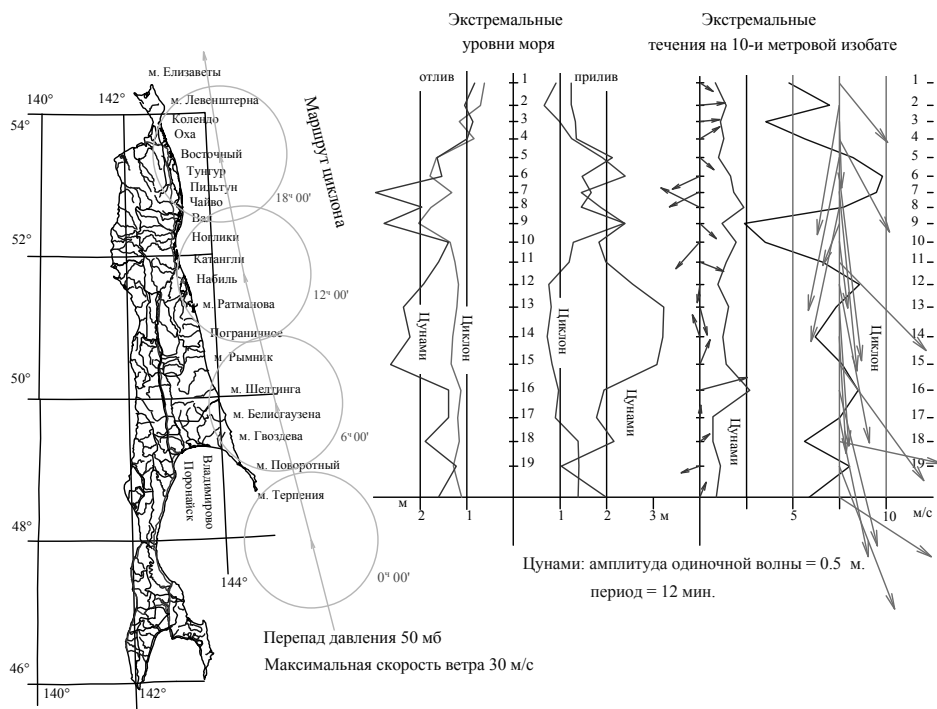


Рис. 5. Результаты численного моделирования длинноволновых процессов на сахалинском шельфе, где в качестве источников возмущения задавался быстродвижущийся циклон и одиночная волна цунами, следующая со стороны пролива Фриза.

На текущем этапе разработки информационной системы “Сахалин” основное внимание уделялось оцифровке картографических материалов, составлению кратких описаний сахалинских районов и населенных пунктов, разработке специализированного математического обеспечения, созданию и отладке алгоритмов и сценариев быстрого доступа к картографической и гипертекстовой информации. Параллельно ведутся разработки специализированного математического обеспечения для систематизации океанографической информации и численного моделирования гидродинамических процессов взаимодействия атмосферы и океана в открытом море и прибрежных акваториях.

## **О ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ НА ВОСТОЧНОМ ШЕЛЬФЕ САХАЛИНА В РАМКАХ ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ (ОВОС)**

Целью моделирования нефтяных разливов на стадии проведения ОВОС является подготовка вариантов наиболее статистически значимых сценариев аварий и вероятностная оценка ареала воздействия нефтяного загрязнения. По результатам моделирования предусматривается разработка оптимального плана мероприятий по ликвидации последствий возможных разливов нефти, включая создание на базе применяемых моделей программного комплекса для прогноза поведения нефтяного пятна в реальных условиях при возможных аварийных и учебных ситуациях.

В рамках проведения ОВОС первого этапа освоения Пильтун-Астохского месторождения (проект Сахалин II) разработана технология моделирования для выполнения сформулированной выше задачи, включающая три этапа:

### 1. Подготовка исходной информации и методов:

- ◆ уточнение исходной информации по источнику;
- ◆ выборка исходной информации по окружающей среде из фондов Росгидромета и др. источников;
- ◆ адаптация моделей по имитации условий среды;
- ◆ адаптация моделей по расчетам эволюции нефтяного разлива.

### 2. Инженерные расчеты и моделирование:

- ◆ определение ансамбля реализаций типичных гидрометеорологических условий для моделирования сценариев разлива и расчет их вероятностных параметров;
- ◆ построение моделей среды по выбранным реализациям;
- ◆ проведение расчетов эволюции нефтяных разливов по сценариям, использующим модели среды (перемещение поверхностного пятна, рассеяние в атмосферу, растворение в морской воде);
- ◆ обработка результатов моделирования по сценариям (определение вероятностных параметров загрязнения береговой зоны, траекторий и др.).

### 3. Анализ, корректировка и дополнение результатов.

## **Информационное обеспечение**

В качестве источников нефтяных разливов в соответствии с проектной технической документацией определены три варианта разлива в районе Пильтун-Астохского месторождения (северный расчетный район) и один – по предполагаемой трассе движения танкерных судов в районе мыса Терпения (южный расчетный район). Расстояния от точек разлива до берега 20–22 км.

Пристальное внимание уделялось выбору исходной гидрометеорологической информации. Для построения моделей, достоверно описывающих гидрометеорологические условия, необходимо использование

---

---

репрезентативных и качественно обработанных данных за статистически обеспеченные сроки наблюдений. В связи с этим к исходной информации предъявлялись следующие требования: достоверность источников гидрометеорологических данных, предварительный контроль, методическая совместимость рядов наблюдений, достаточность интервала наблюдений для выявления статистических свойств, доступность информации. Это, в конечном итоге, позволяет обосновать корректность результатов моделирования, от которых, в частности, зависит выбор плана ликвидации последствий возможных аварий.

Основные массивы используемой для расчетов гидрометеорологической информации были взяты из фондов организаций Росгидромета (ДВНИГМИ и СахУГМС), для отдельных видов работ использовалась обобщенная дополнительная информация ДМИГЭ. Исходную информацию условно можно отнести к трем видам наблюдений:

- ◆ для построения типичных ситуационных полей приводного ветра использовались ряды наблюдений береговых гидрометеостанций (ГМС) и база данных попутных судовых наблюдений [13].
- ◆ поле непривливых течений строилось на основе плотностной модели, для построения которой использовалась база судовых океанографических наблюдений [4].
- ◆ поля приливных течений строились на основе обработанных инструментальных наблюдений над течениями с плавучих буровых платформ или буйковых станций (некоторые сведения об источниках информации приведены в работе [11]).

Для верификации модельных течений использовались обработанные инструментальные наблюдения.

### **Методы и модели**

В технологической схеме моделирования нефтяных разливов применялись различные модели и методы для построения сценариев условий среды и расчета перемещения и эволюции нефтяного пятна. К наиболее важным и сложным моделям, которые использовались при выполнении комплекса расчетов и определяли динамику и физико-химические свойства разлива, относятся модель расчета течений и модель эволюции нефтяного пятна.

*Модель построения схем течений*, определяющая основные параметры среды для расчета пространственной динамики перемещения нефтяного пятна при различных гидрометеорологических ситуациях. В качестве исходных уравнений принимаются примитивные уравнения гидродинамики океана, записанные в декартовой системе координат с обычными в таких моделях приближениями без учета горизонтального турбулентного обмена [1, 5, 8, 14]. Система исходных уравнений замыкается при помощи уравнения неразрывности. Для расчетов была использована улучшенная версия трехмерной диагностической модели [3], разработанная для шельфовых районов о. Сахалин. По этой модели для выделенных ветровых ситуаций были выполнены диагностические расчеты циркуляции вод и трехмерного поля течений в районе восточного побережья о. Сахалин на сетке, аппроксимирующей расчетную область с шагом 20×20 минут. Количество узлов

расчетной сетки – 282, максимальная глубина района – 3200 м. При исследовании структуры циркуляции вод и трехмерного поля течений в районе восточного побережья о. Сахалин использованы глубоководные океанографические наблюдения за период с 1947 по 1995 гг., а также типовые ветровые ситуации для летнего и осеннего сезонов.

*Модель эволюции нефтяного пятна*, (характеризующая его перемещение при заданных гидрометеорологических ситуациях и физико-химические процессы в пятне). Модель построена на процедуре "частица в ячейке". Перенос нефти рассчитывается путем сложения поля течений с вектором, имеющим модуль равный 1–3.5% от мгновенной скорости ветра и углом, отличным от направления ветра (при скорости ветра менее 25 м/с). Нефть представляется в виде смеси, состоящей из 8 компонент, физические и химические свойства которых известны. Испарение углеводородного пятна, состоящего из нескольких фракций, моделируется как потеря массы каждой отдельной компонентой нефтяной смеси. Иными словами, нефтяную смесь можно представить в виде набора нескольких компонент с известными температурами кипения (обычно от 8 до 15). Поток массы за счет испарения представляется в виде:

$$k_e = k \sum_{i=1}^8 \frac{W_{\mu i} P_i}{R_0 T}; \quad (1)$$

$$P_i(t) = P_{0i} C_i(t);$$

$$M_i(t) = C_i(t) M_T(t);$$

$$\frac{\partial M_i}{\partial t} = k_{ei} A_s;$$

$$V_i(t) = \frac{M_i(t)}{\rho_{oi}}; \quad M_T(t) = \sum_{i=1}^8 M_i(t);$$

$$V_T(t) = \sum_{i=1}^8 V_i(t);$$

$$r(t) = \frac{M_T(t)}{V_T(t)};$$

где:  $k_e$  – поток массы за счет испарения;

$k$  – эмпирический коэффициент;

$W_{\mu i}$ ,  $P_i$ ,  $P_{0i}$ ,  $\rho_{oi}$ ,  $M_i$ ,  $C_i$ ,  $V_i$ ,  $k_{ei}$  – молекулярный вес, парциальное давление, давление насыщенного пара, плотность, объем массы, концентрация массы, парциальный объем и поток массы за счет испарения  $i$ -ой фракции нефтяной смеси, соответственно;

$R_0$  – универсальная газовая постоянная;

$T$  – температура на поверхности воды;

$M_T$ ,  $V_T$  – общая масса и объем нефтяной пленки на поверхности;

$A_s$  – площадь нефтяного пятна на поверхности океана;

$\rho$  – плотность нефти.

---

---

Диспергирование нефти в водную толщу рассчитывается как отношение нефти, поступающей с поверхности в единицу времени, к количеству нефти, возвращающейся в нефтяную пленку на поверхности.

Параметризация потока нефтяных капель в морскую среду представлена ниже:

$$k_d = r \left( 1.4 \frac{V_a^3}{C^4} \right) \sqrt{1 - 0.15 \frac{\Delta r}{r} \frac{1}{18} \frac{gH^2}{0.25 V_w V_w}} ; \quad (2)$$

где  $k_d$  – поток массы за счет обрушения волн;

$V_a$  – “скорость трения” в приводном слое атмосферы;

$C=0.8W_{10cr}$ ,  $W_{10cr}$  – критическая скорость ветра, при которой происходит обрушение волн;

$\Delta r = \rho_w - \rho$  – разность плотностей;  $\rho_w$  – плотность воды;  $\rho$  – плотность нефти;

$g$  – ускорение свободного падения;

$H$  – толщина нефтяного слоя;

$V_w$  – “скорость трения” в верхнем граничном слое океана;

$\nu_w$  – кинематическая вязкость воды.

Более подробно методика описана в работах [9, 10].

Кроме двух упомянутых выше основных моделей, для расчетов применялись следующие модели и методы.

- ◆ Статистические, корреляционные и интерполяционные методы типизации и построения метеополей (приводный ветер) для северного и южного расчетных районов. На основе этих методов строились расширенные таблицы повторяемости, типизировались метеоситуации, строились пространственные поля ветра, оценивались параметры длительности и зависимости перехода из одной ситуации в другую.
- ◆ Инженерные формулы для грубой оценки параметров ветрового волнения [7, 12].
- ◆ Статистические методы обработки инструментальных рядов наблюдений над течениями, метод наименьших квадратов для выделения приливных гармоник, интерполяционные методы и инженерные формулы мелкой воды для учета амплитудных соотношений при построении пространственно-временных полей приливных течений.
- ◆ Корреляционные методы построения и анализа связей между гидрометеорологическими элементами среды для верификации методов и моделей, в частности, ветровой компоненты и поверхностных течений.
- ◆ Методика построения десятисуточных сценариев по типовым гидрометеорологическим ситуациям, учитывающая характеристики их повторяемости, длительности. Последовательность ситуаций определялась с учетом весовых коэффициентов из корреляционной матрицы переходов с помощью датчика случайных чисел.
- ◆ Автоматизированная методика расчета переноса загрязняющих веществ на основе метода маркеров, разработанная в ДВНИГМИ для практического применения при оценках воздействия сбросов на характеристики морской среды и прогнозов последствий при аварийных ситуациях для дальневосточных морей России [6, 2]. Компьютерная реализация

---

---

технологии расчета переноса загрязняющих веществ в морской среде позволяет прогнозировать их распространение и осаждение: траекторию движения пятна, распределение концентрации различных показателей примесей в водной толще или на поверхности; характеристики осадков с учетом изменений под воздействием донной динамики. Программная реализация модели ДВНИГМИ “V-4.3” на основе версии 1995 г. “V-4”, усовершенствованная в 1996–1997 гг., применялась для вспомогательных расчетов траекторий движения нефтяного пятна при отработке десятисуточных сценариев для визуального контроля перемещения пятна.

### **Методика построения сценариев**

Моделирование проведено для каждого варианта разлива по пятнадцати десятисуточным сценариям, отдельно для летнего и осеннего сезонов. На начальном этапе были заложены требования к определению десятисуточных гидрометеорологических сценариев:

- ◆ выбор оптимальных климатических сроков для построения сценариев, отражающих характеристики летнего и осеннего режимов;
- ◆ квалифицированное использование доступной многолетней гидрометеорологической информации в районе работ;
- ◆ соответствие статистических распределений полей ветра и течений ансамбля десятисуточных сценариев соответствующим распределениям, построенным по данным многолетних наблюдений;
- ◆ учет существующих связей между различными наблюдаемыми параметрами (ветром, течениями и др.) при построении сценариев;
- ◆ максимальное приближение характеристик длительности ситуаций и переходов из одной гидрометеорологической ситуации в другую в расчетных десятисуточных сценариях к реально наблюдаемым синоптическому и гидрологическому режимам района;
- ◆ повышение репрезентативности сценариев путем оптимизации их свойств по различным статистическим критериям;
- ◆ визуальный контроль за траекториями движения нефтяного разлива по построенным сценариям.

В соответствии с этими требованиями на первой фазе строился ансамбль из типовых ситуаций для пятнадцати десятисуточных сценариев по каждому варианту разлива, который должен удовлетворять статистическим распределениям повторяемости и длительности гидрометеорологических параметров (поля ветра, течения). На второй фазе из построенного набора типовых гидрометеорологических ситуаций, характеризующих поля ветра, течений и волнения, выделяются десятисуточные сценарии с учетом корреляционных зависимостей перехода из предыдущей ситуации в последующую и оптимизирующих функций.

В более детализированном аспекте методика построения гидрометеорологических сценариев включала следующие этапы:

- ◆ построение таблиц повторяемости метеоситуаций для реперных районов по данным попутных судовых наблюдений и соответствующих им таблиц повторяемости по наблюдениям на ближайших береговых ГМС (в некоторых случаях со смещением градаций);

- 
- 
- ◆ выбор типовых сезонных метеоситуаций по таблицам повторяемости;
  - ◆ расчет пространственных полей приводного ветра с использованием соответствия построенному календарю выбранных метеоситуаций в реперных районах;
  - ◆ расчет критериев длительности для выбранных метеоситуаций и разделение их по длительности;
  - ◆ построение корреляционной матрицы для выбранных метеоситуаций с учетом критериев длительности;
  - ◆ расчет обобщенных гармонических постоянных для основных мод приливных течений в районах, обеспеченных инструментальными наблюдениями;
  - ◆ построение гармоник приливных течений в узлах пространственной сетки;
  - ◆ приближенный расчет амплитуды ветрового волнения в узлах сетки;
  - ◆ построение обобщенных таблиц повторяемости суммарных и неприливных течений по данным инструментальных наблюдений;
  - ◆ построение климатических полей плотности и граничных условий для модели неприливных течений;
  - ◆ построение полей неприливных течений для выбранных метеоситуаций;
  - ◆ проверка соответствия полей неприливных течений результатам обобщенных таблиц повторяемости их параметров в реперных точках инструментальным наблюдениям (при необходимости корректировка);
  - ◆ оптимизированный подбор ситуаций для заполнения временного интервала пятнадцати десятисуточных сценариев для двух сезонов и двух районов (всего более 3 600 часов по каждому) с требованием сохранения статистики повторяемости и длительности ситуаций;
  - ◆ построение десятисуточных сценариев из отобранных ситуаций с использованием корреляционной матрицы переходов, оптимизация сценариев по вероятностному критерию;
  - ◆ подготовка полей суммарных течений, ветра и волнения для гидрометеорологических ситуаций и построение расчетных полей в узлах сетки 20×20 картографических минут с дискретностью один час для десятисуточных сценариев при условии сглаживания переходов;
  - ◆ визуальный контроль движения нефтяного разлива по сценариям при предварительном моделировании с помощью траекторной модели (в случае необходимости корректировка построенных сценариев и/или удаление излишней информации);
  - ◆ окончательная подготовка гидрометеорологических данных по сценариям в требуемом для моделирования формате.

### **Моделирование сценариев разлива нефти**

По таблицам повторяемости для реперных районов (с центрами в точках вероятного разлива) для лета и осени выделены наиболее значимые сочетания скоростей и направлений ветра, условно названные “ситуациями” (всего 17 вероятных ситуаций ветрового режима, характеристики которых приведены в табл. 1). Указанные ситуации для северного и южного районов определяли



наполнение набора десятисуточных сценариев в соответствии с их таблицами повторяемости для реперных квадратов.

Таблица 1.

**Список номеров группировок метеоситуаций  
(наиболее устойчивые сочетания скорость – направления)**

№ ситуации	Название ситуации	Мин. скорость (м/с)	Макс. скорость (м/с)	Направления от (градус)	Направления до (градус)
1	Слабые С ветра	>0	5	247.5	67.5
2	Слабые Ю ветра	>0	5	67.5	247.5
3	Стабильные Ю ветра	5	60	157.5	202.5
4	Стабильные В–ЮВ ветра	5	60	67.5	157.5
5	Стабильные ЮЗ ветра	5	60	202.5	247.5
6	Стабильные З–СЗ ветра	5	60	247.5	337.5
7	Стабильные С–СВ ветра	5	60	337.5	67.5
8	Штиль	0	0	–	–
9	Стабильные ЮЗ–З ветра	5	60	202.5	292.5
10	Стабильные СЗ–С–СВ ветра	5	60	292.5	67.5
11	Стабильные З ветра	5	60	247.5	292.5
12	Стабильные СЗ ветра	5	60	292.5	337.5
13	Стабильные С ветра	5	60	337.5	22.5
14	Стабильные СВ–В ветра	5	60	22.5	112.5
15	Стабильные ЮВ–Ю ветра	5	60	112.5	202.5
16	Стабильные Ю–ЮЗ ветра	5	60	157.5	247.5
17	Стабильные СВ–В–ЮВ ветра	5	60	22.5	157.5

По построенной последовательности ветровых ситуаций проводился расчет соответствующих им полей течений с начальными фазами приливных гармоник, условно определенными на 1 августа 1999 года и 10 октября 1999 года. В точках переходов между ситуациями производилось интерполяционное сглаживание на время установления режима. Временной интервал сглаживания определялся задержкой отклика поля поверхностных течений на изменение ветровых условий (3–4 часа). В состав гидрометеорологических параметров для расчетов по сценариям, входило также поле бальности волнения, определяемое в соответствие с приближенными формулами [7,12], и средняя температура поверхности моря. Таким образом, подготовленный к расчету сценарий включал ежечасные наборы следующих параметров в узлах расчетной сетки: две компоненты скорости течений; две компоненты скорости ветра; высоту волнения, а также среднюю для всей расчетной области температуру поверхностного слоя.

Продолжительность действия источников, скорости поступления нефти в морскую среду, объемы разлитой нефти приведены в табл. 2.

Фракционный состав и свойства моделируемой нефти соответствовали аналогам "тяжелой" нефти месторождения Чайво – море. Выполненные для заглубленного источника №2 оценки показывают, что разлив нефти на глубине около 30 м быстро достигает поверхности (не более 1.5 мин. при расширении струи 3–4 м). При этом дисперсия в водную толщу не превышает 0.1%, поэтому

его дальнейшая эволюция может считаться эквивалентной эволюции от поверхностного источника.

Таблица 2.

**Технические характеристики источников разлива нефти**

Источник разлива	Продолжительность действия (ч)	Объем пролитой нефти (м <sup>3</sup> )	Скорость поступления нефти (м <sup>3</sup> /ч)	Глубина источника (м)
1. (П-А мест.)	0.0167 (1 мин.)	95.4	5724.00	0.0
2. (П-А мест.)	240.0	12720.0	53.00	30.0
3. (П-А мест.)	24.0	1590.0	66.25	0.0
4. (м. Терпения)	24.0	71551.2	2981.30	0.0

Примеры результатов расчетов десятисуточного перемещения нефтяных slickов для северного источника разлива представлены на рис. 1, 2. По результатам анализа траекторий движения нефтяных slickов были определены зоны потенциального воздействия. В качестве примера на рис. 3, 4 приведены зоны воздействия спустя 3 суток после разлива нефти для северного и южного источников.

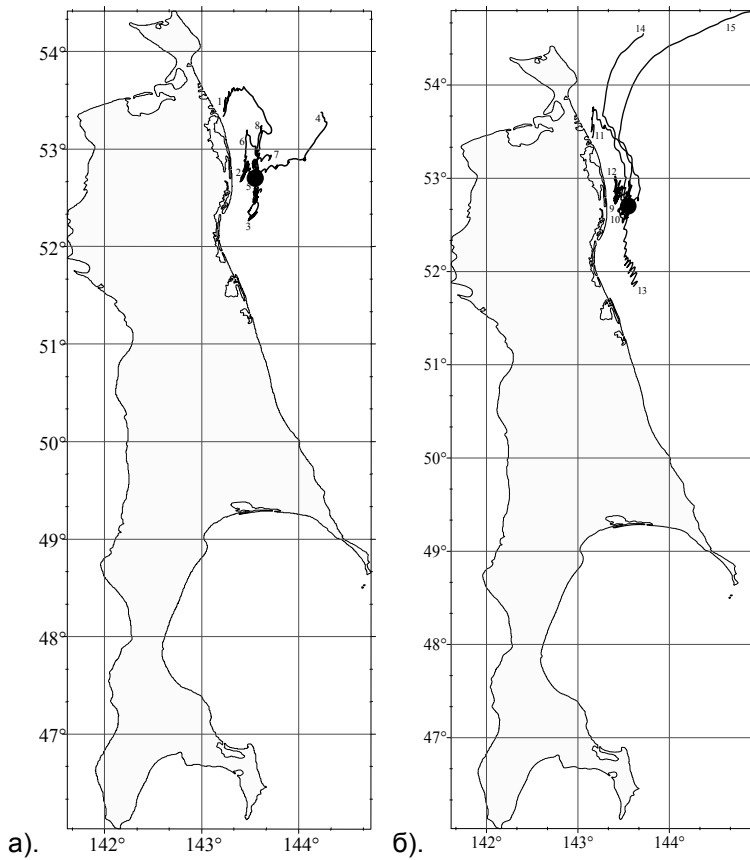
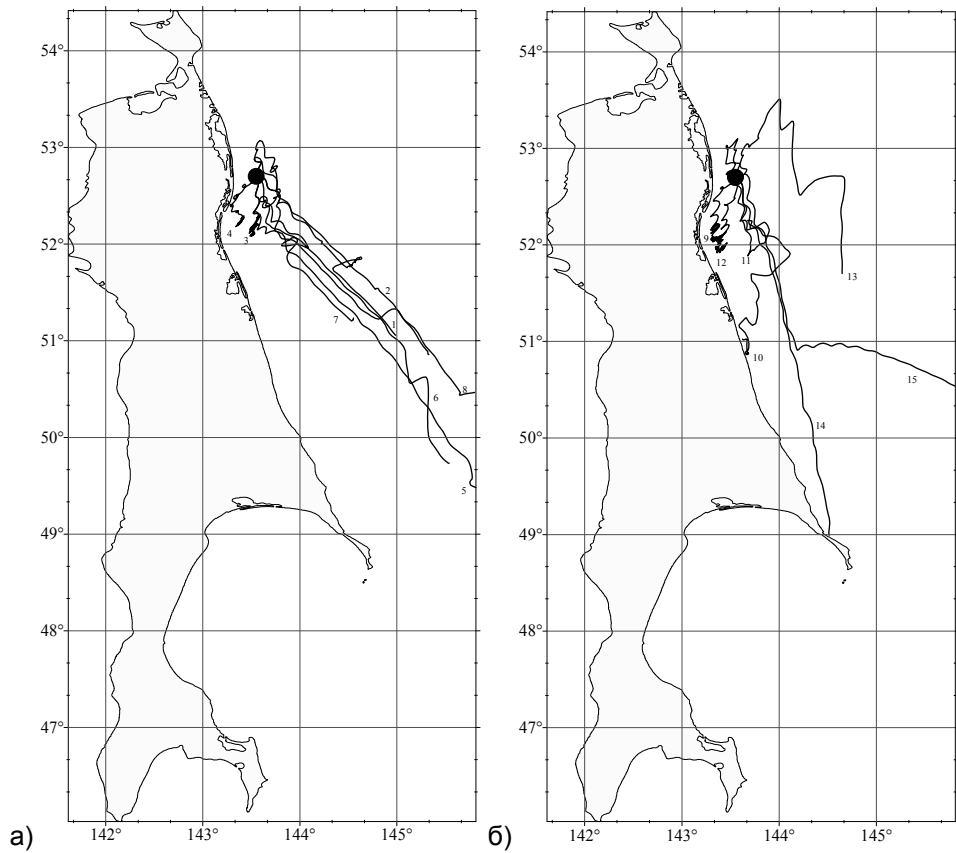
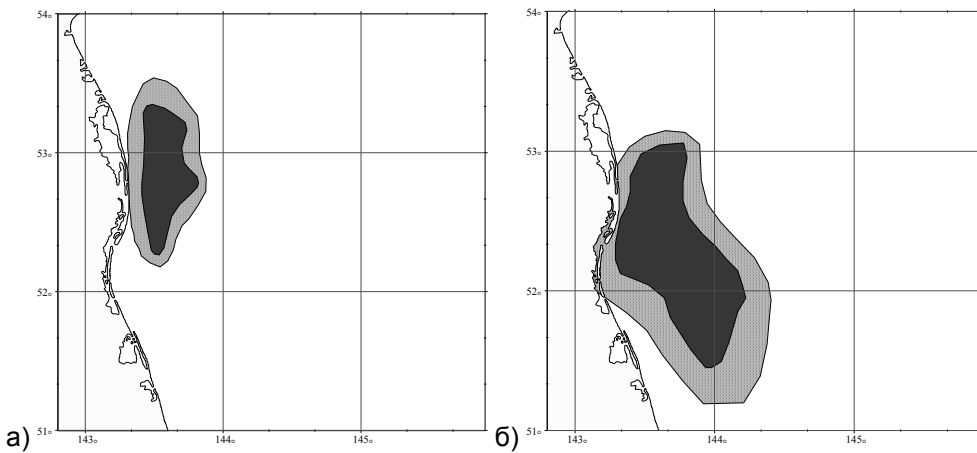


Рис. 1. Траектории разлива после десяти суток, источник № 1, лето.  
 а) летние э/м сценарии №№1–8, б) летние э/м сценарии №№9–15.



**Рис. 2. Траектории разлива после десяти суток, источник № 1, осень.**  
 а) осенние г/м сценарии №№1–8, б) осенние г/м сценарии №№9–15.



**Рис. 3. Зона потенциального воздействия для северного района спустя 3 сут. после разлива.**  
 а) летний сезон, б) осенний сезон.

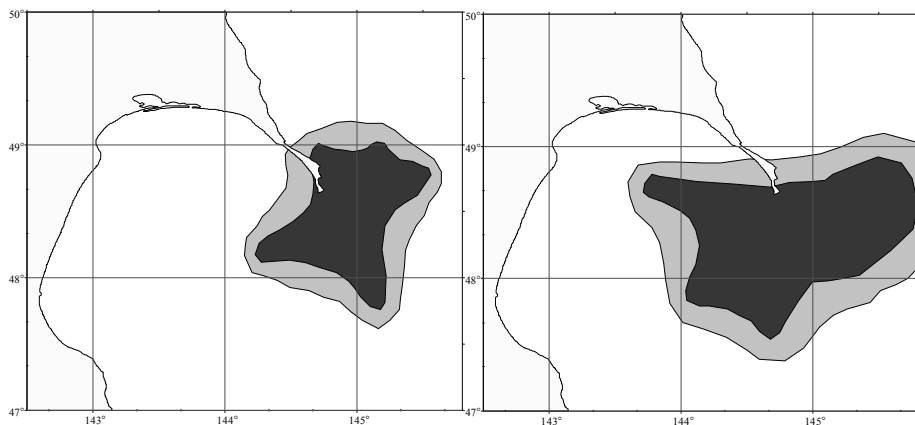


Рис. 4. Зона потенциального воздействия для южного района спустя 3 сут. после разлива. а) летний сезон, б) осенний сезон.

Время достижения нефтяным пятном побережья при разных сценариях различно. Результаты оценки протяженности загрязнения береговой зоны и время достижения нефтяным пятном берега для 60 гидрометеорологических сценариев показаны на рис. 5. Так как гидрометеорологические сценарии представляются условно репрезентативными для климатических условий, расчетные оценки минимального времени поражения береговой зоны нефтяным разливом и размер поражения береговой линии следует считать заниженными. Более точные оценки могут быть получены при моделировании ситуаций с экстремальными и наиболее неблагоприятными для экологии береговой зоны гидрометеорологическими условиями. Например, в случае умеренных (порядка 10 м/с) ветров восточных румбов нефтяное пятно может достигнуть берега в течение 20–30 часов, в зависимости от фазы прилива на момент сброса нефти. При усилении ветра время может сокращаться, однако, в этом случае перемешивание возрастает по нелинейному закону.

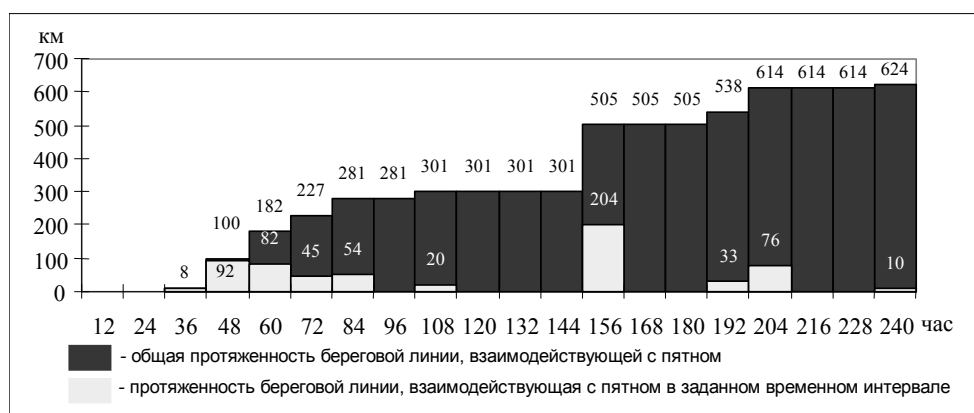


Рис. 5. Обобщенные диаграммы изменения размеров загрязнения береговой линии во времени (по 60 сценариям).

---

---

Рассматриваемая в модельных расчетах нефть содержит легкие фракции, которые интенсивно испаряются, в основном, в течение первых 2–3 дней. Показатели испаряемости составляют от 20 до 40% (в среднем 30%). Диспергирование нефти в водную толщу для моделируемых ситуаций слабое и не превышает 1–2% ввиду высокой способности к эмульгированию. При наиболее неблагоприятных сценариях с учетом мелководности переход нефти в водную толщу приближался к 10%.

### **Выводы**

Основные выводы по результатам моделирования можно сформулировать следующим образом:

- ◆ район характеризуется интенсивной динамикой вод с преобладающим переносом осенью преимущественно в южном направлении, летом прослеживается слабовыраженная тенденция переноса на север;
- ◆ преобладающие гидрометеорологические ситуации для северных источников разлива в определенной степени способствуют движению пятна в восточном направлении (от берега) как в летний, так и в осенний сезон, при этом вероятность выноса нефтяного загрязнения на берег по рассчитанным десятисуточным сценариям оценивается в пределах 15–30%;
- ◆ наиболее неблагоприятная экологическая ситуация может наблюдаться в южной точке разлива (источник № 4), где вероятность выноса нефтяного пятна на берег оценивается в пределах 20–50%;
- ◆ в соответствии со свойствами нефти в первые несколько дней происходит испарение около 30% ее общей массы; диспергирование нефти в водную толщу для моделируемых ситуаций незначительно, ввиду высокой способности к эмульгированию, однако при наиболее неблагоприятных осенних сценариях оно может приближаться к 10%;
- ◆ более корректные результаты могут быть получены при детализации расчетных сеток течений, учете экстремальных гидрометеорологических ситуаций, совершенствовании модели эволюции нефти и др. факторов.

Детальный отчет с описанием технологии моделирования и результатами расчетов по 120 сценариям получил одобрение государственной экологической и строительной экспертизы в составе проекта ОВОС первой фазы освоения Пильтун-Астохского месторождения нефти и газа, а также отмечен положительным заключением Европейского банка реконструкции и развития.

Авторы благодарят компанию "Сахалинская Энергия" за финансовую поддержку данной работы.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Budaeva V. D., Makarov V. G. Modeling of the Typical Water Circulations in the La Perouse Strait and Aniva Gulf Region. PICES Scientific Report. 1996. № 6, P. 17–207.
2. Богдановский А. А., Кочергин И. Е. Параметризация характеристик перемешивания в рамках Лагранжева описания среды для типичных условий шельфа северо-восточного Сахалина.

- 
- 
3. Будаева В. Д., Макаров В. Г., Мельникова И. Ю. Диагностические расчеты стационарных течений в заливе Анива и проливе Лаперуза // Тр. ДВНИГМИ. 1980. Вып. 87. С. 66–78.
  4. Дашко Н. А., Варламов С. М., Кочергин И. Е. Режим ветра и волнения у побережья северо-восточного Сахалина // Труды ДВНИГМИ. 1998. Наст. вып.
  5. Козлов В. Ф. О применимости монотонных разностных схем при диагностических расчетах морских течений // Изв. АН СССР. ФАО. 1977. Е. 13. Т. 7. С. 728–737.
  6. Кочергин И. Е. Расчет зон повышенной концентрации взвешенных веществ в море при строительстве объектов нефтегазопромыслового комплекса на шельфе Сахалина // Тр. ДВНИГМИ. 1997. Вып. 140 (в печати)
  7. Лаппо Д. Д., Стрекалов С. С., Вавьялов В. К. Нагрузки и воздействие ветровых волн на гидротехнические сооружения. Л.: изд. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1990. –427 с.
  8. Макаров В. Г. Применение плотностных моделей при диагностических расчетах течений в глубоком море с широким шельфом. – В кн.: Океанологические исследования в Тихом океане. Владивосток, 1985. С. 83–89.
  9. Овсиенко С. Н., Зацепя С. Н. Об учете вязкости нефти при моделировании начальных стадий распространения нефти в море – Сб. Океанографические аспекты охраны морей и океанов от химического загрязнения. М.: Гидромет., 1989.
  10. Овсиенко С. Н., Зацепя С. Н. Особенности численного моделирования начальных стадий распространения нефти в море – Сб. Океанографические аспекты охраны морей и океанов от химического загрязнения. М.: Гидромет., 1989.
  11. Путов В. Ф., Шевченко Г. В. Особенности приливного режима на северо-восточном шельфе острова Сахалин // Труды ДВНИГМИ. 1998. Наст. вып.
  12. Руководство по расчету параметров ветровых волн. Л.: Гидрометеиздат, 1969, – 137с.
  13. Рыков Н. А. Освещенность охотоморского шельфа о. Сахалин данными глубоководных океанографических наблюдений // Труды ДВНИГМИ. 1998. Наст. вып.
  14. Саркисян А. С. Численный анализ и прогноз морских течений. Л. Гидрометеиздат. 1977, –182 с.

---

---

УДК 551.584 (571.642):620.9

**Оценка погодно-климатических условий Сахалина для энергетической отрасли** / Дашко Н.А., Варламов С. М., Пестерева Н. М. // Труды ДВНИГМИ, тематический вып. 1998. С. 7–14.

Рассматривается влияние погодно-климатических условий Сахалина на аварийность в энергетической отрасли. Приводятся статистические данные по аварийности, связанной с воздействием стихийных гидрометеорологических явлений с учетом специфики сезонов года. Учитываются дополнительные гидрометеорологические факторы повышения аварийности для прибрежных районов. На основании проведенных исследований выделены основные гидрометеорологические факторы, являющиеся причинами аварийности. Выполнен анализ совокупного воздействия экстремальных гидрометеорологических факторов на энергетические объекты. Даны рекомендации по учету временных потерь при строительстве, связанных с экстремальными погодными условиями.

Табл. 2, ил. 5., библиограф. 2

УДК 551.466.32 (571.642)

**Режим ветра и волнения у побережья северо-восточного Сахалина** / Дашко Н. А., Варламов С. М., Кочергин И. Е. // Труды ДВНИГМИ, тематический вып. 1998. С. 14–28.

По данным попутных судовых наблюдений и других источников уточнены режимные характеристики ветра и волнения у северо-восточного побережья Сахалина. Описывается метод подготовки данных наблюдений. Приводятся статистические характеристики ветро-волнового режима, рассматриваются сезонные особенности изменения спектральных характеристик. Особое внимание уделено исследованию режима повторяемости сильных ветров и штормового волнения, а также возможных экстремальных значений скорости ветра и высоты волн. Выполнен анализ барических условий, формирующих ветровой режим западной части Охотского моря. Исследована статистическая зависимость формирования поля смешанного волнения от характеристик ветра и времени воздействия.

Табл. 9, ил. 6, библиограф. 7.



**Об изменении структуры тайфунов при выходе на районы локального прибрежного апвеллинга и гряды островов** / Дубина В. А., Тунеголовец В. П. // Труды ДВНИГМИ, тематический вып. 1998. С. 28–38.

Исследования влияния подстилающей поверхности на строение и эволюцию тропических циклонов проводились на примере зоны дивергенции у побережья центральной части Вьетнама и зоны архипелага гряды Филиппинских островов.

Из 342 тропических циклонов, развивающихся над Южно-Китайским морем, над районом апвеллинга прошли 36 ТЦ, причем только одна тропическая депрессия 1994 г. и тропический циклон 7218 пришлись на период с июня по сентябрь – на период развития локального прибрежного апвеллинга. Ожидаемого ослабления циклонов не отмечено.

Большинство из 133 тропических циклонов при смещении с востока после выхода в Южно-Китайское море несколько сроков двигались с южной составляющей, после чего снова выходили на обычные траектории.

Ил. 10, библ. 6.

УДК 551.574.42:629.12 (265.54 + 265.53 + 265.51)

**Синоптические условия обледенения судов на акваториях Дальневосточных морей** / Петров А. Г. // Труды ДВНИГМИ, тематический вып. 1998. С. 38–45.

В статье рассматриваются синоптические условия обледенения судов на акваториях дальневосточных морей. Приводятся результаты ранее проведенных исследований, а также анализ более 1000 синоптических ситуаций, при которых наблюдалось явление обледенения судов. Используются данные попутных судовых наблюдений. Результаты проведенного анализа сведены в обобщенную таблицу для акваторий Японского, Охотского и Берингова морей.

Табл. 1, библ. 2.

---

---

УДК 551.574.42:629.12 (265.54)

**Характеристика обледенения судов в Японском море.** / Петров А. Г. // Труды ДВНИГМИ, тематический вып. 1998. С. 45–52.

В статье подробно рассматриваются характеристики обледенения судов и проблемы исследования этого опасного явления. Приводятся результаты предыдущих исследований и новые, полученные на основе анализа более 5500 попутных судовых наблюдений в Японском море. В частности, приводятся сведения о количестве (повторяемости) случаев обледенения в зависимости от причин, их вызвавших, интенсивности и погодных условий.

Приводятся данные о повторяемости распределения количества наблюдений по величине отложившегося на судне льда. Отмечается, что несмотря на абсолютное большинство случаев медленного обледенения, быстрое обледенение происходит достаточно часто и составляет около 10 процентов. Основным видом обледенения является брызговое. В то же время в большинстве случаев при обледенении судов выпадали осадки, либо наблюдались условия, при которых они были возможны.

Табл. 4, библиограф. 5

УДК 551.462.32 (571.462)

**Освещенность охотоморского шельфа о. Сахалин данными глубоководных океанографических наблюдений** / Рыков Н. А. // Труды ДВНИГМИ, тематический вып. 1998. С. 52–61.

Рассматривается количественный и качественный состав исторических глубоководных океанографических наблюдений, собранных в РЦОД ДВНИГМИ. Дается оценка их пространственного распределения в летний и осенний сезоны на сетке 20 x 20 картографических минут. Выполнены поквadratные расчеты среднемноголетних сезонных значений плотности морской воды. Произведены оценки доверительной вероятности полученных значений. На поверхности моря наименьшая доверительная вероятность расчета средних отмечается в прибрежных районах центрального и северного Сахалина. Под слоем скачка начиная с глубины 20 м доверительная вероятность оценок существенно возрастает.

Табл. 3, ил. 4, библиограф. 3

---

---

УДК 551.466.78 (571.642)

**Особенности приливного режима на северо-восточном шельфе о. Сахалин** / Путов В. Ф., Шевченко Г.В. // Труды ДВНИГМИ, тематический вып. 1998. С. 61–82.

На основе анализа стационарных ежечасных наблюдений за уровнем моря в зал. Набиль за несколько лет, а также коротких серий наблюдений в заливах Пильтун, Чайво, Ныйский, Луньский и на ПБУ исследуется режим приливо-отливных явлений на северо-восточном шельфе о. Сахалин.

Обнаружена значительная межгодовая и сезонная изменчивость амплитуд и фаз основных волн приливов.

Подробно рассматривается пространственная изменчивость полусуточных и суточных гармоник, характер и максимальные величины приливного уровня.

Отдельно проанализированы приливные течения.

Табл. 2, ил. 9, библиограф. 11

УДК 551.461 (265.51)

**Экстремальные уровни на отечественном побережье Берингова моря** / Савельев А. В. // Труды ДВНИГМИ, тематический вып. 1998. С. 82–89.

Рассматривается режим максимальных и минимальных уровней на отечественном побережье Берингова моря по наблюдениям в 8 пунктах.

Рассчитаны теоретические функции распределения экстремальных отклонений уровня с использованием метода, базирующегося на аппроксимации эмпирических функций распределения двойным экспоненциальным законом. На основе теоретических функций выполнены оценки экстремальных уровней редкой повторяемости.

Табл. 6, библиограф. 6.

---

---

УДК 551.465.4 (571.642)

**Параметризация характеристик перемешивания для типичных условий шельфа северо-восточного Сахалина / Богдановский А. А., Кочергин И. Е. // Труды ДВНИГМИ, тематический вып. 1998. С. 89–102.**

Для расчетов переноса загрязняющих веществ сформулирована трехмерная диффузионно-адвективная модель на основе метода "блуждающих частиц". Для учета турбулентных пульсаций получены уравнения в рамках теории сдвиговой неустойчивости, связывающие дисперсию компонент скорости с критерием Ричардсона. Описываются типичные условия переноса загрязняющих веществ на северо-восточном шельфе Сахалина. Приводятся рассчитанные значения скоростей осаждения частиц для различных сезонов. Получены значения дисперсии турбулентных пульсаций по сезонам для типовых метеорологических ситуаций исследуемого района.

Табл. 2, ил. 5, библиогр. 25

УДК 504.42.054 (265.54)

**Комплексная количественная оценка параметров источников загрязнения морской акватории, прилегающей к Владивостоку / Гаврилевский А. В., Гаврилова Т. А., Кочергин И. Е. // Труды ДВНИГМИ, тематический вып. 1998. С. 102–113.**

Собрана и проанализирована информация об источниках загрязнения прибрежной зоны залива Петра Великого, прилегающей к Владивостоку.

В качестве источников загрязнения морской среды рассматриваются процессы поступления загрязняющих веществ в море извне в количестве, достаточном для изменения существующих фоновых концентраций в ограниченной зоне. Выделены основные типы источников загрязнения. Установлен перечень загрязняющих веществ, по которому можно провести корректную оценку интегральных характеристик источников загрязнения.

На основе отобранной информации проведена оценка объемов и состава поступающих в морскую среду загрязнений от различных источников. Проанализирован относительный вклад источников в загрязнение прибрежной зоны.

Табл. 2, ил. 5, библиогр. 10.

**Оценка состояния морской среды в районе Владивостока по содержанию поллютантов в моллюсках и грунтах / Ткалин А. В. // Труды ДВНИГМИ, тематический вып. 1998. С. 114–125.**

Рассмотрены результаты экспедиции 1996 года, в которой были отобраны пробы донных отложений с 14 станций и пробы двустворчатых моллюсков с 9 станций вокруг Владивостока. В пробах анализировалось содержание искусственных радионуклидов, токсичных металлов и хлорорганических пестицидов. Оказалось, что активности радионуклидов находятся на фоновом уровне, обусловленном их глобальными выпадениями из атмосферы и последующим перераспределением. Концентрации хлорированных углеводородов и токсичных металлов (свинца, меди, кадмия и цинка) в пробах донных отложений и моллюсков на некоторых станциях превышают “высокие” значения, определенные в рамках национальной программы США “National Status and Trends”.

Табл. 4, ил. 5, библиограф. 18.

**Экологические исследования в заливе Стрелок и бухте Рифовой / Белан Т. А. // Труды ДВНИГМИ, тематический вып. 1998. С. 125–131.**

Получены первые данные по оценке экологического состояния открытой части залива Стрелок, бухт Разбойник и Рифовой, различающихся по уровню антропогенной нагрузки. Выявлены нарушения в качественном и количественном соотношении групп макрозообентоса в бухте Разбойник, где наблюдалось максимальное содержание поллютантов в донных осадках. Бентосные сообщества в бухте Рифовой, где концентрации тяжелых металлов и нефтяных углеводородов не превышали фоновых значений, характеризовались богатым видовым составом, высокими величинами биомассы бентоса и преобладанием нетолерантных к загрязнению видов. Открытая часть залива Стрелок занимала промежуточное положение среди двух упомянутых районов.

Табл. 5, ил. 3, библиограф. 11.

---

---

УДК 574.5 (265.54)

**Исследование состояния сообществ двустворчатых моллюсков в Амурском заливе** / Олейник Е. В. // Труды ДВНИГМИ, тематический вып. 1998. С. 131–136.

Анализируются пробы донного грунта, полученные при сборе бентоса в Амурском заливе экспедициями ДВНИГМИ за период 1986-1994 г.г.

Выявлено двукратное уменьшение средней биомассы бентоса в районе, прилегающем к Владивостоку, по сравнению с остальной акваторией залива. Доля двустворчатых моллюсков здесь не превышает 8 % биомассы, в то время, как в удаленных от города районах она достигает 50 %.

Предполагается пессимистический сценарий эволюции сообществ двустворчатых моллюсков в прибрежной зоне Владивостока с постепенной их деградацией под влиянием антропогенных факторов.

Табл. 2, ил. 3, библ. 4.

УДК 591.526 (571.642)

**Современное состояние и тенденции антропогенных изменений в прибрежных териокомплексах нефтепромышленной зоны северного Сахалина** / Воронов Г. А. // Труды ДВНИГМИ, тематический вып. 1998. С. 136–151.

Приведены сведения о современной численности, плотности обитания и потенциальной плодовитости 10 видов охотничье-промысловых млекопитающих (соболя, лисицы, выдры, американской норки, бурого медведя, северного оленя, белки, ондатры, зайца-беляка, горностая) и 5 видов мелких грызунов (красной и красно-серой полёвок, лесной мыши, бурундука, серой крысы) в прибрежных фаунистических комплексах нефтепромышленной зоны северного Сахалина. Определены основные антропогенные факторы, оказывающие негативное воздействие на условия обитания этих животных вследствие развития здесь нефте-газопромышленного комплекса. Установлены размеры происходящего сокращения плотности их популяций в зависимости от степени антропогенного воздействия.

Табл. 5, ил. 2, библ. 44.

**Новый статистический регрессионный способ прогноза перемещения тайфунов, давления в центре, максимального ветра и зон с сильными, ураганскими и максимальными ветрами** /Тунеголовец В. П. // Труды ДВНИГМИ, тематический вып. 1998. С. 152–159.

Предлагается усовершенствованный метод прогноза перемещения тайфунов, разработанный в ДВНИГМИ в 1996 г. и основанный на пошаговой множественной регрессии.

Новая версия базируется на использовании дискриминантных функций для разделения ТЦ на типы уже на ранней стадии развития и последующем расчете параметров циклона по более чем 200 регрессионным уравнениям с заблаговременностью от 12 до 72 ч.

Выполненные по указанному методу прогнозы перемещения тайфунов рассматриваются как хорошие, прогнозы показателей интенсивности – как удовлетворительные. Наилучшая оправдываемость прогнозов для открытых акваторий и при выходе ТЦ в умеренные широты.

Ил. 1, библи. 10.

**О создании информационно-аналитических систем оперативного анализа обстановки на море** / Савельев В. Ю., Храмушин В. Н. // Труды ДВНИГМИ, тематический вып. 1998. С. 159–170.

Обсуждается ряд основных научных и прикладных задач, на решение которых должна быть направлена морская информационно-аналитическая система.

Приводится обзор существующих информационных систем, разработанных различными отечественными и зарубежными компаниями, обсуждаются их достоинства и недостатки.

Излагаются основные математические и программные принципы, реализованные при разработке собственными силами информационной системы, адаптированной для морской акватории, прилегающей к о. Сахалин.

Показаны примеры расчета и визуализации на экране монитора некоторых динамических характеристик морской поверхности на охотоморском шельфе Сахалина.

Ил. 5.

**О технологии моделирования нефтяных разливов на шельфе восточного Сахалина в рамках проведения оценки их воздействия на окружающую среду (ОВОС) / Кочергин И. Е., Богдановский А. А., Будаева В. Д., Зацева С. Н., Ивченко А. А., Макаров В. Г., Овсиенко С. Н., Путов В. Ф. // Труды ДВНИГМИ, тематический вып. 1998. С. 171–182.**

Рассматривается моделирование нефтяных разливов на шельфе Сахалина в рамках оценки их воздействия на окружающую среду (ОВОС). Основные используемые модели и методы: трехмерная диагностическая модель построения схем течений, эволюционная модель нефтяного пятна, методика построения десятисуточных сценариев по типовым гидрометеорологическим ситуациям. Приведены результаты моделирования возможных аварийных разливов нефти в виде траекторий и зон потенциального воздействия. Сделаны оценки загрязнения береговой черты. По результатам моделирования сделан обобщающий анализ с учетом специфики восточного шельфа о. Сахалин.

Табл. 2, ил. 5, библиограф. 14.



---

---

UDC 551.584 (571.642):620.9

**Assessment of weather-climatic conditions of Sakhalin for energetics** / Dashko N. A., Varlamov S. M., Pestereva N. M. // FERHRI Proceedings, Specialized Issue. 1998. P. 7-14.

Influence of Sakhalin weather-climatic conditions on the fault rate in energetics is described. Statistics on the accidents caused by hydrometeorological events is considered. Specific features of different seasons, as well as additional hydrometeorological factors enhancing the fault rate in coastal areas are accounted. Hydrometeorological factors causing accidents are distinguished on the basis of the investigation fulfilled. Total effect of the extreme hydrometeorological factors on the energy producing objects is analyzed. Recommendations on how to account temporal losses caused by the extreme weather conditions taking place in course of construction activity are developed.

Tables - 2, Figures - 5, References - 2.

UDC 551.466.32 (571.642)

**Wind and wave regime in the coastal area of north-eastern Sakhalin** / Dashko N. A., Varlamov S. M., Kochergin I. E. // FERHRI Proceedings, Specialized Issue. 1998. P. 14-28.

Characteristics of wind-wave regime in the coastal area of northeastern Sakhalin are specified over on-route ship observations and other data sources. Method of data preparation is described. Statistics on wind-wave regime and seasonal changes of spectral characteristics are considered with special attention paid to reoccurrence of strong winds and storms, as well as to the extreme wind velocity and wave height. Wind regime of the western Sea of Okhotsk is analyzed. Statistical dependence of wave formation upon wind characteristics and time period of their effect is investigated.

Tables - 9, Figures - 6, References - 7.

---

---

UDC 551.515.2

**Structural changes of typhoon entering the areas of local coastal upwelling and isle ridge** / Dubina V. A., Tunegolovets V. P. // FERHRI Proceedings, Specialized Issue. 1998. P. 28-38.

Influence of underlying surface on structure and evolution of tropical cyclones in the divergence zone of Central Vietnam and Philippine Archipelago was investigated.

Among 342 tropical cyclones developed over the South China Sea 36 crossed upwelling zone. Only one tropical depression in 1994 and tropical cyclone 7218 took place in June-September in the period of local coastal upwelling development. The expected weakening of cyclones was not registered.

Most of 133 tropical cyclones entering the South China Sea from the east for some time moved southward, then turned to traditional trajectories.

Figures - 10, References - 6.

UDC 551.574.42:629.12 (265.54 + 265.53 + 265.51)

**Synoptic conditions of ship icing in the far eastern seas** / Petrov A. G. // FEHRI Proceedings, Specialized Issue. 1998. P. 38-45.

Synoptic conditions of ship icing observed in the Far Eastern Seas are considered. The results of previous investigations and analysis of over 1000 synoptic situations of ship icing are described. On-route ship observations are used. Analytical results are summed up in the generalized table on the Seas of Japan, Okhotsk, and Bering.

Tables - 1, References - 2.

---

---

UDC 551.574.42:629.12 (265.54)

**Ship icing characteristics in the sea of japan** / Petrov A. G. // FERHRI Proceedings, Specialized Issue. 1998. P. 45-52

Detailed ship icing characteristics and research problems this dangerous phenomenon may pose are considered. The results of previous and new research based on the analysis of 5500 on-route ship observations carried out in the Sea of Japan are presented. Reoccurrence of ship icing events, their reasons, intensity, and weather conditions are described.

Reoccurrence of quantity distribution of observations over the ice cover thickness is considered. It is shown that despite the absolute majority of icing events to be slow icing, fast icing occurs sufficiently often and makes up 10%. Spray icing was registered as the main type. In most cases atmospheric fall-out or favorable conditions accompanied icing of ships.

Tables - 4, References - 5.

UDC 551.462.32 (571.462)

**Availability of deep-sea oceanographic data for the okhotsk part of sakhalin shelf** / Rykov N. A. // FERHRI Proceedings, Specialized Issue. 1998. P. 52-61.

Qualitative and quantitative composition of historical deep-sea oceanographic data collected at the Regional Oceanographic Data Center of FERHRI and their spatial distribution in summer and autumn within 20x20 cartographic minutes grid is considered. Quad assessments of mean-year seasonal seawater density are made. On sea surface the least confidential probability of mean assessments was registered in the coastal areas of central and northern Sakhalin. Under the jump layer, starting from depth 20 m, confidential probability assessments notably increase.

Tables - 3, Figures -4, References - 3.

---

---

UDC 551.466.78 (571.642)

**Peculiar tidal regime of north-eastern Sakhalin shelf** / Putov V. F., Shevchenko G. V. // FERHRI Proceedings, Specialized Issue. 1998. P. 61-82.

Low and high tidal regimes of northeastern Sakhalin shelf is analyzed on the basis of stationary every-hour observations of sea level carried out in the Nabil Bay ( long-term), Piltun, Chajvo, Nynsky, and Lunsky Bays and on rigs (short-term).

Considerable inter-year and seasonal variability of tidal wave amplitudes and phases is registered. Detailed spatial variability of half-day and daily harmonics, the character and maximal values of tidal level is considered. Tidal currents are analyzed separately.

Tables -2, References - 11.

UDC 551.461 ( 265.51 )

**Extreme sea levels observed in the russian part of Bering sea coast** / Savel'yev A. B. // FERHRI Proceedings, Specialized Issue. 1998. P. 82-89.

Maximal and minimal sea levels of the Russian part of Bering Sea coast observed at 8 station-sites are considered.

Theoretic distribution functions of the extreme sea level fluctuations are calculated by means of the method based on approximation of the empiric distribution function over the dual exponential law. The extreme levels of rare reoccurrence are assessed on the basis of theoretic functions.

Tables -6, References - 6.

---

---

UDC 551.465.4 (571.642)

**Turbulent characteristics parametrization for typical conditions of north-eastern Sakhalin shelf** / Bogdanovsky A. A., Kochergin I. E. // FERHRI Proceedings, Specialized Issue. 1998. P. 82-102.

Three-dimensional diffusive-advective model based on the method of “wandering particles” is worked out for pollution transport assessments. The equations of the shift instability theory associating dispersion of component velocities with the Richardson criterion are developed to account turbulent pulsation. Typical conditions of pollution transport on the northeastern Sakhalin shelf are described. Sedimentation rates of solids in different seasons are calculated. Seasonal dispersion of turbulent pulsation for typical meteorological situations in the area under study is estimated.

Tables -2, Figures - 5, References - 25.

UDC 504.42.054 (265.54)

**Complex quantitative assessment of the sources polluting the sea adjacent to Vladivostok** / Gavrilovsky A. V., Gavrilova T. A., Kochergin I. E. // FERHRI Proceedings, Specialized Issue. 1998. P. 102-113.

Information on the sources polluting Peter the Great Bay adjacent to Vladivostok was collected and analyzed.

Processes contributing pollutants to the investigated sea from outside in the amounts sufficient to change background concentrations in a limited zone are considered as sources. Basic types of pollution sources are distinguished. List of pollutants that can be used for correct assessments of integral characteristics of pollution sources is presented.

Volumes and composition of pollutants contributed to the investigated sea are assessed on the basis of the selected data. Relative impact of sources contributing pollution to the coastal zone is analyzed.

Tables - 2, Figures - 5, References -10.

**Assessment of marine environment quality near vladivostok using pollutant concentrations in mussels and bottom sediments / Tkalin A. V. // FERHRI Proceedings, Special Issue. 1998. P. 114-125.**

Results of analysis of radionuclides, trace metals and chlorinated hydrocarbons in bottom sediments and mussels are discussed. Sampling was carried out in Amursky and Ussuriysky Bays near Vladivostok in 1996. Measured activities of radionuclides were at background level caused by their atmospheric fallout and subsequent redistribution. Contents of chlorinated hydrocarbons and some trace metals (lead, copper, cadmium and zinc) at several sampling sites exceeded concentrations classified as "high" in the US National Status and Trends Program.

Tables -4, Figures - 5, References - 18.

**Ecological studies in the Strelok bay and Rifovaya inlet / Belan T. A. // FERHRI Proceedings, Specialized Issue. 1998. P. 125-131.**

Initial evaluation of the ecological status of the open part of Strelok Bay, Razboynik and Rifovaya Inlets which differ in anthropogenic load were obtained. Quantitative and qualitative anomalies of macrozoobenthos communities were detected in Razboynik Inlet where highest contents of pollutants in bottom sediments were also observed. Background concentrations of trace metals and petroleum hydrocarbons in bottom sediments in Rifovaya Inlet were revealed. Benthic communities in Rifovaya Inlet were characterized by high species diversity as well as benthos biomass, and domination of non-tolerant species. Open part of Strelok Bay had intermediate characteristics of bottom communities and pollutants content.

Tables -5, Figures - 3, References - 11.

---

---

UDC 574.5 (265.54)

**Bivalve mussels studies in the Amursky bay** / Olejnik E. V. // FERHRI Proceedings, Specialized Issue. 1998. P. 131-136.

Sediments sampled in the Amursky Bay by research vessels of FERHRI in 1986-1994 for benthos biomass were analyzed. Average benthos biomass in the area adjacent to Vladivostok was found to drop twofold in comparison with the rest part of the Bay. Portion of bivalve mussels there made up 8% while in the area remote from the city it was 50%.

Pessimistic forecast is made for the coastal area adjacent to Vladivostok on the evolution of bivalve mussels with their gradual degradation under anthropogenic pressure.

Tables -2, Figures - 3, References - 4.

UDC 591.526 (571.642)

**Contemporary status and anthropogenic impact tendencies in the coastal fauna complex of oil-fields of northern Sakhalin** / Voronov G. A. // FERHRI Proceedings, Specialized Issue. 1998. P. 136-151.

Contemporary population number, density and potential reproduction rate of 10 hunting mammals (sable, fox, otter, American mink, brown bear, reindeer, squirrel, white hare, ermine) and 5 rodents (red and reddish-gray field voles, mouse, chipmunk, gray rat) belonging to the coastal fauna of oil productive zones of northern Sakhalin are described. Main anthropogenic factors impacting the habitats of the mentioned animals in course of oil production are determined. Dependence of drops in density and population number upon anthropogenic impact intensity is described.

Tables - 5, Figures -2, References - 44.

---

---

UDC 551.515.2

**New statistical regressive technique to forecast typhoon migration, pressure in the center, maximal wind, and zones with strong, stormy, and maximal winds** / Tunegolovets V. P. // FERHRI Proceedings, Specialized Issue. 1998. P. 152-159.

Improved method of typhoon migration forecast developed at FERHRI in 1996 and based on a plural spacing regression is described.

New version applies discriminant function for division of tropical cyclones into types at the early stage of their development and consequent calculation of cyclone parameters over more than 200 regressive equations 12-72 hours in advance.

Forecasts of typhoon migration over this method are estimated as good, forecasts of intensity indicators as satisfactory. Best forecasts were made for open sea areas where cyclones enter the zone of moderate latitudes.

Figures - 1, References - 10.

UDC 681.3.06 (265.53)

**Information-analytical system of operational analysis of sea situations** / Savel'yev V. Yu. Khramushin N. V. // FERHRI Proceedings, Specialized Issue. 1998. P. 159-170.

Research and applied problems an information-analytical system can help to solve are considered.

Existing information systems developed by various Russian and western companies with their strong and weak points are reviewed.

Basic mathematical and programming principles realized in the information-analytical system adapted to the sea adjacent to Sakhalin are described.

Some examples of calculations and screen visualization of dynamic sea surface characteristics of Sakhalin shelf, its Okhotsk Sea part, are demonstrated.

Figures - 5



**Technologie of oil spills modeling on sakhalin shelf fulfilled within EIA procedure** / Kochergin I. E., Bogdanovsky A. A., Budaeva V. D., Zatsepa S. N., Ivchenko A. A., Makarov V. G., Ovsienko S. N., Putov V. F. // FERHRI Proceedings, Specialized Issue. 1998. P. 171-182.

Modeling of oil spills that may occur on Sakhalin shelf fulfilled within EIA procedure is considered. Principle models and techniques used three-dimensional diagnostic model for current scheme construction, oil spill evolution model, technique for construction of ten-day scenarios over typical hydrometeorological situations. Potential accidental oil spills are presented as trajectories and potential impact zones. Assessments of coastal zone pollution and generalized analysis accounting the peculiar nature of eastern Sakhalin shelf are made.

Tables - 2, Figures - 5, References - 14.

**ТРУДЫ ДВНИГМИ**



**Тематический выпуск**

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ  
НА ШЕЛЬФЕ: ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА МОРСКУЮ СРЕДУ**

Ответственный редактор *канд. физ.-мат. наук И. Е. Кочергин*

Редактор *канд. геогр. наук. А. В. Савельев*

Технический редактор *Т. А. Гаврилова*

*Художник Р.В. Гаева*

Отпечатано с оригинал-макета, подготовленного в институте

---

Изд. лиц. ЛР № 040118 от 15.10.96 г. Подписано к печати 18.01.99 г.  
Формат 70x100/16. Печать офсетная. Усл.п.л. 16,41. Уч.-изд.л. 15,99.  
Тираж 250 экз. Заказ 35

---

Отпечатано в типографии издательства «Дальнаука» ДВО РАН  
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7