

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САХАЛИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 551.465.53/.63(265.53)
№ госрегистрации 01201252449
Инв. №

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по НР ФГБОУ ВПО
«Сахалинский государственный университет»



В.В. Моисеев

2014 г.

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
по теме:

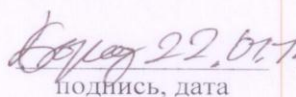
КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОСИСТЕМЫ
"МОРЕ-ВОДОСБОР" САХАЛИНА И ПЕРСПЕКТИВ ЕЕ ТРАНСФОРМАЦИИ
ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ С ЦЕЛЬЮ
УСТОЙЧИВОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
(заключительный)

Руководитель темы
д-р техн. наук, профессор


подпись, дата

В.М. Пищальник

Нормоконтролёр


подпись, дата

Д.А. Бородулин

Южно-Сахалинск 2014

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы

д-р техн. наук

В.М. Пищальник (заключительный отчет)

Исполнители темы:

д-р хим. наук, проф.

А.В. Леонов (C,N,P,Si-модель)

д-р техн. наук

В.А. Мелкий (ледовый режим, районирование)

д-р геогр. наук

Д.Я. Фащук (сбор данных для эколого-

географической модели центра "сгущения жизни" на шельфе о. Сахалин)

канд. ф.-м. наук

И.Г. Минервин (ледовый режим, районирование)

канд. геол.-м. наук

В.А. Сахаров (сбор данных для эколого-

географической модели геосистемы «море-водосбор» о. Сахалин)

Соисполнители:

Ст. преп.

В.А. Романюк (ледовый режим, районирование)

Ст. преп.

А.А. Гальцев (ведение гидрометеорологической базы данных)

Ст. преп.

О.М. Зарипов (ведение гидрометеорологической базы данных)

Студентка СахГУ

Е.В. Силкина (ледовый режим Охотского моря)

Студентка СахГУ

Н.С. Попова (ледовый режим Охотского моря)

Студент СахГУ

А.В. Усенко (ледовый режим Охотского моря)

Студент СахГУ

С.О. Зенкин (ледовый режим Охотского моря)

Студент СахГУ

А.В. Воронич (ледовый режим Охотского моря)

Студент СахГУ

С.О. Тимонин (ледовый режим Охотского моря)

Студентка СахГУ

Е.Г. Колесова (сбор гидрометеорологических данных)

Студентка СахГУ

А.С. Батухтина (сбор гидрометеорологических данных)

РЕФЕРАТ

Отчет 29 с., 6 рис., 1 табл., 35 источников.

Методами статистического моделирования с помощью ГИС "Сахалинский шельф" восстановлен годовой ход температуры, солености и плотности воды от поверхности до дна на 60-и стандартных океанографических станциях на северо-восточном шельфе Сахалина (общая продолжительность наблюдений ~40 лет). Методами численного моделирования с помощью океанической модели Бергенского университета (БОМ) выполнено пространственное восстановление полей температуры и солености воды на стандартных горизонтах в узлах регулярной сетки. В результате анализа расчетных данных выявлены новые черты гидрологического режима и впервые получены максимально детализированные термохалинные поля для полного годового цикла, по которым рассчитана среднемесячная трехмерная циркуляция вод.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие нефтегазовых проектов на шельфе о. Сахалин в последнее десятилетие инициировало исследования современного состояния морской среды и естественной (потенциальной) устойчивости ее к масштабным антропогенным воздействиям. Такие оценки, прежде всего, необходимы для разработки стратегических планов борьбы с возможными аварийными разливами нефти.

В настоящее время добыча нефти и газа осуществляется на северо-восточном шельфе Сахалина по проектам Сахалин I и Сахалин II. На акватории Татарского прол. нефть не добывают, но активно производится ее транспорт. Через прилегающую акваторию прол. Невельского проложена вторая нитка нефтепровода с острова на материк, а с декабря 2006 г. из порта Де-Кастри осуществляется отгрузка нефти, которая далее перевозится супертанкерами в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. Добытые на северо-восточном шельфе нефть и газ транспортируются по транссахалинскому трубопроводу в пос. Пригородное, расположенному на побережье зал. Анива, где функционирует один из крупнейших в мире завод по сжижению природного газа. После соответствующей обработки нефть и газ загружается в супертанкера и газовозы и так же транспортируется в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. Поскольку транспорт нефти морским путем осуществляется круглогодично, то необходимо четко представлять особенности сезонной перестройки гидрологических и гидрохимических полей и процессов трансформации органогенных веществ в водах сахалинского шельфа. Особенно важно иметь оценку состояния морской среды в зимний период, когда инструментальные наблюдения из-за наличия ледяного покрова крайне ограничены.

В этой связи математическое моделирование является тем инструментом исследования, с помощью которого можно вполне объективно ответить на поставленные вопросы. В данном исследовании производились работы по совершенствованию методологического подхода, основанного на последовательном применении нескольких математических моделей для исследования условий функционирования морских экосистем. Производилась адаптация моделей для акватории Восточного шельфа острова, восстанавливался полный годовой цикл вариаций гидрологических и гидрохимических параметров и выполнены первые серии расчетов циркуляции вод на суперкомпьютере Ломоносов в МГУ.

Современные исследования по биогидрохимии морской среды часто ограничиваются отдельными аналитическими определениями концентраций ее химических и биологических параметров. Оценка современного биогидрохимического потенциала и экологического состояния морской среды для морей России – актуальнейшая геоэкологическая проблема,

которая должна изучаться на стыке ряда естественных наук с использованием методологии системного анализа и математического моделирования. Такой подход предложен авторами настоящего исследования. Предметом таких исследований служат экологические условия формирования биомасс микроорганизмов, развития процессов биотрансформации и круговорота соединений C, N, P, Si, деструкции НУ в условиях изменения климатических параметров при разном антропогенном воздействии на геосистему "море - водосбор" (изменение гидрологического режима (включая ледовые условия) и биогенной нагрузке на морские акватории). Цель исследований – выделить и исследовать приоритетные природные и антропогенные процессы (на водосборе и акватории), влияющие на состояние морской экосистемы, оценить скорости биопродукции организмов низшего трофического звена – основы сырьевой базы морских акваторий, что позволяет рассмотреть объект со всех (физической, химической, биологической) сторон, понять его природу, используя оптимум информации. На этом основании планируется разработать методологию оперативной оценки причин экологических изменений, наблюдающихся сегодня в морях, возможной реакции морской экосистемы на то или иное внешнее воздействие, т.е. решение вопросов охраны природы и управления антропогенными нагрузками в зоне взаимодействия морских и береговых процессов.

Работы полного этапа исследований были рассчитаны на три года, но досрочно завершены в 2013 г. в связи с введением нового положения о формировании государственного задания от 02.12.2013 г. № АП-125/14вн. Поэтому в настоящем отчете представлены предварительные результаты расчетов и сформулированы предложения о разделении тематических исследований, первоначально заявленных при формировании НИР в 2012 году. Как показала практика исследований, в связи со значительным объемом работ на начальном этапе сбора и первого обобщения материалов по эколого-географическому информационному моделированию предлагается выделить это направление в самостоятельную тему. После этапа создания модели геосистемы "море - водосборный бассейн" представляется целесообразным вновь вернуться к теме, заявленной в ее настоящем виде, что позволит выйти на качественно другой этап системного анализа геосистемы с более совершенными инструментами исследований.

Такие работы особенно важны в период начала масштабной разработки морских месторождений и добычи углеводородов на сахалинском шельфе. Это во многом позволит понять механизмы взаимосвязи отдельных районов шельфа и более эффективно разрабатывать стратегию и тактику работ в чрезвычайных ситуациях. Другой аспект данного исследования имеет образовательные цели. В Сахалинском государственном университете проводится обучение специалистов основам моделирования на Кафедры геологии и

природопользования Технического нефтегазового института СахГУ. Для курса лекций «Моделирование природных процессов» специально подготовлены и изданы учебные пособия [Леонов, 2008; Пищальник, Бобков, 2008; Леонов, Пищальник, 2012; Леонов и др., 2012]. Студенты изучают теоретические основы моделирования и получают практические навыки работы с современными моделями, разработанными авторами настоящего отчета.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ДАННОЙ ПРОБЛЕМЕ

Морская вода включает необходимые питательные компоненты для развития живого вещества. Этим термином В.И.Вернадский определил совокупность организмов, заселяющих био- и, в частности, гидросферу. К таковым относятся гетеротрофные бактерии, доминирующие группы фито-, зоопланктона и простейшие, обитающие в водной среде; они – основные трансформаторы имеющихся в воде органических и минеральных биогенных веществ (соответственно ОВ и БВ) естественного и антропогенного генезиса. Количественное изучение химико-биологической трансформации ОВ и БВ в морской среде – основа понимания биогидрохимических условий поведения морских экосистем и развития в ней важнейших процессов формирования биомасс организмов, биопродуктивности морской среды, ее самоочищения и рециклинга БВ. В настоящее время исследования по биогидрохимии и экологии морей, в основном, связаны с аналитическими определениями концентраций отдельных химических и биологических параметров. На современном этапе изучения водных экосистем важными и эффективными методами исследования гидрологических, гидрохимических и гидробиологических процессов (помимо непосредственных наблюдений и натурных экспериментов) становятся методы системного анализа и математического моделирования. Именно системные модели необходимы для изучения механизмов поведения водных экосистем и оптимизации сложных многопараметрических нелинейных процессов, теоретическое и экспериментальное изучение которых в природных условиях или затруднено, или вовсе невозможно.

Развитие процессов биотрансформации органогенных веществ осуществляется непрерывно как в пресноводных, так и в морских экосистемах. Отличия в скоростях процессов биотрансформации веществ в разных экосистемах определяются природными факторами (или комплексом условий окружающей среды) и степенью антропогенного воздействия, которое может существенно изменить водный или температурный режим водоемов, а также биогенную нагрузку на водную экосистему.

Для изучения перечисленных выше процессов разработана модель трансформации соединений C, N, P и Si (CNPSi-модель) [Леонов, 2008, 2012]. CNPSi-модель воспроизводит биотрансформацию органических и минеральных соединений органогенных элементов (N, P, C, Si) и режим O₂ в водной среде (в двухслойной водной экосистеме) и в поверхностном слое донных отложений. Эта модель применяется для количественных водно-экологических исследований роли живого вещества в трансформации и круговороте соединений органогенных элементов (C, N, P, Si), биогидрохимических (химических, физических и биологических) процессов, связанных с динамикой ОВ и БВ, продукцией и деструкцией ОВ, включая компоненты загрязнения морской среды нефтепродуктами и нефтяными

углеводородами (НУ). В естественной среде бактериальный распад и перенос определяют конечную судьбу НУ и самоочищение морской среды.

На сегодняшний день изучение условий накопления элементов в биомассах организмов, изменения их внутригодовой и межгодовой динамики не является достаточным ни в отношении концентраций указанных органогенных элементов в составе биомасс отдельных размерных групп организмов, ни в отношении особенностей их развития. До сих пор нельзя определенно ответить на вопрос: характерен или случаен химический состав (и соотношение элементов) в составе биомасс организмов и насколько этот состав может изменяться у конкретных видов. Не ясно также, у каких организмов имеющаяся информация может считаться достаточной для разного рода биогидрохимических количественных обобщений и, в частности, для получения надежных соотношений биогенных элементов в биомассах организмов (типа общепринятого стехиометрического отношения $C:N:P=106:16:1$, предложенного Редфилдом еще в 30-х годах XX в. для сообщества фитопланктона).

Изменения среды обитания разнообразны и отличаются по сути проявления гидрологических, гидрохимических и гидробиологических процессов по акваториям исследуемой морской экосистемы. В данной работе результаты математического моделирования динамики компонентов морской экосистемы сахалинского шельфа представлены как единое функциональное целое биотических экологических компонентов и абиотических источников вещества и энергии. В методологическом плане данное исследование не имеет аналогов, так как для системного анализа в нем впервые использовано три электронных инструмента: для восстановления годового хода параметров морской среды на стандартных горизонтах на сети океанографических станций в фиксированных географических координатах была применена ГИС «Сахалинский шельф»; далее с помощью адаптированной версии океанической модели Бергенского университета (БОМ) было восстановлено пространственно-временное распределение температуры (T_w) и солёности (S_w) морской воды, выполнены расчеты циркуляции водных масс и оценены параметры водообмена как внутри самого пролива, так и объёмы вод, поступающие из соседних акваторий; и, наконец, на основе гидроэкологической CNPSi-модели будет выполнена оценка внутригодовой динамики концентраций соединений биогенных элементов, биомасс, биогидрохимической активности и биопродуктивности микроорганизмов (гетеротрофные бактерии, три группы фито- и две группы зоопланктона), участвующих в трансформации биогенных веществ (БВ), а также их внутренних потоков, определяемых активностью микроорганизмов и внешней нагрузкой на морскую экосистему.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИХ ОБРАБОТКИ

Начало и окончание производства гидрологических работ на исследуемой акватории, в основном, лимитируются ледовой обстановкой. Первое появление льда вдоль северо-восточного побережья о. Сахалин фиксируется, как правило, в третьей декаде ноября. В суровые и мягкие зимы сроки начала ледообразования смещаются на 7–10 сут в сторону соответственно более ранних или более поздних дат. Дополнительное препятствие для выполнения гидрологических съемок в предзимье – продолжительные жестокие штормовые условия. Поэтому судовые наблюдения прекращались, как правило, в первой декаде ноября.

Очищение акватории северо-восточного шельфа о. Сахалин ото льда происходит крайне неравномерно. Первым освобождается ото льда район 4 (рис. 1). Это событие отмечается в конце мая–начале июня и обусловлено двумя факторами: сменой направления муссона (следовательно, направления дрейфа льда) и термическим разрушением льда. Далее с задержкой примерно до недели последовательно происходит очищение районов 3, 2 и 1.

Средней датой смены зимнего муссона для береговых гидрометеорологических станций независимо от типа зимы является 1 мая [29]. Над водной поверхностью (НГДП Моликпак, между 52 и 53° с.ш.) смена направления меридиональной составляющей ветра весной происходит на 10–15 сут раньше, или во второй–третьей декаде апреля [31]. В малоледовитые зимы процесс смены направления муссона явно не выражен и может продолжаться с конца марта до конца июля [16]. На акватории северо-восточного шельфа в мае–июне помимо смены муссона дополнительными факторами, определяющими характер перераспределения льда, служат разрушение ледяной дамбы на северном фарватере Амурского лимана и приливные явления, обуславливающие транзит льда из Сахалинского зал. на акваторию восточного Сахалина [5, 35]. В отдельные годы остатки ледяного массива в районе 1 могут сохраняться до конца июня, поэтому гидрологические наблюдения в весенний период здесь начинались не ранее второй декады июня.

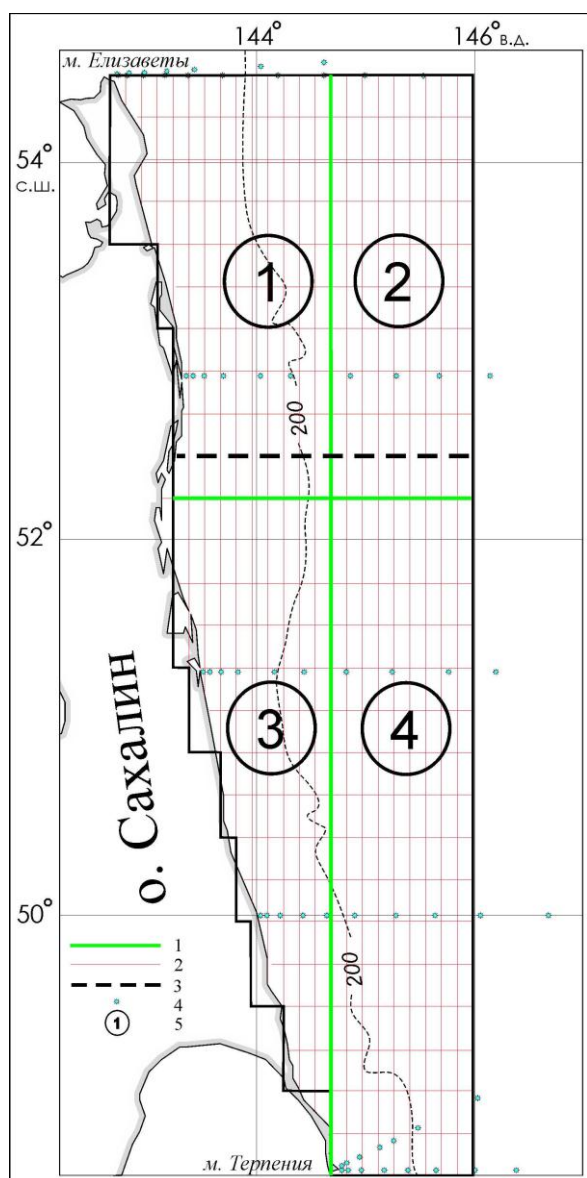


Рисунок 1. Районирование акватории северо-восточного шельфа для вычисления средних океанологических станций.

1 – границы районов; 2 – границы расчетной сетки; 3 – разрез; 4 – стандартная океанографическая станция; 5 – номер района

глубины нельзя достоверно отделить средние многолетние кривые распределения показателей друг от друга. В связи с этим, ниже горизонта 150 м значения T_w и S_w задавались на основе среднемноголетних данных. В верхнем слое значения T_w и S_w рассчитывались с помощью бикубического сплайна по значениям этих параметров во временных реперных точках (начало и конец ледового сезона), а в промежутке между ними задавалась температура замерзания и среднемноголетние значения солёности для горизонта 150 м с учетом фазового запаздывания по глубине. После выполнения расчетов выполнялся экспертный контроль графиков годового хода значений T_w и S_w для всех горизонтов на каждой станции. Для контроля восстановления

Для восстановления временного хода температуры воды (T_w) и ее солёности (S_w) воды были использованы их среднемесячные значения на сети стандартных океанографических разрезах для безледного периода (с мая по ноябрь включительно), полученные с помощью ГИС «Сахалинский шельф» [21]. Сетка станций наблюдений из 7-и разрезов была сформирована на северо-восточном шельфе Сахалина в начале 1950-х гг. и состоит из 60 глубоководных гидрологических станций (рис. 1). К середине 1990-х гг. практически все регулярные океанографические наблюдения на стандартных разрезах были свернуты. По имеющимся оценкам, всего за период наблюдений на акватории северо-восточного шельфа о. Сахалин было выполнено ~4.4 тыс. глубоководных наблюдений, из которых ~1.3 тыс. станций – на стандартных разрезах (табл. 1) [20, 22].

Поскольку в период с начала декабря до конца мая инструментальные гидрологические наблюдения на стандартной сетке станций никогда не производились, то для их восстановления в холодный период года была применена следующая технология. По современным представлениям о физических процессах, происходящих при охлаждении вод в Охотском море, нижняя граница деятельного слоя на восточном шельфе Сахалина расположена на глубине 100–150 м [12–14]. Другими словами, начиная с этой

временного хода гидрологических параметров в ледовой период использовались STD–измерения, предоставленные Sakhalin Energy Investment Company Ltd, которые были проведены в начале 2000-х гг. по специальным программам на акватории морских нефтегазовых месторождений в конце ноября, в декабре и в мае.

Таблица 1. Количество глубоководных наблюдений за отдельными параметрами морской среды в северо-восточной части шельфа о. Сахалин за 1948–1996 гг. (в числителе на всей акватории, в знаменателе – на стандартных разрезах) [21]

T, °C	S, ‰	O ₂ , мл/л	pH, усл. ед.	PO ₄ , мкг P/л	NO ₂ , мкг N/л	SiO ₃ , мг Si/л
<u>4394</u> 1293	<u>4364</u> 1154	<u>1979</u> 789	<u>1864</u> 485	<u>794</u> 179	<u>847</u> 226	<u>862</u> 250

Для пространственного восстановления значений температуры и солености в узлах регулярной сетки использовалась трехмерная, нестационарная, нелинейная численная океаническая модель БОМ в σ -координатах [33]. Входными данными для нее послужили вычисленные статистическими методами среднемесячные многолетние значения T_w и S_w на океанографических станциях стандартных разрезов. При моделировании атмосферное давление, ветровое напряжение и потоки тепла и солей не задавались. На жидких границах для скоростей течений, T_w и S_w было выбрано условие Неймана. Шаг по оси x – 10 км, а по оси y – 25 км. По вертикали от поверхности до дна задавались 35 σ -горизонтов.

Как было отмечено в [25], применение математических океанических моделей для восстановления океанографических полей позволяет избежать их рассогласования в отличие от статистических методов, где каждый параметр рассчитывается отдельно. Суть такого подхода заключается в том, что значения T_w и S_w на стандартных океанографических станциях сохраняются постоянными в течение всего времени моделирования. В узлах регулярной сетки, не совпадающих с положением станций, значения параметров вычисляются с учетом заданных значений на этих станциях и рассчитанной на данном шаге циркуляцией вод с учетом рельефа дна и конфигурации бассейна. Расчет прекращается при выходе значений уровня моря и течений на стационарный режим во всех узлах регулярной сетки. По восстановленным океанографическим полям в узлах регулярной сетки было проведено районирование исследуемой акватории. Критериями районирования послужили изменчивость параметров и их средние и абсолютные величины [25]. Для выделенных районов были рассчитаны средние океанографические станции, которые затем использовались для анализа годового хода [15].

Вопрос о выделении гидрологических сезонов подробно обсуждался в [20, 21]. В данном исследовании анализ пространственно-временной изменчивости термохалинных полей и циркуляции вод выполнялся с месячной дискретностью, однако карты расчетных характеристик представлены только для середины сезонов: для зимы – 26 февраля, весны – 26 июня, лета – 26 августа и осени – 26 ноября.

ТЕМПЕРАТУРА ВОДЫ

Современное представление о режиме изменений T_w и S_w на всей акватории Охотского моря базируется на анализе данных глубоководных гидрологических наблюдений, выполненных с 1930 по 1988 гг. (51.6 тыс. станций) в безледный период [14]. После прекращения регулярных наблюдений на морях в системе Росгидромета гидрологические наблюдения выполнялись другими организациями, но были ориентированы на решение прикладных задач на локальных акваториях (например, на изучение пространственно-временной изменчивости характеристик среды обитания биологических объектов для оценки возможного влияния этих изменений на их распределение, миграцию и воспроизводство). Так, по данным CTD-съемок 1993–1997 гг. была исследована структура остаточного холодного придонного слоя на северном шельфе Охотского моря в безледный период, уточнены его основные характеристики и оценена скорость формирования плотных вод на промежуточных глубинах [2–4]. В последующих исследованиях на основе анализа всего современного массива данных до 2004 г. для всей акватории Охотского моря (~102.5 тыс. станций) была проанализирована межгодовая изменчивость подповерхностных вод и выполнена типизация характеристик исследуемого ряда с выделением «теплых», «нормальных» и «холодных» лет (расчеты выполнялись в районах со сторонами квадратов 2–3° по широте и долготе) [12, 13]. Было показано, что разность значений T_w между холодными и теплыми состояниями в отдельных частях моря может достигать значительных величин: на горизонтах 50 и 100 м соответственно до 2 и 1°C. Таким образом, разные авторы вплотную подошли к теоретическому обоснованию методологии расчета границ холодного придонного слоя.

Внутригодовая изменчивость T_w . Восстановленный, по описанной выше методике, годовой ход среднемесячных значений T_w и S_w позволяет охарактеризовать основные сезонные особенности замкнутого годового цикла на акватории северо-восточного шельфа Сахалина. На представленных графиках (рис. 2) видно, что в верхнем 100-метровом слое основные различия значений T_w в каждом районе на всех стандартных горизонтах отчетливо выражены только в теплый период года. Зимой значения T_w на всех горизонтах плавно понижаются до установления гомотермии (до значений –1.4°C) в первой половине апреля. Отмечаются различия и во времени перехода значений T_w через нулевую отметку: в северных

районах 1 и 2 переход T_w через 0°C в сторону отрицательных значений происходит в начале декабря, а в южных 3 и 4 – на 15–25 сут позднее. Такая же временная задержка характерна и для установления гомотермии в верхнем 20-метровом слое (до температуры замерзания – 1.6...

–1.7°C): соответственно конец февраля и середина марта. Продолжительность периода с отрицательными значениями T_w на поверхности в районах 1–4 составляет 185, 180, 171 и 161 сут соответственно. Повышение T_w в верхнем слое начинает происходить по мере очищения акваторий от льда: в мористых районах в конце апреля, в прибрежных – в конце мая.

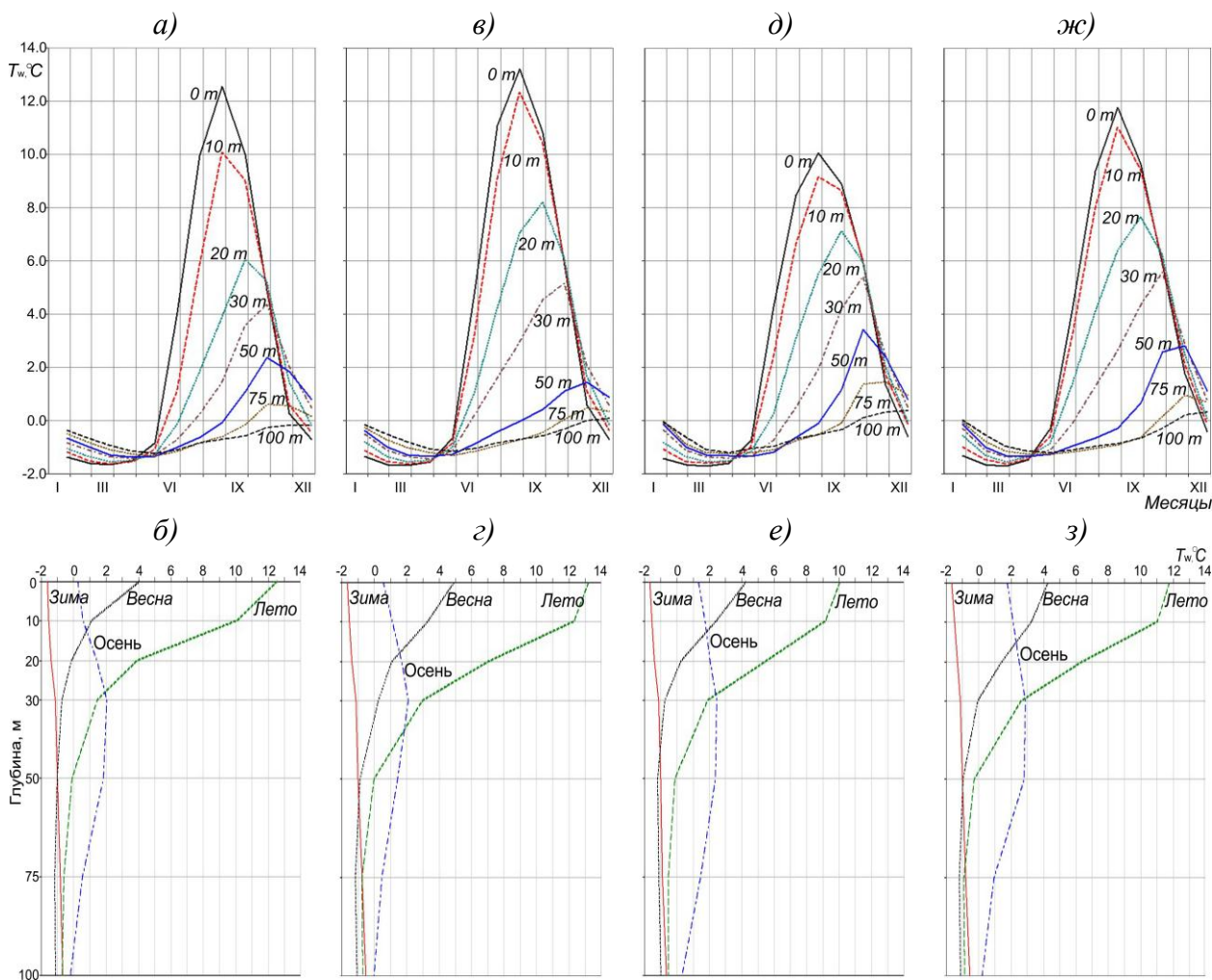


Рисунок 2. Распределение T_w на средних океанологических станциях на северо-восточном шельфе о. Сахалин в районах 1 (а, б), 2 (в, г), 3 (д, е) и 4 (ж, з): годового хода на разных горизонтах (а, в, д, ж) и вертикального распределения по сезонам (б, г, е, з)

Период наступления максимума T_w на поверхности в районах 1-4 варьирует с 22 по 26 августа. Раньше всех температурный максимум отмечается в районе 2, позже всех он наступает в районе 3. Средние значения максимального прогрева поверхностных вод ($>13.2^\circ\text{C}$) также фиксируются в мористом районе 2, минимальные ($\sim 10.1^\circ\text{C}$) – в прибрежном районе 3, где отчетливо выражен апвеллинг вод. В целом прогрев верхнего квазиоднородного слоя вод в весенне-летний период не распространяется глубже 30 м, а в результате осеннего

штормового перемешивания вод толщина этого слоя увеличивается до 75–85 м. Наступление максимума T_w на глубине 50 м в прибрежной зоне (районы 1 и 2) отмечается в октябре, в мористых районах он смещен на ноябрь, что не противоречит существующим представлениям [14]. Характерным отличием полученных результатов является отсутствие задержки процесса охлаждения поверхностных вод на всей исследуемой акватории в ноябре, что может быть обусловлено как количеством использованным для расчетов данных наблюдений, так и выбором периода осреднения и даты представления среднемесячных значений [14].

Вертикальное распределение T_w . Весной скорость прогрева вод на поверхности колеблется в диапазоне от 0.18–0.19 (для южных районов) до 0.21–0.23°C/сут (для северных), что хорошо согласуется с представлениями о характерных особенностях вертикального движения вод (рис. 2). Причины, обуславливающие характер вертикального движения вод, весьма различны. Для района 1 – это характерное расслоение вод за счет опресняющего и тепляющего воздействия Амура (четко выраженный слой скачка плотности на горизонтах до 20 м и формирование фронтальной зоны летом в районе между 51 и 52° с.ш. [20]); для района 2 – это доминирующий процесс опускания вод; для района 3 – интенсивный подъем вод, а для района 4 – преимущественный, но менее интенсивный подъем вод.

Скорость прогрева вод на поверхности в районах 3 и 4 соответствует характерной для северной части Татарского прол., поскольку эти районы находятся в одном диапазоне широт [25]. Осенью скорость охлаждения вод меньше, чем скорость их прогрева весной и варьирует от 0.15–0.16 (на юге) до 0.18–0.20°C/сут (на севере) исследуемой акватории, что на 0.05–0.06°C/сут меньше, чем на соответствующих широтах в Татарском прол., поэтому асимметрия графиков годового хода T_w на северо-востоке о. Сахалин менее выражена.

Запаздывание прогрева вод с глубиной как по абсолютным значениям T_w , так и по времени наступления события, весьма различны и обусловлены особенностями динамики вод в каждом районе, которые отчетливо прослеживаются и по изменениям диапазона колебаний значений T_w на горизонтах ниже 30 м и по формам кривых распределения T_w (рис. 3). Обращает также на себя внимание отсутствие второго характерного максимума значений T_w на горизонте 50 м в районе 2. Это свидетельствует о том, что Восточно–Сахалинское течение в период своей осенней интенсификации практически не затрагивает данный район, а максимальные значения T_w в южных районах 3 и 4 на горизонте 100 м указывают на заглубление здесь его основной струи в указанный период.

СОЛЕННОСТЬ ВОДЫ

Внутригодовая изменчивость S_w . В годовом ходе значений S_w верхнего 100-метрового слоя во всех районах выделяются два экстремума: зимний максимум в феврале–апреле и

летне–осенний минимум (рис. 3). При этом отчетливо видно, что в верхнем 20-метровом слое в районах 1 и 2, подверженных опресняющему воздействию р. Амур, минимум S_w наступает в июле. На поверхности средние значения S_w в прибрежном районе снижаются до значений $<28\%$, а в мористой части до $\sim 30.5\%$.

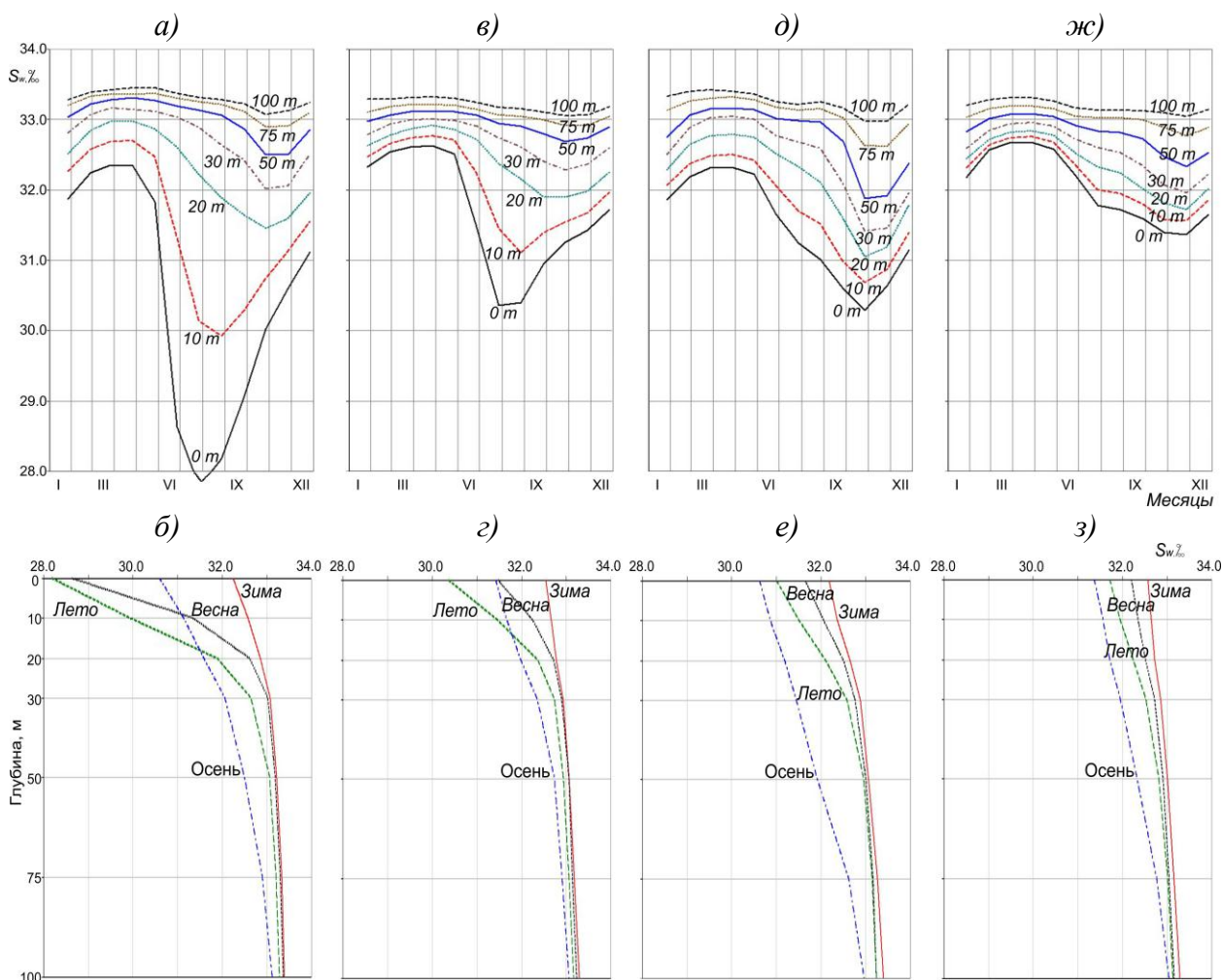


Рисунок 3. Распределение S_w на средних океанологических станциях на северо-восточном шельфе о. Сахалин в районах 1 (а, б), 2 (в, г), 3 (д, е) и 4 (ж, з): годового хода на разных горизонтах (а, в, д, ж) и вертикального распределения по сезонам (б, г, е, з)

Такое явление обусловлено формированием фронтальной зоны в районе $51\text{--}52^\circ$ с.ш., которая препятствует продвижению амурских вод на юг. Ее наличие ранее было описано в [14, 20]. Следует заметить, что наличие фронтальной зоны также отчетливо идентифицируется и по донным осадкам [28].

Осенний минимум значений S_w на всех горизонтах в 100-метровом наиболее отчетливо выражен в южных районах в октябре–ноябре. Средние значения S_w на поверхности ($\sim 30\%$) в прибрежном районе 1 минимальны для всей исследуемой акватории в октябре, но в то же время в годовом ходе не проявляется второй минимум S_w , который показан в [14]. Не выделен второй минимум S_w и в более поздних исследованиях [20]. По нашему мнению нет и физических предпосылок для его формирования в мористых районах, поскольку, как показано

в [6, 19, 25], в октябре основной сток Амура направлен уже в Татарский прол., а вдоль всего восточного побережья Сахалина вод движется струя вод Восточно–Сахалинского течения, у которой пониженные значения S_w характерны только для ее западной периферии, что может формировать второй в годовом ходе минимум S_w только в узкой прибрежной зоне [20].

Вертикальное распределение S_w . На графиках хорошо видно, что весной в районах 1 и 2 сильно распресненные воды не проникают на глубину >20 м (рис. 3). К концу лета с началом активизации Восточно–Сахалинского течения воды с пониженными значениями S_w проникают до горизонта 50 м. В прибрежных районах 1 и 3 осеннее распреснение отчетливо выражено уже в верхнем 100 м слое. В мористых районах это явление выражено в значительно меньшей степени, поскольку основная масса вод, контактировавших с водами Сахалинского залива, распространяется вдоль всего побережья острова, достигая зал. Анива и обуславливая заметное понижение значений S_w (до 1‰) во всей его толще вод к концу года [20].

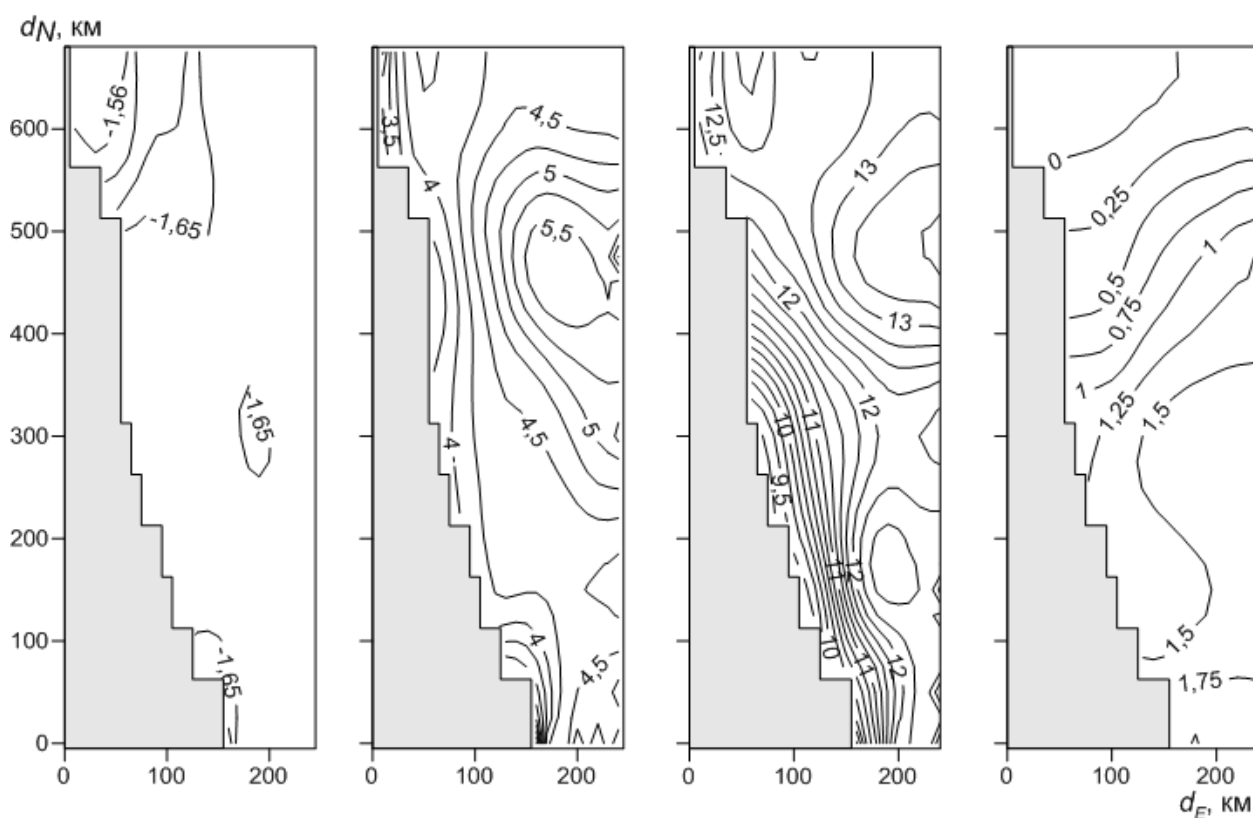
Таким образом, годовой ход и вертикальное распределение значений S_w в выделенных районах совместно с отмеченными выше чертами термического режима вод позволяют выделить все основные факторы, участвующие в формировании соленостного режима вод: таяние массива льда весной, образование летнего минимума значений S_w под влиянием Амура, а также апвеллинг вод и их осеннее распреснение, которое наиболее отчетливо проявляется вдоль побережья о. Сахалин и менее выражено в мористых районах 2 и 4.

ПРОСТРАНСТВЕННО–ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОХАЛИННЫХ ПАРАМЕТРОВ

Анализ изменчивости значений T_w по акватории северо–восточного шельфа (рис. 4) позволяет заключить, что на поверхности минимальный диапазон ее изменений ($\sim 0.15^\circ\text{C}$)

(А)

<i>Зима</i>	<i>Весна</i>	<i>Лето</i>	<i>Осень</i>
-------------	--------------	-------------	--------------



(Б)

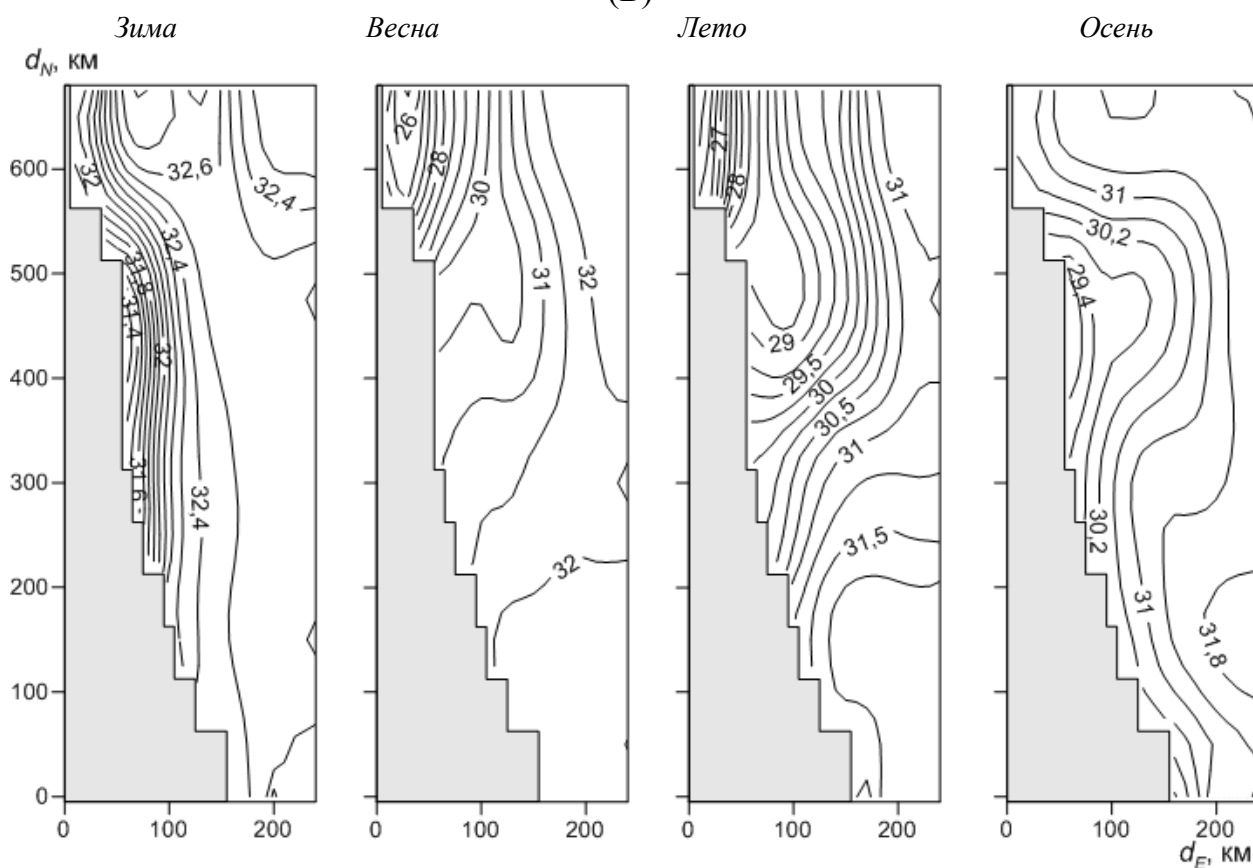


Рисунок 4. Пространственно-временное распределение по сезонам терموхалинных показателей на поверхности на северо-восточном шельфе о. Сахалин: T_w (А) и S_w (Б) наблюдается в зимний период. Эта величина практически соответствует точности методики восстановления этого параметра, поэтому делать какие-либо выводы об особенностях

пространственного распределения T_w представляется не вполне корректным. Пространственные различия в абсолютных значениях T_w поверхностных вод начинают формироваться на фазе их прогрева весной. К ним следует отнести области понижения T_w вдоль побережья и повышения в мористой зоне. Разность средних значений T_w в этих зонах отмечается уже в мае, в июне и сентябре (составляет 2°C), а в августе достигает максимума ($>4^{\circ}\text{C}$). По результатам более ранних исследований максимальные различия значений T_w ($>3^{\circ}\text{C}$) отмечались в сентябре [14]. Формированию апвеллинга в прибрежной зоне способствуют юго–восточные ветра летнего муссона, которые способствуют развитию вдоль берега течения северного направления. Согласно теории Экмана, это течение начинает отклоняться вправо [1], что и обуславливает компенсационный подъем более холодных вод с нижних горизонтов в береговой зоне. Наиболее отчетливо он выражен на участке побережья от 49 до 52° с.ш. В мористых районах отмечаются преимущественно нисходящие движения вод.

По мере прогрева вод в летний период размеры выделенных выше структурных образований изменяются, но в целом картина их пространственного распределения остается неизменной. Существенная перестройка полей температуры наблюдается осенью после смены муссона. Северо–западные ветра в совокупности с колебаниями уровня вод на севере и юге Охотского моря способствуют развитию общего переноса вод вдоль его западного побережья в южном направлении и, в частности, интенсификации Восточно–Сахалинского течения [19, 20, 27]. Поступление более холодных вод из северо–западной части Охотского моря обуславливает формирование температурного фронта, который в течение ноября перемещается через всю исследуемую акваторию в юго–западном направлении и прослеживается до горизонтов $30\text{--}50$ м (рис. 4). Прохождением фронтальной зоны объясняются заметные различия значений T_w в осенний период в северных районах 1 и 2, по сравнению с южными районами 3 и 4. К концу декабря градиенты T_w на поверхности сглаживаются и в холодный период года устанавливается малоградиентное поле. Наличие фронтальной зоны в ноябре можно видеть в [14], но из-за локальности пространственного масштаба ее описания не приводилось. Также в указанной работе представляется завышенным на $2\text{--}3^{\circ}\text{C}$ общий фон T_w в ноябре.

В отличие от T_w пространственное изменение значений S_w более наглядно отражает динамику вод в деятельном слое. Это хорошо видно при анализе ежемесячных карт S_w , где практически в течение года на поверхности и подповерхностных горизонтах вдоль всего побережья отчетливо прослеживается зона распресненных вод шириной до 100 км. Как было отмечено выше, это следствие контакта струи Восточно–Сахалинского течения с распресненными водами Сахалинского зал. Исключением здесь является период с июня по

август, когда воды Восточно–Сахалинского противотечения вплотную подходят к северо–восточному берегу Сахалина, что обуславливает формирование перпендикулярно берегу фронтальной зоны с повышенными градиентами солености в верхнем 20-метровом слое (рис. 4А). Осенью за счет интенсификации потока Восточно–Сахалинского течения ширина вдольбереговой зоны может увеличиваться в два и более раза. Кроме того, дополнительный вклад в процесс понижения значений S_w в прибрежной зоне вносит паводковый сток с берега.

Поскольку S_w является более консервативной характеристикой по сравнению с T_w , то полученные карты распределения S_w в целом подтверждают результаты выполненных ранее исследований как по колебаниям абсолютных величин S_w , так и по ее пространственно–временному распределению. Следует отметить, что в данной работе представлена бóльшая детализация этого процесса и, конечно же, как и для T_w , впервые приведены картины распределения параметров в зимний период подо льдом.

Таким образом, пространственно–временное распределение значений T_w и S_w позволяют выделить основные черты динамики вод исследуемого района. Главным элементом, несомненно, является струя вод Восточно–Сахалинского течения, которая наиболее отчетливо выражена в предзимье и зимой подо льдом. Другим структурным элементом служит фронтальная зона, формирующаяся в верхних слоях в теплое время года в районе 52° с.ш. Причины их образования и пространственная изменчивость будут обсуждаться ниже при анализе расчетной циркуляции вод.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД

Результаты выполненных ранее диагностических расчетов свидетельствуют, что в теплый период года основными элементами циркуляции вод в исследуемом районе являются Восточно–Сахалинское течение, Восточно–Сахалинское противотечение, а также антициклонический вихрь, который наблюдается к востоку, юго-востоку от п-ова Терпения. [10–11, 14, 19]. Вопросы циркуляции вод в зимний период на свободных ото льда акваториях специально рассматривались в [30]. В результате были выявлены различия зимних и летних схем циркуляции вод и отмечена связь особенностей циркуляции и термохалинных характеристик вод с суровостью зимних условий. Первая попытка восстановления значений T_w и S_w для расчета циркуляции вод для всей акватории Охотского моря в зимний период была предпринята в [32]. В ней расчеты выполнялись по квадратам $1 \times 1^\circ$ по широте и долготе только для февраля. При анализе результатов расчетов было установлено, что общая зимняя циклоническая циркуляция вод Охотского моря нарушается частично лишь в районе северного шельфа и что имеется существенная изменчивость характера движения вод в зависимости от ледовитости зимнего периода.

Как отмечалось выше, расчет циркуляции вод впервые производился для каждого месяца. По результатам выполненных расчетов в годовом цикле циркуляции вод в поверхностном слое можно выделить существование двух противоположно направленных вдольбереговых потоков: с октября по май струя вод Восточно–Сахалинского течения, шириной 50–100 км, движется с северо–северо–запада на юго–юго–восток, прижимаясь к самому берегу Сахалина, а за границей шельфа (к востоку от 200-метровой изобаты) – имеется приблизительно такой же ширины поток Восточно–Сахалинского противотечения, направленный на север. В июле–августе все вдольбереговое пространство на расстоянии до 150–180 км занимает струя вод Восточно–Сахалинского противотечения (рис. 5). В июне и сентябре происходит перестройка движения вод и оба течения в виде единой струи в поверхностных горизонтах не прослеживаются.

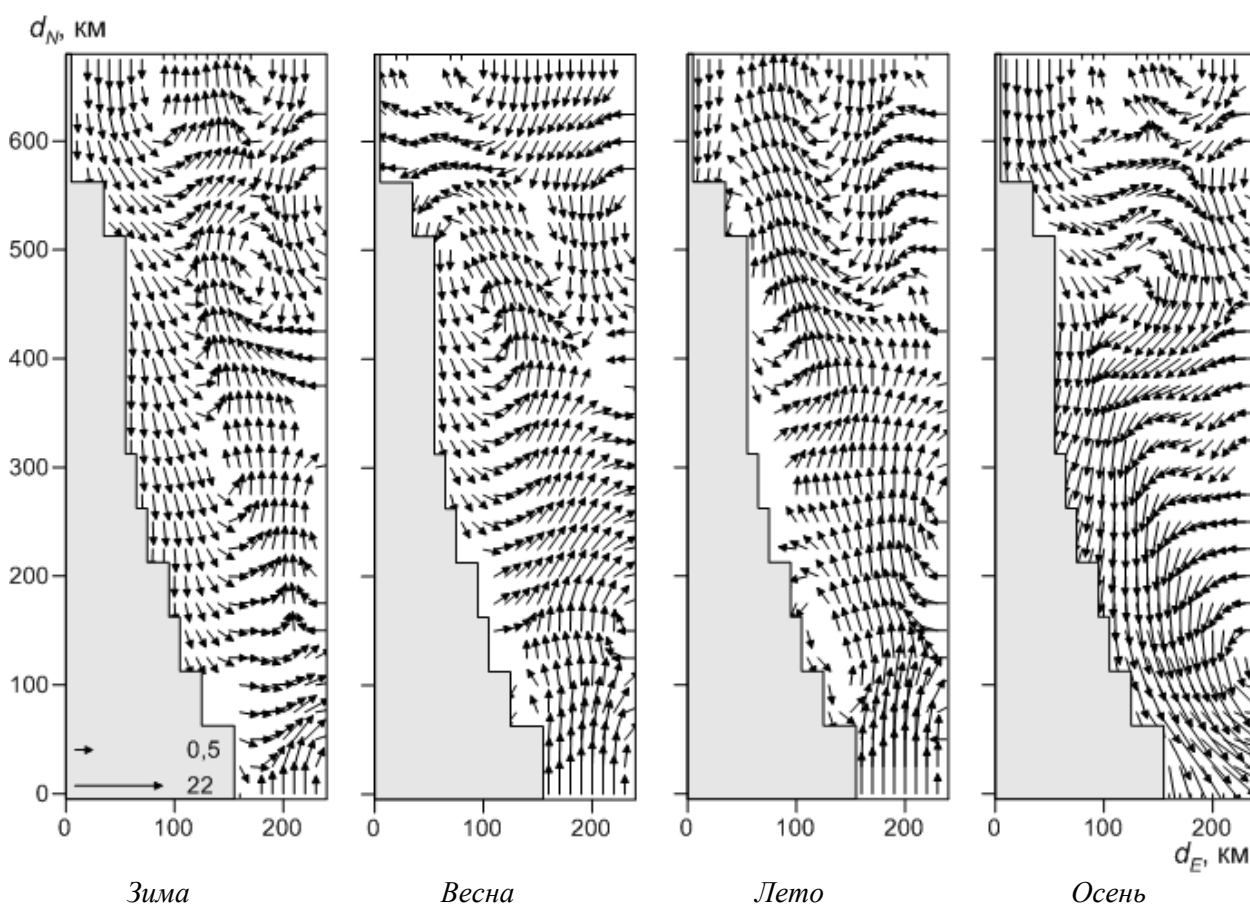


Рисунок 5. Циркуляция вод на поверхности на северо-восточном шельфе о. Сахалин по сезонам

В течение года Восточно–Сахалинское течение практически существует в виде двух самостоятельных отдельных струй: поверхностной (от 0 м до глубины 50–75 м) и глубинной (от 100 до 1000 м), что хорошо видно на разрезах меридиональной составляющей скорости течения (рис. 6). Скорости течения в поверхностном слое варьируют от 4.0–5.0 см/с в

феврале–марте до 21.5–17.0 см/с соответственно в ноябре и декабре. На горизонте 50 м абсолютные значения скоростей на 2.0–5.0 см/с ниже, чем на поверхности. Нижняя граница основной струи течения в период его максимальной интенсивности на севере района 1 располагается на глубинах 1100–1200 м. По мере продвижения на юг, а также в период своей минимальной интенсивности Восточно-Сахалинское течение прослеживается до глубин 800–900 м (рис. 6).

Восточно–Сахалинского противотечение наиболее активно летом (июль–август) (рис. 5, 6). В период своего максимального развития скорость движения основной струи на поверхности достигает 15–17 см/с, а нижняя его граница в это время располагается на 200–250 м. По мере активизации в предзимье Восточно–Сахалинского течения, противотечение постепенно опускается в подповерхностные горизонты и прослеживается на глубинах от 50 до 350 м на севере и от 150 до 450 м на юге исследуемого района. Однако в январе (подо льдом) оно вновь начинает проявляться в поверхностных горизонтах, а в феврале значения скоростей Восточно–Сахалинского противотечения уже превышают скорости основного потока Восточно–Сахалинского течения на 1–2 см/с.

Таким образом, основные элементы движения и циркуляции вод на северо-восточном шельфе Сахалина – это Восточно–Сахалинское течение и Восточно–Сахалинское противотечение, которые присутствуют в разные периоды года постоянно, но интенсивность переноса вод этими потоками меняется в значительных пределах и во времени, и в пространстве: в ноябре–декабре в поверхностных горизонтах доминирующим является движение вод в южном направлении, а в июле–августе – в северном. Впервые отмечено, что в подповерхностных горизонтах Восточно–Сахалинское течение и Восточно–Сахалинское противотечение существуют в постоянном режиме. Активизация Восточно–Сахалинского противотечения в теплый период года ограничивает движение распресненных вод на юг в поверхностном слое (до 20 м) и способствует формированию фронтальной зоны в районе 52–53° с.ш.

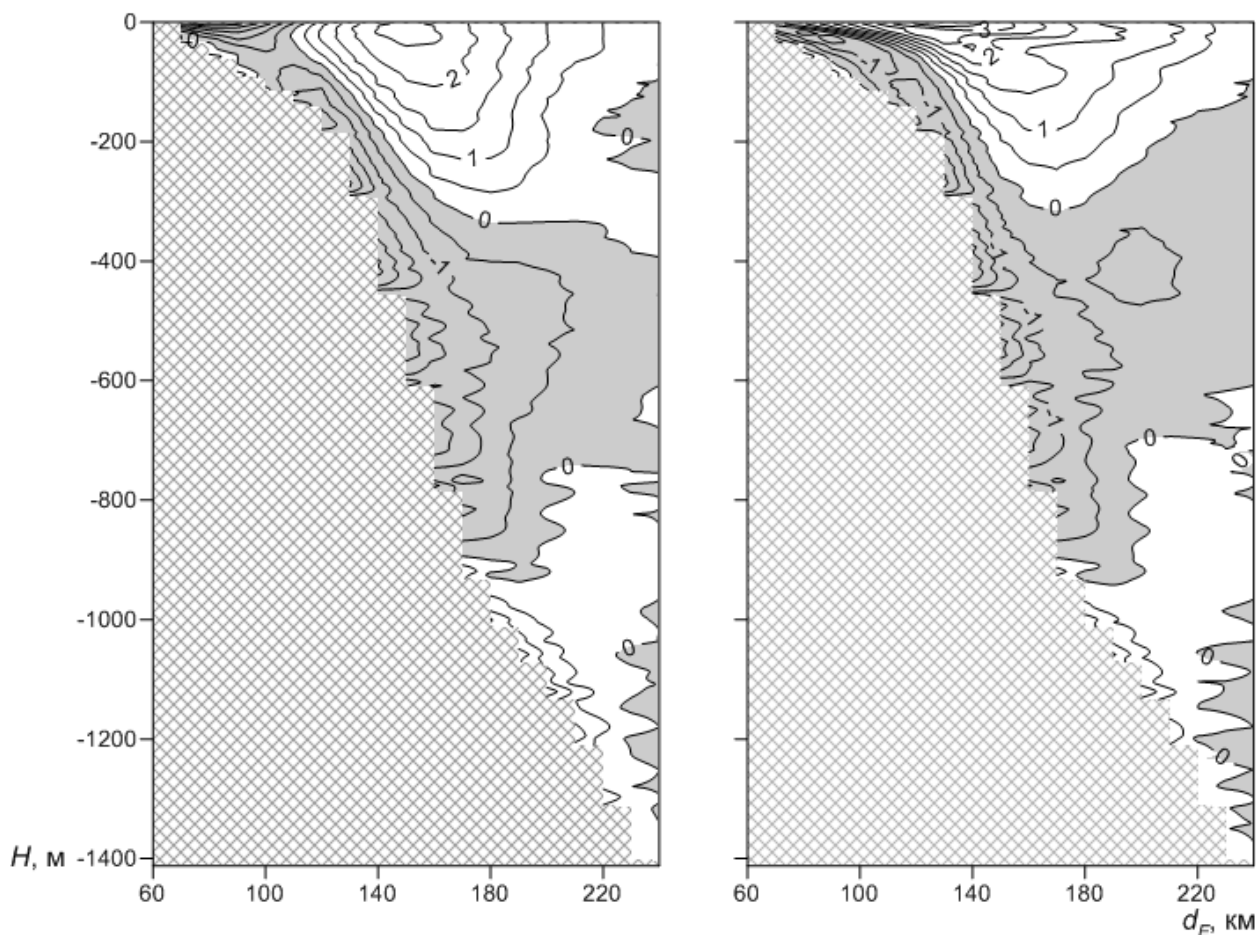


Рисунок 6. Пространственное распределение меридиональной составляющей скорости переноса вод на разрезе I на северо-восточном шельфе о. Сахалин в феврале (слева) и в августе (справа). Затемненные области – движение вод на юг

Вполне естественно, что в результате движения вод на акватории района в противоположных направлениях формируются квазистационарные вихревые структуры. Так, по мере ослабления основного потока Восточно-Сахалинского течения в декабре начинает проявляться антициклонический вихрь с координатами центра 53° с.ш. и 145° в.д. Максимального развития (до 80 миль в диаметре) в поверхностных горизонтах вихрь достигает в январе-феврале. В период активизации Восточно-Сахалинского течения данный вихрь явно не выражен, но в подповерхностных горизонтах (30–100 м) он прослеживается в течение всего года. Существование этого вихря обуславливает опускание вод в его центре и, соответственно, объясняет характер распределения здесь значений T_w и S_w .

На этой же долготе на два градуса ниже по широте наблюдается квазистационарный вихрь противоположной направленности вращения (приблизительно таких же горизонтальных размеров). Он обуславливает преимущественный подъем глубинных вод, что наряду с летним прибрежным апвеллингом делает район 3 самым холодным на исследуемой акватории северо-восточного шельфа о. Сахалин (рис. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная авторами технология восстановления термохалинной структуры вод, позволило корректно рассчитать годовой ход значений T_w и S_w для каждого горизонта для всех океанографических станциях на сети стандартных разрезов.

В годовом ходе максимум значений T_w в поверхностном слое наблюдается в середине третьей декады августа. В мористых районах, где происходит преимущественное опускание вод, он может наступать раньше на ≥ 3 сут. Прогрев верхнего квазиоднородного слоя вод в весенне–летний период не распространяется глубже 30 м, но в результате осеннего штормового перемешивания вод толщина этого слоя увеличивается до 75–85 м. На поверхности продолжительность периода с отрицательными значениями T_w варьирует в среднем от 161 до 185 сут, при этом в течение трех месяцев (с конца января до конца апреля) значения T_w минимальны и соответствуют температуре замерзания воды. Минимум T_w на горизонте 100 м наступает в конце мая–начале июня. В верхнем 50-метровом слое выравнивание значений T_w до $\sim -1.2^\circ\text{C}$ происходит после начала прогрева вод: в мористых районах в конце апреля, а в прибрежных – в середине мая.

В годовом ходе значений S_w на всех горизонтах верхнего 100-метрового слоя отчетливо прослеживается зимний максимум, который наступает в феврале–марте и продолжается по апрель включительно. Для верхнего 20-метрового слоя северной части исследуемой акватории характерен летний минимум значений S_w , обусловленный влиянием вод р. Амур (понижение значений S_w в среднем до $<28\text{‰}$). Осенний минимум S_w наблюдается в октябре–ноябре и является следствием интенсификации Восточно–Сахалинского течения, соленость вод которого в результате контакта с распресненными водами Сахалинского зал. значительно понижается (особенно заметно это на западной периферии водного потока). Для всего района исследований размах колебаний значений S_w на горизонте 50 м в среднем превышает 1.5‰.

Основными элементами циркуляции вод являются струи вод Восточно–Сахалинского течения и Восточно–Сахалинского противотечения. Восточно–Сахалинское течение наиболее отчетливо прослеживается в береговой зоне шириной 50–100 км в предзимье и в холодный период года подо льдом. Его максимальная расчетная скорость 21.5 см/с приходится на ноябрь, а минимальные скорости на поверхности (4.0–5.0 см/с) отмечаются в феврале–марте. Восточно–Сахалинское противотечение наиболее активно летом: в июле–августе оно занимает все вдольбереговое пространство на расстоянии до 150–180 км, максимальная расчетная скорость потока достигает 15–17 см/с. В периоды своего максимального развития основные струи течений тяготеют к поверхностным горизонтам, но с уменьшением скорости

происходит их заглупление. Наиболее активная перестройка полей течений происходит в июне и в сентябре.

Важными структурными элементами, влияющими на океанологический режим вод, являются фронтальная зона (формируется в верхнем 20-метровом слое в теплое время года в районе 52° с.ш.) и квазистационарные вихревые структуры. Вихрь антициклонической направленности вращения находится в районе с координатами центра 53° с.ш. и 145° в.д. Максимального развития (до 80 миль в диаметре) в поверхностных горизонтах вихрь достигает в январе–феврале. Существование этого вихря обуславливает опускание вод в его центре и, соответственно, объясняет характер распределения здесь значений T_w и S_w . Сопряженный квазистационарный вихрь противоположной направленности вращения (примерно таких же горизонтальных размеров) располагается по широте на этой же долготе на два градуса южнее (51° с.ш.). Он обуславливает преимущественный подъем глубинных вод, что наряду с летним прибрежным апвеллингом вод делает район 3 самым холодным на исследуемой акватории восточного шельфа о. Сахалин.

Полученные результаты расчетов будут использованы в качестве входных данных в гидроэкологическую CNPSi-модель для оценки трансформации органических веществ в водах северо-восточного шельфа о. Сахалин. Эти работы планируется выполнять в рамках НИР в 2014-2016 гг.

Кроме фундаментального значения результаты исследований, выполненных по теме НИР, имеют практическую значимость и могут быть применены уже в настоящее время при:

- моделировании дрейфа нефтяных загрязнений, в том числе и при наличии ледяного покрова на акваториях, прилегающих к о. Сахалин;
- расчетах биологической продуктивности вод Охотского и Японского морей для определения величин предельного вылова гидробионтов;
- разработке рекомендованных маршрутов зимнего плавания для супертанкеров и газозавозов при транспорте нефтяных углеводородов, а также для судов, обслуживающих нефтегазодобывающие платформы на шельфе о. Сахалин.

В связи с досрочным прекращением НИР большая часть исследований не была доведена до этапа законченных методических разработок. На предварительной стадии результаты работ были отражены в следующих публикациях и дипломных проектах:

1. Минервин И.Г. Исследование ледовых условий Охотского моря с целью предотвращения экологических рисков / Ученые записки Сахалинского государственного университета / И.Г. Минервин, В.М. Пищальник . – Вып. IX/2012. – С. 70-76.

2. Леонов А.В. Моделирование природных процессов. Теоретические основы: учебное пособие / А.В. Леонов, В.М. Пищальник. – Южно-Сахалинск: изд-во СахГУ, 2012. –228 с.

3. Леонов А.В., Пищальник В.М., Зарипов О.М. Моделирование природных процессов: система отображения результатов расчетов на C,N,P,Si-модели: учебное пособие / А.В. Леонов, В.М. Пищальник, О.М. Зарипов. – Южно-Сахалинск: СахГУ, 2012. –160 с.

4. Minervin I.G., Pishchalnik V.M. Monitoring of ice Conditions in the Sea of Okhotsk as a Factor for Preventing Ecological Risk Connected with Oil and Gas Projects // Proceedings of the 2nd International Meeting of Amur-Okhotsk Consortium 2011 / Towards the sharing of environmental data in the Pan Okhotsk region. – Amur-Okhotsk Consortium c/o Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, March 2012.- P. 65-74.

5. Леонов А.В., Пищальник В.М., Чичерина О. В. Анализ функционирования экосистемы Татарского пролива (Японское море) с помощью математического моделирования / Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах // Материалы V Всероссийского симпозиума с международным участием 10-14 сентября 2012 г. Петрозаводск, Республика Карелия, 2012. – Петрозаводск, Карельский научный центр РАН, 2012. – С. 326-330.

6. Pishchalnik V.M. Okhotsk Sea Ice Cover Zoning / V.M. Pishchalnik, V.S. Tambovsky, P.A. Truskov, I.G. Minervin, V.A. Melkiy, V.A. Romanyuk, A.A. Galtsev // Proceedings of the 28th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice. 17-21 February 2013, Mombetsu, Hokkaido, Japan. – С. 312-315.

7. Pishchalnik V.M. Mathematical modeling and analysis of Tatar Strait ecosystem functioning. Part 1. Abiotic environment factors / V.M. Pishchalnik, V.S. Arkhipkin, A.V. Leolov // Proceedings of the 28th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice. 17-21 February 2013, Mombetsu, Hokkaido, Japan. – С. 316-319.

8. Pishchalnik V.M. Mathematical modelling of water circulation on eastern shelf of Sakhalin Island / V.M. Pishchalnik, V.S. Arkhipkin, A.V. Leolov, I.G. Minervin, V.A. Melkiy // Proceedings of the 28th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice. 17-21 February 2013, Mombetsu, Hokkaido, Japan. – С. 300-304.

Выпускные квалификационные работы студентов СахГУ 2012-2013 гг:

1. Воронич В.В. Влияние ледяного покрова на промысел гидробионтов в Охотском море // ВКР, СахГУ, 2012. - 84 с. (рукопись)
2. Зенкин С.О. Изучение закономерностей формирования полыньи на северо-восточном шельфе Сахалина с применением геостатистических методов // ВКР, СахГУ, 2013. - 74 с. (рукопись)
3. Силкина Е.В. Влияние циклонической активности атмосферы на даты смены сезонов // ВКР, СахГУ, 2013. - 94 с. (рукопись)
4. Попова Н.С. Исследование взаимосвязи типов атмосферных процессов с ледовитостью охотского моря в 2001-2012 гг. // ВКР, СахГУ, 2013. - 91 с. (рукопись)
5. Тимонин Е.А. Влияние ледяного покрова на промысел гидробионтов в Японском море // ВКР, СахГУ, 2012. - 91 с. (рукопись)
6. Усенко А.В. Пространственно-временная изменчивость ледовых условий в отдельных районах Охотского моря по данным дистанционного зондирования Земли // ВКР, СахГУ, 2013. - 76 с. (рукопись)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Архипкин В.С.* Особенности структуры и динамики прибрежного апвеллинга в Каспийском море // Каспийском море. Структура и динамика вод. М: Наука, 1990. С. 61–74.
2. *Гладышев С.В.* Термохалинная структура вод придонного слоя на северном шельфе Охотского моря // Метеорология и гидрология. 1998. № 3. С. 54–64.
3. *Гладышев С.В.* Термохалинная структура вод придонного слоя на северном шельфе Охотского моря // Метеорология и гидрология. 1998. № 4. С. 73–81.
4. *Гладышев С.В., Аржанова Н.В., Налетова И.А., Сапожников В.В.* Межгодовая изменчивость скорости формирования осолоненных вод в полыньях Охотского моря и их влияние на гидрохимическую структуру шельфа // Океанология. 1998. Т. 38. № 6. С. 857–862.
5. *Иванов В.В., Пищальник В.М., Леонов А.В., Любичкий Ю.В.* К прогнозу разрушения ледяного покрова в устьях крупных рек // Изв. РАН. Сер. геогр. 2011. № 5. С. 52–59.
6. *Леонов А.В., Пищальник В.М., Архипкин В.С.* О циркуляции вод в Татарском проливе // Вод. Ресурсы. 2010. Т. 37. № 6. С. 657–670.
7. *Леонов А.В., Пищальник В.М., Архипкин В.С.* Оценка переноса водными массами биогенных веществ в Татарском проливе // Вод. Ресурсы. 2011. Т. 38. № 1. С. 65–79.
8. *Леонов А.В., Пищальник В.М., Чичерина О.В.* Трансформация биогенных веществ в водах Татарского пролива (Японское море): анализ результатов математического моделирования // Вод. ресурсы, 2010. Т. 37. № 1. С. 33–57.
9. *Леонов А.В., Пищальник В.М., Чичерина О.В.* Моделирование загрязнения морской среды нефтяными углеводородами и их биотрансформации в водах Татарского пролива // Вод. ресурсы. 2010. Т. 37. № 2. С. 225–238.
10. *Лучин В.А.* Диагностический расчет циркуляции вод Охотского моря в летний период // Труды ДВНИИ. 1982. Вып. 96. С. 69–77.
11. *Лучин В.А.* Циркуляция вод Охотского моря и особенности ее внутригодовой изменчивости по результатам диагностических расчетов // Труды ДВНИИ. 1987. Вып. 36. С. 3–13.
12. *Лучин В.А.* Сезонная изменчивость температуры воды в деятельном слое Дальневосточных морей // Дальневосточные моря России. Книга 1. Океанологические исследования. М: Наука, 2007. С. 232–252.
13. *Лучин В.А., Жигалов И.А.* Межгодовые изменения типовых распределений температуры воды в деятельном слое Охотского моря и возможность их прогноза // Изв. ТИНРО, 2006. Т.147. С. 183–204.
14. *Лучин В.А., Лаврентьев, В.М., Яричин В.Г.* Гидрологический режим // Проект "Моря". Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. IX. Охотское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеиздат, 1998. С. 92–175.
15. *Мамаев О.И., Архипкин В.С., Тужилкин В.С.* T,S-анализ вод Черного моря // Океанология. 1994. Т. 34. № 2. С. 178–192.
16. *Минервин И.Г., Пищальник В.М., Мелкий В.А. и др.* Анализ причин формирования экстремальных ледовых условий в Охотском море // Физика геосфер: VII-й Всерос. Симпозиум, 5–9 сентября 2011 г., Владивосток, Россия: мат. докл. / Учреждение Российской академии наук Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН. Владивосток: Дальнаука, 2011. С. 174–182.
17. *Пищальник В.М., Архипкин В.С., Леонов А.В.* Термохалинный анализ вод пролива Лаперуза // Вод. ресурсы. 2005. Т. 32. № 1. С. 18–27.
18. *Пищальник В.М., Архипкин В.С., Леонов А.В.* Восстановление среднемесячных термохалинных полей в Татарском проливе // Вод. ресурсы. 2009. Т. 36. № 6. С. 655–667.
19. *Пищальник В.М., Архипкин В.С., Юрасов Г.И., Ермоленко С.С.* Сезонные вариации циркуляции вод в прибрежных районах Сахалина // Метеорология и гидрология. 2003. № 5. С. 87–95.

20. *Пицальник В.М., Бобков А.О.* Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин. Южно-Сахалинск: СахГУ, 2000. Ч. I. 174 с. Ч. II. 108 с.
21. *Пицальник В.М., Бобков А.О.* Моделирование природных процессов на основе ГИС «Сахалинский шельф». Южно-Сахалинск: СахГУ, 2008. 104 с.
22. *Пицальник В.М., Климов С.М.* Каталог глубоководных наблюдений, выполненных в шельфовой зоне острова Сахалин за период 1948–1987 гг. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО АН СССР, 1991. 168 с.
23. *Пицальник В.М., Леонов А.В.* Опыт совместного применения электронного океанографического атласа и имитационной математической модели для исследования процессов биотрансформации органических веществ в проливе Лаперуза // Труды СахНИРО, 2002. Т. 4. С. 22–47.
24. *Пицальник В.М., Леонов А.В.* Изучение условий функционирования экосистемы залив Анива – пролив Лаперуза // Вод. Ресурсы. 2003. Т. 30. №5. С. 616–636.
25. *Пицальник В.М., Леонов А.В., Архипкин В.С., Мелкий В.А.* Моделирование условий функционирования экосистемы Татарского пролива. Южно-Сахалинск: СахГУ, 2011. 104 с.
26. *Пицальник В.М., Покрашенко С.А., Леонов А.И., Гальцев А.А.* Особенности развития ледяного покрова Охотского моря в 2001-2006 гг. / Сборник статей РЭА №1 «Экологические аспекты освоения нефтегазовых месторождений». – Владивосток: Дальнаука, 2009. – С. 185–197.
27. *Поезжалова О.С., Шевченко Г.В.* Вариации среднего уровня Охотского моря // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Том VIII. Цунами и сопутствующие явления. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. – С. 131–144.
28. *Полунин Г.В.* Объяснительная записка к карте литодинамических комплексов и экзогенных процессов суши и шельфа Сахалина масштаба 1:500000. Южно-Сахалинск, ИМГиГ ДВО РАН, 1992. 134 с.
29. *Романюк В.А., Пицальник В.М., Минервин И.Г. и др.* Исследование влияния сроков смены сезонов на ледовитость Охотского и Японского морей // Физика геосфер: Седьмой Всероссийский симпозиум, 5–9 сентября 2011 г., г. Владивосток, Россия: мат. докл. / Учреждение Российской академии наук Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения РАН. Владивосток: Дальнаука, 2011. С. 218–224.
30. *Фигуркин А.Л.* Океанологические условия шельфа и склона Охотского моря в холодную половину года и их влияние на нерест минтая: Дис. На соиск. уч. ст. канд. географ. наук. Владивосток, ТОИ ДВО РАН, 2003. 157 с.
31. *Шейкин И.Б., Трусков П.А., Пицальник В.М.* Кумулятивный анализ метеорологических рядов для оценки и прогноза ледовых условий и изменений климата (по данным НДП Молихпак за 1999–2008 годы). // Труды RAO / GIS Offshore 2009. Proceedings. Санкт-Петербург, 15–18 сентября, 2009. СПб.: Химиздат, 2009. Т.1. С. 230–238.
32. *Шутова М.М.* Зимняя циркуляция вод Охотского моря в экстремальные и средние по ледовитости годы. Дисс. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. Владивосток: ДВГУ, 2006. 138 с.
33. *Berntsen J.* Users guide for a modesplit-coordinate numerical ocean model. Bergen: University of Bergen, 2004. 51 p.
34. *Leonov A.V., Pishchal'nik V.M., Arkhipkin V.S. and Chicherina O.V.* Specific Features of Water Circulation and Biogenic Substance Transformation and Transport in Tatar Strait (Sea of Japan): Assessment Based on the Results of Mathematical Modeling // Water Resources, 2010. Vol. 37. No. 4. PP. 528–564.
35. *Pishchalnik V.M., Ivanov V.V., Lubitsky Y.V., Galtsev A.A.* The ice breaks data forecast by data of solar activity // Proceedings of the 21st International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice. 19–24 February 2006. Japan. Hokkaido: Mombetsu, 2006. PP. 220–222.

ЛИСТ ДЛЯ ЗАМЕЧАНИЙ