

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕЧЕНИЙ У БЕРЕГОВ ПОЛУОСТРОВА ШМИДТА (СЕВЕРНЫЙ САХАЛИН)

Г.В. Шевченко, Г.А. Кантаков, В.Н. Частиков

АННОТАЦИЯ

Проанализированы материалы инструментальных измерений течений, выполненных летом 2006 г. на Кайганско-Васюканском, Восточно-Шмидтовском и Западно-Шмидтовском нефтегазоносных участках. Наблюдения выявили важную роль суточных приливных течений, которые преобладали над другими типами движений в районе, примыкающем к северной оконечности о. Сахалин. Эллипсы главных приливных волн сильно сжаты и сравнительно слабо изменяются с глубиной. Непериодические течения в промежуточном и придонном слоях имели более устойчивый характер по сравнению с поверхностным, в котором сказывалось влияние ветра. Основной поток в этих слоях имел ориентацию на Кайганско-Васюканском участке на юг и юго-юго-запад; на Восточно-Шмидтовском — на восток и юго-юго-восток; в северной части Западно-Шмидтовского — на юго-юго-запад и на восток, и в южной его части — на северо-восток и на север.

ВВЕДЕНИЕ

Летом 2006 г. по заказу компаний «Бритиш Петролеум» и ЗАО «Сахалинские проекты» Сахалинским институтом рыбного хозяйства и океанографии под общим руководством компании ООО «РЭА – консалтинг» были проведены комплексные океанологические исследования на морских месторождениях нефти в районах, примыкающих к п-ову Шмидта, который расположен в северной части о. Сахалин. Программа работ включала инструментальные измерения течений в поверхностном, промежуточном и придонном слоях при помощи четырех автономных буйковых станций (АБС). Две из них были установлены на Кайганско-Васюканском и Восточно-Шмидтовском нефтегазоносных лицензионных участках, еще две — в северной и южной частях Западно-Шмидтовского участка.

Характеристика динамических процессов в акваториях, прилегающих к п-ву Шмидта, представляет значительный интерес не только с точки зрения обеспечения проведения разведочных бурений, так как измерения скоростей течений, выполненные в рамках данного проекта, являются, по сути, первыми в рассматриваемом районе. Подавляющее большинство материалов измерений течений ранее было получено на морских нефтегазоносных площадях, расположенных южнее, на северо-восточном шельфе острова. Анализ этих материалов посвящен ряд публикаций (Путов и др., 1998; Попудрибко и др., 1998; Кочергин и др., 1999; Красавцев и др., 2000, 2001; Шевченко и др., 2003; Rybalko *et al.*, 2003; Шевченко, 2004).

Очень интересные исследования были проведены восточнее п-ова Шмидта японскими специалистами из Университета Хоккайдо, которые установили 3 АБС с акустическими доплеровскими профилографами ADCP вдоль линии м. Елизаветы

— банка Кашеварова (Mizuta *et al.*, 2003). В этой работе для каждой АБС приведены средние месячные вектора скорости течения за октябрь 1999 г., январь и апрель (только для самой удаленной станции) 2000 г. Устойчивый поток юго-юго-восточных румбов наблюдался на двух расположенных ближе к Сахалину станциях в течение всего периода наблюдений, на удаленной АБС скорости течений были несколько выше и ориентированы на юг. К сожалению, в этой работе другим аспектам динамики данного района (в частности, приливным и дрейфовым течениям) внимания не уделялось.

Проведенные исследования выявили необычайно сложный характер динамики северо-восточного шельфа Сахалина, основными отличительными чертами которой являются:

- высокие скорости суточных приливных течений в прибрежной зоне на участке от м. Елизаветы до зал. Лунский, достигающие 2—3 узлов;
- формирование прибрежного апвеллинга под действием характерных для летнего сезона ветров южных румбов;
- резкое усиление прибрежного потока на юг осенью в результате перестройки поля ветра к условиям зимнего муссона с характерными ветрами северных и северо-западных румбов, который переносит вдоль восточного берега Сахалина воды низкой солености, обусловленные стоком р. Амур.

Однако только на Кайганско-Васюканском участке можно ожидать, что динамические процессы будут иметь аналогичный характер, так как в районе к северу от Сахалина физико-географические условия существенно отличаются от северо-восточного шельфа острова. Изучение течений в этой акватории представлялось особенно интересным, так как она изучена в гораздо меньшей степени. Одна из немногих работ (Путов и др., 2001) была посвящена анализу инструментальных измерений течений на шельфе в районе пос. Охотск (Кухтуйская нефтегазоносная площадь). Хотя измерения проводились на значительном расстоянии от п-ова Шмидта, рассмотрим некоторые результаты данной работы, так как их интересно сравнить с материалами измерений, полученными в рамках настоящего проекта.

Инструментальные измерения течений на Кухтуйской площади проводились в поверхностном, промежуточном и придонном слоях в течение двух недель в конце мая—начале июня 1988 г. В записях доминировали приливные колебания, причем в поверхностном слое они были несколько слабее, чем в промежуточном, что связывалось с влиянием стратификации. В пользу этого мнения говорило и то, что в тонком прогретом верхнем слое отмечались также инерционные течения, которые практически отсутствовали на глубинах ниже термоклина.

Непериодические течения были сравнительно невелики и ориентированы на запад-юго-запад, их интенсивность убывала с глубиной горизонта измерений. В промежуточном слое наблюдался выраженный поток западного направления, в то время как в верхнем слое разброс по направлениям был более заметным. Наиболее вероятная причина таких случайных колебаний течений — переменное воздействие ветра.

Натурный эксперимент, выполненный летом 2006 г., позволил проанализировать пространственную изменчивость приливных и непериодических течений в районе, прилегающем к северной оконечности о. Сахалин, а также

изучить характер их изменений с глубиной. Именно эти вопросы являлись основной целью данной работы.

ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Как уже отмечалось выше, на акватории, прилегающей к п-ову Шмидта, в июле 2006 г. были установлены четыре автономные буйковые станции на Кайганско-Васюканском, Восточно-Шмидтовском и Западно-Шмидтовском лицензионных участках. Положение АБС представлено на рис. 1, информация об условиях постановки дана в табл. 1.

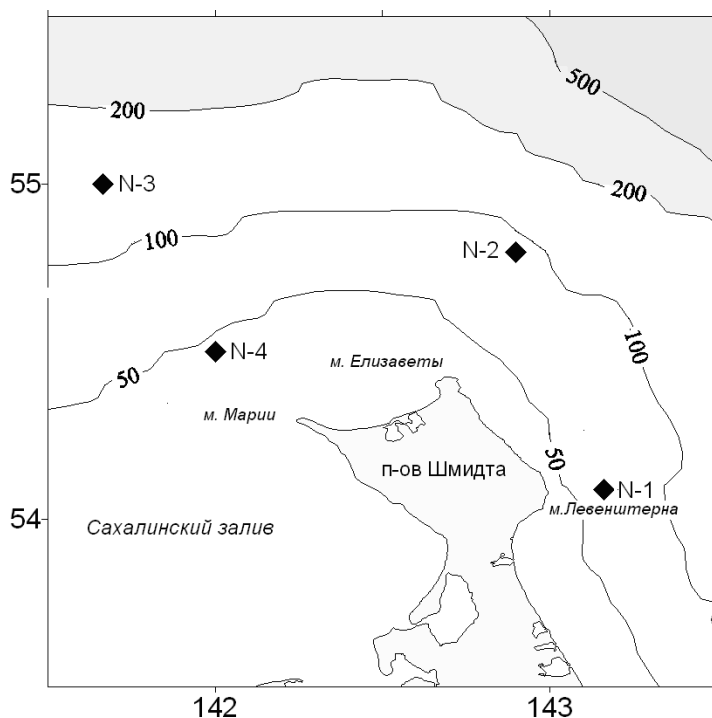


Рисунок 1. Схема района исследований и расположения АБС «Надежда»

Обозначения: N — АБС «Надежда», ◆ — место установки АБС

Таблица 1. Информация об автономных буйковых станциях

Станция	Широта, с.ш.	Долгота в.д.	Дата постановки	Дата снятия	Глубина, м	Измеритель
«Надежда-1»	54°05,20'	143°09,70'	21.07.06	27.08.06	78	SonTek ADP 500 KHz
«Надежда-2»	54°50,12'	143°00,11'	21.07.06	26.08.06	97	SonTek Argonaut MD
«Надежда-3»	54°59,99'	141°39,85'	21.07.06	26.08.06	130	SonTek Argonaut MD
«Надежда-4»	54°29,98'	142°00,08'	21.07.06	26.08.06	45	SonTek ADP 500 KHz

АБС «Надежда-1», включавшая акустический доплеровский профилограф ADP SonTek, была установлена 21 июля 2006 г. на траверзе м. Левенштерна на акватории Кайганско-Васюканского участка (рис. 1, табл. 1), где в 1992—1995 гг. производились измерения дрейфа льда при помощи береговой радиолокационной станции, и, таким образом, имелась косвенная информация о характере течений (Тамбовский и др., 1999). Прибор был закреплен на специальной раме, изготовленной из нержавеющей стали, которая устанавливалась на дне и фиксировалась при помощи двух якорей. Глубина моря в точке постановки составляла 78 м, измерения течений осуществлялись в 18 слоях толщиной 4 м каждый, при этом непосредственно над прибором существует «мертвая зона» приблизительно около 5 м, в которой наблюдения не производились. Отличительной особенностью устанавливаемых на дне доплеровских профилографов является то, что измерения в поверхностном слое обычно сопряжены с определенными погрешностями. Будем иметь в виду данное обстоятельство при анализе соответствующих материалов.

На станции «Надежда-2» (Восточно-Шмидтовский участок) использовались три измерителя скорости течений SonTek Argonaut 3D, которые были закреплены на горизонтах 8, 49 и 94 м. Глубина моря в точке постановки составляла 97 м. Для обеспечения вертикального натяжения троса использовалась гирлянда кухтылей, для надежной фиксации АБС — два якоря весом 250 кг каждый. Трос с приборами соединялся с одним из якорей посредством акустического размыкателя EdgeTech Cart.

В северном районе Западно-Шмидтовского участка была выставлена АБС «Надежда-3», включающая 3 измерителя течений Son Tek Argonaut, которые были закреплены на горизонтах 8, 62 и 127 м, ее компоновка была аналогичной АБС «Надежда-2».

Измерения течений вблизи северного побережья п-ова Шмидта (АБС «Надежда-4», южная часть Западно-Шмидтовского участка) производились при помощи акустического доплеровского профилографа во всей толще воды, которая была разбита на 21 слой толщиной 2 м каждый. Глубина моря в точке постановки составляла 45 м. Условия постановки были аналогичны станции «Надежда-1» на Кайганско-Васюканском участке.

Обработка полученных материалов осуществлялась по единой методике. По данным наблюдений на каждой станции для проекций векторов скорости течений на параллель и на меридиан обычно определяются гармонические постоянные амплитуды и фазы 8 основных приливных волн: 4 полусуточного (N_2 , M_2 , S_2 , K_2) и 4 суточного диапазона (Q_1 , O_1 , P_1 , K_1). Продолжительность измерений позволяла вычислить гармонические постоянные только 6 волн, параметры гармоник K_2 и P_1 рассчитывались путем введения специальных поправок на амплитуды и фазы волн S_2 и K_1 соответственно. На станции «Надежда-1» ввиду очень больших скоростей суточных приливных течений дополнительно определялись параметры еще двух суточных волн ($2Q_1$, H_1). Для других станций в этом не было необходимости.

Полученные оценки гармонических постоянных основных приливных волн позволяют оценить различные характеристики приливных течений, в частности, максимальные скорости, возможные по астрономическим условиям. Хорошо известно, что для данного района для учета межгодовых колебаний величины приливов необходимо учитывать вариации с периодом 18,6 лет (Путов и др., 1998). В частности, для адекватного описания распределений приливной составляющей

достаточно построить распределения по градациям скорости и направлениям ряда, предвычисленного на 19-летний период.

Приливные течения традиционно характеризуются эллипсами, которые строятся на основе вычисленных гармонических постоянных амплитуд и фаз для проекций на параллель и на меридиан. Для характеристики структуры приливных течений и ее вертикальной изменчивости для каждой станции представлены эллипсы главной суточной (K1) и полусуточной (M2) гармоник в поверхностном, промежуточном и придонном слое.

Для анализа непериодических течений по остаточным рядам, полученным путем вычитания из измеренных значений проекций векторов скорости на параллель и на меридиан предвычисленного прилива, рассчитывались распределения по градациям скорости и направлениям. Соответствующие «розы» течений представлены для каждой станции для поверхностного, промежуточного и придонного слоев.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Кайганско-Васюканский лицензионный участок

Для представления результатов проведенного анализа были отобраны данные в трех различных слоях — самом нижнем 1-ом, промежуточном 9-ом и верхнем 18-ом. Проекция измеренных векторов скорости течения представлены на рис. 2.

Как видно из рисунка, меридиональная компонента течения явно преобладает над зональной на всех горизонтах. Это обусловлено ориентацией береговой линии в районе измерения, на Кайганско-Васюканском участке она почти параллельна меридиану.

В полученных записях доминируют суточные приливные течения, хорошо просматривается характерная для них двухнедельная изменчивость с резким ослаблением приливного потока 1—3 и 14—16 августа. Особенно это выражено в промежуточном и придонном слоях, в поверхностном за счет увеличения роли воздействия ветра вклад непериодической составляющей возрастает, как и интенсивность суммарных течений в целом. Возможно, что в некоторой степени высокие значения скорости непериодической компоненты, а также менее регулярный характер приливных течений обусловлены искажающим влиянием свободной поверхности, о чем говорилось выше.

Рассмотрим результаты расчета распределений скоростей течений на различных горизонтах по градациям скорости и направлениям.

В поверхностном горизонте наиболее высокая повторяемость (34,4%) приходится на северное направление, здесь же отмечены и высокие значения максимальных скоростей (более 180 см/с). Повторяемость течений южных румбов несколько меньше (21,8%), максимальные скорости также высоки (180,9 см/с), при этом на данном направлении отмечается самое высокое значение средней скорости по сектору направлений (75,4 см/с).

В промежуточном слое ситуация иная: здесь доминируют течения южных румбов, их повторяемость самая высокая (42,5%), на данном направлении отмечены максимальные значения скорости (134,7 см/с), а также наибольшие средние значения (63,7 см/с).

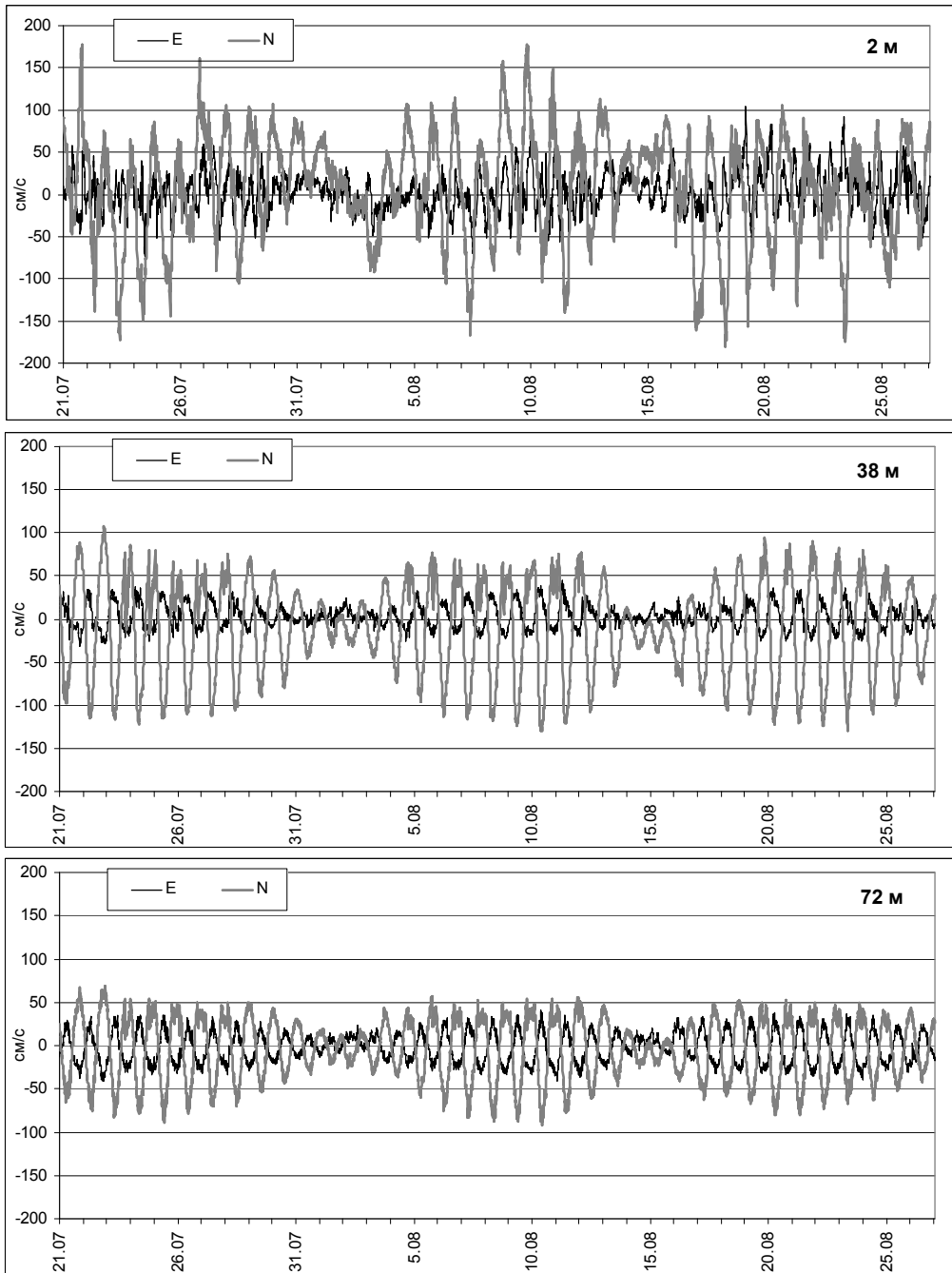


Рисунок 2. Проекция на параллель (E) и на меридиан (N) измеренных векторов скорости течения. Станция «Надежда-1» (Кайганско-Васюканский участок)

В придонном слое также выделяются течения южных румбов (30,9%), но наибольшая повторяемость зафиксирована у течений северо-западного направления (37,4%), при этом нужно отметить увеличение доли течений юго-восточного направления (14,6%). Это указывает на то, что в придонном слое происходит некоторый разворот течений против часовой стрелки по сравнению с верхними слоями. Максимальные скорости течений отмечены на южном (100,3 см/с), юго-восточном (95,6 см/с) и северо-западном направлении (76,4 см/с), что существенно меньше, чем в промежуточном и тем более в поверхностном слое. Средние значения скорости по секторам имеют величины 40,4, 39,0 и 35,0 см/с, соответственно.

Для двух главных приливных волн — суточной K1 и полусуточной M2 — приливные эллипсы приведены на рис. 3.

Эллипсы суточных приливных волн в поверхностном слое сжаты и имеют меридиональную ориентацию. Эллипсы полусуточных волн менее сжатые, их большие полуоси ориентированы по оси юго-восток—северо-запад. В промежуточном слое эллипсы суточных гармоник несколько разворачиваются в направлении против часовой стрелки, их большие полуоси несколько больше, чем в поверхностном слое. Эллипсы полусуточных течений сильно сжаты, их большие полуоси больше, чем в поверхностном слое, и вытянуты вдоль меридиана. Такое различие характеристик приливных течений на различной глубине может быть связано с влиянием бароклинных эффектов в прогретом верхнем слое (Путов и др., 2001), более значимых для полусуточных волн, период которых меньше периода Кориолиса в данном районе.

В придонном слое эллипсы всех волн сильно сжаты, их большие полуоси уменьшаются по сравнению с промежуточным слоем и разворачиваются против часовой стрелки. Такие изменения типичны для влияния донного трения и хорошо согласуются с результатами для Пильтун-Астохской площади (Попудрибко и др., 1998).

В поверхностном слое наблюдались интенсивные колебания с периодами 1—2 недели, что типично для течений, обусловленных воздействием ветра. Особенно велики были вариации меридиональной составляющей — их амплитуда достигала 80 см/с, что нехарактерно для летнего периода, когда синоптические процессы выражены относительно слабо (Кочергин и др., 1999). В промежуточном и придонном слоях скорости непериодических течений заметно уменьшаются, причем меридиональная составляющая имеет сходный характер, а зональная различается более существенно.

Распределения непериодических течений по грациям скорости и направлениям (рис. 4) отражают эти изменения в наиболее наглядной форме. Так, если в промежуточном слое основной поток ориентирован на юг-юго-восток (повторяемость соответственно 48,6 и 21,1%), то в придонном слое наибольшая повторяемость у южного (27,4%) и юго-западного направлений (20,1%), увеличивается также повторяемость западных и северо-западных румбов.

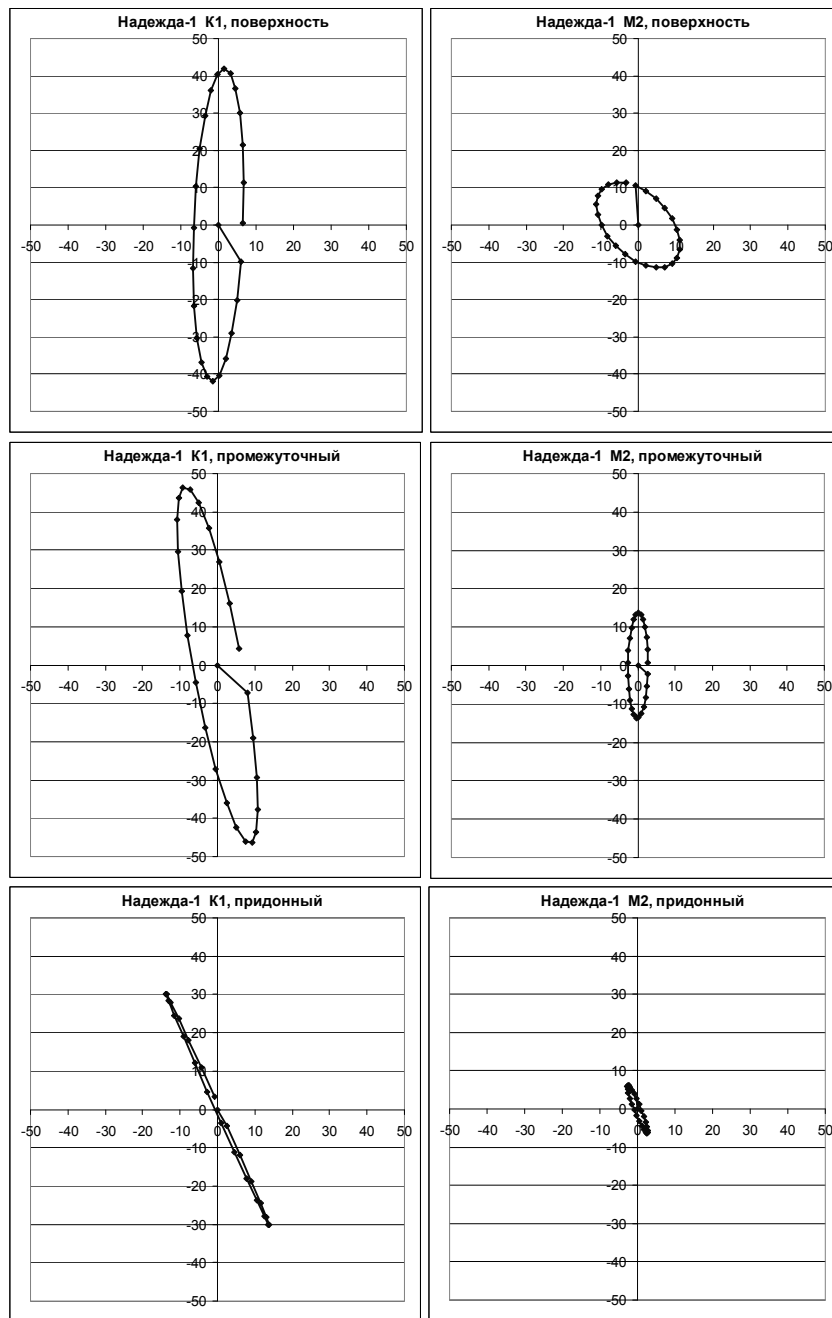


Рисунок 3. Эллипсы приливных течений (см/с) главной суточной (K1) и полусуточной (M2) волн. Станция «Надежда-1», поверхностный (2 м), промежуточный (38 м) и придонный слои (72 м)

Из начала координат проведена линия к точке, отвечающей началу времени.
 Положения концов векторов для суточных волн указаны ромбами через каждый час, для полусуточных волн — через полчаса.

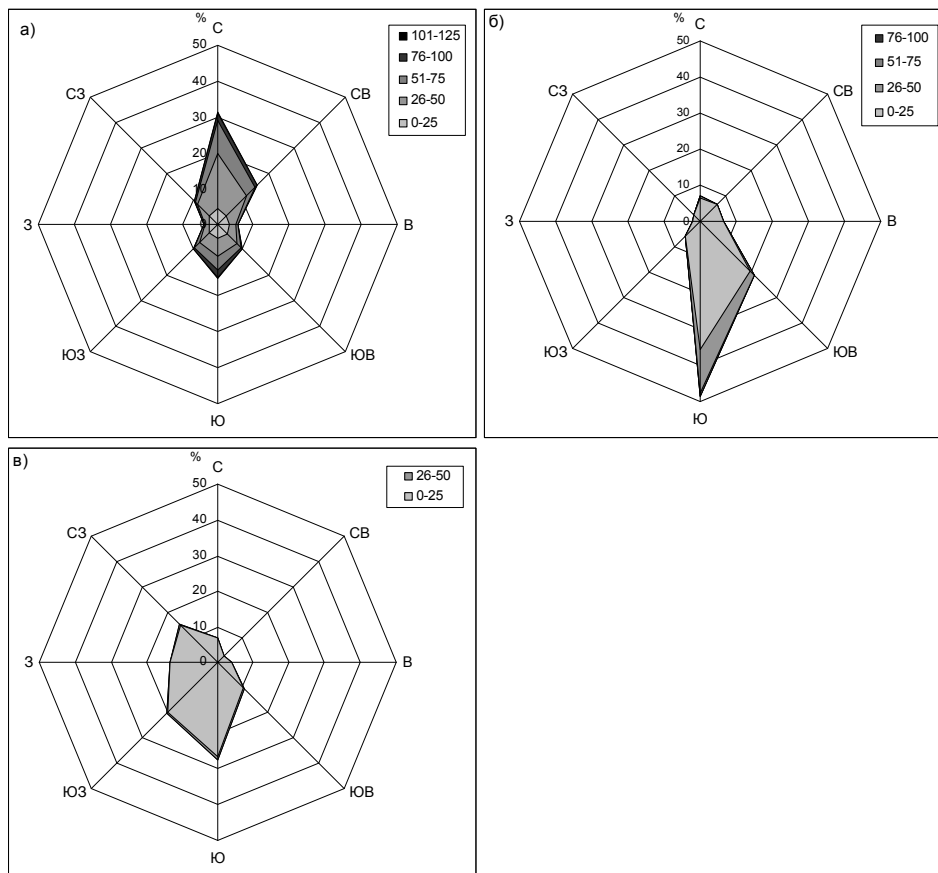


Рисунок 4. Распределения (%) скорости неперiodических течений по градациям скорости (см/с) и направлениям (румбы) в поверхностном (а), промежуточном (б) и придонном (в) слоях по измерениям на станции «Надежда-1»

Аналогичные различия были выявлены на Пильтун-Астохской площади (Красавцев и др., 2000; Шевченко, 2004). В данных работах увеличение в придонном слое повторяемости ориентированных в сторону берега течений связывалось с явлением прибрежного апвеллинга, формирующегося на северо-восточном шельфе Сахалина под действием характерных для летнего сезона ветров южных румбов.

Восточно-Шмидтовский лицензионный участок

Рассмотрим материалы измерений течений, полученные на Восточно-Шмидтовском участке при помощи АБС «Надежда-2». Проекции векторов скорости на параллель и на меридиан представлены на рис. 5. Также как и на Кайганско-Васюканском участке, в полученных записях доминируют суточные приливные течения. Однако в отличие от рассмотренного выше примера, их интенсивность значительно меньше, а также нет существенных различий между меридиональной и зональной составляющими, хотя скорости меридиональных течений несколько выше, в большей степени в верхних слоях.

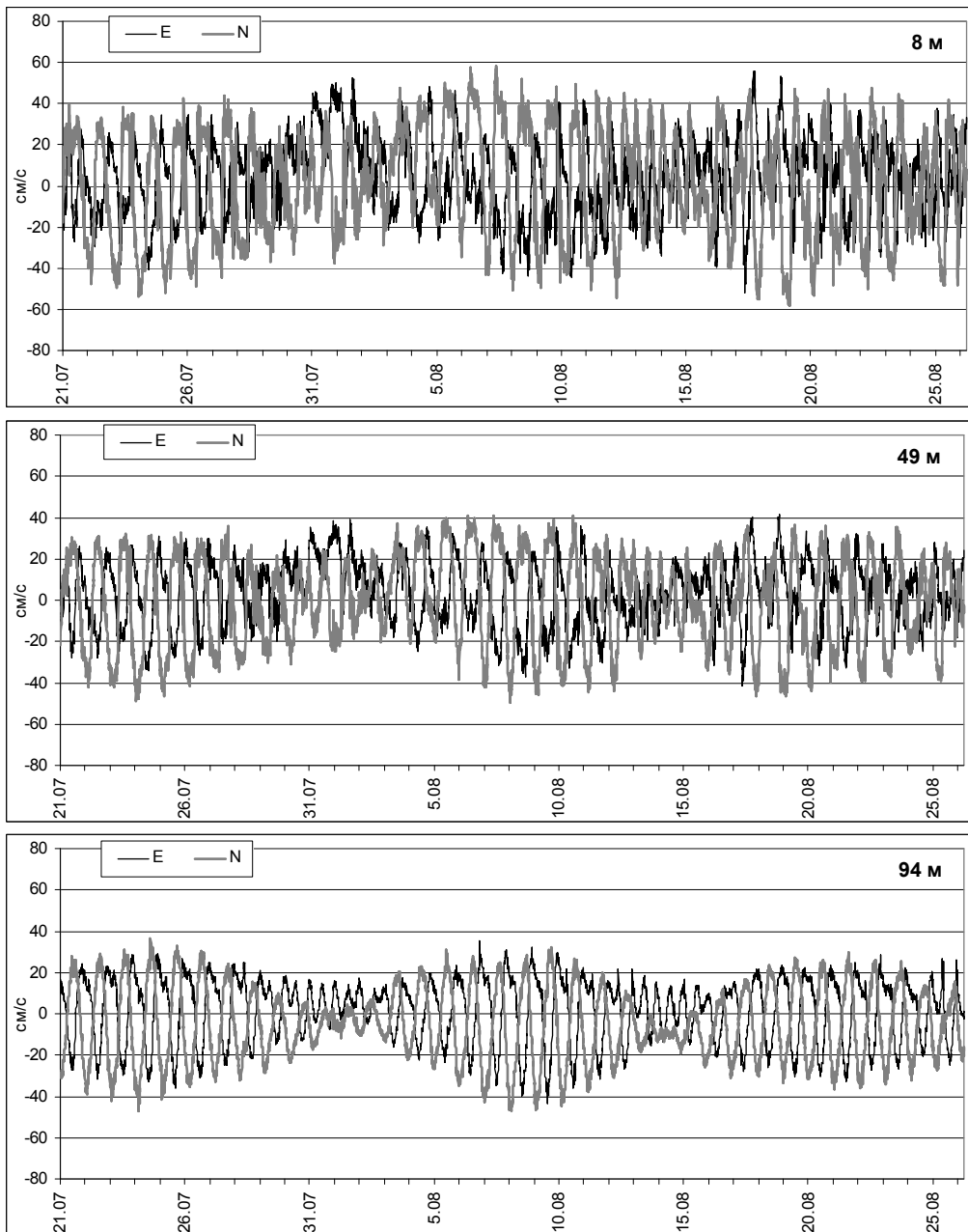


Рисунок 5. Проекция на параллель (E) и на меридиан (N) измеренных векторов скорости течения. Станция «Надежда-2» (Восточно-Шмидтовский участок)

Распределения по грациям скорости и направлениям показывают, что в поверхностном слое наиболее высокая повторяемость (16—17%) приходится на южные и юго-восточные, а также северные и северо-западные румбы. Им же соответствуют и наиболее высокие средние скорости течений (30—33 см/с), максимальное значение (65 см/с) отмечено на юго-восточном направлении.

С глубиной горизонта измерения происходит увеличение доли юго-восточных румбов и северо-западных румбов (в особенности это заметно в придонном слое, где повторяемость юго-восточного направления возрастает до 31,2%). Различия распределений в поверхностном и промежуточном слоях незначительны.

Гармонические постоянные 8-ми основных приливных волн определялись аналогично тому, как это делалось для АБС «Надежда-1», и использовались для построения приливных эллипсов, которые для главных суточных и полусуточных волн представлены на рис. 6.

Гармонические постоянные главных суточных волн очень близки на различных горизонтах — происходит только незначительное уменьшение амплитуды меридиональной составляющей при аналогичном увеличении амплитуды зональной составляющей, что указывает на некоторый циклональный разворот эллипсов с глубиной. Направление обхода вектора в приливном цикле — по часовой стрелке для обеих волн.

Вертикальные изменения эллипсов полусуточных волн более существенные. В промежуточном слое по сравнению с поверхностным наблюдается сжатие эллипсов при уменьшении также и большей полуоси, при этом для волны M2 отмечается смена направления вращения вектора в приливном цикле на циклоническое. В придонном слое эллипсы еще более сжатые, при этом происходит значительный их разворот, и они имеют почти зональную ориентацию.

Наблюдаемые различия ориентации осей суточных и полусуточных волн, несмотря на меньшую величину скорости последних, являются причиной достаточно сложной картины распределений приливных течений по грациям скорости и направлениям. В поверхностном слое выделяются, прежде всего, северное (21,9%) и южное (20,3%) направления, в промежуточном это также южное (23,5%) и северо-западное (26,9%). В придонном слое это уже юго-восточное (28,9%) и северо-западное (25,5%) направления.

Непериодические течения на Восточно-Шмидтовском участке сравнительно невелики, при их анализе обнаруживаются колебания с периодами 1—2 недели, а также высокочастотные вариации, обычно наблюдающиеся в районах с развитой турбулентностью. Характер непериодических течений в поверхностном и промежуточном слоях идентичен, в придонном слое скорости течений заметно уменьшаются, причем вариации в синоптическом диапазоне проявляются более отчетливо.

Распределение непериодических течений по грациям скорости и направлениям (рис. 7) обнаруживает преобладание в поверхностном слое течений северных (15%), северо-восточных (16,3%) и восточных (16,3%) румбов. В промежуточном слое более явно выделяется восточное направление (18%), доли северо-восточных и юго-восточных румбов приблизительно одинаковы (около 15%). В придонном слое происходит заметный разворот основного потока, наибольшая повторяемость отвечает южному (34%) и юго-восточному (33,5%) направлениям.

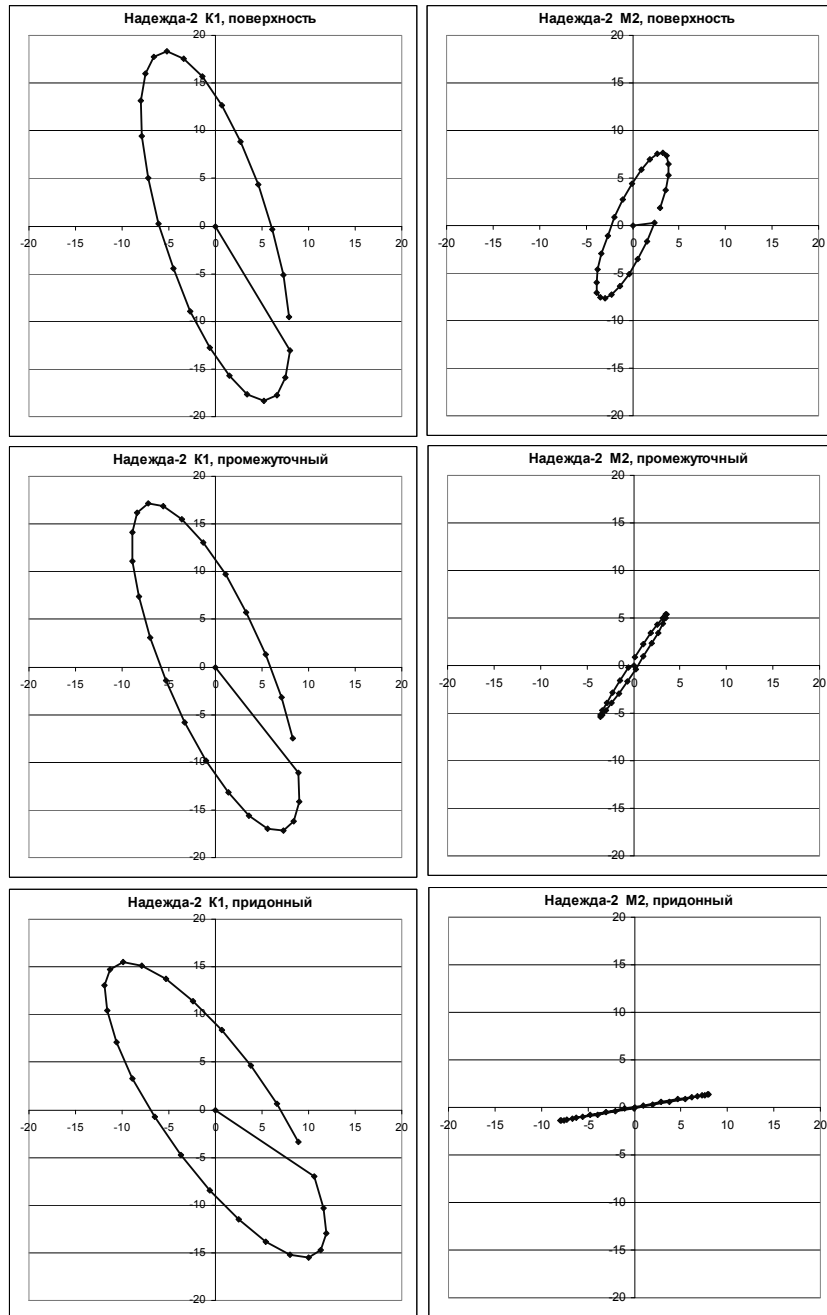


Рисунок 6. Эллипсы приливных течений (см/с) главных суточной (K1) и полусуточной (M2) волн. Станция «Надежда-2», поверхностный (8 м), промежуточный (49 м) и придонный слой (94 м)

Из начала координат проведена линия к точке, отвечающей началу времени. Положения концов векторов для суточных волн указаны ромбами через каждый час, для полусуточных волн — через полчаса.

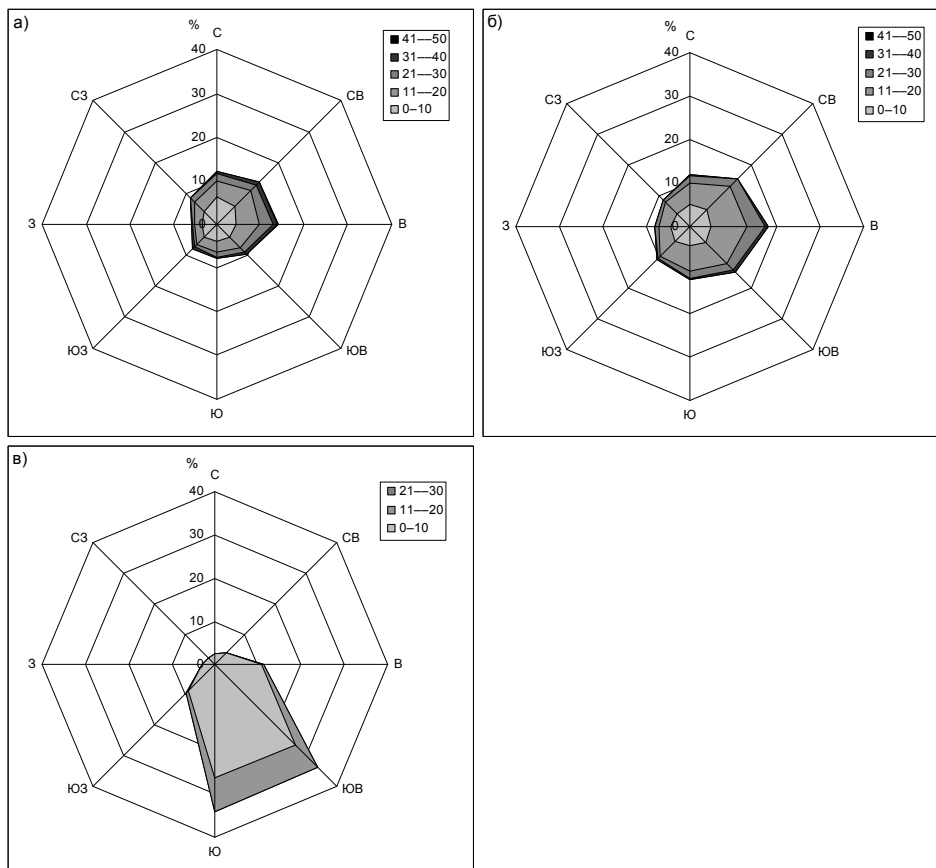


Рисунок 7. Распределения (%) скорости неперiodических течений по градациям скорости (см/с) и направлениям (румбы) в поверхностном (а), промежуточном (б) и придонном (в) слоях по измерениям на станции «Надежда-2»

Такое различие между поверхностным и придонным слоями обусловлено, скорее всего, влиянием преобладающих в течение летнего сезона ветров южных румбов. Поэтому на поверхности доля северных направлений значительна. Аналогичный эффект отмечен выше на Кайганско-Васюканском участке. При этом у дна возникает компенсационное течение противоположного направления.

Западно-Шмидтовский лицензионный участок, северный район

На данном участке глубина моря была наибольшей, а скорости течений были наименьшими по сравнению с другими районами. В отличие от рассмотренных выше случаев, приливные течения проявлялись преимущественно в зональной компоненте течений (рис. 8), особенно это характерно для придонного слоя.

Были рассчитаны распределения течений по градациям скорости и направлениям. В поверхностном слое самая высокая повторяемость отвечает западному (20%), восточному (19,2%) и юго-восточному направлениям (16,4%), максимальные скорости — западному и юго-западному направлениям (около 66 см/с). Средние значения скорости приблизительно одинаковы по всем румбам.

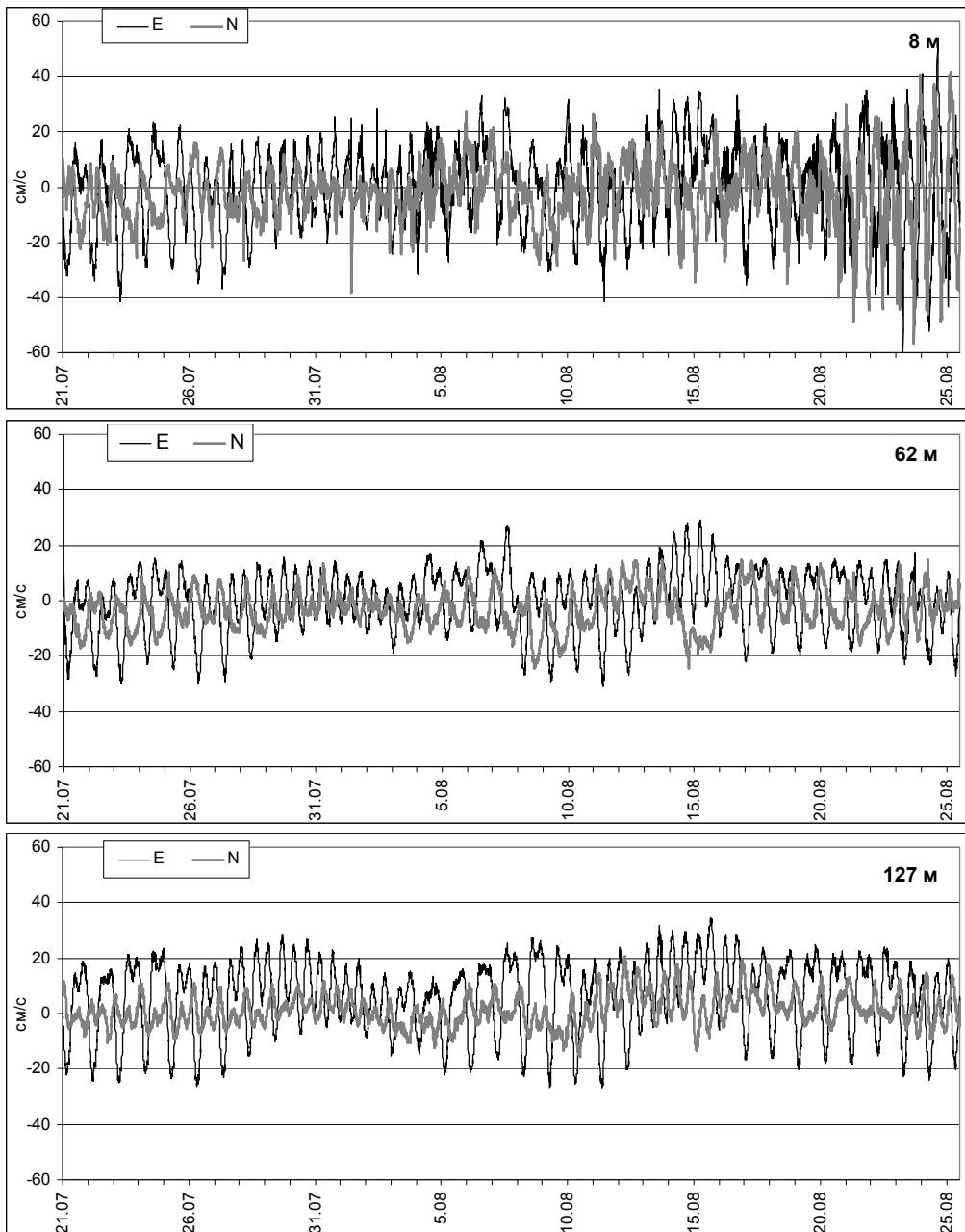


Рисунок 8. Проекция на параллель (E) и на меридиан (N) измеренных векторов скорости течения. Станция «Надежда-3» (Западно-Шмидтовский участок, северный район)

В промежуточном слое повторяемость западных и юго-восточных течений несколько увеличивается (22,8% и 24,2%, соответственно) при некотором уменьшении доли восточных (14,1%), но в целом характер распределения не изменился. Максимальные значения скорости также отвечают западному направлению, но уменьшаются более чем в два раза (31 см/с).

В придонном слое изменение характера распределения более существенное: здесь явно преобладают течения восточного направления (45,7%), доля западных направлений резко уменьшилась (3,5%). Максимальные и средние значения скорости примерно такие же, как и в промежуточном слое, за исключением восточного направления, где они несколько возрастают.

Амплитуды и фазы основных приливных волн были вычислены для каждого горизонта, эллипсы главной суточной и полусуточной волн представлены на рис. 9. Наиболее интересно, что на глубине 127 м амплитуды суточных гармоник несколько возрастают по сравнению с более верхними слоями; аналогичное явление наблюдалось при измерениях в районе Охотска (Путов и др., 2001). Скорости течений для главных суточных волн K1 и O1 примерно одинаковы, в поверхностном и промежуточном слоях эллипсы сжаты и ориентированы по оси восток-юго-восток—запад-северо-запад, направление обхода вектора в приливном цикле — по часовой стрелке. В придонном слое эллипсы ориентированы практически зонально, степень сжатия несколько уменьшается, направление вращения сохраняется.

Для полусуточных волн, в особенности для S2, также характерно увеличение скорости и уменьшение степени сжатия эллипсов в придонном слое.

Интенсивность неперiodических течений в северной части Западно-Шмидтовского участка была сравнительно небольшой. На фоне приливов на всех горизонтах хорошо просматриваются вариации с периодами около недели, выраженные слабее, чем на Восточно-Шмидтовском участке. Заметное усиление течений юго-восточного направления можно отметить 14—16 августа, особенно оно проявляется в промежуточном слое.

Наиболее интересным моментом является резкая интенсификация течений в поверхностном слое в конце периода наблюдений. Эти течения носят выраженный квазипериодический характер, с периодом около 14 часов, который близок к периоду Кориолиса для широты постановки станции «Надежда-3». Это указывает на то, что наиболее вероятной причиной наблюдаемого усиления явились инерционные течения, их амплитуда достигает 40—45 см/с. Аналогичное проявление данного вида периодических течений и также в верхнем прогревом слое отмечалось при измерениях в районе Охотска (Путов и др., 2001). Как правило, образование этих течений связано с усилением ветра, что действительно отмечено в районе проведения работ на основе наблюдений за погодными условиями на НИС «Дмитрий Песков».

На горизонте 62 м просматриваются лишь слабые отголоски этих течений, которые, как правило, наиболее интенсивны вблизи термоклина. По результатам гидрологической съемки он залегает на глубине около 20 м, а на глубинах более 30 м в данном районе наблюдаются однородные холодные воды ($-1,4^{\circ}$) с достаточно высокой соленостью (33‰).

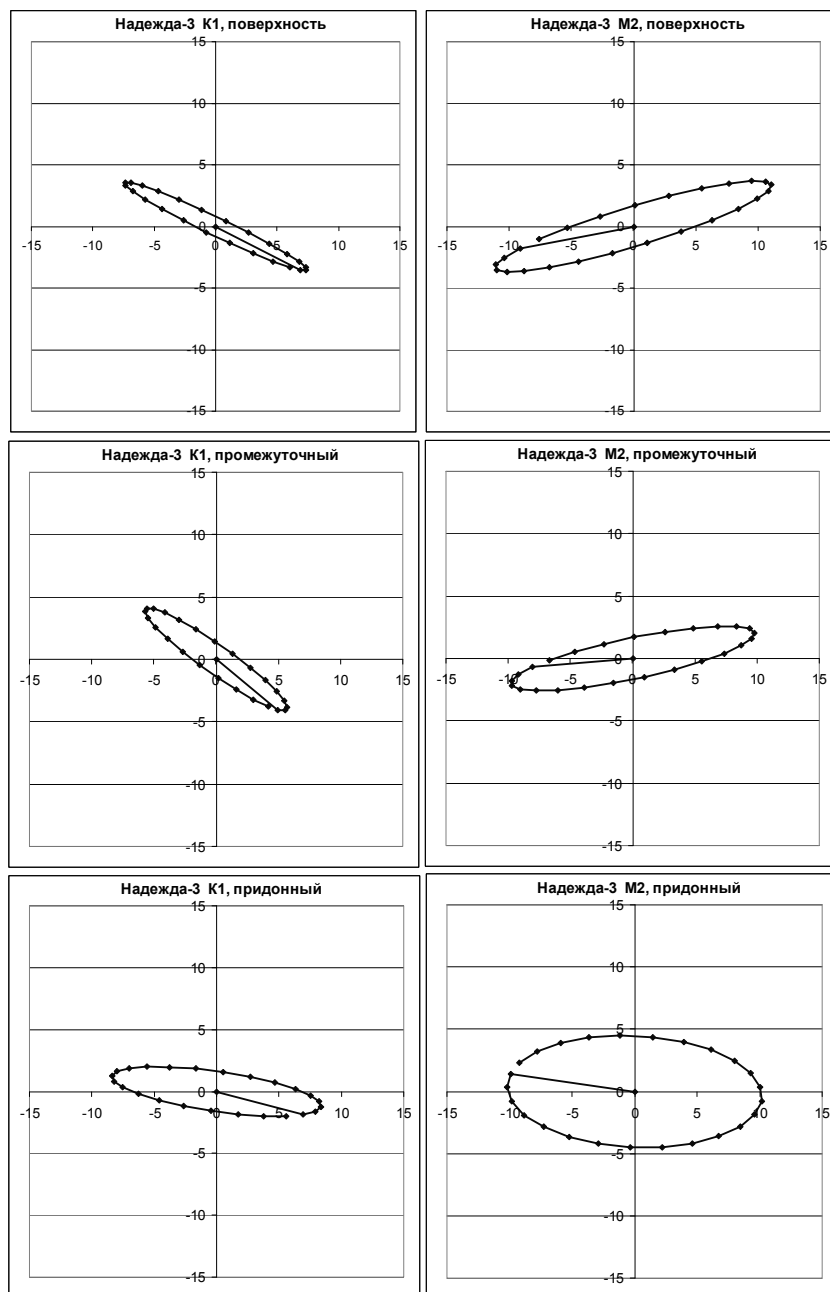


Рисунок 9. Эллипсы приливных течений (см/с) главных суточной (K1) и полусуточной (M2) волн. Станция «Надежда-3», поверхностный (8 м), промежуточный (62 м) и придонный слои (127 м)

Из начала координат проведена линия к точке, отвечающей началу времени.
 Положения концов векторов для суточных волн указаны ромбами через каждый час, для полусуточных волн — через полчаса.

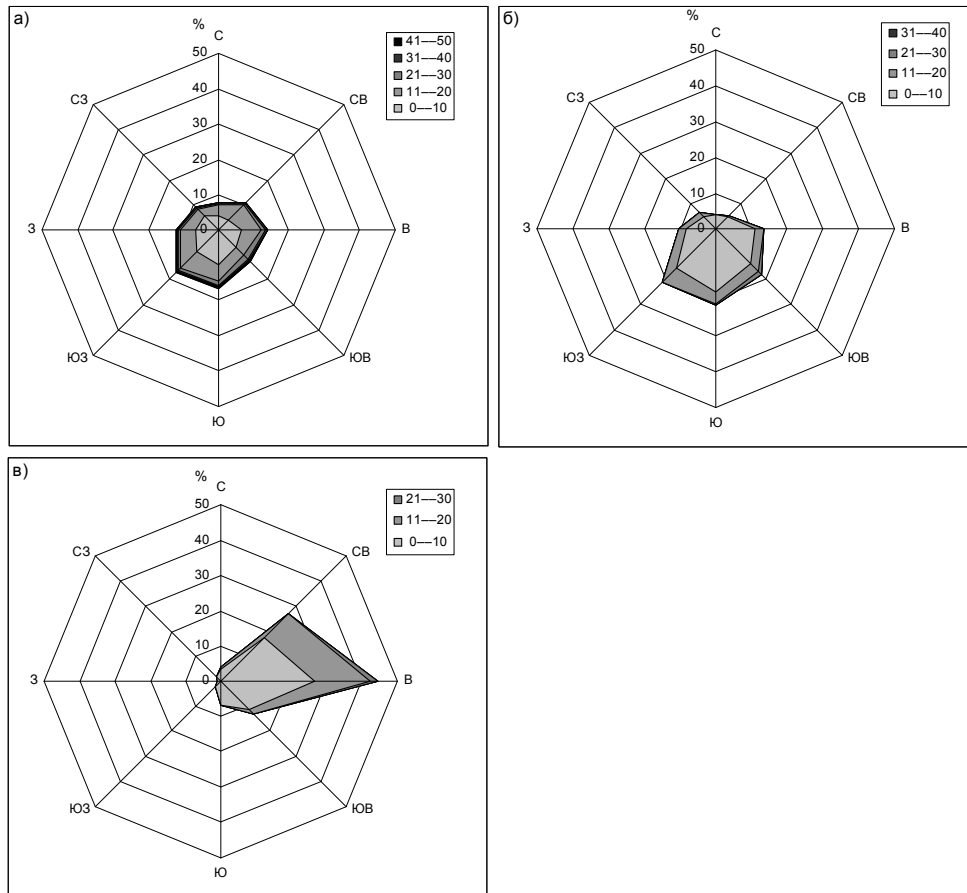


Рисунок 10. Распределения (%) скорости неперiodических течений по градациям скорости (см/с) и направлениям (румбы) в поверхностном (а), промежуточном (б) и придонном (в) слоях по измерениям на станции «Надежда-3»

Распределение течений по градациям скорости и направлениям (рис. 10) в поверхностном слое обнаруживает примерно одинаковые значения повторяемости на различных направлениях. Слабо выделяются течения южных (16,7%) и юго-западных румбов (17%). Доля этих направлений несколько увеличивается в промежуточном слое (21,2% и 21,4%), а в придонном слое наблюдается хорошо выраженный поток на восток (44,3%).

Западно-Шмидтовский лицензионный участок, южный район

Для анализа были отобраны данные в поверхностном 21-ом, промежуточном 11-ом и придонном 1-ом слоях. Проекции измеренных векторов скорости течений на параллель и на меридиан приведены на рис. 11.

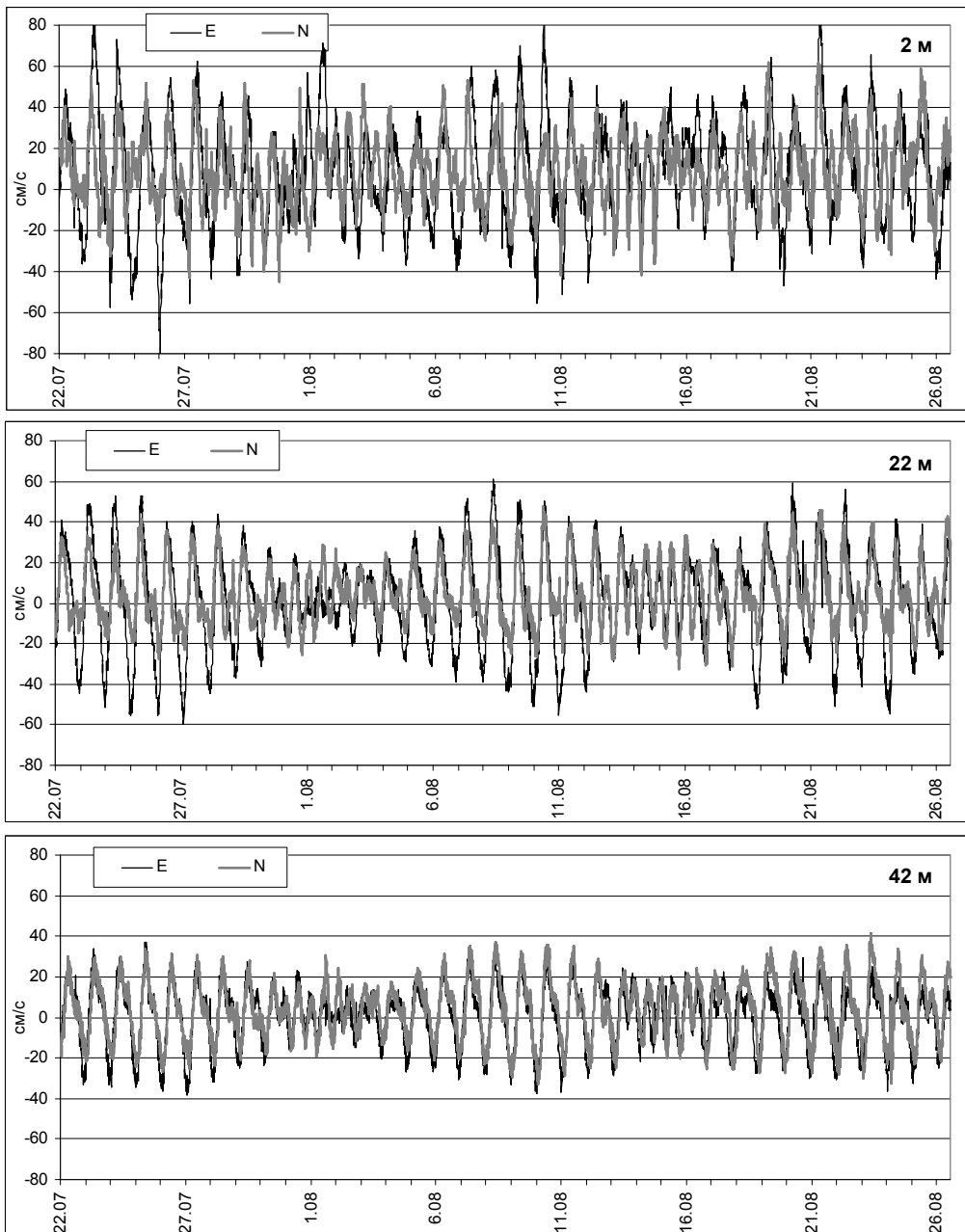


Рисунок 11. Проекция на параллель (E) и на меридиан (N) измеренных векторов скорости течения. Станция «Надежда-4» (Западно-Шмидтовский участок, южный район)

Также как и на станции «Надежда-2», проекции имеют приблизительно одинаковую величину (в отличие от АБС «Надежда-1» и «Надежда-3», на которых преобладали меридиональная и зональная составляющие, соответственно). В полученных записях доминируют суточные приливные течения, в особенности это проявляется в промежуточном и придонном слоях. Несколько в меньшей степени это характерно для поверхностного слоя, где относительная роль непериодических течений более значима.

Эллипсы главной суточной гармонике K1 (рис. 12) в поверхностном и промежуточном слоях идентичны, они сжаты, вытянуты по оси восток-северо-восток—запад-юго-запад, направление обхода вектора в цикле — по часовой стрелке. В придонном слое суточные течения носят реверсивный характер, их интенсивность заметно уменьшается по сравнению с верхними слоями, соответственно большие полуоси эллипсов уменьшаются и разворачиваются в направлении против часовой стрелки. Такое же направление обхода вектора наблюдается и для волны O1.

Эллипсы главной полусуточной волны M2 в поверхностном и промежуточном слоях также идентичны, сжаты и вытянуты вдоль оси северо-восток—юго-запад. В придонном слое, в отличие от суточных течений, степень сжатия эллипса уменьшается, направление вращения вектора во всех слоях циклональное. Вклад в формирование приливных течений другой полусуточной волны S2 незначителен.

Непериодические течения, также как и на других станциях, обнаруживают вариации в синоптическом диапазоне периодов и высокочастотный шум. Их интенсивность существенно уменьшается с глубиной: средние скорости в поверхностном слое составляют 15 см/с, в промежуточном — 10 см/с и в придонном — 8 см/с. Распределения непериодических течений по градациям скорости и направлениям (рис. 13) обнаруживают явное преобладание течений северо-восточных румбов в верхнем слое (34,1%). С глубиной происходит разворот потока на север, в промежуточном слое доля северных и северо-восточных течений примерно одинакова (23,7% и 25,2%), а в придонном поток на север уже явно преобладает (31,7%).

Вероятно, значительная роль северной составляющей в распределении непериодических течений в точке постановки АБС «Надежда-4» связана с влиянием стока реки Амур, воды которой по существующим представлениям движутся прибрежным потоком, огибая северную часть о. Сахалин примерно в районе постановки станции.

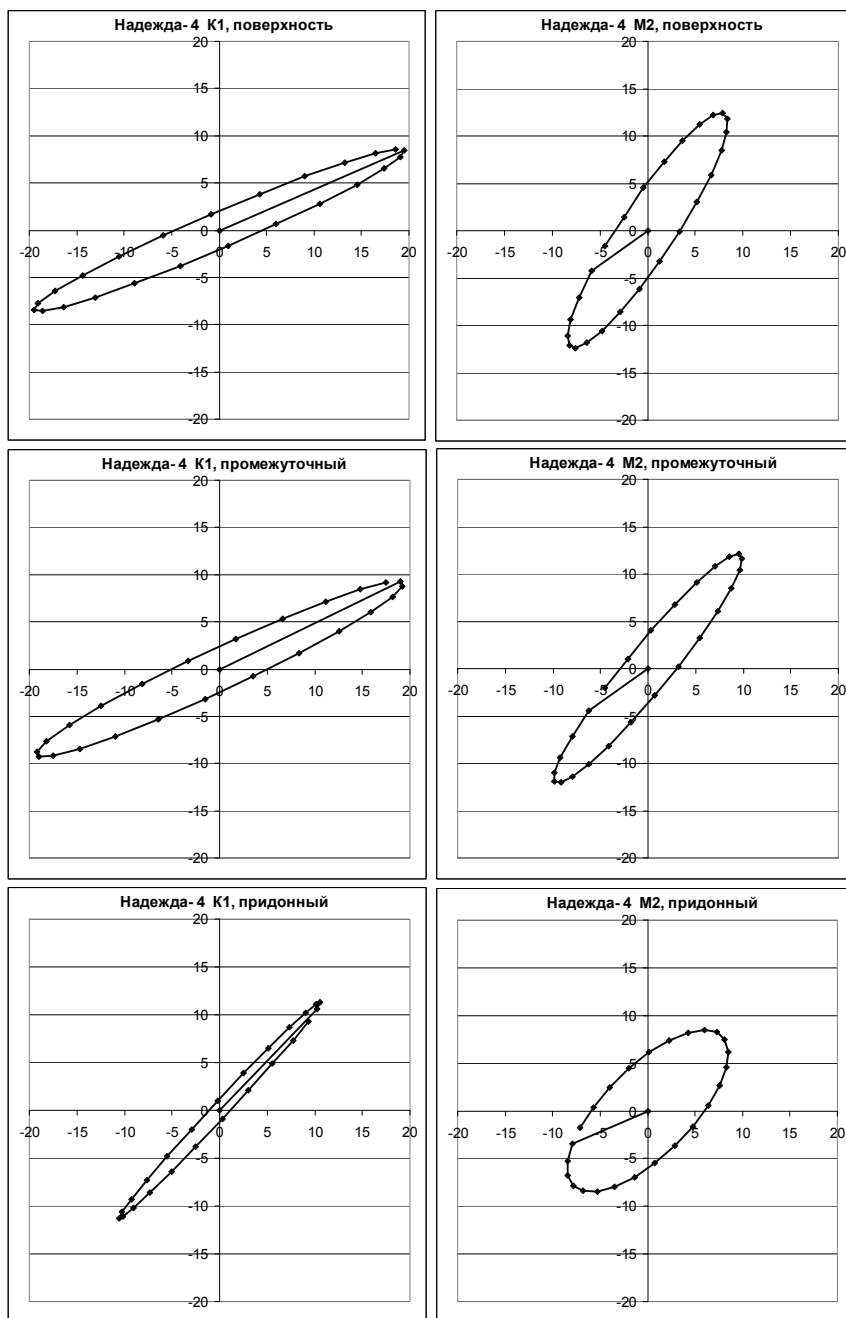


Рисунок 12. Эллипсы приливных течений (см/с) главной суточной (K1) и полусуточной (M2) волн. Станция «Надежда-4», поверхностный (2 м), промежуточный (22 м) и придонный слой (42 м)

Из начала координат проведена линия к точке, отвечающей началу времени.
 Положения концов векторов для суточных волн указаны ромбами через каждый час, для полусуточных волн — через полчаса.

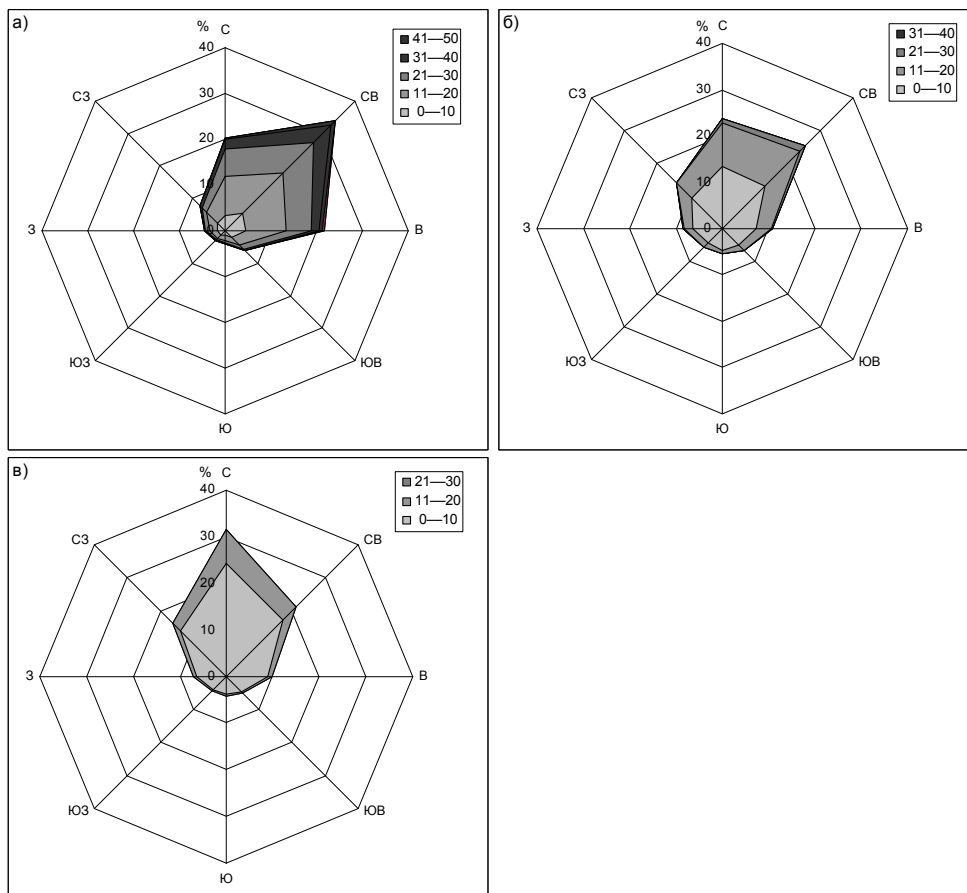


Рисунок 13. Распределения (%) скорости неперидических течений по градациям скорости (см/с) и направлениям (румбы) в поверхностном (а), промежуточном (б) и придонном (в) слоях по измерениям на станции «Надежда-4»

ВЫВОДЫ

На основе анализа материалов инструментальных измерений течений, проводившихся в районе, прилегающем к п-ову Шмидта, можно сделать следующие основные выводы.

Во-первых, следует отметить достаточно высокое качество полученных данных. Это подтверждается хорошим согласием характеристик приливных течений на различных горизонтах на каждой станции, вполне закономерным характером их изменений по вертикали (в особенности для субинерционных суточных волн, в меньшей степени подверженных влиянию бароклинных эффектов).

Течения на Кайганско-Васюканском участке отличаются от расположенных севернее акваторий гораздо более высокой динамикой. Суточные приливные течения достигают 1 м/с и имеют характер, типичный для других нефтегазоносных площадей северо-восточного шельфа Сахалина. Неперидические течения

достигали в поверхностном слое 80 см/с, что превышает значения максимальных скоростей по многолетним наблюдениям в данном районе в летний период. Повторяемость течений южных румбов в промежуточном слое здесь выше, чем на Пильтун-Астохской площади в аналогичный сезон. В придонном слое отмечено наличие потока в сторону берега, что согласуется с проводившимися ранее наблюдениями.

Суточные волны, несмотря на их заметное уменьшение по сравнению с Кайганско-Васюканским участком, и на других станциях сохраняют определяющую роль в формировании течений к северу от о. Сахалин. Их влияние уменьшается по мере удаления от берега, и на самой глубоководной станции «Надежда-3» оно меньше, чем у полусуточных составляющих. На данной станции в верхнем слое отмечены также интенсивные квазипериодические колебания (амплитуда около 40 см/с). Период колебаний близок к периоду Кориолиса для места измерений, что позволяет отнести наблюдаемый эффект к проявлению инерционных течений.

Непериодические течения весьма интенсивны в поверхностном слое, что обусловлено воздействием переменного поля ветра. В нижних слоях поток более консолидирован и имеет направление преимущественно на юго-восток в промежуточном и на юг-юго-восток в придонном слое на Восточно-Шмидтовском участке. На Западно-Шмидтовском участке на глубоководной станции «Надежда-3» в промежуточном слое выделяются течения южных и юго-западных румбов, в придонном слое поток ориентирован на восток. В южной части этого участка (прибрежная станция «Надежда-4») течения ориентированы на северо-северо-восток в промежуточном и на север в придонном слое.

Проведенные измерения позволили впервые получить представление о динамике акватории, прилегающей к северной части о. Сахалин, в которой берет начало Восточно-Сахалинское течение. Не менее важна и практическая значимость полученных результатов: в случае продолжения работ по промышленному освоению месторождений нефти и газа в данном районе они понадобятся для оценки возможных нагрузок на сооружения и расчета наиболее вероятного направления распространения загрязняющих веществ при авариях.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы статьи считают своим долгом высказать искреннюю признательность за безупречную работу экипажу НИС «Дмитрий Песков» в период проведенных экспедиций, участие в постановке и снятии автономных станций у п-ова Шмидта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Кочергин И.Е. и др.** Некоторые результаты обработки инструментальных наблюдений за течениями на Пильтун-Астохской и Аркутун-Дагинской площадях северо-восточного шельфа Сахалина / И.Е. Кочергин, С.И. Рыбалко, В.Ф. Путов, Г.В. Шевченко // Тематический выпуск ДВНИГМИ №2. — Владивосток: Дальнаука, **1999**. — С. 96—113.
- Красавцев В.Б. и др.** Формирование апвеллинга на северо-восточном шельфе острова Сахалин под воздействием ветра/ В.Б. Красавцев, К.Л. Пузанков, Г.В. Шевченко // Тематический выпуск ДВНИГМИ №3. — Владивосток: Дальнаука, **2000**. — С. 106—120.

- Красавцев В.Б. и др.** Пространственная структура неперiodических течений на северо-восточном шельфе острова Сахалин по измерения 1990 года / В.Б. Красавцев, К.К. Попудрипко, Г.В. Шевченко // *Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов.* — Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. **2001.** — С. 48—61.
- Попудрипко К.К. и др.** Оценка характеристик морских течений на Пильтун-Астохской нефтегазоносной площади (северо-восточный шельф о. Сахалин) / К.К. Попудрипко, В.Ф. Путов, Г.В. Шевченко // *Метеорология и гидрология.* — **1998.** — №4. — С. 82—95.
- Путов В.Ф. и др.** Анализ инструментальных измерений течений на шельфе Северо-Западной части Охотского моря / В.Ф. Путов, Г.В. Шевченко // *Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов.* — Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. **2001.** — С. 36—47.
- Путов В.Ф. и др.** Особенности приливного режима на северо-восточном шельфе о. Сахалин / В.Ф. Путов, Г.В. Шевченко // *Тематический выпуск ДВНИГМИ №1.* — Владивосток: Дальнаука, **1998.** — С. 61—82.
- Тамбовский В.С. и др.** Характеристика скорости дрейфа льда у северо-восточного побережья острова Сахалин под влиянием приливов и ветра / В.С. Тамбовский, Г.В. Шевченко // *Тематический выпуск ДВНИГМИ №2.* — Владивосток: Дальнаука, **1999.** — С. 114—137.
- Шевченко Г.В. и др.** Применение метода композиции распределений к расчету экстремальных скоростей течений (на примере северо-восточного шельфа о. Сахалин) / Г.В. Шевченко, С.И. Рыбалко // *Тематический выпуск ДВНИГМИ №4.* — Владивосток: Дальнаука, **2003.** — С.34—48.
- Шевченко Г.В.** Расчет экстремальных скоростей течений методом композиции распределений (на примере Пильтун-Астохского месторождения нефти северо-восточного шельфа о. Сахалин) // *Метеорология и гидрология.* — **2004.** — №1. — С.53—73.
- Mizuta G. et al.** Structure and seasonal variability of East Sakhalin Current / G. Mizuta, Y. Fukamachi, K.I. Ohshima and M. Wakatsuchi // *J. Phys. Oceanography.* — **2003.** Vol.33. — P. 2430—2445.
- Rybalko S.I. et al.** Seasonal and spatial variability of sea currents on the Sakhalin northeastern shelf / S.I. Rybalko, G.V. Shevchenko // *J. Pacific Oceanography.* — **2003.** Vol. 1. — No.2. — P. 168—178.