

УДК 551.465.5

© Г. В. Шевченко¹, В. Н. Частиков², К. В. Кириллов¹, О. В. Кусайло³

¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск

²Сахалинский НИИ рыбного хозяйства и океанографии, г. Южно-Сахалинск

³Центральный банк РФ в Южно-Сахалинске, г. Южно-Сахалинск
g.shevchenko@imgg.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕЧЕНИЙ В ЗАЛИВЕ АНИВА В 2003 г.

Статья поступила в редакцию: 04.05.2016, после доработки: 16.08.2016.

Проанализированы материалы масштабного эксперимента, включавшего постановку пяти автономных буйковых станций в северной части залива Анива, расположенного на юге о. Сахалин. Четыре акустических доплеровских измерителя течений были установлены в прибрежной зоне в июне 2003 г. и подняты поздней осенью. Профилограф течений был размещен в глубоководной части бассейна в районе точки сброса грунтов, измерения производились в течение двух месяцев. В теплый период года, под действием характерных для него ветров Ю-ЮЗ румбов, в прибрежной зоне залива формируется циклоническая циркуляция. После перестройки поля ветра к зимнему муссону с характерными ветрами СЗ румба прибрежные течения меняют свое направление. В точке дампинга выявлены интенсивные антициклональные инерционные течения с амплитудой около 20 см/с и периодом около 16.6 ч (наблюдавшиеся трижды, в течение 3—5 сут), наиболее выраженные в промежуточном слое и слабее вблизи поверхности и дна. Во второй декаде июля эти течения, а также течения с периодом около 2 недель, возникли при прохождении над районом измерений атмосферного возмущения, с антициклональной завихренностью ветра. Специальные исследования донного грунта не выявили существенных изменений его характеристик в процессе дампинга.

Ключевые слова: течения, температура, донный грунт, инерционные течения, прилив, ветер.

G. V. Shevchenko¹, V. N. Chastikov², K. V. Kirillov¹, O. V. Kusaylo²

¹Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

²Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

³The Central Bank of the Russian Federation in Yuzhno-Sakhalinsk, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

EXPERIMENTAL STUDY OF CURRENTS IN THE ANIVA GULF IN 2003

Received: 04.05.2016, in final form: 16.08.2016.

Materials of the large experiment, which included installing of five moorings in the northern part of Aniva Gulf which located in the southern part of Sakhalin Island, were analyzed. Four acoustic Doppler current-meters were installed in the coastal area in June 2003 and removed in the late autumn. Current Doppler profiler was placed in the deep part of the Gulf in the area of the soil dumping point, current measurements were carried out during 2 months. During the warm season, under the influence of typical S-SW winds, cyclonic circulation formed in the coastal zone of the Gulf. After adjustment of the wind field to the winter monsoon winds with typical NW winds, coastal currents change their direction. The intense anticyclonic inertial currents with an amplitude of about 20 cm/s and a period of about 16.6 hours was found in the dumping area (three times observed within 3—5 days). They were most pronounced in the intermediate layer and weaker near the top and bottom. During the second decade of July, these currents and flow with a period of about 2 weeks occurred when passing over the area of measurements of the atmospheric perturbation with anticyclonic vorticity of the wind. Special investigations of bottom soil showed no significant changes in its characteristics in the process of dumping.

Key words: current, temperature, bottom soil, inertial current, tide, wind.

Ссылка для цитирования: Шевченко Г. В., Частиков В. Н., Кириллов К. В., Кусайло О. В. Экспериментальные исследования течений в заливе Анива в 2003 г. // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2016. Т. 9, № 4. С. 35—46.

For citation: Shevchenko G. V., Chastikov V. N., Kirillov K. V., Kusaylo O. V. Experimental study of currents in the Aniva Gulf in 2003. *Fundamentalnaya i prikladnaya gidrofizika*. 2016, 9, 4, 35—46.

Залив Анива расположен в южной части о. Сахалин и представляет собой полузамкнутый бассейн, вдающийся в сушу на 90 км, с зонально-ориентированной открытой границей протяженностью около 100 км, максимальная глубина на которой достигает 100 м (рис. 1). Этот бассейн интересен с точки зрения промысла целого ряда весьма ценных видов рыб, прежде всего горбуши, а также креветки, морского гребешка, трепанга и иных видов морских биоресурсов. В последние годы в прибрежных его районах начали развиваться марикультурные предприятия, связанные в первую очередь с разведением гребешка.

С начала нового тысячелетия интерес к этому заливу резко возрос, главной причиной чего явилось строительство на его побережье в районе п. Пригородное завода по сжижению природного газа и специального терминала по его отгрузке. Для снижения риска аварийных разливов углеводородного сырья, а также негативного воздействия строительных работ и эксплуатации терминала на экосистему данного бассейна, необходимы были точные оценки динамических процессов, и прежде всего скоростей морских течений в пределах его акватории. В связи с этим на начальном этапе строительных работ Сахалинский НИИ рыбного хозяйства и океанографии в 2002—2003 гг. выполнил масштабные экспериментальные исследования поля течений, включавшие постановку группы автономных буйковых станций (АБС). При организации наблюдений использовались акустические доплеровские измерители течений SonTek Argonaut, которые имели также встроенные датчики температуры морской воды. В 2002 г. станции располагались по периферии залива и на его открытой границе [1]. В 2003 г. станции были установлены в северной части залива, кроме того, в его открытой части был установлен акустический профилограф SonTek ADP (рабочая частота 500 кГц, размер ячейки 4 м). Эта станция была специально установлена в районе сброса (дампинга) грунта, осуществлявшегося в ходе дноуглубительных работ при строительстве морского терминала по отгрузке сжиженного газа [2] для оценки возможного распространения взвеси. На этом участке были проведены специальные исследования изменений характеристик донного грунта в связи с возможным антропогенным воздействием на экосистему залива, прежде всего на бентосные сообщества.

В данной работе представлены результаты анализа материалов, полученных в ходе экспериментальных исследований в заливе Анива в 2003 г. Также привлекались данные наблюдений за скоростью и направлением ветра и температурой морской воды, полученные на трех береговых гидрометеорологических станциях (ГМС) Сахалинского управления Росгидромета.

Материалы наблюдений. Автономные буйковые станции, участвовавшие в этом эксперименте, были расположены следующим образом (рис. 1): четыре станции были установлены в прибрежной зоне в северной части залива, примерно на одинаковом расстоянии вдоль берега друг от друга (станция м. Юнона находилась вблизи района строительства завода СПГ в п. Пригородное). Еще одна станция («Центр») была расположена на участке, где осуществлялся сброс грунта, вынуженного при проведении дноуглубительных работ, на глубине около 50 м. Сведения о координатах станций, глубине моря в точке постановки и горизонтах, на которых осуществлялись измерения скорости течений, а также о продолжительности работы приборов, приведены в табл. 1.

Полученные ряды скоростей морских течений и температуры воды подвергались контролю на качество данных, и в дальнейшем анализировались с применением статистических методов.

На мориистой станции измерения производились в 12 слоях толщиной 4 м каждый, нумерация слоев была от прибора, который был установлен на дне в специальной раме из нержавеющей стали. Для анализа отбирались данные в 1-м (придонном), 5-м (промежуточном), 10-м (подповерхностном) и 12-м поверхностном слоях. Обычно данные в поверхностном слое при измерениях установленным на дне профилографом искажаются из-за влияния ветрового волнения, поэтому основное внимание было уделено материалам в первых трех слоях.

Привлекались также данные наблюдений за скоростью и направлением ветра, измеренные в стандартные метеорологические сроки на береговых ГМС Новиково, Корсаков и м. Крильон. Две первых находились вблизи мест постановки измерителей течений, последняя — на юго-западной оконечности о. Сахалин, на удалении около 75 км от ближайшей АБС Кириллово. На этих станциях производились также четырехсрочные измерения температуры морской воды.

Входерейсанаучно-исследовательского судна «Дмитрий Песков» 6—10 июня 2003 г., была выполнена также съемка на четырех стандартных океанологических разрезах залива Анива. Съемка осуществлялась

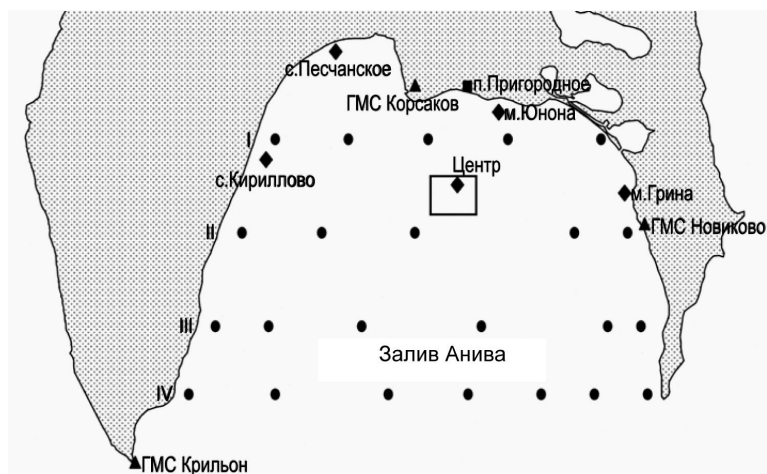


Рис. 1. Карта залива Анива.

Ромбами отмечено положение АБС с измерителями течений, треугольниками — береговых ГМС, точками — станции стандартных океанологических разрезов (их нумерация дана римскими цифрами). Прямоугольником показан район дампинга грунта.

Таблица 1

Информация о постановках автономных буйковых станций СахНИРО в заливе Анива в 2003 г.

Станция	Период измерений	Широта, долгота	Глубина моря, м	Горизонт, м	Тип прибора
Кириллово	18.06 — 16.08.2003	46° 25' 143° 18'	18	8	SonTek Triton
Песчанское	15.06 — 12.12.2003	46° 42' 142° 35'	13	11	SonTek Argonaut XR
м. Юнона	18.06 — 23.11.2003	46° 35' 142° 59'	21	11	SonTek Argonaut
м. Грина	07.06 — 23.11.2003	46° 01' 142° 30'	18	8	SonTek Argonaut
Центр	07.06 — 12.08.2003	46° 26' 142° 53'	55	53	SonTek ADP

гидрологическим зондом ICTD FSI, всего были выполнены 24 вертикальных зондирования в фиксированных точках (рис. 1).

Океанологические условия до эксперимента по измерению течений. На рис. 2 представлены вертикальные распределения температуры и солености на двух самых северных стандартных разрезах залива Анива — Выселки-Починки (I) и Новотамбовское-Новиково (II) [3], которые находятся ближе всего к району постановки АБС. К началу июня на поверхности моря температура воды составляла 8—9 °С. На самом северном разрезе значения солености были достаточно низкими, 31.5—31.75 PSU (самые низкие значения отмечены в западной и восточной частях разреза), что указывает на существенное влияние речного стока. На втором разрезе воды с соленостью менее 32 PSU отмечены только на самой западной станции. Известно, что именно вдоль западного берега залива распространяются воды низкой солености, обусловленные стоком основных рек южной части о. Сахалин — Лютоги, Сусуи, Урюма.

На краях разреза Выселки-Починки термоклин залегает на глубинах 10—13 м, а в центральной части был заглублен до 16—18 м, нулевая изотерма проходила на глубине около 20 м. На втором разрезе термоклин выражен не так резко, зато более отчетливо наблюдается его заглубление (а также и вод низкой солености) в районе 141.1° в.д. Подобная структура может быть связана со смещением в северную часть залива антициклонического вихря, который существует в заливе в течение всего года, но весной обычно выражен слабо [4].

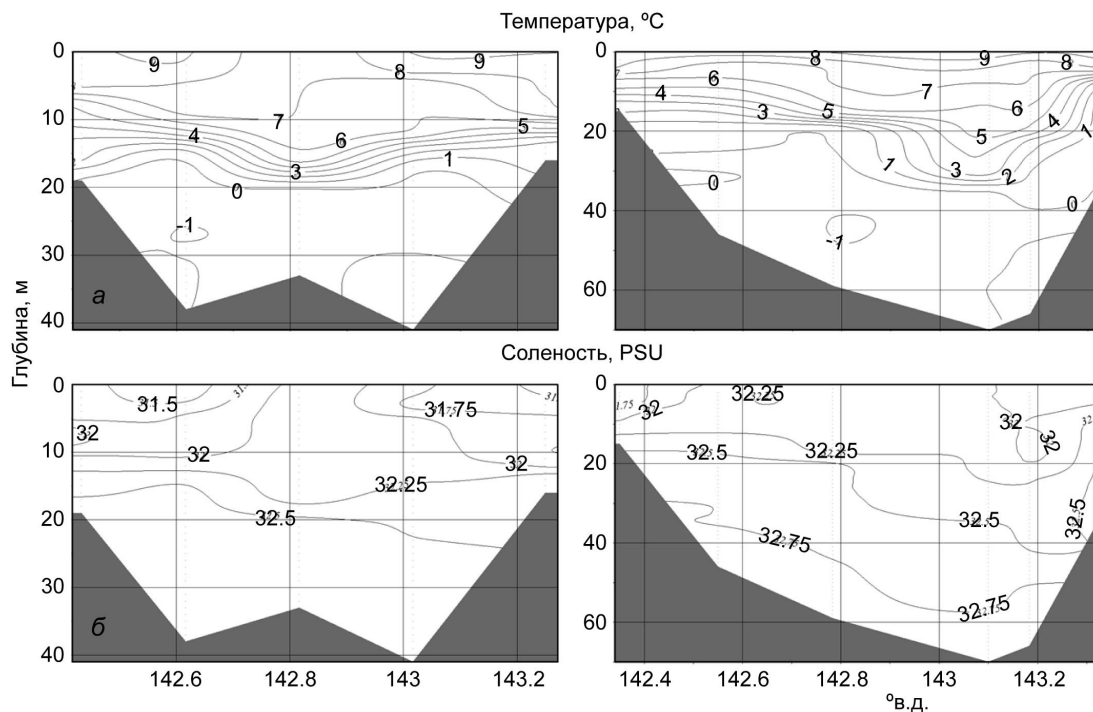


Рис. 2. Вертикальные распределения температуры и солености в первой декаде июня 2003 г.
 а — на стандартном океанологическом разрезе I (Выселки-Починки);
 б — на стандартном океанологическом разрезе II (Новотамбовское-Новиково).

Анализ течений и вариаций температуры воды на прибрежных станциях

Приливные течения. Из рядов проекций измеренных векторов скорости морских течений на параллель и на меридиан вычитался предвычисленный прилив, для чего по этим сериям определялись гармонические постоянные амплитуды и фазы 8-ми главных приливных волн — 4-суточного (Q_1 , O_1 , P_1 , K_1) и 4-полусуточного диапазона (N_2 , M_2 , S_2 , K_2).

В целом в заливе Анива приливные течения сравнительно невелики, их максимальная величина отмечена на станции м. Грина. Здесь преобладают суточные волны, характер приливных течений определялся по формуле, аналогичной приведенной в [5] для приливных колебаний уровня моря:

$$R = \left[(Hu + Hv)_{O_1} + (Hu + Hv)_{K_1} \right] / \left[(Hu + Hv)_{M_2} + (Hu + Hv)_{S_2} \right],$$

где Hu — проекция на параллель, а Hv — на меридиан, $R = 2.6$. Приливные эллипсы сжаты и вытянуты в меридиональном направлении (вдоль берега), большие полуоси главных суточных составляющих около 3 см/с, полусуточных — 1 см/с. Обход вектора в приливном цикле для главной суточной волны K_1 антициклональный, для остальных волн — циклональный.

На станции м. Юноны также преобладают суточные волны ($R = 2$), приливные эллипсы для суточных волн ориентированы вдоль по оси ВСВ-ЗЮЗ, величины больших полуосей примерно вдвое меньше, чем на рассмотренной выше станции, направление обхода вектора имеет противоположный характер. Полусуточные течения реверсивны, ориентированы вдоль оси ЗСЗ-ВЮВ.

На самой северной станции Песчанское приливные течения имеют наименьшую величину — большая полуось эллипса главной суточной волны K_1 равна 0.8 см/с (O_1 — 0.4 см/с), главной полусуточной M_2 — 0.6 см/с. Эллипсы менее сжаты, большие оси ориентированы у волны K_1 вдоль ЗСЗ-ВЮВ, у M_2 вдоль СВ-ЮЗ. Направление вращения у волн K_1 и M_2 циклональное, у O_1 и S_2 — антициклональное. Суточные и полусуточные течения почти одинаковы, $R = 1.3$.

На станции Кириллово роль суточных и полусуточных течений одинакова ($R = 1$), максимальную величину имеет большая полуось эллипса гармоник M_2 , которая равна 1.6 см/с (O_1 — 1.2 см/с, K_1 — 1 см/с, S_2 — 0.8 см/с). Направление вращения вектора в приливном цикле такое же, как и на станции Песчанское.

Непериодические течения. На рис. 3, а представлены среднесуточные вектора скорости ветра по данным наблюдений на береговых ГМС Корсаков и Новиково, а на рис. 3, б — проекции векторов

непериодической составляющей течения на вдольбереговую и нормальную к берегу оси на прибрежных АБС. Ветровые условия над изучаемой акваторией характеризовались преобладанием ветров ЮЗ и Ю-ЮЗ румбов, типичных для о. Сахалин в течение теплого сезона [6]. Перестройка к зимнему муссону с характерными для него ветрами СЗ и близкими к нему румбов в 2003 г. произошла почти на месяц позже обычного, в конце октября.

На фоне преобладающих ветровых потоков, наблюдаются периодические смены направления ветра, наиболее заметные в июле, и лишь эпизодически отмеченные в августе-октябре.

Для прибрежных АБС обычно характерно преобладание дрейфовых течений, являющихся непосредственным откликом водного слоя на ветровое воздействие [7]. Однако корреляция между ветром и течениями в заливе Анива низкая, очевидно, движение вод здесь носит существенно более сложный характер.

Так, на станции м. Грина с 7 июня до середины августа преобладало течение С румба, развороты прибрежного потока на юг были непродолжительны. При этом на начальном отрезке (9—18 июня), при устойчивом ветре Ю румба, течение было слабым, и в основном было ориентировано на юг. Устойчивый поток Ю румба возник в середине августа и наблюдался около месяца, как раз при наиболее устойчивых ветрах Ю-ЮЗ румбов.

На АБС м. Юнона чередовались течения ВЮВ и ЗСЗ румбов, с некоторым преобладанием последних в течение теплого периода, и первых при перестройке поля ветра к зимнему муссону. Это согласуется

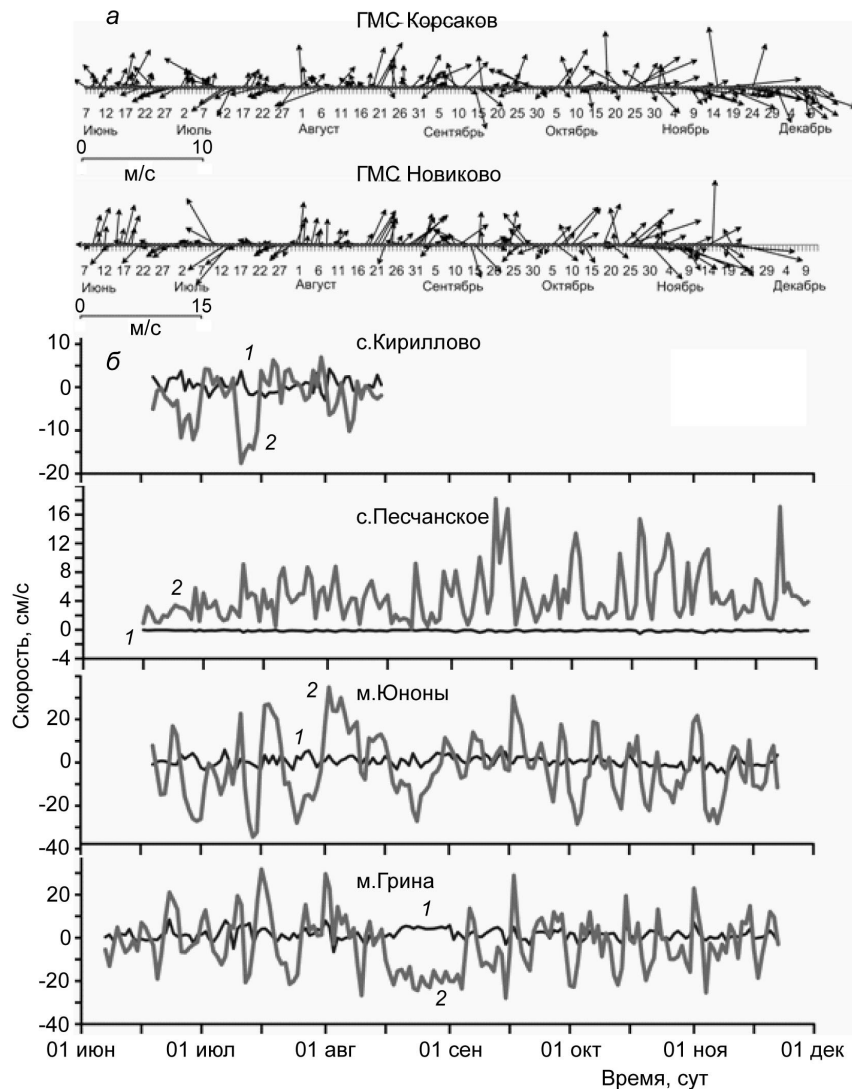


Рис. 3. Среднесуточные вектора скорости ветра на береговых ГМС (а) и проекции векторов скорости течений на нормальную C (1) и вдольбереговую L (2) оси на прибрежных АБС (б).

с результатами численного моделирования [8], согласно которым летом в прибрежной зоне возникает циклоническая циркуляция, а осенью направление течения меняет свой знак.

Однако формирование устойчивого потока ВСВ румба на станции Песчанское начиная со второй декады августа (в декабре направление меняется на северное, в сторону берега) противоречит результатам моделирования, а также прибрежному потоку в районе м. Юноны. На данной станции прибор стоял в придонном слое, данное обстоятельство необходимо учитывать при интерпретации данных наблюдений. Так, поток в сторону берега в декабре может иметь компенсационный характер в результате сгона поверхностных вод ветрами СЗ румба.

На станции Кириллово наблюдался прибрежный поток южного румба, что типично для этого района и в значительной мере связано с переносом вод низкой солености, формирующихся под влиянием речного стока, вдоль западного берега залива. Другой причиной может быть действие ветров ЮЗ румба, которые сгоняют прогретые поверхностные воды в вершину залива. В целом компенсационные движения в вершине залива играют важную роль, по этой причине корреляционная связь между ветром и течениями оказалась неожиданно низкой.

Вариации температуры воды. На рис. 4 представлены графики вариаций температуры морской воды по измерениям на прибрежных АБС. Наиболее продолжительными были измерения на станциях м. Грина и Песчанское, охвачен период от весеннего прогрева (июнь в Охотском море по гидрологическим условиям относится к весеннему сезону) до поздней осени. Так, на первой из них температура в первой декаде июня составляла 5 °С, затем медленно возрастала и в середине августа достигла максимальных значений (17 °С), после чего началось плавное снижение до 5 °С в третьей декаде ноября. На этом фоне отмечен ряд резких понижений значений температуры воды, в некоторых случаях до 0 °С. Наиболее значительным (до -0.58 °С) и продолжительным было такое понижение 13—16 июня, отрицательные значения наблюдались также 14—16 июля. При второй ситуации изменения температуры

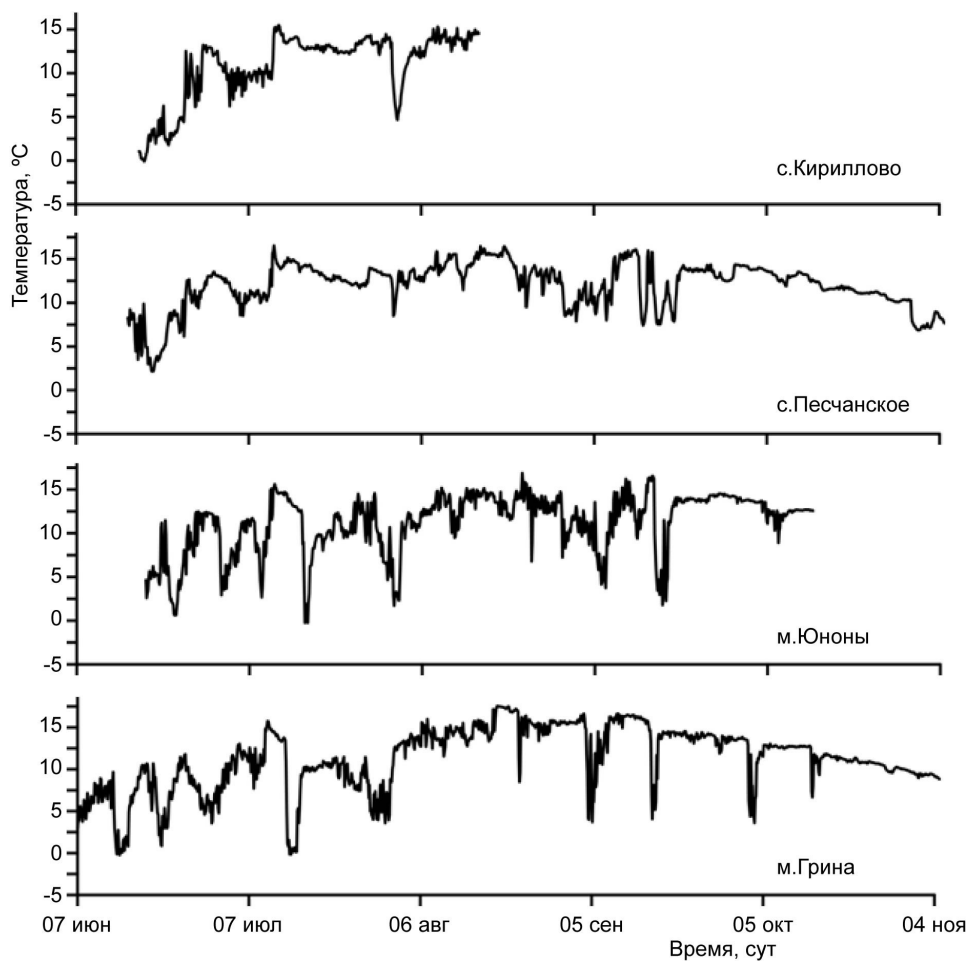


Рис. 4. Вариации температуры воды (°С) по измерениям на прибрежных АБС.

были наиболее резкими — с 13.7°C до 0.4°C в течение суток. В августе-октябре понижения температуры были достаточно резкими, до 4°C , но их продолжительность не превышала 2 сут.

На станции м. Юнона вариации температуры морской воды носили сходный характер, резкие понижения ее значений наблюдались почти синхронно с рассмотренной выше АБС, расположенной южнее.

На станции Песчанское вариации изучаемого параметра были наименьшими, резкое понижение температуры отмечено только 13—16 июня, затем ниже 7°C она не опускалась.

На станции Кириллово (около 0°C) были зафиксированы на начальном интервале наблюдений, 18—19 июня. Еще один случай резкого понижения до 4.6°C был зафиксирован 1—3 августа. На станциях м. Юнона и м. Грина аналогичное понижение также наблюдалось, хотя началось немного раньше.

В целом топографические и метеорологические условия в заливе Анива не способствуют развитию сезонного явления прибрежного апвеллинга. Вероятно, по этой причине понижения температуры воды у его берегов носят кратковременный характер и не связаны явно с характером ветровых потоков.

Основные особенности течений в районе сброса грунта

Приливные течения. На рис. 5 представлены графики проекций измеренных на различных горизонтах векторов скорости морских течений. Из него видно, что приливные течения не играют определяющей роли в динамике вод в центральной части залива Анива, в том числе и в районе сброса грунта. Они выходят на первый план только в спокойных условиях, когда другие типы волновых процессов не проявляются — например, в течение первого месяца наблюдений.

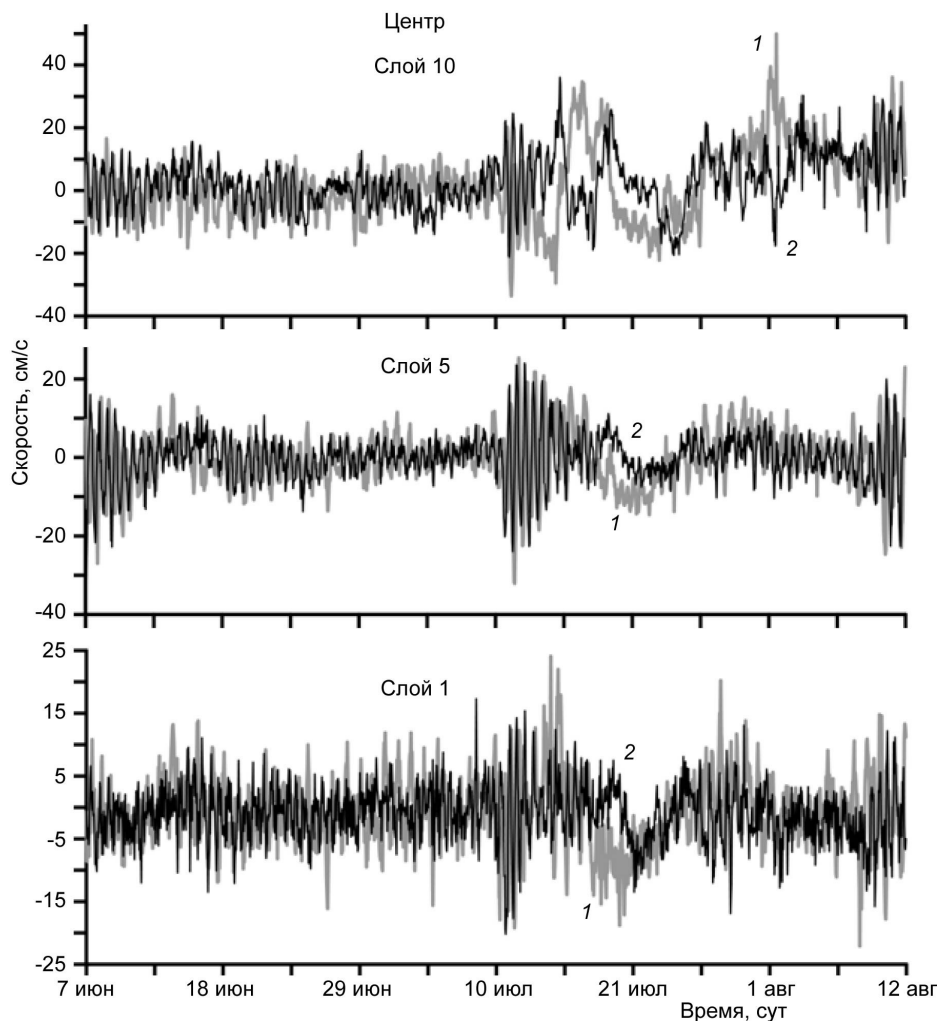


Рис. 5. Графики проекций векторов скорости течения на параллель (u , см/с) — 1 и на меридиан (v , см/с) — 2 по измерениям на различных горизонтах в точке дампинга.

Характеристики суточных волн слабо изменяются на различных горизонтах, что указывает на баротропный характер суточных течений. В отличие от прибрежных АБС, амплитуда волны $O1$ больше, чем $K1$, и для обеих гармоник амплитуды проекций на параллель значительно больше, чем для проекции на меридиан. Это означает, что эллипсы суточных гармоник имеют зональную вытянутость (соответственное направление имеют и течения).

Характеристики полусуточных течений гораздо сильнее варьируют с глубиной, что обусловлено существенным вкладом бароклинной составляющей, связанной со стратификацией вод в заливе. Эллипсы гармоник $M2$ и $S2$ в большей мере изменяют свои размеры и ориентацию в зависимости от горизонта измерения, при этом единственным общим свойством является уменьшение интенсивности полусуточных приливов с глубиной.

Характер течений смешанный, отношение сумм амплитуд суточных и полусуточных волн R изменялось от 0.9 в поверхностном до 1.7 в придонном слое.

Направление обхода вектора течений в приливном цикле для полусуточных волн на всех горизонтах — циклональное. Суточные волны $K1$ и $O1$ имеют различное направление вращения вектора — первая антициклональное, вторая — циклональное, но в придонном слое знак вращения для обеих гармоник меняется на противоположный.

Приливные течения, даже при относительно небольших скоростях, всегда играют важную роль при изучении океанологических условий в различных акваториях за счет постоянного характера их действия. Если говорить о вероятном распространении приливными течениями загрязнений при осуществлении сбросов, то оно будет носить преимущественно зональный характер.

Неприливные течения. Из рис. 5 можно сделать несколько важных замечаний относительно течений, не связанных с приливами. Во-первых, скорости этих течений в районе точки сброса грунта отнюдь не малы, причем наиболее примечательным фактом являются зарегистрированные в период с 12 июля по 8 августа мощные квазициклические колебания с периодом около 2 нед. Их амплитуда в подповерхностном слое составляла более 20 см/с, и плавно убывала с глубиной, до 10 см/с в придонном слое. Изменчивость направления потока характерна для тех ситуаций, когда через точку, где производятся измерения, проходит вихревая структура. Для летнего периода времени в заливе Анива отмечено существование устойчивого антициклонического вихря [9], на периферии которого в указанный период оказалась, вероятно, буйковая станция (наличие такой структуры подтверждается распределением температуры и солености на разрезе Новотомбовское-Новиково, представленном на рис. 2, б). Хотя обусловленные вихрем течения и убывают заметно с глубиной, их влияние на процессы, происходящие в придонном слое, весьма значительно. При этом вблизи дна наблюдается общий поток, ориентированный на юг, в сторону открытой границы залива Анива, что указывает на вероятное распространение взвеси при сбросе грунта.

Вторым примечательным фактом было обнаружение интенсивных высокочастотных колебаний течений, которые проявились трижды — в начале и в конце периода измерений, а также 12—17 июля. Наиболее развиты эти течения в промежуточном слое, на глубинах залегания термоклина — здесь их амплитуда достигает 20 см/с. Это намного больше, чем скорости приливных течений, роль которых относительно невелика. Проявление инерционных течений в заливе Анива на его открытой границе уже отмечалось ранее [1, 10].

Ротарные спектры, рассчитанные для вращательных движений жидкости по и против часовой стрелки на различных горизонтах, представлены на рис. 6. В спектрах выделяются отчетливые пики на периодах приливных (24.7 и 12.4 ч) и инерционных течений (16.6 ч). Обращаем внимание, что приливные течения, как суточные так и полусуточные, проявляются в циклональной компоненте, а инерционные течения — в антициклональной. Отметим, что формирование инерционных течений в середине июля может быть связано с прохождением атмосферного возмущения, вызвавшего усиление ветра с выраженным антициклональным вращением.

Последний из них соответствует инерционному периоду на широте измерений ($T_f = 12/\sin\varphi = 16.6$ ч, где $\varphi = 46.4^\circ$). Для инерционных течений характерна также выраженная поляризация, что наблюдается и в данном случае.

Инерционные течения, представляющие собой быстро вращающиеся (с периодом 16.6 ч) вихревые структуры, достаточно редко наблюдаются в мелководных районах, подобных заливу Анива. Возможность их существования в районе проведения сбросов, высокие скорости обусловленных ими

течений, являются новым и важным фактом, который необходимо учитывать при оценке возможного распространения загрязнений. Интенсивность этих течений убывают как в сторону дна, так и в сторону поверхности, однако они проявляются как вблизи твердой и жидкой границ, хотя и с меньшей интенсивностью.

Распределение течений по грациям скорости и направлениям. Полученные материалы подвергались стандартному статистическому анализу — для каждого горизонта были рассчитаны распределения по грациям скорости и направлениям — розы течений (рис. 7).

На поверхности наибольшая повторяемость приходится на восточные и северо-восточные, а также западные и северо-западные направления, течения южных румбов отмечались реже всего. Наибольшие значения скорости (более 50 см/с) зафиксированы в северо-восточном секторе, хотя вероятность подобных ситуаций невелика.

В подповерхностном слое ситуация сходная, можно лишь отметить возрастание доли северо-восточных течений (до 22 %) и смещение максимальных значений, при некотором уменьшении их величин, на восточное направление.

В промежуточном слое все направления практически равнозначны — повторяемость всех румбов находится на уровне 11—13 %. При этом максимальные скорости (более 30 см/с) отмечены на южном направлении.

В придонном слое ситуация почти противоположна характеру распределения на поверхности. Минимальные значения повторяемости наблюдаются у северных и северо-восточных румбов (около 8 %), максимальные — на западном, юго-западном и южном направлениях (18, 17 и 15 % соответственно).

Вероятно, преобладание северной составляющей течений на поверхности обусловлено действием летнего муссона с характерными для него южными ветрами [6]. Влияние изменения глубины моря и береговой границы приводит к увеличению доли зональной компоненты. А в придонном слое, очевидно, формируется компенсационный поток на юг, в сторону открытой границы залива.

Исследования донного грунта в точке сброса. Исследования по определению типов донных отложений проводились в заливе Анива на НИС «Д. Песков» [2]. Для работы использовалась система для исследования дна при помощи акустических методов QTC View, фирмы Quester Tangent Corporation (Канада). Прибор представляет собой бортовой блок, подключаемый к судовому эхолоту (в данном случае Kaijo Color Net Graph, с рабочей частотой 24 кГц). Для определения координат исследуемой точки используется судовая GPS, выход которого также подключен к блоку QTC View. Каждый акустический отклик преобразуется в цифровую форму и обрабатывается несколькими алгоритмами. Прибор калибруется на различных площадках дна (отбор проб донного грунта осуществлялся малым дночерпателем Ван Вина), эти данные сохраняются в файлах, из которых создается каталог, загружаемый в бортовой блок при запуске системы. Программное обеспечение позволяет визуально контролировать получение данных, определять отсутствующие в базе данных типы грунтов.

В настоящей работе представлены данные, полученные в результате морских экспедиций на НИС «Д. Песков» в заливе Анива в районе сброса грунта за период с 2003 по 2007 г. Обработка производилась по пяти основным акустическим классам — скала, крупная галька, мелкая галька, песок и ил. Необходимо отметить, что определяющим фактором при классификации грунта является его основная фракция, которая и определяется системой. Для обработки использовались данные, отфильтрованные по шуму, и с достоверностью определения более 70 %.

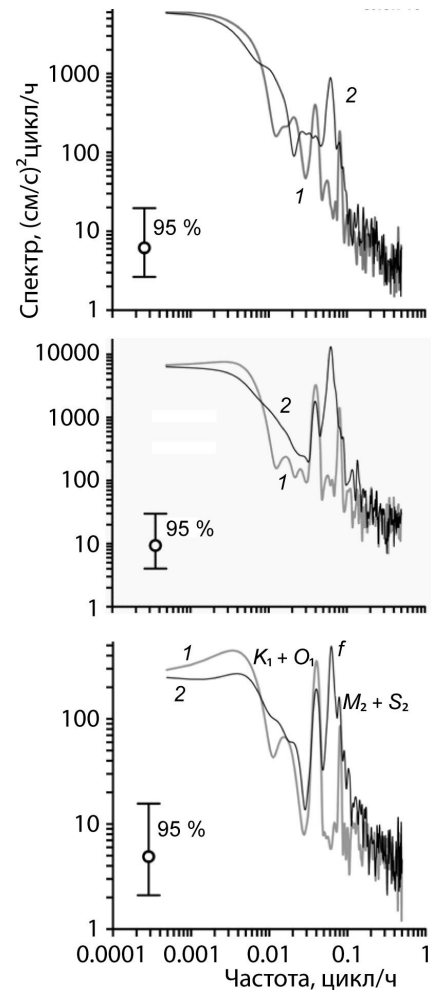


Рис. 6. Ротарные спектры (S^+ — циклональная (1), S^- — антициклональная (2) компоненты) течений, рассчитанные для подповерхностного (слой 10), промежуточного (слой 5) и придонного горизонтов (слой 1).

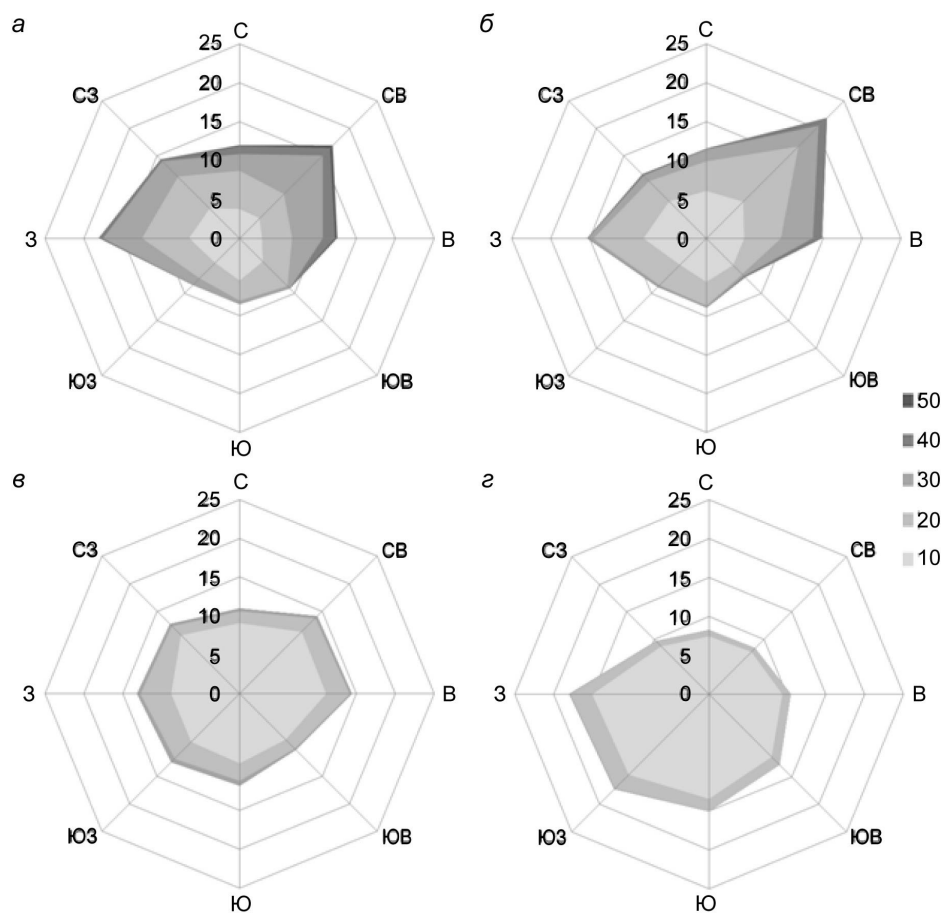


Рис. 7. Распределения скорости морских течений в районе точки дампинга летом 2003 г. в поверхностном (а, слой 12), подповерхностном (б, 10), промежуточном (в, 5) и придонном (г, 1) слоях.

Проанализировав гидродинамическую обстановку в точке дампинга, можно сказать, что в придонном слое скорости течений нередко достигают критических для размыва значений (23 см/с для преобладавших в грунте мелких фракций [11]), средние скорости незначительны. Литодинамический режим в районе соответствует состоянию «перенос-отложение». Это подтверждается результатами повторных акустических съемок.

В табл. 2 показаны изменения распределения грунтов в процессе дампинга. Количество ила увеличилось более чем на 10 %, что и ожидалось. Площадь песка уменьшилась более чем на 15 % за счет ила и гравия, площадь которого увеличилась на 6 %. Площадь, занимаемая крупной галькой, уменьшилась на 1.5 %.

По причине взятой изначально довольно редкой сетки наблюдений, более подробно рассмотреть площадку сброса трудно. Хотя дампинг продолжался длительное время, батиметрические данные, полученные в результате всех съемок, не выявили концентрации («куч») сброшенного грунта, что, вероятно, обусловлено достаточно интенсивными течениями.

Таблица 2

Распределение классов грунтов за время исследований, %

	01.12.2004	27.12.2004	мар.05	апр.05	май.05	ноя.05	апр.06	июн.06	январь.07
Галька	2.5	2.5	0.9	0.4	0.3	1.9	0	1.6	0.9
Гравий	10.5	9	3.4	2.4	3.2	6.4	5.8	6.3	16.8
Песок	37	38	40	43	40	37.4	44.9	38.3	21.9
Ил	49.5	50	55	53	56	53.8	49.2	53.7	60.4

В процессе дампинга распределение грунтов меняется незначительно. В центре площадки появляется пятно гравия, меняющееся по площади, и окруженное осадками в виде ила. Площадка гальки на юго-востоке района постепенно исчезает, затем появляется вновь. Количество песка меняется мало.

По окончании работ по сбросу грунта, на юго-западе площадки и в ее центре образовались «пятна» гравия, окруженные илом, которые вытеснили песок. Также в юго-восточной четверти площадки появилось обширная площадка гравия. Промежутки между более плотными грунтами заполнены илом.

В целом опасения о возможных формированиях локальных скоплений сброшенного грунта и их воздействию на бентосные сообщества залива, не оправдались [12].

В результате проведенных экспериментальных исследований выявлено, что в прибрежной зоне северной части залива Анива в теплый период в целом преобладает циклоническая циркуляция, формирующаяся под действием ветров Ю и ЮЗ румбов. Исключение составляет станция Песчанское в вершине залива, на которой преобладали течения В румба. Осенью вблизи берега отмечена антициклоническая циркуляция. На фоне этих общих закономерностей наблюдаются вариации течений в синоптическом диапазоне периодов, однако их связь с ветром носит сложный характер, не соответствующий обычным представлениям о характере отклика на воздействие воздушных потоков. Вероятно, это связано с большой ролью движений компенсационного характера, что часто наблюдается в полузамкнутых водоемах.

На прибрежных АБС зафиксированы случаи резких понижений температуры морской воды, достигавшей в некоторых случаях отрицательных значений. Наиболее отчетливо этот эффект проявился в начале летнего сезона. В период максимального прогрева вод залива в августе-сентябре такое явление наблюдалось реже, и в течение короткого периода (1—2 сут). Прямой связи этих понижений со скоростью и направлением ветра установить также не удалось.

В центральной части залива в летний период под влиянием характерных для теплого сезона ветров южных румбов, в верхних слоях преобладают потоки северного и северо-восточного румбов. При этом в придонном слое наблюдается компенсационный поток южного и юго-западного румбов. Вероятно, в осенне-зимний период, при смене ветров на характерные для этого сезона северо-западные направления, ситуация изменяется на противоположную — в верхних слоях можно ожидать течений южного и юго-восточного направлений, а в вблизи дна — компенсационного потока на север или северо-запад. Эти закономерности определяют распространение взвеси при сбросах в зависимости от сезона.

Распространение терригенного материала из прибрежной зоны в сторону открытой границы залива можно соответственно, ожидать летом в придонном, а осенью в верхних слоях с осаждением по мере удаления от берега.

Приливные течения в точке дампинга относительно невелики, их максимальные скорости могут достигать 6—8 см/с в поверхностном и 4—5 см/с в придонном слое. Вероятное распространение приливными течениями загрязнений при осуществлении сбросов будет носить преимущественно зональный характер.

В точке дампинга зафиксированы значительные квазициклические течения с периодом около двух недель, обусловленные, вероятно, выходом в район измерений синоптического вихря. При сбросах загрязняющие вещества могут захватываться вихрем и распространяться на прилегающую часть акватории по его периферии.

В точке дампинга зафиксированные инерционные течения со значительными (амплитуда около 20 см/с) скоростями. При сбросах загрязняющие вещества могут захватываться ими и распространяться на прилегающую часть акватории — примерно на 10—20 км исходя из оценки размеров вихревой структуры, радиус которой порядка бароклинного радиуса Россби, составляющего около 5 км при распределении плотности, рассчитанным по результатам океанологической съемки в июне 2003 г.

Исследования донных отложений в районе сброса грунта не зафиксировали существенных изменений его характеристик в процессе проведения дноуглубительных работ.

Литература

1. Шевченко Г. В., Кантаков Г. А., Частиков В. Н. Экспериментальные исследования течений в заливе Анива осенью 2002 года // Южно-Сахалинск: Труды СахНИРО. 2005. Т. 7. С. 224—244.

2. Кусайло О. В. Классификация грунтов акустическими методами на примере залива Анива // Южно-Сахалинск: Труды СахаНИРО. 2005. Т. 7. С. 305—316.
3. Пищальник В. М., Бобков А. О. Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин. Часть II. Южно-Сахалинск: СахГУ, 2000. 108 с.
4. Будаева В. Д., Макаров В. Г., Частиков В. Н. Результаты гидрологических исследований залива Анива в 2001-2003 гг. (структура и циркуляция вод) // Южно-Сахалинск: Труды СахаНИРО. 2005. Т. 7. С. 83—110.
5. Дуванин А. И. Приливы в море. Л.: Гидрометеиздат, 1960. 392 с.
6. Като Э., Савельев В. Ю., Шевченко Г. В. Режимные характеристики ветра для острова Сахалин, полученные на основе инструментальных данных // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2001. С. 177—194.
7. Боуден К. Физическая океанография прибрежных вод. М.: Мир, 1988. 322 с.
8. Никонов Ю. Ю. Численное моделирование циркуляции вод в заливе Анива по данным океанографической съемки 26-31 мая 2004 года // Южно-Сахалинск: Труды СахаНИРО. 2005. Т. 7. С. 245—254.
9. Пищальник В. М., Архипкин В. С. Сезонная изменчивость термохалинной структуры вод пролива Лаперуза // Вестн. МГУ. Сер. 5 «География». 2000. № 5. С. 43—47.
10. Шевченко Г. В., Частиков В. Н. Динамические процессы в заливе Анива (о. Сахалин) по результатам инструментальных измерений осенью 2000 г. // Метеорология и гидрология. 2004. № 5. С. 63—75.
11. Чумаков М. М., Онищенко Д. А., Хахалина С. Н. Методика моделирования процесса размыва донного грунта в окрестности килей крупных ледяных образований // Вести газовой науки. 2013. № 3(14). С. 125—130.
12. Samatov A., Labay V. Benthos community of a dumping area during liquid natural gas plant constructions: Effect of technical impacts or natural changes? // PICES Sci. Rep. 2009. N. 36. P. 257—261.