

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САХАЛИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ  
ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ**

*Коллективная монография*

***Под ред.:***

*В. М. ПИЩАЛЬНИКА, д-ра техн. наук,  
А. В. ЛЕОНОВА, д-ра хим. наук, профессора*

Южно-Сахалинск  
СахГУ  
2020

УДК 004.9  
ББК 32.97  
Ц752

Серия «Монографии ученых  
Сахалинского государственного университета»  
основана в 2003 году.

**Рецензенты:**

**Петухов В. И.**, д-р техн. наук, профессор, ДВФУ;  
**Зенкин О. В.**, канд. техн. наук, СахГУ.

**Коллектив авторов:**

**Пищальник В. М.**, доктор технических наук,  
главный научный сотрудник НИЛ ДЗЗ СахГУ и РАН;  
**Леонов А. В.**, доктор химических наук, профессор,  
главный научный сотрудник Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН;  
**Минервин И. Г.**, кандидат физико-математических наук,  
врио директора СКБ САМИ ДВО РАН;  
**Никулина И. В.**, научный сотрудник НИЛ ДЗЗ СахГУ и РАН;  
**Дорофеева Д. В.**, научный сотрудник НИЛ ДЗЗ СахГУ и РАН;  
**Романюк В. А.**, кандидат географических наук, руководитель группы  
ледовых технологий ООО «РН-СахалинНИПИморнефть»;  
**Бобков А. О.**, ведущий программист, ООО «Экологическая компания Сахалина»;  
**Архипкин В. С.**, кандидат географических наук, доцент,  
МГУ им. М. В. Ломоносова, географический факультет;  
**Шумилов И. В.**, программист, ООО «Региональный центр консультант»;  
**Никонова Е. В.**, ведущий ГИС-картограф, ООО «Экологическая компания Сахалина».

**Ц752 Цифровые технологии при моделировании природных процессов** : коллективная монография / В. М. Пищальник, А. В. Леонов, И. Г. Минервин [и др.] ; под ред.: В. М. Пищальника, А. В. Леонова. — Южно-Сахалинск : СахГУ, 2020. — 164 с.  
**ISBN 978-5-88811-617-3**

Авторами монографии сделана попытка обобщения накопленного опыта применения цифровых технологий в практике разнонаправленных научных исследований на переходном этапе к работе с большими данными. Анализ результатов работы с большими данными на всех этапах исследований (от организации производства наблюдений до обработки данных и системного анализа полученных результатов) является важным этапом формирования современного научного подхода к исследованиям состояния окружающей природной среды. Это только небольшой пласт возможной реализации и применения цифровых технологий, ориентированный на решение конкретных задач экономического развития Сахалинской области. Планируемое кратное увеличение грузопотока по Северному морскому пути потребует уже в ближайшем будущем обеспечения ледовой информацией судов, перевозящих грузы по Дальневосточному транспортному коридору, который является продолжением Северного морского пути в замерзающих дальневосточных морях, и судам в течение четырех-пяти месяцев в году придется преодолевать специфический ледяной покров.

Монография может быть полезна в качестве дополнительного учебного пособия для бакалавров, магистрантов и специалистов, изучающих технические и естественные науки, а также для аспирантов и научных работников, занимающихся изучением условий состояния природной среды в современный период изменения климата планеты, как практическое руководство для перехода к работе с большими данными.

УДК 004.9  
ББК 32.97

# СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ</b> .....                                                                      | 5  |
| <b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....                                                                                  | 6  |
| <b>ГЛАВА 1.</b>                                                                                        |    |
| <b>ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОСНОВЕ АНАЛИЗА</b>                                                            |    |
| <b>ЛЕДОВЫХ ПРОЦЕССОВ</b> .....                                                                         | 9  |
| 1.1. Технические средства для получения сведений<br>о ледовом режиме Охотского и Японского морей ..... | 9  |
| 1.1.1. Методы и средства получения данных<br>о ледовитости дальневосточных морей .....                 | 9  |
| 1.1.2. Организация архива и базы данных НИЛ ДЗЗ .....                                                  | 10 |
| 1.1.3. ПК «ЛЕД» и программные алгоритмы обработки<br>данных .....                                      | 13 |
| 1.2. Основные научные результаты,<br>полученные с применением цифровых технологий .....                | 16 |
| 1.3. К вопросу прогнозирования ледовитости .....                                                       | 24 |
| Заключение к главе 1 .....                                                                             | 30 |
| Литература к главе 1 .....                                                                             | 31 |
| <b>ГЛАВА 2.</b>                                                                                        |    |
| <b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО</b>                                                        |    |
| <b>РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ</b>                                                      |    |
| <b>НА ОСНОВЕ ГИС «САХАЛИНСКИЙ ШЕЛЬФ»</b> .....                                                         | 33 |
| 2.1. Особенности структуры вод и водные массы .....                                                    | 34 |
| 2.2. Объемный T, S-анализ вод. ....                                                                    | 36 |
| 2.3. Моделирование циркуляции вод. ....                                                                | 44 |
| 2.4. Температура воды. ....                                                                            | 47 |
| 2.5. Соленость воды. ....                                                                              | 53 |
| 2.6. Условная плотность. ....                                                                          | 59 |
| 2.7. Растворенный в воде кислород .....                                                                | 59 |
| 2.8. Величина pH. ....                                                                                 | 68 |
| 2.9. Фосфаты .....                                                                                     | 70 |
| 2.10. Нитриты .....                                                                                    | 73 |
| 2.11. Силикаты .....                                                                                   | 77 |
| Заключение к главе 2 .....                                                                             | 79 |
| Литература к главе 2 .....                                                                             | 83 |
| <b>ГЛАВА 3.</b>                                                                                        |    |
| <b>МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ</b>                                                            |    |
| <b>С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОЙ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ</b>                                                    |    |
| <b>ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ</b>                                             |    |
| <b>ОРГАНОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (CNPSi-МОДЕЛЬ)</b> .....                                                     | 88 |
| 3.1. Особенности CNPSi-модели .....                                                                    | 89 |
| 3.2. Общая характеристика программы CNPSi-модели .....                                                 | 90 |

|                                                                                                                                                                         |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.3. Моделирование годового хода изменений концентраций соединений N и нефтяных углеводородов в заливе Анива с применением цифровой CNPSi-модели .....                  | 91         |
| 3.3.1. Районирование акватории залива Анива .....                                                                                                                       | 91         |
| 3.3.2. Характеристика входных данных для модельных расчетов .....                                                                                                       | 93         |
| 3.3.3. Анализ изменения концентраций биогенных веществ .....                                                                                                            | 97         |
| 3.3.4. Динамика концентраций нефтяных углеводородов и биомасс нефтеокисляющих бактерий .....                                                                            | 101        |
| Заключение к главе 3 .....                                                                                                                                              | 103        |
| Литература к главе 3 .....                                                                                                                                              | 104        |
| <br><b>ГЛАВА 4.</b>                                                                                                                                                     |            |
| <b>ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ МНОГОФАКТОРНОГО АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИВОТНЫХ .....</b>                                               |            |
| 4.1. Методика анализа и моделирования пространственно-временного распределения животных .....                                                                           | 108        |
| 4.2. Результаты моделирования пространственно-временного распределения животных на основе определения и анализа факторов среды и критериев сезонных мест обитания ..... | 116        |
| 4.3. Обобщенное представление результатов моделирования пространственно-временного распределения животных в пределах его ареала .....                                   | 121        |
| Заключение к главе 4 .....                                                                                                                                              | 124        |
| Литература к главе 4 .....                                                                                                                                              | 125        |
| <br><b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>                                                                                                                                             | <b>128</b> |
| <br><b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>                                                                                                                                             | <b>129</b> |
| Приложение 1 .....                                                                                                                                                      | 129        |
| Приложение 2 .....                                                                                                                                                      | 134        |
| Приложение 3 .....                                                                                                                                                      | 137        |
| Приложение 4 .....                                                                                                                                                      | 146        |

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

|                     |                                                                                            |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| БД                  | База данных                                                                                |
| БВ                  | Биогенные вещества                                                                         |
| ГМС                 | Гидрометеорологическая станция                                                             |
| ДЗЗ                 | Дистанционное зондирование Земли                                                           |
| ДТК                 | Дальневосточный транспортный коридор                                                       |
| ИСЗ                 | Искусственные спутники Земли                                                               |
| НИЛ ДЗЗ СахГУ и РАН | Научно-исследовательская лаборатория дистанционного зондирования Земли (ЮСНИС) СахГУ и РАН |
| ПО                  | Программное обеспечение                                                                    |
| СахГУ               | Сахалинский государственный университет                                                    |
| СУБД                | Система управления базами данных                                                           |
| СГДМ                | Сумма градусодней мороза                                                                   |
| СГДТ                | Сумма градусодней тепла                                                                    |
| СМП                 | Северный морской путь                                                                      |
| ЈМА                 | Japan Meteorological Agency<br>Японское метеорологическое агентство                        |
| ОВМ                 | Охотоморская водная масса                                                                  |
| ОВ                  | Органические вещества                                                                      |
| ПОВМ                | Поверхностная охотоморская летняя модификация                                              |
| ПТВМ                | Поверхностная тихоокеанская водная масса                                                   |
| ХПС                 | Холодный подповерхностный слой                                                             |
| NF                  | Нефтяные углеводороды                                                                      |

## ВВЕДЕНИЕ



В последние десятилетия особенно перспективными становятся обобщающие исследования проблем окружающей среды, которые должны проводиться на основе методологии системного анализа и математического моделирования, а также интенсивно развиваемых цифровых технологий. Необходимость проведения таких исследований становится все более актуальной и очевидной в эпоху глобального потепления при активном воздействии человека на окружающую среду. Примеров такого влияния достаточно (например, нерациональная добыча биоресурсов, интенсивное развитие отрасли нефтегазовой промышленности на суше и на море, интенсивная вырубка лесов, расширенное строительство промышленных объектов, рост маршрутов путей сообщения и др.), что приводит к существенным изменениям естественных условий окружающей среды, нарушениям ее ландшафтов и в целом ухудшению состояния природных экосистем.

Актуальность таких исследований напрямую связана с увеличением поступающей информации, для которой требуются носители большого объема данных, организация доступа к местам их хранения и высокая скорость обработки. Развитие компьютерных технологий и масштабируемых программных комплексов, которые появились в конце первого десятилетия 2000-х годов, позволяет решать такого рода задачи, и этот процесс в настоящее время становится альтернативой традиционных баз данных. В широком понимании большие данные – это общее название больших массивов структурированных и неструктурируемых данных и методов их обработки, анализ которых позволяет получать новые знания.

Обобщающие исследования, опирающиеся на большие данные, должны учитывать изменения многих параметров состояния среды обитания. Задачи и направления их могут быть разнообразными, включать анализ изменения физических, химических и биологических процессов, развивающихся в природной среде. Системный анализ позволяет выявлять влияние разных факторов на исследуемые показатели состояния среды обитания и, следовательно, объяснять и прогнозировать особенности пространственно-временной изменчивости показателей среды. Математическое моделирование при этом обеспечивает необходимый инструментарий – расчетный аппарат в виде стандартных или специально разрабатываемых алгоритмов и математических моделей, включающих комплекс алгоритмов разной сложности, которые необходимы для выполнения конкретных системных исследований проблем окружающей среды, а также выявления пространственно-временной изменчивости ее основных показателей.

Описанию конкретных достижений начального этапа работ с большими данными, выполненными в научно-исследовательской лаборатории дистанционного зондирования Земли Сахалинского государственного университета и Российской академии наук (НИЛ ДЗЗ), и посвящена данная монография. В каждом ее разделе представлены результаты анализа пространственно-временной изменчивости ряда характеристик изучаемых природных систем с применением традиционных технологий обработки данных и подготовительного перехода для работы с большими данными.

Первая глава (авторы: **Д. В. Дорофеева, И. Г. Минервин, И. В. Никулина, В. А. Романюк, И. В. Шумилов, Е. В. Никонова**) посвящена описанию методов организации приема, хранения и обработки тематической информации, а также оперативного доступа к данным. Дана характеристика имеющихся в НИЛ ДЗЗ технических средств приема спутниковой информации о состоянии ледяного покрова дальневосточных морей. Описаны разработанные алгоритмы и программные комплексы для обработки данных, структура организации хранения и доступа к данным с применением программного продукта PostgreSQL 9.6.11, совместимого с веб-геоинформационной платформой для широкого спектра задач GeoMixer. Приведены основные результаты исследований ледового режима Охотского и Японского морей, полученные в НИЛ ДЗЗ с применением цифровых технологий. В приложениях 1–3 представлены подробные инструкции для работы с программным комплексом «ЛЕД» и алгоритмами обработки гидрометеорологических данных.

Во второй главе (авторы: **В. М. Пищальник, А. О. Бобков, В. С. Архипкин**) показано применение ГИС «Сахалинский шельф» в качестве источника исходной гидролого-гидрохимической информации для исследования и анализа процессов, происходящих в водах на акватории пролива Лаперуза. Акватория пролива является своеобразным морским полигоном, где на ограниченном пространстве представлено практически все многообразие изменений гидролого-гидрохимических показателей морской среды шельфа Сахалина. Такого полного комплексного описания, основанного на единой информационной базе акватории пролива Лаперуза, до сих пор выполнено не было. Поэтому представленные в этом разделе новые результаты существенно дополняют имеющиеся представления о динамике вод в проливе, а также о режиме ряда гидрохимических параметров. Эта информация была использована для восстановления годового хода гидрохимических и гидробиологических параметров морской среды на основе разработанной гидроэкологической CNPSi-модели, подробное описание которой представлено в главе 3.

В главе 3 (авторы: **А. В. Леонов, В. М. Пищальник**) анализируются результаты исследования изменений химико-биологических показателей морской экосистемы, выполненных с помощью разработанной в 2015 г. в НИЛ ДЗЗ цифровой версии имитационной гидроэкологической CNPSi-модели. Модель описывает трансформацию органических и минеральных соединений органогенных элементов (C, N, P, Si) и нефтяных углеводородов в морской среде, осуществляемой сообществом организмов (гетеротрофные и нефтеокисляющие бактерии, три группы фито- и две группы зоопланктона) при учете сезонных изменений основных факторов морской среды (температура, освещенность, прозрачность, водный режим, естественная и антропогенная нагрузка по веществу на морскую среду). Модель применяется в исследованиях внутри- и межгодовых изменений концентраций растворенных органических и минеральных веществ указанных биогенных элементов, а также взвешенных веществ (обитающих в морской среде биомасс организмов), которые участвуют в преобразовании и круговороте имеющихся в морской среде химических компонентов и в образовании детрита (взвешенной отмершей биомассы организмов). Модель оценивает внешние и внутренние потоки веществ в рассматриваемой экосистеме, вычисляет продукционные показатели организмов сообщества. В качестве примера в данном разделе приведен фрагмент экологического исследования для акватории залива Анива – с характеристикой изменения в течение

года концентраций форм N и нефтяных углеводородов, а также биомасс основных организмов сообщества морской среды.

Четвертая глава (авторы: **И. В. Никулина, И. Г. Минервин**) посвящена применению современных цифровых технологий для анализа пространственно-временного распространения животных – видов-индикаторов состояния окружающей среды, к которым, например, относится консумент высшего порядка *Ursus Arctos*. В основу цифровой модели легли десятилетние натурные и дистанционные наблюдения, выполненные по выявлению закономерностей сезонного изменения мест обитания животных на изолированных островных территориях с учетом особенностей ландшафта местности, наличия источников питания и других факторов, а также современные методы моделирования и картографирования.

В условиях острова Сахалин фиксируемые нарушения природной среды обитания бурого медведя вызывают его агрессивное поведение (нападение на животных, людей, нанесение значимого материального ущерба), что требует проведения дополнительных наблюдений для предотвращения таких случаев.

Подобные исследования можно провести и для других представителей териофауны, а также крупных животных морских экосистем.

Результаты исследования могут быть использованы при эффективном планировании мероприятий по охране окружающей среды и формированию безопасной жизненной среды человека и животных.

Монография может быть полезна в качестве дополнительного учебного пособия для бакалавров, магистрантов и специалистов, изучающих технические и естественные науки. Несомненно, она будет полезна для аспирантов и научных работников, занимающихся изучением условий состояния природной среды в период современного изменения климата планеты и являться практическим руководством для перехода к работе с большими массивами количественной информации.

# ГЛАВА 1.

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЛЕДОВЫХ ПРОЦЕССОВ



Применение цифровых технологий при мониторинге ледовых процессов в замерзающих морях позволяет решать целый спектр как научных, так и практических задач. Ледовый режим Охотского моря и Татарского пролива имеет свои специфические особенности в силу их физико-географических условий и требует глубокого анализа для понимания и прогноза происходящих процессов. Для выявления связей между отдельными предикторами и ледовитостью морей используется массив различных гидрометеорологических параметров, которые организованы в единую информационную систему.

Для цифровой обработки данных, расчета параметров ледового режима разрабатываются алгоритмы и программные модули, позволяющие визуализировать данные, проводить их оценку и комплексный анализ, а также разрабатывать методики и методологии как долгосрочного, так и оперативного прогнозов ледовитости для обеспечения безопасности мореплавания при обслуживании шельфовых проектов, добычи биологических ресурсов, транспортировке грузов.

Специфической особенностью современных массивов информации являются их большие объемы, что обуславливает необходимость создания географической информационной системы.

### 1.1. Технические средства для получения сведений о ледовом режиме Охотского и Японского морей

#### 1.1.1. Методы и средства получения данных о ледовитости дальневосточных морей

Весь исторический массив наблюдений за ледовитостью дальневосточных морей по способам получения информации условно можно разделить на три этапа: судовой (1929–1960 гг.), авиационный (1957–1992 гг.) и спутниковый (1971 г. по н. в.) [Пищальник и др., 2011].

На первом этапе вычисление площади ледяного покрова, оценка состояния льда внутри массива и определение местоположения его кромок производились по нерегулярным судовым наблюдениям и эпизодическим данным ледовых авиационных разведок. Данные были представлены в виде карт фактической ледовой обстановки, затем переведены в табличный формат, имели многочисленные пропуски и не отличались большой точностью. Таблицы расчетных ежемесячных значений ледовитости по всему дальневосточным морям опубликованы ранее [Крыдин, 1964].

Второй этап – регулярные авиационные наблюдения за состоянием ледяного покрова с обязательным определением местоположения кромок льда. Ледовые авиационные разведки проводились планомерно один раз в декаду. Результаты наблюдений сводились в объединенные карты ледо-

вых условий (включая данные прибрежных наблюдений гидрометеорологических станций и постов), на основе которых выполнялись дальнейший анализ и статистические расчеты характеристик ледяного покрова [Плотников, Якунин, 1998; Плотников, 2002].

Основу наблюдений третьего этапа составляют данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). С 1971 г. ведутся регулярные наблюдения за состоянием ледяного покрова с искусственных спутников Земли (ИСЗ) на основе пассивного зондирования. В настоящее время наряду с данными ДЗЗ в видимом и инфракрасном диапазонах они являются главными источниками информации о состоянии ледяного покрова в арктических и замерзающих морях [Минервин, 2015; Романюк и др., 2017]. С 1978 г. сплоченность льда определяется с помощью спутниковых наблюдений в микроволновой области спектра, на которую практически не влияют погодные условия и освещенность. Несомненным достоинством спутниковых наблюдений считается съемка всей акватории моря в режиме реального времени, то есть эти данные не имеют ошибок (искажений), связанных с асинхронностью наблюдений.

Оценка результатов расчетов, полученных на основе данных ДЗЗ и авиационных наблюдений с 1971 по 1992 г., показала, что после установки на ИСЗ спектрорадиометров нового поколения погрешность в определении площади ледяного покрова разными методами не превышала 2 % [Пищальник и др., 2016; Пищальник и др., 2015]. При этом величина ошибки вычисления площади ледяного покрова, по данным судовых наблюдений, составила не более 10 % от площади исследуемого района [Крындин, 1964], а авиационных – 5 % [Плотников и др., 1998; Якунин и др., 1998].

### **1.1.2. Организация архива и базы данных НИЛ ДЗЗ**

В научно-исследовательской лаборатории дистанционного зондирования Земли СахГУ и РАН (НИЛ ДЗЗ) накоплена обширная база пространственной информации, которая ежедневно пополняется спутниковыми и гидрометеорологическими данными.

Технической основой для получения ежедневных спутниковых снимков, отражающих состояние ледяного покрова Охотского и Японского морей, в НИЛ ДЗЗ является аппаратно-антенный комплекс, произведенный в США компанией Orbital Systems. Одним из основных компонентов комплекса служит сервер для обработки данных HP DL380p Gen8 Server, на котором установлено программное обеспечение (ПО) DBPS, разработанное Earth Observing Systems. ПО позволяет обрабатывать спутниковые снимки нулевого уровня, принимаемые с космических аппаратов Terra, Aqua, Suomi NPP, Fengyun 3B, NOAA 18/19, MetOp-A/B.

Гидрометеорологическая информация, поступающая из интернет-источников открытого доступа, с помощью разработанных в НИЛ ДЗЗ скриптов загрузки автоматически обрабатывается сервером DBPS и сохраняется на сетевом диске.

Для организации и систематизации данных, возможности комплексного анализа и удобства пользования была создана тематическая БД на основе веб-картографической интеграционной платформы Scanex Web-GIS GeoMixer (GeoMixer) [Гараевская, Малюсова, 1976].

БД НИЛ ДЗЗ представлена следующим набором тематических разделов пространственных гидрометеорологических данных:

а) метеорологические данные: среднесуточная температура воздуха, скорость и направление ветра, количество выпавших осадков (за период с 1881 г. по настоящее время); синоптические карты-схемы приземного

анализа Japan Meteorological Agency (с 2001 по 2020 г.);

б) космические снимки – оперативные (принимаемые аппаратно-антенным комплексом лаборатории) и архивные со спутников Terra, Aqua, Landsat 7/8, Sentinel-1/2, находящиеся в открытом доступе в сети интернет;

в) ледовые карты, представленные:

1) архивными (с 1971 по 2019 г.) и оперативными (с 2007 по 2020 г.) цветокодированными картами-схемами ледяного покрова Охотского и Японского морей, с периодичностью съемки один раз в пентаду и два раза в неделю соответственно, выполненные в микроволновом спектральном диапазоне (<http://www.data.jma.go.jp.>);

2) картами сплоченности ледяного покрова в Охотском и Японском морях в целом (с 2003 по 2020 г.), получаемыми с помощью микроволновых сканирующих радиометров AMSR-E, WindSat, AMSR2 (<https://sharaku.eorc.jaxa.jp>);

3) картами-схемами сплоченности льда в южной части Охотского моря за период наблюдений с 1988 по 2019 г.;

4) ежедневными данными о состоянии ледяного покрова дальневосточных морей по данным мультиспектральной системы картирования, полученными на основе совместного использования пассивного микроволнового и видимого диапазонов MASIE (Multisensor Analyzed Sea Ice Extent – Northern Hemisphere), позволяющих решать научные и практические задачи в более детализированном пространственно-временном масштабе (<https://nsidc.org/data/masie>);

г) научная и техническая литература. Включает в себя труды сотрудников лаборатории и других исследователей по тематикам: исследования морского льда; циркуляция атмосферы; гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические особенности дальневосточных и арктических морей; прогнозирование гидрометеорологических параметров, анализ и обработка гидрометеорологических данных.

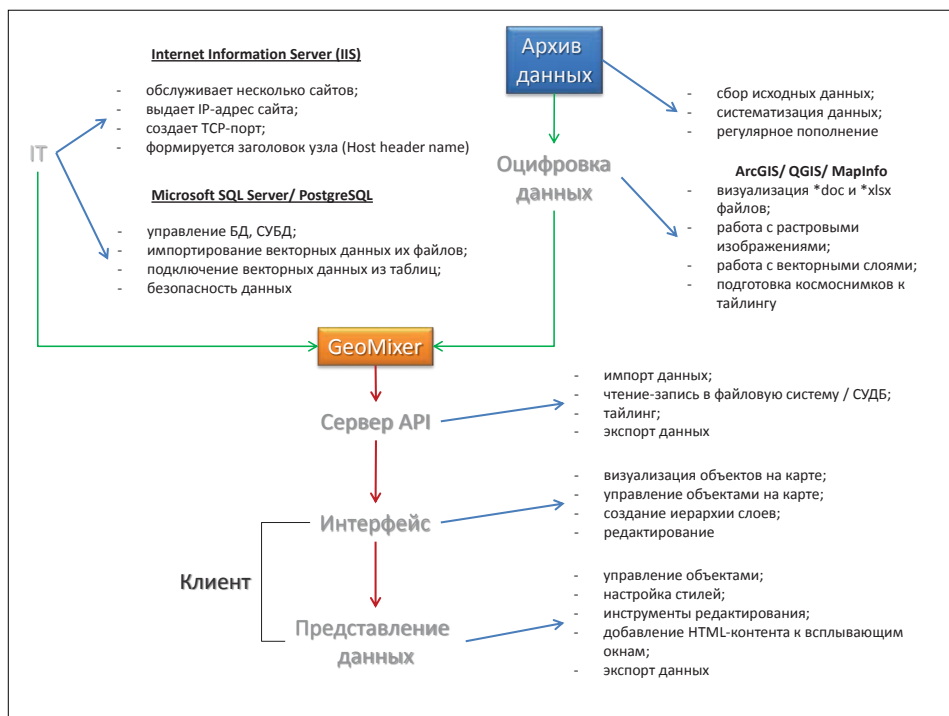
В качестве системы управления базой данных (СУБД) используется программный продукт Postgre SQL 9.6.11, совместимый с GeoMixer ([www.postgresql.org](http://www.postgresql.org)). GeoMixer и Postgre SQL установлены на отдельную рабочую ЭВМ НИЛ ДЗЗ, подходящую по характеристикам под системные требования данного ПО. GeoMixer представляет собой web-интерфейс в виде сайта (геопортала), доступного в пределах локальной сети лаборатории и глобальной сети интернет, что дает возможность одновременной работы с информацией из БД независимо от места нахождения пользователя через режим доступа электронного адреса (интернет-ссылки). Структура системы БД на основе GeoMixer представлена рисунке 1.1.

Визуализация векторных и растровых данных на примере спутниковых снимков Terra-MODIS и кромки льда в среде GeoMixer представлена на рисунке 1.2.

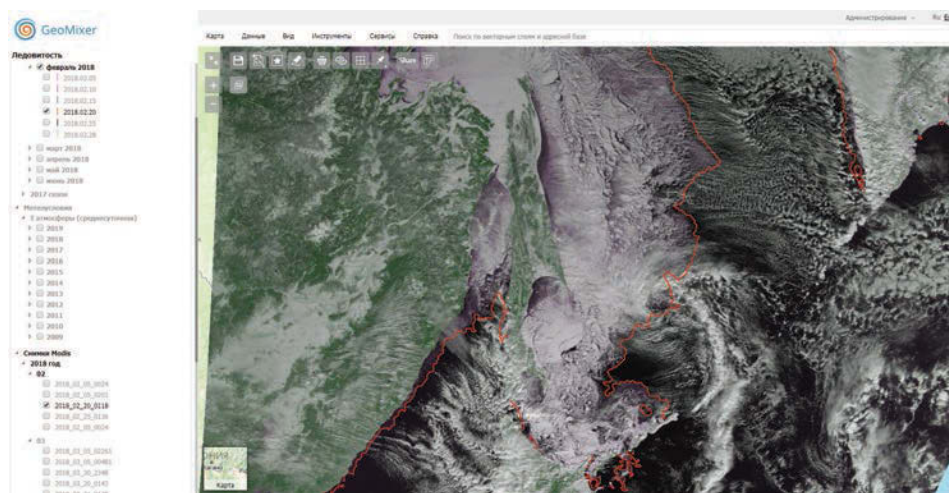
Для разработки прогностических правил развития ледяного покрова в акваториях исследуемых морей применяются гидрометеорологические (ежедневные и пентадные) данные архива реанализа ERA-Interim: ветер, осадки, температура льда и поверхности моря, давление, сплоченность ледяного покрова ([www.ecmwf.int](http://www.ecmwf.int)).

Данные представлены в виде сетки значений с фиксированной дискретностью и охватывают период с 1979 по 2019 г. (рис. 1.3). Для извлечения и обработки данных используется целый комплекс ПО: Ocean Data View 4; Microsoft Office Access; Microsoft Office Excel; Surfer; NetCDF Viewer; NetCDF Extractor 2.1.

Эффективным средством для решения широкого круга прикладных за-

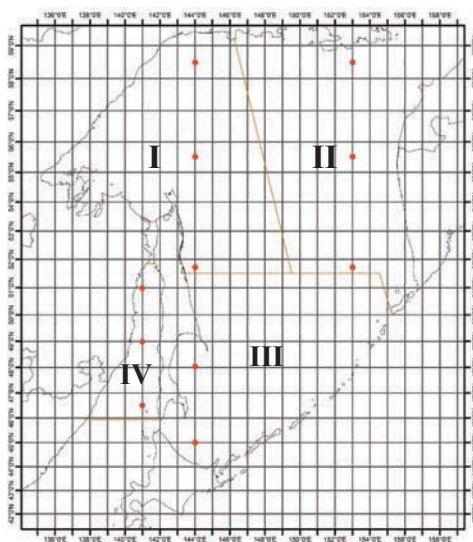


**Рис. 1.1. Структура системы БД и интеграция данных в GeoMixer**



**Рис. 1.2. Пример визуализации спутниковых снимков Terra-MODIS с определенным местоположением ледовых кромок в среде Scanex Web-GIS GeoMixer**

дач является программное обеспечение, которое позволяет автоматизировать обработку данных любых типов, в том числе материалов дистанционного зондирования Земли. Программный комплекс НИЛ ДЗЗ представлен лицензированным ПО: ScanEx Image Processor; Scanex Task Flow; ScanMagic; ArcGIS Desktop 10.2; CorelDRAW 16, а также набором программных продуктов, разработанных сотрудниками лаборатории.



Координаты наблюдений в:  
I северо-западном регионе Охотского моря:

- 58°30' с. ш. 144°00' в. д.;
- 55°30' с. ш. 144°00' в. д.;
- 51°45' с. ш. 144°00' в. д.;

II северо-восточном:

- 58°30' с. ш. 153°00' в. д.;
- 55°30' с. ш. 153°00' в. д.;
- 51°45' с. ш. 153°00' в. д.;

III южном:

- 48°00' с. ш. 144°00' в. д.;
- 45°00' с. ш. 144°00' в. д.;

IV Татарском проливе:

- 51°00' с. ш. 141°00' в. д.;
- 49°00' с. ш. 141°00' в. д.;
- 46°30' с. ш. 141°00' в. д.

**Рис. 1.3.** Схема расположения точек для выборки гидрометеорологических параметров из архива ERA Interim

### 1.1.3. ПК «ЛЕД» и программные алгоритмы обработки данных

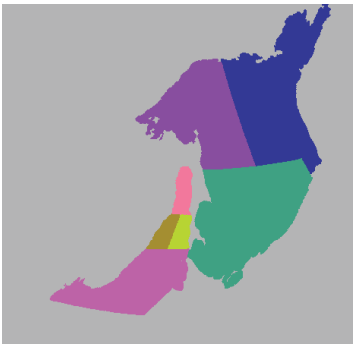
Для мониторинга ледовой обстановки и вычисления интересующих характеристик ледяного покрова, необходимых как для проведения оперативных оценок, так и для выполнения научных исследований в среде Borland Delphi 7, в СахГУ был разработан программный комплекс «ЛЕД» (ПК «ЛЕД») [Пищальник и др., 2015; Свидетельство, 2015; Минервин и др., 2015].

ПК «ЛЕД» позволяет производить полуавтоматическую пакетную обработку карт-схем сплоченности ледяного покрова Охотского и Японского морей, публикуемых Японским метеорологическим агентством (JMA). Карты-схемы JMA размещаются в оперативном режиме с декабря по май два раза в неделю в течение ледового сезона, а также после его завершения в виде коллекций архивных карт-схем с пентадной дискретностью с ноября по июль ([www.jma.go.jp](http://www.jma.go.jp)).

Результатом обработки являются данные о площади ледяного покрова, представленные в виде таблиц. Для вычисления площади льда в районах с произвольно-заданными границами был создан дополнительный модуль RegionMap ПК «ЛЕД», предназначенный для создания цветowych масок районирования акватории в произвольных границах [Шумилов и др., 2017]. Наглядное представление маски районирования и пример результатов расчета ледовитости отображены на рисунке 1.4. Инструкция по использованию ПК «ЛЕД» представлена в приложении 1.

В современных условиях внедрения цифровых технологий наиболее востребованными становятся методы сценарного моделирования и принципы отслеживания ситуации в режиме реального времени. Одним из таких инструментов стал предложенный принцип определения местоположения кромки ледяного массива.

Для определения местоположения точек, образующих кромку льда, устанавливается соответствие между декартовыми координатами изображения и географическими координатами. Начальная точка декартовых координат устанавливается в левом верхнем углу карты-схемы. Для идентификации точек кромки ледяного покрова используется цветовая ха-



| Ледовый сезон 2018-2019 гг. |       |       |      |      |     |     |
|-----------------------------|-------|-------|------|------|-----|-----|
|                             | С-З   | С-В   | Ю    | Т_1  | Т_2 | Т_3 |
| 5.11                        | 0.3   | 2.9   |      |      |     |     |
| 10.11                       | 0.0   | 6.4   |      |      |     |     |
| 15.11                       | 0.0   | 9.4   |      |      |     |     |
| 20.11                       | 1.9   | 12.4  |      | 0.8  |     |     |
| 25.11                       | 8.1   | 15.0  |      | 0.9  |     |     |
| 30.11                       | 14.1  | 23.0  |      | 1.8  |     |     |
| 5.12                        | 24.4  | 32.7  |      | 2.8  |     |     |
| 10.12                       | 61.9  | 44.2  | 1.5  | 7.7  |     |     |
| 15.12                       | 130.9 | 87.3  | 8.5  | 26.8 |     |     |
| 20.12                       | 111.5 | 75.9  | 13.1 | 22.1 |     |     |
| 25.12                       | 154.2 | 102.3 | 32.0 | 30.0 |     | 0.2 |
| 31.12                       | 206.7 | 129.3 | 31.2 | 18.4 | 0.5 | 0.4 |

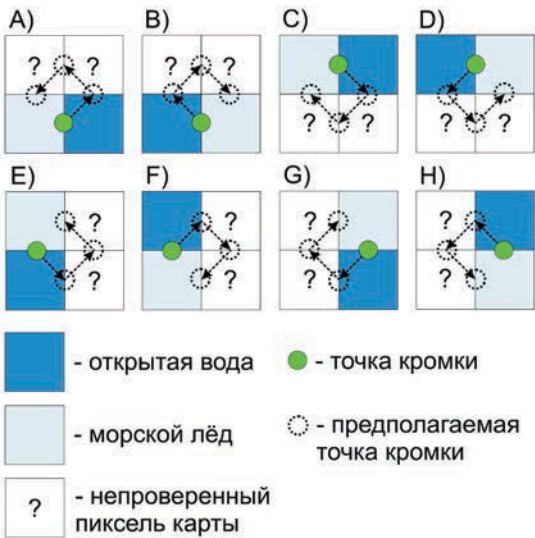
**Рис. 1.4.** Маска районирования ПК «ЛЕД» (слева) и пример результатов расчета ледовитости согласно выбранной схеме районирования (справа)

рактеристика пикселей карты-схемы: в цикле производится поочередное сравнение цветов соседних пикселей карты по горизонтали и по вертикали (рис. 1.5) [Шумилов и др., 2018].

В процессе перебора выделяются пары пикселей, подходящие под условие наличия кромки – цвет одного из пикселей соответствует открытой водной поверхности, другого – морскому льду. Таким образом, происходит вычисление начальных точек участков линии кромки. Точкой, принадлежащей линии кромки, принимается точка на середине границы сравниваемых пикселей.

При обнаружении первой точки участка кромки происходит дальнейшее построение данного участка. Для этого в процедуре поиска точек производится поочередная проверка смежных точек, которые могут являться продолжением данного участка кромки (рис. 1.5). Операции поиска производятся циклично до момента нахождения всех точек участка кромки.

В ходе поиска их координаты переводятся из декартовых в географические и последовательно записываются в список точек участка кромки. Все обнаруженные точки кромки исключаются из дальнейшей проверки. Аналогично производится поиск других участков на всей исследуемой акватории. Результатом обработки изображения является список участков кромки льда, представленных упорядоченными наборами точек с географическими координатами (рис. 1.6).



**Рис. 1.5.** Алгоритм поиска точек кромки льда

Расчет средней кромки льда между различными датами может осуществляться для любых отдельных участков всей кромки путем выбора по запросу. Вычисление средней кромки между различными датами производится методом последовательного перебора: для каждой точки одной кромки находится ближайшая к ней точка, принадлежащая другой кромке (рис. 1.6). Расстояние между точками определяется в градусной мере по модифицированной формуле сферической тригонометрии (1.1) [Гараевская и др., 1976]:

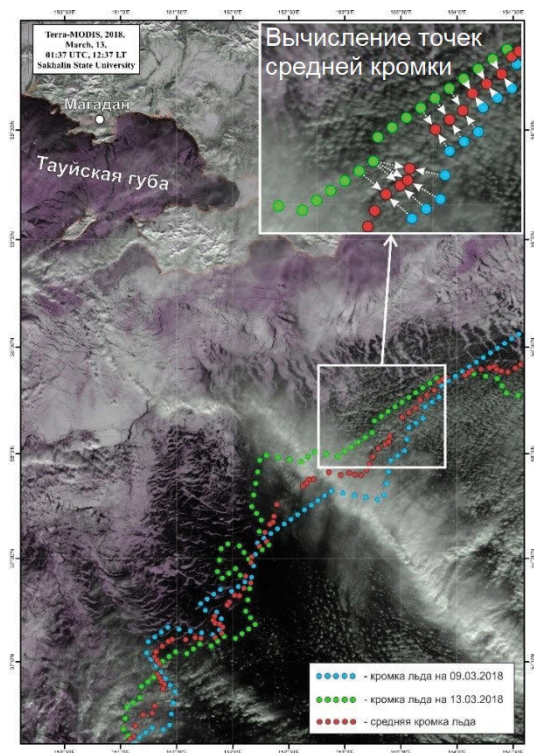
$$S = \arctan \left\{ \frac{\sqrt{(\cos \varphi_2 \sin \Delta\lambda)^2 + (\cos \varphi_1 \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos \Delta\lambda)^2}}{\sin \varphi_1 \cos \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos \Delta\lambda} \right\}, \quad (1.1)$$

где  $\varphi_1, \varphi_2$  – широты обеих точек в радианах,  $\Delta\lambda$  – разница долготы обеих точек в радианах.

При обнаружении ближайшей точки производится расчет географических координат средней точки между рассматриваемой точкой первой кромки и ближайшей к ней точкой второй кромки путем вычисления среднего арифметического между соответствующими координатами широты и долготы двух рассматриваемых точек по формулам (1.2) и (1.3).

$$\varphi_{\text{ср}} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}; \quad (1.2)$$

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}; \quad (1.3)$$



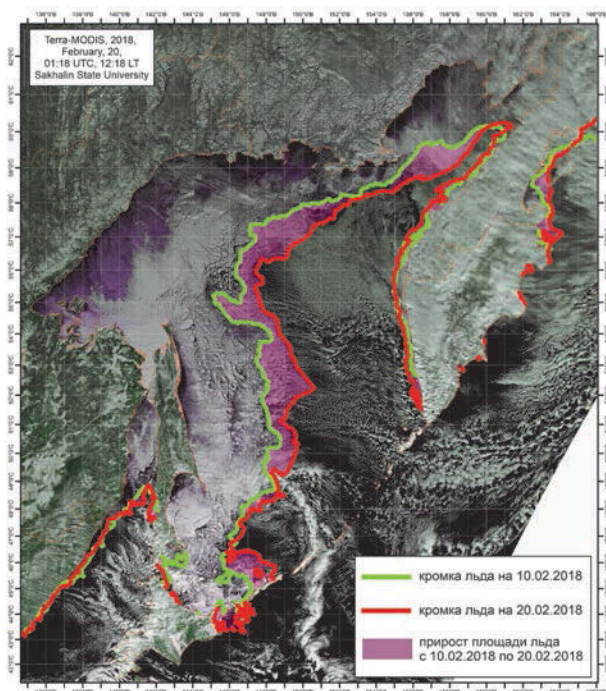
**Рис. 1.6.** Полученные в результате обработки в программном модуле ледовых карт-схем кромки льда, наложенные на спутниковый снимок Terra-MODIS

где  $\varphi_{\text{ср}}$  и  $\lambda_{\text{ср}}$  – соответственно широта и долгота средней точки.

В результате выполненных операций формируется набор упорядоченных точек, преобразованных в векторную линию – среднюю кромку льда с географическими координатами (рис. 1.7). Закрашенной в розовый цвет областью показан прирост площади льда за исследуемый период.

Средняя кромка может вычисляться как на основе фактических данных, полученных при обработке ледовых карт-схем, так и рекурсивно между другими ранее рассчитанными средними кромками.

Выходные файлы модуля совместимы с программными продуктами ГИС для дальнейшего анализа и обработки. Инструкция по при-



**Рис. 1.7.** Пример визуализации спутникового снимка Terra-MODIS с определенным местоположением ледовых кромок

менению программного модуля вычисления местоположения кромок льда представлена в приложении 2.

Применение данного электронного инструмента позволяет отслеживать изменения местоположения кромки льда по данным дистанционного зондирования Земли, что важно при прогнозировании ледовой обстановки и планировании безопасных судоходных маршрутов. В ближайшем будущем представляется целесообразным на основе имеющихся данных разработать электронный атлас кромок.

Для автоматизации расчетов разработан пакет программных алгоритмов действия (макросов), позволяющих

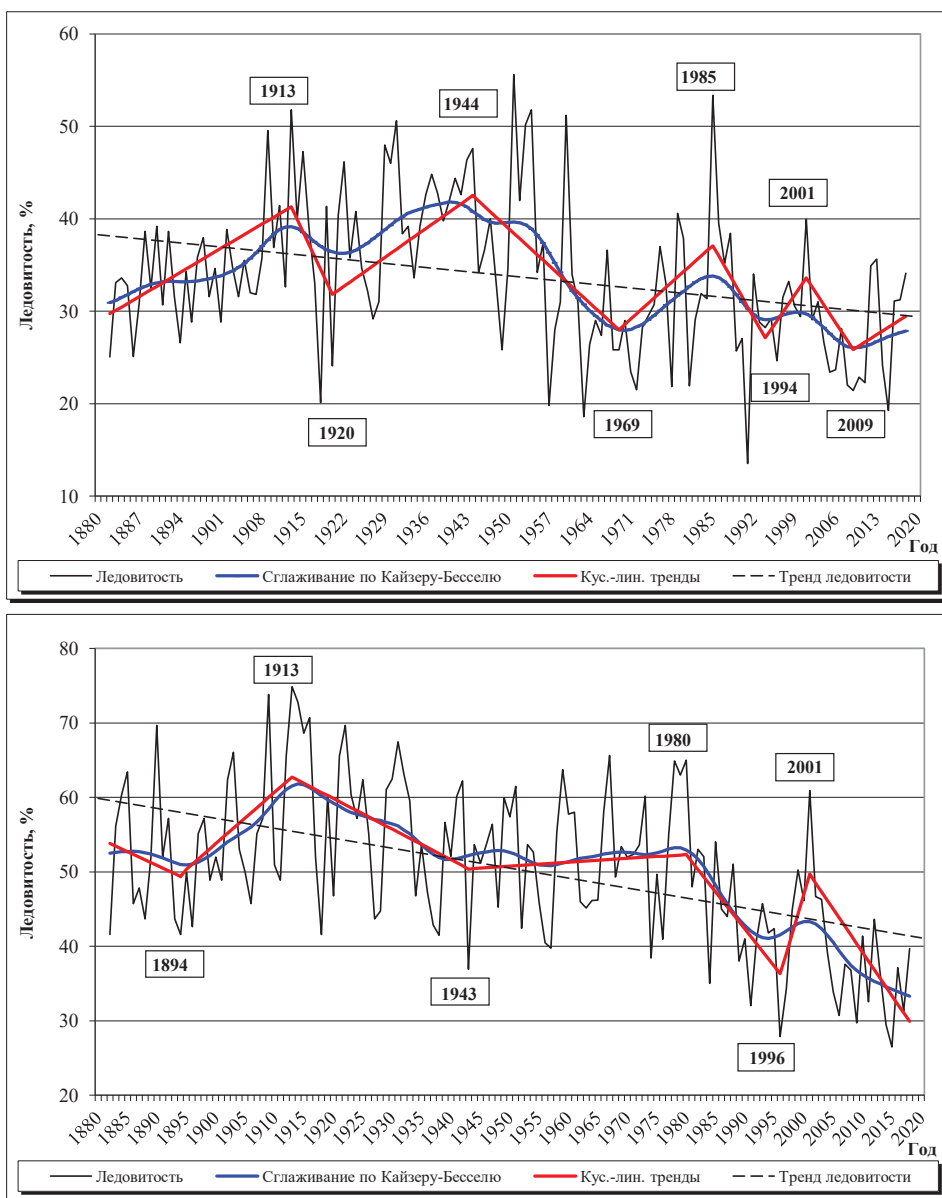
осуществлять сбор и систематизацию гидрометеорологических данных, построение трендов для многолетних рядов и графиков внутрисезонной ледовитости. Среди них такие, как:

- типизация зим по суровости ледовых условий;
- расчет суммы градусодней мороза и тепла (СГДМ и СГДТ) по данным гидрометеорологических станций;
- определение значимости тренда;
- расчет ледовитости и ее аномалий;
- расчет температуры воздуха и ее аномалий.

Инструкция по функциональным возможностям алгоритмов действия представлена в приложении 3.

## **1.2. Основные научные результаты, полученные с применением цифровых технологий**

При помощи ПК «ЛЕД» были сформированы ряды средней за сезон площади ледяного покрова Охотского моря и Татарского пролива в период с 1882–2019 гг. (рис. 1.8). Величина ледовитости за ледовый сезон рассчитывалась усреднением месячных значений площадей ледяного массива с декабря по май (для Охотского моря) и с декабря по апрель (для Татарского пролива). Для корректного проведения сравнительного анализа ледовитость вычислялась как отношение площади, занятой льдом, к площади моря в процентах.



**Рис. 1.8.** Многолетние вариации ледовитости с 1882 по 2019 г. в Татарском проливе (слева) и в Охотском море (справа)

Имеющиеся пропуски данных (при проведении судовых и авиационных наблюдений) восстанавливались методом экспертной оценки с последующим приведением их к единой дискретности. С этой целью была применена методика, основанная на корреляционной взаимосвязи ледовитости с суммой градусодней мороза (СГДМ), рассчитываемой как сумма отрицательных среднесуточных температур воздуха между датами устойчивого перехода температуры через  $0^{\circ}\text{C}$  (осенью и весной) [Наставления, 1984; Пищальник и др., 2016].

На основе связи многолетних рядов ледовитости (с 1929 по 2019 г.) и температуры воздуха на гидрометеорологических станциях (ГМС) в холод-

ный период года были восстановлены ряды ледовитости Охотского моря и Татарского пролива за период с 1882 по 1928 г. Составлено уравнение парной степенной регрессии, выражающее зависимость средней площади ледяного покрова от температуры воздуха на ближайших ГМС. Оценить точность рассчитанных таким образом данных весьма затруднительно, поэтому восстановление значений ледовитости за период с 1882 по 1928 г. следует квалифицировать как качественное.

Для аппроксимации рядов и построения сглаженных кривых был применен интерактивный программный комплекс Mario, разработанный в Сахалинском государственном университете и представленный в открытом доступе ([www.shipdesign.ru](http://www.shipdesign.ru)) [Поплавский и др., 1997].

Для построения эмпирического сглаженного ряда использован метод Кайзера-Бесселя, в основе которого лежит аппроксимация «окном Кайзера» [Рабинер и др., 1978]. На полученных графиках выделены линейные тренды, статистически значимые на уровне вероятности 95 %.

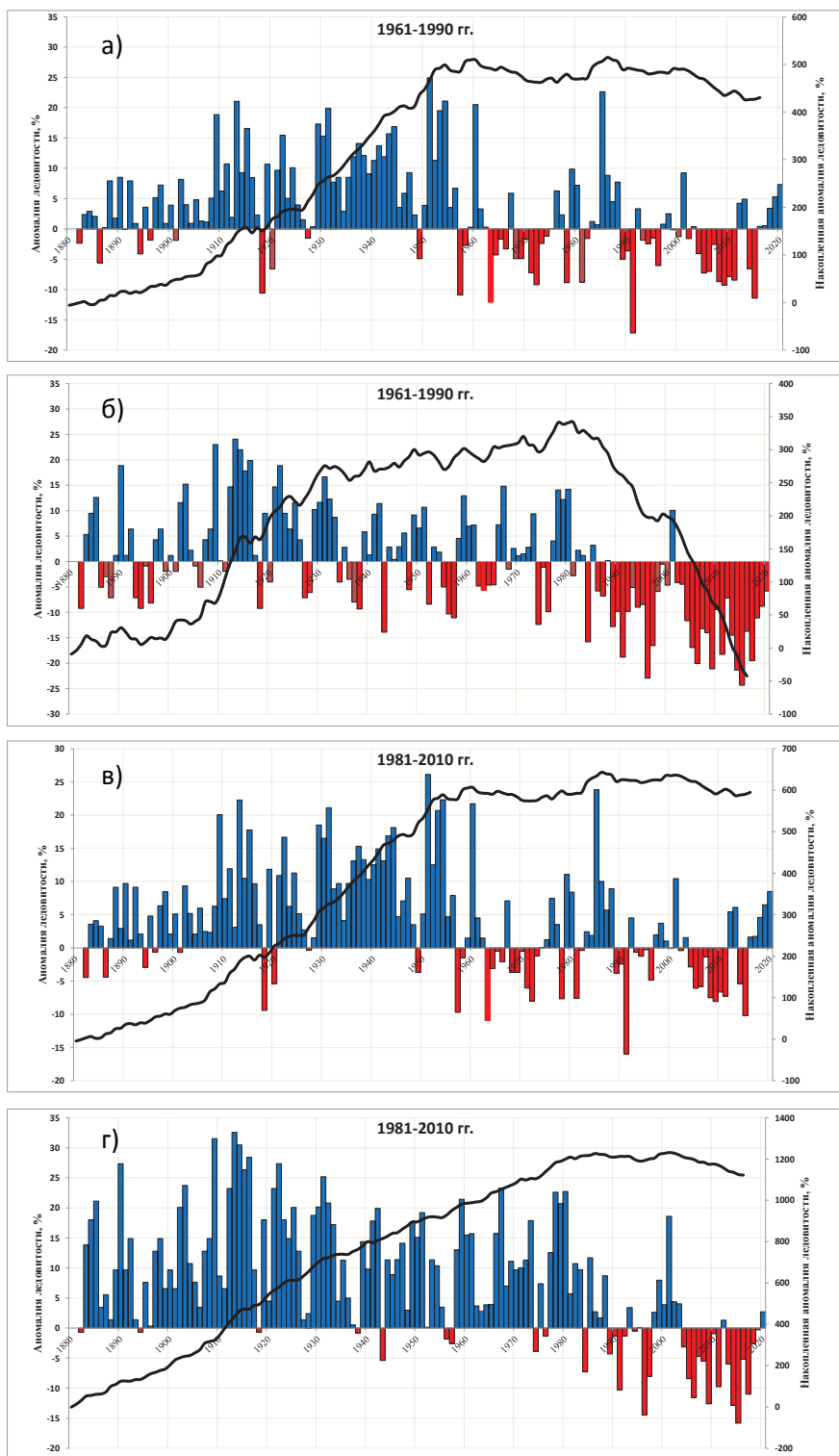
Изменение многолетнего хода аномалий ледовитости наглядно представлено на интегральных кривых, которые рассчитывались путем последовательного алгебраического сложения значений аномалий ледовитости [Гирс и др., 1978; Кириллов, 1987]. В качестве примера на рисунке 1.9 приведены интегральные кривые для Татарского пролива и Охотского моря, вычисленные относительно разных климатических норм: стандартной – в 1961–1990 гг. и оперативной – в 1981–2010 гг. [Пищальник и др., 2019].

На основе вычисленных аномалий ледовитости выполнена типизация зим с помощью программного алгоритма, где в качестве критерия выступал предел  $0,8 \sigma$  ( $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение), предложенный В. А. Спичкиным (1987):

- очень крупная положительная аномалия ( $+OKP \geq 1,2 \sigma$ );
- крупная положительная аномалия ( $+0,4 \sigma \leq +KP < +1,2 \sigma$ );
- около нормы ( $-0,4 \sigma < N < +0,4 \sigma$ );
- отрицательная крупная аномалия ( $-1,2 \sigma < -KP \leq -0,4 \sigma$ );
- отрицательная очень крупная аномалия ( $-OKP \leq -1,2 \sigma$ ).

Проведенный анализ архивных материалов, научных публикаций и массива спутниковых данных (с частотой наблюдений один раз в пять суток и полным охватом акватории в режиме реального времени) позволил переосмыслить существующие и выявить новые черты ледового режима Охотского моря в целом и отдельных его регионов. Так, в разных частях моря и на разных стадиях развития ледяного покрова ледовые процессы могут происходить разнонаправленно даже в течение одного сезона. Ледовитость северо-западной и северо-восточной частей, равно как и северной и южной половины Охотского моря, существенно зависит от типа атмосферной циркуляции, доминирующей в данный сезон [Минервин, 2015; Минервин, 2011; Романюк, 2011]. Установлено, что совпадение суровости ледовых условий во всех районах одновременно происходит относительно редко [Пищальник и др., 2017]. В ледяном покрове Охотского и Японского морей на всех стадиях его развития формируются региональные стабильные зоны, локальная однородность параметров ледяного покрова которых может выступать условием для иерархического районирования.

Таким образом, в Охотском море были выделены следующие региональные области первого иерархического уровня (рис. 1.9): северо-западная часть Охотского моря (площадью 432,3 тыс. км<sup>2</sup>); северо-восточная часть Охотского моря (площадью 592,1 тыс. км<sup>2</sup>); южная часть Охотского моря (площадью 578,8 тыс. км<sup>2</sup>).



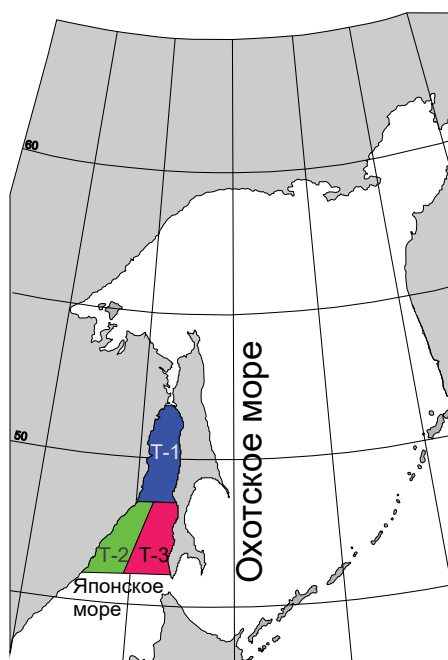
**Рис. 1.9.** Интегральные кривые аномалий ледовитости в Татарском проливе (а, в) и в Охотском море (б, г), рассчитанные по основной (1961–1990 гг.) и оперативной (1981–2010 гг.) климатическим нормам

В Японском море выделена одна ледовая область первого уровня – вся северная часть Японского моря от южной границы 41°22' с. ш. до пролива Невельского общей площадью 373,3 тыс. км<sup>2</sup> (рис. 1.10). Татарский пролив (площадь 107,5 тыс. км<sup>2</sup>) включает в себя три ледовые зоны: северную (Т-1) (площадь 42,4 тыс. км<sup>2</sup>), юго-западную (Т-2) (34,4 тыс. км<sup>2</sup>) и юго-восточную (Т-3) (30,7 тыс. км<sup>2</sup>), отличающиеся помимо ледово-географических еще и специфическими гидрологическими условиями [Пищальник, 2011] (рис. 1.11).

Учитывая существенные различия в ледовом режиме выделенных районов первого иерархического уровня, дальнейшие исследования рекомендуется выполнять в пределах выделенных регионов.



**Рис. 1.10.** Схема иерархического районирования Охотского и Японского морей в границах первого уровня



**Рис. 1.11.** Схема районирования Татарского пролива

### **Охотское море**

Анализ изменений ледовитости районов первого иерархического уровня Охотского моря с конца 1970-х годов показал, что фоновые изменения ледовитости, проявляющиеся в ее долговременных колебаниях, имеют нерегулярный характер (ориентировочная продолжительность циклов составляет от 40 до 52 лет) и практически полностью определяются вариациями глобальной температуры воздуха. Поэтому можно предположить, что изменчивость характеристик в центрах действия атмосферы над Азиатско-Тихоокеанским регионом (приземного давления, геопотенциала H500, их местоположения, циклонической активности и т. д.) обуславливает различия в распределении льда между отдельными районами внутри моря.

Установлено, что ледовитость Охотского моря за временной период с конца XIX до начала XXI в. уменьшилась приблизительно на 17 %. При этом размах варьирования межгодовых изменений ледовитости составил более 50 %. Устойчивое уменьшение площади ледяного покрова в Охотском море протекает со скоростью около 5 % за десять лет и наблюдается с 1980 г. по настоящее время. В ледовом сезоне 2014–2015 гг. зафиксировано минимальное значение ледовитости (26,5 %) за историю наблюдений с 1929 по 2019 г., а с учетом данных ретроспективного анализа – за последние 138 лет. Одной из причин столь низкого значения ледовитости, на наш взгляд, стало смещение Азиатского антициклона в северном направлении, что привело к перераспределению воздушных потоков от полюса холода Северного полушария: усилился заток холода на акватории арктических морей Сибири и значительно ослаб на акваторию Охотского моря.

В начале XXI в. в ледовом режиме Охотского моря относительно периода 1961–1990 гг. произошел существенный климатический сдвиг (рис. 1.9). В начавшийся с конца 70-х годов прошлого века период потепления суммарная повторяемость очень крупных положительных аномалий и крупных положительных аномалий уменьшилась в среднем на 5 %, а очень крупных отрицательных аномалий и крупных отрицательных аномалий увеличилась на 14 %. Этот факт является свидетельством глобальных климатических изменений, происходящих в атмосфере и гидросфере Земли [Пищальник, 2011; Спичкин, 1987] (табл. 1.1).

Характер развития ледовых условий в границах исследуемых ледовых зон и районов первого иерархического уровня в течение одного ледового сезона может существенно различаться. Например, в одном ледовом районе процессы ледообразования могут развиваться по типу суровых зим, а разрушения – по типу мягких. Совпадение суровости ледовых условий во всех районах одновременно происходит относительно редко (не более 30 % случаев).

Таблица 1.1

**Календарь аномалий показателя ледовитости  
в Охотском море с 1882 по 2019 г.**

| Критерии аномалий                           | Годы                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Положительная очень крупная аномалия (+ОКР) | 1885, 1890, 1903, 1909, 1912, 1913, 1914, 1915, 1916, 1921, 1922, 1931, 1959, 1967, 1978, 1980                                                                                                                               |
| Положительная крупная аномалия (+КР)        | 2001, 1979, 1977, 1973, 1966, 1961, 1960, 1958, 1951, 1950, 1949, 1947, 1942, 1941, 1939, 1933, 1932, 1930, 1929, 1926, 1925, 1924, 1923, 1919, 1908, 1907, 1902, 1898, 1897, 1892, 1884, 1883                               |
| Норма (Н)                                   | 1887, 1889, 1891, 1895, 1899, 1900, 1901, 1904, 1905, 1910, 1911, 1917, 1920, 1934, 1935, 1936, 1940, 1944, 1945, 1946, 1953, 1954, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1975, 1981, 1982, 1983, 1985, 1988, 1999, 2002, 2003       |
| Отрицательная крупная аномалия (–КР)        | 1882, 1886, 1888, 1893, 1894, 1896, 1906, 1918, 1927, 1928, 1937, 1938, 1948, 1952, 1955, 1956, 1957, 1962, 1963, 1964, 1965, 1974, 1976, 1986, 1987, 1989, 1990, 1992, 1993, 1994, 1995, 1998, 2000, 2004, 2010, 2012, 2018 |
| Отрицательная очень крупная аномалия (–ОКР) | 1943, 1984, 1991, 1996, 1997, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2011, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017                                                                                                                               |

Процессы ледообразования на фазе развития ледяного покрова в период потепления запаздывают в среднем на 12–15 сут., на фазе разрушения начинаются раньше на 15–18 сут. Таким образом, продолжительность активной фазы ледовых процессов уменьшилась в среднем на один месяц, а площадь ледяного покрова сократилась на ~200 тыс. км<sup>2</sup>, что на фазе максимального развития ледовых процессов в Охотском море соответствует уменьшению средней площади массива льда почти на 20 % [Романюк и др., 2017].

Одной из характеристик ледяного покрова является кромка льда. В Охотском море зафиксировано смещение среднего положения кромок массива льда в северо-западном направлении в центральной части моря и в восточном направлении в прол. Лаперуза.

### ***Залив Анива, пролив Лаперуза***

На основе данных спутниковых наблюдений за ледяным покровом с использованием геоинформационных технологий выполнен анализ межгодовой и сезонной изменчивости ледовитости в заливе Анива и проливе Лаперуза. Установлено, что за период с 1979 по 2019 г. в заливе Анива отмечается тенденция сокращения ледовитости на 2,5 %, а в проливе Лаперуза ее увеличение на 11 %.

На основе анализа динамики аномалий ледовитости относительно климатической стандартной нормы 1981–2010 гг. выделены периоды с преобладанием ее положительных и отрицательных значений, а также годы с наиболее высокими и низкими значениями. Показано, что ледяной покров пролива Лаперуза и залива Анива имеет наибольшую взаимосвязь с ледовитостью в крайней южной части Охотского моря. Ледовитость пролива Лаперуза формируется только за счет поступления однолетних льдов с северо-западной части Охотского моря и залива Терпения. За период с 1979 по 2019 г. площадь ледяного покрова пролива сократилась на 11 % и согласуется с общим сокращением ледовитости Охотского моря, которое составляет 15 %. Средняя продолжительность ледового сезона в заливе Анива и проливе Лаперуза составляет 85 и 90 сут. соответственно. Самым продолжительным в заливе Анива был ледовый сезон 2005 г. (140 сут.), самым непродолжительным – 1987 г. (45 сут.).

Практически полное заполнение акватории льдом (~99 %) отмечается только в заливе Анива в суровые зимы. Период времени, когда максимальная ледовитость здесь превышает 90 % от общей площади района, составляет около 30 сут. (с 10 февраля по 10 марта). В проливе Лаперуза полного заполнения льдом не происходит: в суровые зимы максимальное заполнение льдом (около 70 %) здесь наблюдается с 15 по 25 февраля.

### ***Татарский пролив***

Основной областью генерации льда в проливе является его северная зона (Т-1), которая и отражает общую динамику ледовитости пролива. Из-за активного разрушения льда в струе Цусимского течения площадь ледяного покрова в зоне Т-3 минимальна (в среднем за период наблюдений 0,9 тыс. км<sup>2</sup>).

В период с 1979 по 2019 г. ледовитость Татарского пролива сократилась на 10 %. В северной ледовой зоне величина ее изменилась на 4 %, в юго-западной зоне – на 5 %, а в юго-восточной – менее чем на 1 %. Размах колебаний средней сезонной ледовитости за исследуемый период составил 42,1 %. Максимальное ее значение наблюдалось в 1951 г., а минимальное – в 1991 г. (соответственно 55,6 и 13,5 %).

Установлено, что в годовом ходе максимум ледовитости в Татарском проливе отмечается в феврале (48 %). В декабре ее среднемесячные значения достигают 16 %, в январе – 42 %, в марте – 36 %, а в апреле на стадии окончательного разрушения массива льда – 5 %. Формирование ледяного покрова в проливе начинается с зоны Т-1 и приходится на заключительную декаду ноября.

Средняя продолжительность ледового сезона в Татарском проливе составляет 147 сут., что на 43 сут. меньше величины, установленной по средним многолетним данным с 1950 по 1992 г. [Якунин и др., 1998]. Наиболее продолжительный ледовый сезон (181 сут.) был отмечен в ледовой зоне Т-1, а самый минимальный (33 сут.) – в зоне Т-3.

Повторяемость типов зим по аномальности сезонных значений ледовитости находится в хорошем соответствии с распределением Гаусса и не зависит от направленности тенденций изменения ледовитости в Татарском проливе.

За весь исследуемый период в целом аномалии ледовитости в Татарском проливе представлены следующим образом: +ОКР – 12 %, +КР – 20, Н – 35, –КР – 22 и –ОКР – 11 %, что соответствует нормальному распределению по данным календаря аномалий ледовитости (табл. 1.2).

Таблица 1.2

**Календарь аномалий показателя ледовитости  
в Татарском проливе с 1882 по 2019 г.**

| Критерии аномалий                           | Годы                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Положительная очень крупная аномалия (+ОКР) | 1909, 1913, 1915, 1922, 1929, 1930, 1931, 1937, 1941, 1943, 1944, 1951, 1953, 1954, 1960, 1985                                                                                                                                                                                                             |
| Положительная крупная аномалия (+КР)        | 1888, 1890, 1892, 1898, 1902, 1911, 1914, 1916, 1919, 1921, 1924, 1932, 1933, 1935, 1936, 1938, 1939, 1940, 1942, 1947, 1952, 1956, 1979, 1980, 1986, 1988, 2001                                                                                                                                           |
| Норма (Н)                                   | 1883, 1884, 1885, 1887, 1889, 1891, 1893, 1895, 1897, 1899, 1900, 1903, 1904, 1905, 1906, 1907, 1908, 1910, 1912, 1917, 1923, 1925, 1926, 1928, 1934, 1945, 1946, 1948, 1950, 1955, 1959, 1961, 1962, 1967, 1975, 1976, 1977, 1983, 1984, 1987, 1992, 1997, 1998, 2003, 2012, 2013, 2016, 2017, 2018, 2019 |
| Отрицательная крупная аномалия (–КР)        | 1882, 1886, 1894, 1896, 1901, 1920, 1927, 1949, 1958, 1964, 1965, 1966, 1968, 1969, 1970, 1973, 1974, 1982, 1989, 1990, 1993, 1994, 1995, 1996, 1999, 2000, 2002, 2004, 2007, 2014                                                                                                                         |
| Отрицательная очень крупная аномалия (–ОКР) | 1918, 1957, 1963, 1971, 1972, 1978, 1981, 1991, 2005, 2006, 2008, 2009, 2010, 2011, 2015                                                                                                                                                                                                                   |

Учет сплоченности ледяного покрова не оказывает существенного влияния на характер ее изменчивости. Установлено, что вычисление площади ледяного покрова в Татарском проливе с учетом сплоченности корректирует ее значение на 4,7 %. Различие в величине тенденций межгодовой изменчивости общей и приведенной ледовитости составляет 2 %. Максимальные значения разности ледовитости пролива с учетом и без учета сплоченности

приходятся на первую половину марта (8,7 %), что объясняется наступлением фазы разрушения ледяного покрова и увеличением разреженных зон в массиве льда [Дорофеева и др., 2017].

На основе анализа вариаций многолетних колебаний сезонной ледовитости Татарского пролива и Охотского моря установлено, что долгопериодные тренды ледовитости не синхронизированы между собой. Это обусловлено различиями географического положения, генезиса льдообразования и морфометрией рассматриваемых акваторий, а также, предположительно, зарегулированностью стока р. Амур. Начиная с 1985 г. в исследуемых акваториях наблюдается синфазность вариаций ледовитости и их экстремумов. В Татарском проливе понижение ледовитости в современный период потепления началось на пять лет позднее, чем это явление было зафиксировано в Охотском море [Пищальник и др., 2019].

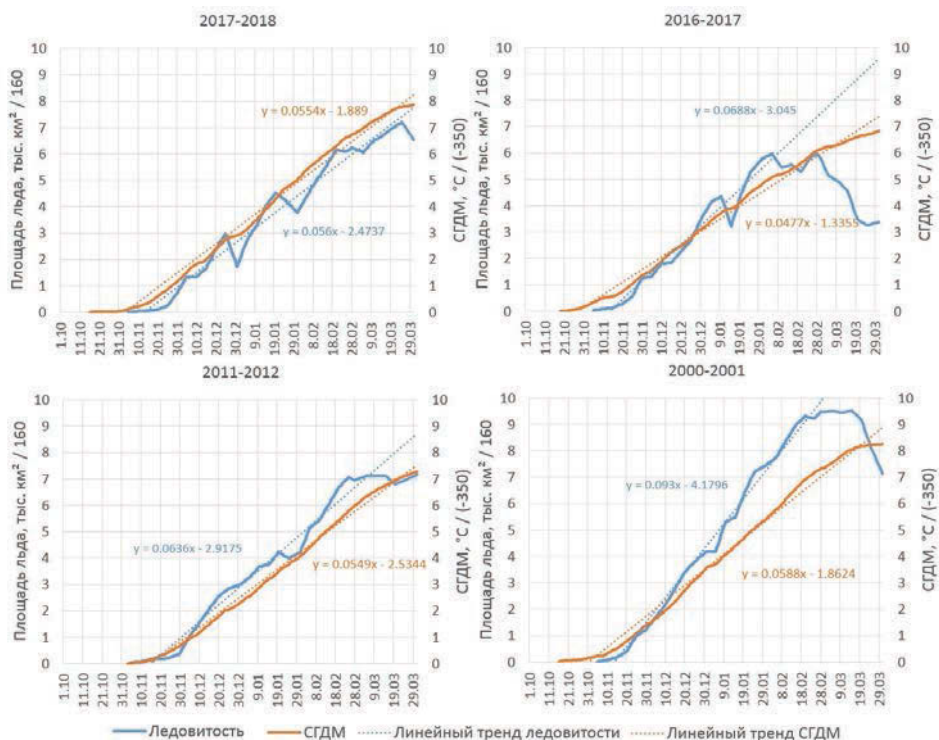
### **1.3. К вопросу прогнозирования ледовитости**

Конечной целью наук о Земле является прогнозирование процессов, протекающих в пространственно-временном континууме, необходимое для моделирования состояния геосфер. В настоящее время растет интерес к методам прогнозирования, основанным на вероятностных моделях. Одним из таких методов является спектральный анализ, который позволяет выявить закономерности между происходящими процессами посредством установления корреляционных связей. Анализ многолетних рядов гидрометеорологических параметров с применением статистических методов позволяет перейти к разработке общих прогностических правил и построению генеральной модели поведения ледовитости. Традиционно выбор предикторов при прогнозировании ледовитости ограничивается суммой градусодней мороза (СГДМ) и типизацией зим по суровости ледовых условий как показателей, позволяющих выполнить выборку сезонов, аналогичных по условиям формирования ледяного покрова. Отрицательная температура воздуха и увеличение СГДМ обеспечивают рост площади ледяного покрова. Однако СГДМ не является единственным предиктором, определяющим тенденцию развития ледяного покрова в течение всего сезона, о чем свидетельствуют отношения коэффициентов наклона линейных трендов СГДМ и ледовитости [Дорофеева и др., 2019]: в разные сезоны они могут значительно отличаться, что говорит об отсутствии прямой пропорциональной зависимости исследуемых параметров (рис. 1.12).

При построении прогноза эволюции морского ледяного покрова необходимо учитывать не только температуру воздушных масс и морской воды, но и другие параметры, влияющие на пространственно-временную динамику льдообразования, такие, как: интенсивность осадков и наличие снежного покрова; характеристику ветра; скорость дрейфа льда; торошение льда; астрономические данные и др.

Чем точнее будет осуществляться прогнозирование изменяющихся гидрометеорологических параметров, тем достовернее будет прогноз. Так, например, ветер представляет собой результат комплексного взаимодействия многих факторов, поэтому данное атмосферное явление является труднопрогнозируемым.

С появлением спутниковых технологий, предоставляющих огромное количество необработанных данных, а также благодаря усовершенствованию компьютерных методов решения уравнений, гидро- и газодинамические



**Рис. 1.12.** Графики нормированных параметров ледовитости и СГДМ в фазу развития ледяного покрова, линейные тренды и их уравнения

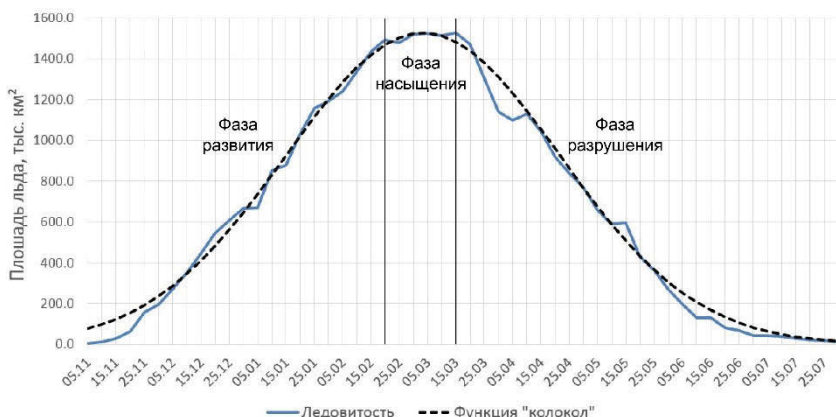
модели достигли высокого уровня точности. Однако на данный момент они не справляются с поставленной задачей в полной мере. Наряду с перечисленными распространенными гидрометеорологическими факторами, влияющими на формирование льда, нами были обнаружены другие не столь очевидные явления, демонстрирующие высокую зависимость с исследуемым событием.

Для разработки прогностического правила, удовлетворяющего корректному описанию кривой сезонного хода ледовитости, применяются: специализированное программное обеспечение; СУБД с технологиями хранения, оптимизации и многопоточной обработки объема данных; ГИС-технологии, ориентированные на использование современных данных наблюдений, включая материалы ДДЗ; учет региональных особенностей ледового режима Охотского и Японского морей.

При построении прогноза сезонного хода ледовитости Охотского моря были рассмотрены основные предикторы, влияющие на «идеальную» модель, представляющую собой колоколообразную функцию со стадиями «развития», «насыщения» и «разрушения» (рис. 1.13).

Ниже представлен принцип прогнозирования, разработанный для стадии «развития» ледяного покрова.

Фаза «развития» продолжается до периода максимального развития ледовитости. Кривая ледовитости на данном этапе подчиняется экспоненциальной функциональной зависимости (формула 1.4), которая выражается как функция ледовитости на произвольную дату ( $S_t$ ) сезона от ледовитости на начало сезона ( $S_{t_0}$ ):



**Рис. 1.13.** Внутрисезонная изменчивость ледовитости Охотского моря в сезон 2000–2001 гг. с выделенными стадиями и функция «колокол»

$$S_t = S_{t_0} e^{\alpha(t-t_0)}, \quad (1.4)$$

где  $t$  и  $t_0$  – характеристики времени,  $\alpha$  – степенная функция (формула 1.5) вида:

$$\alpha = bt^c. \quad (1.5)$$

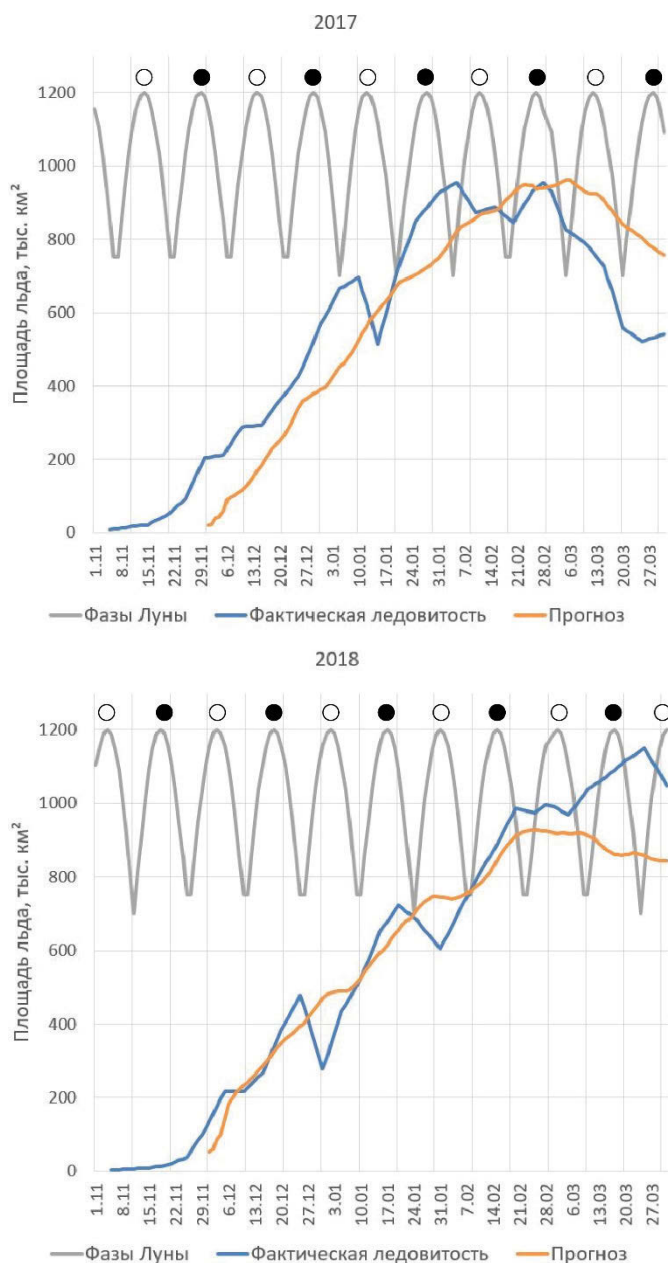
Коэффициенты  $b$  и  $c$  подбираются путем вычисления уравнения степенного тренда, аппроксимирующего точки значений на фазе «развития» ледовитости. Данная функция является идеальной моделью. Однако на практике на фоне общего роста кривой наблюдаются кратковременные снижения ледовитости за счет появления «тонкой структуры». Это становится наиболее заметным в сезоны мягкого типа зим по суровости ледовых условий, так как «тонкая структура» обычно составляет от 2 до 7 % от общей площади Охотского моря.

Фактором, влияющим на появление тонкой структуры ледяного покрова, является образование непродолжительной по времени циклонической деятельности, приводящей к изменениям направления румбов ветра. Это приводит к резкому изменению площади льда за счет разрушения и перемешивания, повышения сплоченности или торошения и выброса льда на береговую линию.

Детальное изучение и анализ местоположения «тонкой структуры» на графиках (рис. 1.14) позволили обнаружить связь циклонической деятельности со сменой фаз Луны, обуславливающих изменение характера атмосферных явлений, которые оказывают существенное влияние на ход развития ледовитости, приводящее к отклонению от идеальной модели.

На этапе роста ледяного покрова происходит резкое уменьшение площади льда в период начала перехода между сизигиями (рис. 1.14). Это время сопровождается циклонической деятельностью, обуславливающей смену преобладающего направления ветра на юго-восточное.

В остальных временных интервалах фазы «развития» наблюдается стабильный рост ледовитости. Особенно явно понижение ледовитости проявляется в северо-западном и северо-восточном регионах Охотского моря,



**Рис. 1.14.** Графики фактической и прогнозной ледовитости и фаз Луны

являющихся главными регионами генерации льда.

Лунные циклы также формируют инерционные процессы, проявляющиеся в виде приливо-отливных потоков, влияющих на образование полыньи в период новолуния, заполненной начальными видами льда. Анализ изменения ледовитости показывает, что полное закрытие полыньи происходит в период полнолуния [Романюк и др., 2017].

Детальное исследование лунных циклов позволило сформулировать прогностическое правило, в основу которого положен подбор годов-аналогов по «идеальному» совпадению дат наступления лунных фаз (в пределах

плюс, минус двух суток). В таблице 1.3 представлены года-аналоги по совпадению лунных циклов для сезона 2018–2019 гг. в соответствии с основными лунными циклами: 19-летним, 11-летним и 8-летним.

Таблица 1.3

**Смещение дат новолуний и полнолуний в декабре 2018 года**

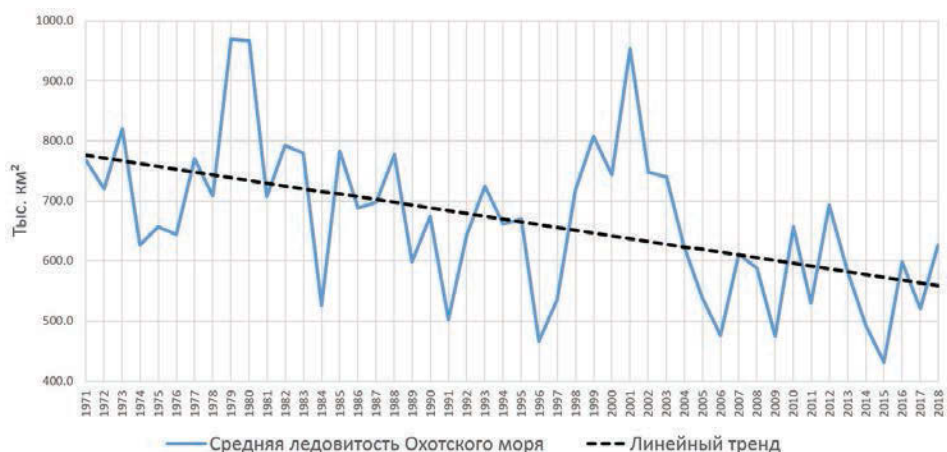
|       | 1981 | 1989 | 1992 | 2000 | 2008 | 2011 | 2019 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| ...   | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 5.12  |      |      |      |      |      | ●    |      |
| 6.12  |      |      | ●    |      |      |      |      |
| 7.12  | ●    |      |      | ●    |      |      | ●    |
| 8.12  |      |      |      |      |      |      |      |
| 9.12  |      | ●    |      |      | ●    |      |      |
| ...   | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |
| 21.12 | ○    |      | ○    |      |      | ○    |      |
| 22.12 |      |      |      | ○    |      |      | ○    |
| 23.12 |      | ○    |      |      | ○    |      |      |
| ...   | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  |

В данном методе прогнозирования учтены долговременная тенденция уменьшения площади ледяного покрова в Охотском море и увеличение повторяемости мягких зим по суровости ледовых условий.

Для построения прогнозного ряда ледовитости осуществляется выборка сезонов-аналогов на основе лунных циклов. Значения ледовитости каждого из сезонов-аналогов смещаются в соответствии со смещением циклов фаз Луны относительно рассматриваемого сезона. Производится нормирование значений путем деления на значение линейного тренда снижения ледовитости  $T_j$ , соответствующее сезону-аналогу. Расчет значений прогнозного ряда  $S_i$  происходит путем вычисления среднего для нормированных и смещенных значений  $S_{\text{смещ.ан.}ji}$  на каждую дату и умножения на значение линейного тренда  $T_s$ , соответствующее прогнозируемому сезону (формула 1.6).

$$S_i = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{S_{\text{смещ.ан.}ji}}{T_j}}{n} * T_s. \quad (1.6)$$

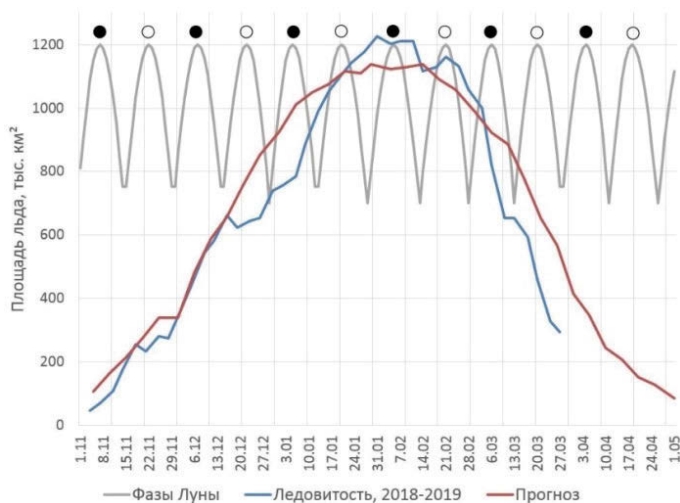
На рисунке 1.15 изображен многолетний ряд значений ледовитости, полученных на основе карт-схем Японского метеорологического агентства ([www.jma.go.jp](http://www.jma.go.jp)), формируемых по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Линейный тренд ряда ледовитости отражает тенденцию со-



**Рис. 1.15.** Многолетний ряд средних значений площади ледяного покрова Охотского моря (с декабря по май) и его линейный тренд

временного потепления, которая учтена при построении прогноза.

График прогнозных значений ледовитости Охотского моря на сезон 2018–2019 гг., построенный на основе взаимосвязи ледовитости с гидрометеорологическими и астрономическими характеристиками, представлен на рисунке 1.16. С помощью ретроспективного восстановления хода ледовитости по предложенному прогнозному правилу установлено, что общий ход кривой с учетом «тонкой структуры» обеспечивает 73-процентную точность воспроизведения значений ледовитости в прошедших сезонах. Так, прогнозная кривая, построенная для сезона 2019 г., продемонстрировала синхронность с реальным ходом ледовитости на стадии развития ледяного покрова (в том числе в периоды циклонической активности). Однако на фазе



**Рис. 1.16.** График фактической и прогнозной ледовитости Охотского моря сезона 2018–2019 гг.

насыщения в связи со слабым учетом климатических факторов прогнозная кривая занижена на 8 % и затянута по срокам очищения акватории на пять суток.

Для прогноза дат начала разрушения ледяного покрова предложено применить модифицированный метод последовательных спектров [Пищальник и др., 2011]. На основе выделения коге-

рентных компонент, обусловленных солнечной активностью и выделенных при анализе длительных рядов наблюдений, показано, что значительная часть вариаций параметров обусловлена солнечной активностью. Периоды когерентных колебаний (11, 22, 28, 24, 56, 88, 8, 13, 15, 17 лет) совпадают с периодами главных когерентных гармоник колебаний чисел Вольфа. Следовательно, модифицированный метод последовательных спектров целесообразно использовать для прогноза долговременных вариаций гидрометеорологических параметров.

## **Заключение к главе 1**

Круглогодичные грузоперевозки по дальневосточному транспортному коридору, который является продолжением Северного морского пути в дальневосточных морях, и перспективы освоения месторождений нефтяных углеводородов на шельфе Арктики и замерзающих морей, зимний промысел гидробионтов обуславливают повышенный интерес к ледовой обстановке. Безопасность и экономическая целесообразность работ в значительной степени зависят от полноты и качества оперативной ледовой информации, используемой при планировании и проведении морских операций.

В НИЛ ДЗЗ разработана единая информационная система управления базой данных на основе веб-картографической интеграционной (геоинформационной) платформы, которая позволяет создавать и внедрять ГИС во внутренние системы и производить предметные выборки и анализ значений интересующих параметров ледового режима. Система оснащена разработанными в НИЛ ДЗЗ программными модулями для расчета характеристик гидрометеорологического режима: алгоритмами действия, позволяющими оперативно обрабатывать получаемые спутниковые снимки; скриптами для автоматической загрузки пространственных данных и размещения их в реестре СУБД по структурированным разделам, в том числе геопривязанные спутниковые снимки, таблицы и карты-схемы гидрометеорологических данных; а также оперативного обращения к научным публикациям, ранжированным по годам издания и тематике исследования.

Сформированы ряды значений ледовитости Охотского и Японского (Татарский пролив) морей за последние 138 лет, выявлены периоды колебаний с однонаправленной тенденцией продолжительностью 20–40 лет. Показано, что общая скорость уменьшения ледовитости с 1882 г. составляет 1,3 % за десять лет, но в современный период потепления (с 1980 г.) она увеличилась до 4,7 % за десять лет. Установлено, что ледовый режим отдельных регионов морей имеет существенные различия на всех фазах развития ледяного покрова, и поэтому решение научно-практических задач необходимо выполнять в строгом соответствии с пространственно-временными масштабами исследуемых явлений. В настоящее время это правило позволяет соблюдать как специально разрабатываемый инструментарий (например, ПК «ЛЕД» и др.), так и новое качество спутниковых наблюдений. Учитывая кратное увеличение грузоперевозок по Северному морскому пути, в ближайшие пять лет резко возрастет потребность обслуживания ледовой информацией судов, осуществляющих плавание во льдах по дальневосточному транспортному коридору. При соответствующей административной поддержке такие услуги гарантированно может оказывать научная структура на базе НИЛ ДЗЗ на уровне мировых стандартов.

## Литература к главе 1

1. Гараевская, Л. С. Практическое пособие по картографии / Л. С. Гараевская, Н. В. Малюсова. – М. : Недра, 1976. – 302 с.
2. Гирс, А. А. Методы долгосрочных прогнозов погоды / А. А. Гирс, К. В. Кондратович. – Ленинград : ГМИ, 1978. – С. 344.
3. Дорофеева, Д. В. К вопросу учета сплоченности массива льда при расчете ледовитости Татарского пролива / Д. В. Дорофеева, И. В. Еременко, В. М. Пищальник, В. А. Романюк // Физика геосфер: Десятый Всероссийский симпозиум, 23–29 октября 2017 г., Владивосток, Россия: мат. докл. – Владивосток : ТОИ ДВО РАН, 2017. – С. 50–53. – ISBN 978-5-990943-3-1.
4. Дорофеева, Д. В. Методологические подходы к прогнозированию ледовитости Татарского пролива / Д. В. Дорофеева, И. Г. Минервин, В. М. Пищальник // Физика геосфер: Одиннадцатый Всероссийский симпозиум, 9–14 сентября 2019 г., Владивосток, Россия: мат. докл. – Владивосток : ТОИ ДВО РАН, 2019. – С. 77–80. – ISBN 978-5-6043211-1-9.
5. Кириллов, А. А. Исследования ледовых условий арктических морей. Методы расчета и прогноза / А. А. Кириллов, В. А. Спичкин. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1987. – 203 с.
6. Крындин, А. Н. Сезонные и межгодовые изменения ледовитости и положения кромки льда на дальневосточных морях в связи с особенностями атмосферной циркуляции / А. Н. Крындин // Тр. ГОИН, 1964. – Вып. 71. – С. 5–80.
7. Минервин, И. Г. Анализ причин формирования экстремальных ледовых условий в Охотском море / И. Г. Минервин, В. М. Пищальник, В. А. Мелкий [и др.] // Физика геосфер: Седьмой Всероссийский симпозиум, 5–9 сентября 2011 г., г. Владивосток, Россия: мат. докл. / ТОИ ДВО РАН. – Владивосток : Дальнаука, 2011. – С. 174–182.
8. Минервин, И. Г. Исследование ледовых условий Охотского моря с целью предотвращения экологических рисков / И. Г. Минервин, В. М. Пищальник // Ученые записки Сахалинского государственного университета. – Южно-Сахалинск : изд-во СахГУ, 2012. – Вып. IX/2012. – С. 70–76.
9. Минервин, И. Г. Районирование ледяного покрова Охотского и Японского морей / И. Г. Минервин, В. А. Романюк, В. М. Пищальник [и др.] // Вестник РАН, 2015. – Т. 85. – № 1. – С. 24–32.
10. Романюк, В. А. Анализ многолетней изменчивости ледовитости Татарского пролива в период с 1929 по 2016 гг. / В. А. Романюк, И. В. Еременко, В. М. Пищальник, И. Г. Минервин // Ученые записки Сахалинского государственного университета. – Вып. XIII/XIV/2016/2017. – Южно-Сахалинск : СахГУ, 2017. – С. 50–54.
11. Пищальник, В. М. Математическое моделирование условий функционирования экосистемы Татарского пролива / В. М. Пищальник // Ученые записки Сахалинского государственного университета. – Вып. XIII/XIV/2016/2017. – Южно-Сахалинск : СахГУ, 2011. – 104 с.
12. Пищальник, В. М. Прогноз вариаций площади ледяного покрова Охотского моря методом последовательных спектров / В. М. Пищальник, В. В. Иванов, П. А. Трусков // Изв. ТИНРО. – 2011. – Т. 165. – С. 130–143.
13. Пищальник, В. М. Основные принципы работы программного комплекса «Лед» / В. М. Пищальник, А. О. Бобков, И. Г. Минервин, В. А. Романюк // Физика геосфер: Девятый Всероссийский симпозиум, 31 августа–4 сентября 2015 г., г. Владивосток, Россия: мат. докл. / ТОИ ДВО РАН. – Владивосток : Дальнаука, 2015. – С. 556–561.
14. Пищальник, В. М. Анализ динамики аномалий ледовитости Охот-

ского моря в период с 1882 по 2015 г. / В. М. Пищальник, В. А. Романюк, И. Г. Минервин, А. С. Батухтина // Изв. ТИНРО. – 2016. – Т. 185. – С. 228–239.

15. Пищальник, В. М. Анализ изменений ледового режима в отдельных районах Охотского моря в период потепления / В. М. Пищальник, И. Г. Минервин, В. А. Романюк // Вестник РАН, 2017. – Т. 87. – № 5. – С. 429–440. – DOI: 10.7868/S0869587317050024.

16. Пищальник, В. М. Анализ динамики межгодовых аномалий ледовитости Татарского пролива за период с 1882 по 2018 гг. / В. М. Пищальник, Д. В. Дорофеева, И. Г. Минервин [и др.] // Изв. ТИНРО, 2019. – Т. 196. – DOI: org/10.26428/1606-9919-2019-196-114-122.

17. Плотников, В. В. Ледовые условия и методы их прогнозирования / В. В. Плотников, Л. П. Якунин, В. А. Петров // Проект «Моря. Гидрология и гидрохимия морей». – Т. IX: «Охотское море». – Вып. 1: «Гидрометеорологические условия». – СПб. : Гидрометеиздат, 1998. – С. 291–340.

18. Плотников, В. В. Изменчивость ледовых условий дальневосточных морей России и их прогноз / В. В. Плотников. – Владивосток : Дальнаука, 2002. – 171 с.

19. Плотников, В. В. Ледовые условия / В. В. Плотников, Л. П. Якунин, А. Г. Петров // Проект «Моря. Гидрометеорология и гидрохимия морей». – Т. VIII: «Японское море». – Вып. 1: «Гидрометеорологические условия». – СПб. : Гидрометеиздат, 1998. – С. 347–394.

20. Поплавский, А. А. Оперативный прогноз цунами на морских берегах Дальнего Востока России / А. А. Поплавский, В. Н. Храмушин, К. И. Непоп, Ю. П. Королев. – Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 1997. – 272 с.

21. Рабинер, Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б. Гоулд. – М. : Мир, 1978. – 834 с.

22. Романюк, В. А. Исследование влияния сроков смены сезонов на ледовитость Охотского и Японского морей / В. А. Романюк, В. М. Пищальник, И. Г. Минервин [и др.] // Физика геосфер: Седьмой Всероссийский симпозиум, 5–9 сентября 2011 г., г. Владивосток, Россия: мат. докл. / ТОИ ДВО РАН. – Владивосток : Дальнаука, 2011. – С. 218–224.

23. Спичкин, В. А. Определение критерия крупной аномалии / В. А. Спичкин // Тр. ААНИИ. – 1987. – Т. 402. – С. 15–20.

24. Шумилов, И. В. О новой версии программного комплекса «ЛЕД» / И. В. Шумилов, В. М. Пищальник, И. Г. Минервин // ИнтерКарто/ИнтерГИС 23. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий в условиях глобальных изменений климата: материалы Междунар. конф. – М. : изд-во Московского университета, 2017. – Т. 2. – С. 250–256. – DOI: 10.24057/2414-9179-2017-2-23-250-256.

25. Шумилов, И. В. Разработка программного модуля для вычисления сроков ледяного покрова по данным дистанционного зондирования / И. В. Шумилов, И. Г. Минервин, В. М. Пищальник, Н. С. Терентьев // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». – 2018. – Т. 24(2). – С. 171–177. – Режим доступа: <http://doi.org/10.24057/2414-9179-2018-2-24>.

26. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015660472. Программный комплекс для расчета площади ледяного покрова в Охотском и Японском морях по данным ДЗЗ ХПК «ЛЕД». Авторы: Пищальник В. М., Бобков А. О., Романюк В. А. Дата гос. регистрации в Росреестре программ для ЭВМ 01 октября 2015 г.

27. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. – Вып. 9. – Ч. 1. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – С. 233–238.

## ГЛАВА 2.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ ГИС «САХАЛИНСКИЙ ШЕЛЬФ»



Сахалинский шельф – это кладовая биологических (возобновляемых) и минеральных (невозобновляемых) природных ресурсов, добыча и переработка которых является основой формирования бюджетов всех уровней. Для планирования их добычи, прогнозов восстановления, охраны и оценки влияния биотических и абиотических факторов, а также техногенных воздействий на морскую среду необходима разработка методологии, основанной на современных методах получения и обработки информации о состоянии вод шельфовой зоны острова. В данном разделе подробно обсуждаются различные аспекты и возможности применения математических моделей, основанных на цифровых технологиях применительно к сахалинскому шельфу. Одной из цифровых моделей, разработанных в СахГУ, является ГИС «Сахалинский шельф». С помощью ГИС можно выполнять различные виды анализа состояния морской среды, в том числе вычислять климатические значения гидрологических и гидрохимических параметров для отдельных участков на акватории шельфа с произвольно выбранными границами на стандартных океанологических горизонтах от 0 до 500 м. Информационной основой данной системы является гидролого-гидрохимический атлас сахалинского шельфа («АТЛАС-2018»), в котором расчетная информация представлена в виде трехмерных матриц. Принципы создания атласа и структура на разных этапах его разработки подробно изложены в работах [Пищальник, Климов, 1991; Пищальник, Бобков, 1992; Свидетельство..., 1993]. Инструкция по работе с новой версией цифровой модели (АТЛАС-2018) представлена в настоящем издании в приложении 4 [Свидетельство..., 2019].

Предложенный нами методологический подход основан на обработке данных регулярных гидрологических съемок. Наблюдения на стандартных гидрологических разрезах выполнялись в шельфовой зоне острова более сорока лет. Собранные данные позволили корректно восстановить годовой ход температуры и солёности воды на всех стандартных горизонтах для каждой стандартной станции, в том числе и в ледовый период. Таким образом, впервые была воспроизведена изменчивость замкнутого годового цикла температуры и солёности воды, смоделировано пространственно-временное распределение плотности и рассчитана геострофическая циркуляция вод для каждого месяца года. На основе системного анализа расчетных данных получен ряд новых выводов, которые существенно дополнили и изменили имеющиеся представления об отдельных элементах динамики и режима вод в различных районах сахалинского шельфа [Пищальник, 1997; Леонов, 1997; Пищальник, Архипкин, 2000; Пищальник, Бобков, 2000 а, б; Пищальник, Леонов, 2003; Пищальник и др., 2003; Пищальник, 2004; Пищальник, Мелкий, 2004; Пищальник и др., 2005; Леонов, Пищальник, 2005 а, б; Леонов и др., 2007; Пищальник, Боб-

ков, 2008; Леонов, 2008; Пищальник и др., 2009; Леонов и др., 2010 а, б; Пищальник и др., 2010; Леонов и др., 2011; Пищальник и др., 2011; Леонов, 2012; Леонов, Пищальник, 2012; Пищальник и др., 2014; Леонов и др., 2016; Пищальник и др., 2017].

В данной главе для демонстрации возможностей цифрового пространственно-временного моделирования гидролого-гидрохимического режима вод выбраны акватория пролива Лаперуза и прилегающий к нему залив Анива. В гидрологическом отношении это сложный и еще недостаточно изученный район. С точки зрения океанографии его можно рассматривать как своеобразный полигон, где на ограниченном пространстве прослеживается практически весь спектр изменчивости характеристик морской среды, наблюдаемый на сахалинском шельфе – от субтропических до субарктических. Учитывая экономическую выгоду моделирования (малая себестоимость исследований относительно, например, экспедиционных или спутниковых наблюдений), оно наиболее востребовано в современном цифровом мире, поскольку для этого имеется фундаментальный теоретический и технический потенциал.

С гидрохимическими и гидробиологическими характеристиками вод в проливе Лаперуза ситуация более сложная. Отсутствие данных инструментальных наблюдений в осенний и зимний периоды из-за суровых штормовых и ледовых условий не позволяет корректно восстановить их полный годовой ход. Однако имеющихся в «АТЛАС-2018» данных вполне достаточно для корректной имитации годового хода трансформации органических веществ – полного пула гидрохимических и гидробиологических характеристик морской среды – с помощью программного модуля «С, N, P, Si-модель», что и было сделано в настоящей главе [Леонов, 2008, 2012; Леонов, Пищальник, 2012].

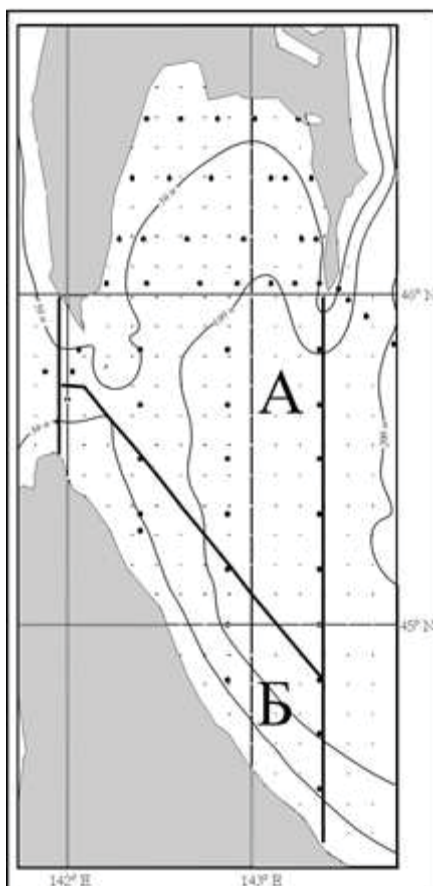
В «АТЛАС-2018» имеется гидрохимическая информация как на самые ранние (на 1 мая для растворенного в воде кислорода, на 26 мая для величины pH, фосфатов, нитритов и силикатов), так и на самые поздние (26 октября для всех вышеперечисленных параметров) даты возможного расчета средних значений характеристик по инструментальным наблюдениям.

## **2.1. Особенности структуры вод и водные массы**

Отдельные вопросы термохалинного анализа вод в проливе Лаперуза обсуждались в работах [Aota, Takidzawa, 1994; Пищальник, Архипкин, 2000; Itoh, Ohshima, 2000; Matsuyama et al., 2000]. Применение метода классического T, S-анализа [Мамаев, 1987] позволило выделить на акватории исследуемого района три водные массы: поверхностную охотоморскую летней модификации (ПОВМ), собственно охотоморскую (ОВМ) и поверхностную тихоокеанскую (ПТВМ). Пространственное распределение этих водных масс обуславливает наличие в проливе Лаперуза двух водных структур – субарктическую и субтропическую, с четко выраженной границей (рис. 2.1).

Субтропическая водная структура располагается в прибрежной зоне острова Хоккайдо шириной ~15–30 миль и представлена одной водной массой – ПТВМ. Остальную акваторию пролива занимает субарктическая водная структура, которая в теплый период года представлена двумя водными массами – ПОВМ и ОВМ, а в холодный период одной – ОВМ [Морошкин, 1966; Пищальник, Архипкин, 2000 и др.].

ПОВМ начинает формироваться по мере прогрева вод сразу после очи-



**Рис. 2.1.** Схема расположения станций и узлов регулярной сетки:

- – стационарная океанографическая станция;
- – узлы регулярной сетки;
- А – область субарктической структуры вод;
- Б – область субтропической структуры вод

Для вычисления объемов водных масс, определения количества тепла и масс солей был применен метод объемного  $T, S$ -анализа вод [Мамаев и др., 1994]. Расчет объемных характеристик выполнялся в строгой последовательности. На первом этапе с помощью квадратичной интерполяции в узлах регулярной сетки вертикальные профили температуры и солёности восстанавливались от поверхности до дна с шагом 1 м. На втором этапе производилось суммирование элементарных объемов (параллелепипедов единичной высоты с площадью 100 км<sup>2</sup>) для каждого  $T, S$ -класса по градациям 0,5 °C по температуре и 0,2 ‰ по солёности. После этого вычислялось относительное теплосодержание вод  $Q$  (энтальпия) по формуле 2.1:

$$Q = c_v \cdot \rho \cdot V \cdot (T - T_f), \quad (2.1)$$

щения акватории от дрейфующего льда, то есть в конце марта–начале апреля. Нижняя ее граница определяется глубиной залегания сезонного пикноклина. Максимальная толщина ПОВМ наблюдается осенью в период интенсивного штормового перемешивания и достигает значений 55–65 м. Средние значения температуры воды в ней изменяются от 18 до 2 °C, солёности – от 31,2 до 32,5 ‰.

Зимой, благодаря хорошо развитой вертикальной конвекции, поверхностная водная масса трансформируется в ОВМ, которая в этот период достигает дна и охватывает большую часть исследуемой акватории. В результате практически вся водная толща в районе исследования представлена одной водной массой – ОВМ, у которой температура близка к температуре замерзания морской воды.

В теплый период года ОВМ, по классификации К. В. Морошкина (1966), для большей части акватории Охотского моря является промежуточной водной массой. В мелководном проливе Лаперуза она занимает пространство у дна, с характерными значениями температуры воды  $-1,5 \div +2,0$  °C и солёности  $32,5 \div 33,4$  ‰.

ПТВМ поступает из Японского моря и проявляется в проливе Лаперуза в виде теплого течения Соя [Морошкин, 1966; Якунин, 2003; Якунин, 1998]. По своим гидрологическим характеристикам она резко отличается от ОВМ. Так, температура воды в ПТВМ изменяется от 19 до 2 °C, а солёность – от 33,2 до 34,0 ‰.

где  $c_v$  – удельная теплоемкость морской воды при постоянном объеме, Дж/(кг·м³);  $\rho$  – плотность воды, кг/м³;  $V$  – объем воды, м³;  $T$  и  $T_f$  – соответственно температура морской воды и температура ее замерзания, °С [Архипкин, 1992; Архипкин, Добролюбов, 1998].

Масса растворенной в воде соли  $M_s$  (кг) рассчитывалась по формуле 2.2:

$$M_s = S \cdot \rho \cdot V / 1000, \quad (2.2)$$

где  $S$  – соленость морской воды, г/кг.

Каждой водной массе в  $T, S$ -плоскости соответствуют локальные максимумы объемов воды (мода). В зимний период в исследуемом районе наблюдается двухмодовая структура функции распределения объемов водных масс (ПТВМ и ОВМ), а в другие сезоны – трехмодовая их структура (ПТВМ, ПОВМ и ОВМ). Учитывая это, границы между водными массами были определены по минимальным значениям двумерной функции распределения (табл. 2.1).

Таблица 2.1

**Термохалинные критерии,  
принятые для выделения границ водных масс**

| Месяц                           | I   | II  | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII |
|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| ПТВМ. Соленость > 33.0 ‰        |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| Температура, °С<br>выше, чем:   | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 1.5 | 2.0 | 2.0 | 2.5  | 3.0 | 3,0 | 3.0 | 3.0 |
| ПОВМ                            |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| Температура, °С<br>меньше, чем: | –   | –   | –   | 1.0 | 3.5 | 6.0 | 8.0 | 9.0  | 9.0 | 5.5 | 3.0 | –   |
| Соленость, ‰<br>меньше, чем:    | –   | –   | –   | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0  | 3.0 | 2.5 | 2.0 | –   |

## 2.2. Объемный $T, S$ -анализ вод

Предварительный анализ кривых годового хода, вертикального распределения и пространственно-временной изменчивости гидролого-гидрохимических параметров по станциям показал, что для анализа мезомасштабных структурных образований в проливе одной выделенной нами границы между водными массами явно недостаточно. Поэтому было принято решение провести дополнительное районирование по разработанной ранее для всей шельфовой зоны острова методике, которая учитывает изменчивость годового хода температуры воды, сроки наступления ее максимума в поверхностном слое и другие особенности гидролого-гидрохимического режима и рельефа дна [Пищальник, Леонов, 2003; Пищальник, 2005].

В результате вся акватория исследований, ограниченная с севера и юга берегами островов Сахалин и Хоккайдо, а с запада и востока меридианами 1410 50/ и 1430 39/ в. д., была подразделена на четыре района (рис. 2.2).

Для каждого выделенного района на стандартных горизонтах были вычислены средневзвешенные по площади среднемесячные значения параметров, которые в соответствии с принятой терминологией были названы «средними» океанологическими станциями [Мамаев и др., 1994]. Графики



**Рис. 2.2.** Схема расположения районов на исследуемой акватории

на средних океанологических станциях дают представление о годовом ходе и характере вертикального распределения параметров по сезонам в каждом выделенном районе в целом. Использование метода анализа средних океанологических станций позволяет на порядок уменьшить объем графического материала, используемого для анализа особенностей режимных характеристик морской среды на исследуемых акваториях.

Общий объем вод пролива принят равным 1606 км<sup>3</sup>. Результаты расчетов объемов, теплосодержания и количества солей в водных массах по приведенным выше критериям представлены в таблице 2.2. Анализ данных позволяет заключить, что в течение всего года большая часть пролива Лаперуза занята субарктической структурой (от 63 % в мае до 92 % в ноябре). При этом изменение объема ее происходит скачкообразно в периоды с марта по май и с сентября по ноябрь.

Временной период максимума объема субтропических вод в пролив Лаперуза совпадает с минимальным уровнем моря в южной части Охотского моря [Поезжалова, Шевченко, 1997]. Абсолютный максимум их содержания по нашим расчетам приходится на май, и это не противоречит

результатам расчетов годового хода объема вод течения Соя, полученным на независимом материале [Itoh, Ohshima, 2000]. Здесь следует иметь в виду, что момент наступления максимума объема вод не совпадает с периодом максимальных скоростей течения Соя, который, по мнению ряда авторов и нашим расчетам, представленным ниже, наблюдается в июле-августе [Кантаков и др., 2001; Супранович и др., 2001; Aota, Takidzawa, 1994].

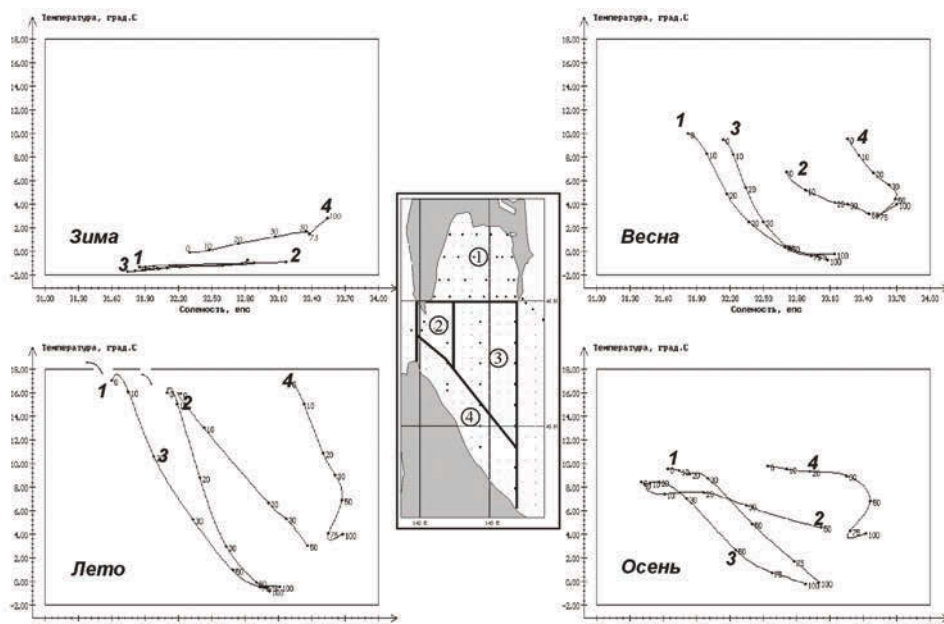
Максимальная изменчивость объема вод отмечается у ПОВМ – от 0 % зимой до 76 % осенью. Колебания объема вод ПТВМ составляют от 8 % осенью до 37 % весной. Плавное увеличение объема ПТВМ с ноября по март ставит под сомнение гипотезу японских ученых о том, что зимой в поверхностных горизонтах происходит полное замещение субтропических вод водами Восточно-Сахалинского течения [Aota, 1970; Aota, Kawamura, 1978, 1979].

Анализ сезонных вариаций Т, S-диаграмм для средних океанологических станций (рис. 2.3) показывает, что в зимний период распресненные в поверхностных горизонтах воды принадлежат к субтропической структуре.

Это позволяет сделать вывод, что именно процессы таяния льда в проливе Лаперуза, а не замещение вод субтропического происхождения по

Внутригодовая изменчивость объема (109 м<sup>3</sup>), тепла (1015 Дж) и количества солей (1012 кг) вод в проливе Лаперуза

| Месяц                                                 | I     | II    | III   | IV    | V     | VI    | VII   | VIII  | IX    | X     | XI    | XII   |
|-------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Субтропическая структура (течение Соя)                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Объем                                                 | 206   | 242   | 282   | 464   | 598   | 541   | 515   | 514   | 464   | 303   | 126   | 158   |
| % от всего объема вод                                 | 12.8  | 15.1  | 17.6  | 28.9  | 37.2  | 33.7  | 32.1  | 32.0  | 28.9  | 18.9  | 7.8   | 9.8   |
| Теплосодержание                                       | 4115  | 3938  | 4328  | 8097  | 13766 | 16154 | 18511 | 22390 | 21229 | 11757 | 4363  | 4051  |
| % от всего теплозапаса вод                            | 29.4  | 42.4  | 48.3  | 51.2  | 52.0  | 44.1  | 40.4  | 42.1  | 38.7  | 23.6  | 10.9  | 16.5  |
| Количество солей                                      | 7197  | 8439  | 9881  | 16212 | 21125 | 19276 | 19096 | 18729 | 16789 | 10921 | 4702  | 5466  |
| % от всего кол-ва солей                               | 13.5  | 15.7  | 18.3  | 29.8  | 38.6  | 35.4  | 35.1  | 34.4  | 30.9  | 20.3  | 8.9   | 10.4  |
| Субарктическая структура                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Объем, в т. ч. ПОВМ                                   | 1400  | 1364  | 1324  | 1142  | 1008  | 1065  | 1091  | 1092  | 1142  | 1303  | 1480  | 1448  |
| % от всего объема вод, в т. ч. ПОВМ                   | 87.2  | 84.9  | 82.4  | 71.1  | 62.8  | 64.3  | 67.9  | 68.0  | 71.1  | 81.1  | 92.2  | 90.2  |
| Теплосодержание вод, в т. ч. ПОВМ                     | 9890  | 5349  | 4641  | 7715  | 12691 | 20460 | 27352 | 30797 | 33556 | 38029 | 35677 | 20570 |
| % от всего теплозапаса вод, в т. ч. ПОВМ              | 70.6  | 57.6  | 51.4  | 48.8  | 48.0  | 55.9  | 59.6  | 57.9  | 61.3  | 76.4  | 89.1  | 83.5  |
| Количество солей                                      | 4595  | 45156 | 44165 | 38143 | 33551 | 35252 | 35923 | 35729 | 37606 | 42849 | 48259 | 47306 |
| % от всего количества солей, в т. ч. ПОВМ             | 86.5  | 84.3  | 81.7  | 70.2  | 61.4  | 64.6  | 66.0  | 65.6  | 69.1  | 79.7  | 91.1  | 89.6  |
| Пролив Лаперуза в целом (объем 1606 км <sup>3</sup> ) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Теплосодержание                                       | 14005 | 9292  | 8969  | 15812 | 26457 | 36614 | 45863 | 53187 | 54785 | 49786 | 40040 | 24621 |
| Количество солей                                      | 53148 | 53595 | 54046 | 54355 | 54676 | 54528 | 54434 | 54458 | 54395 | 53770 | 52961 | 52772 |



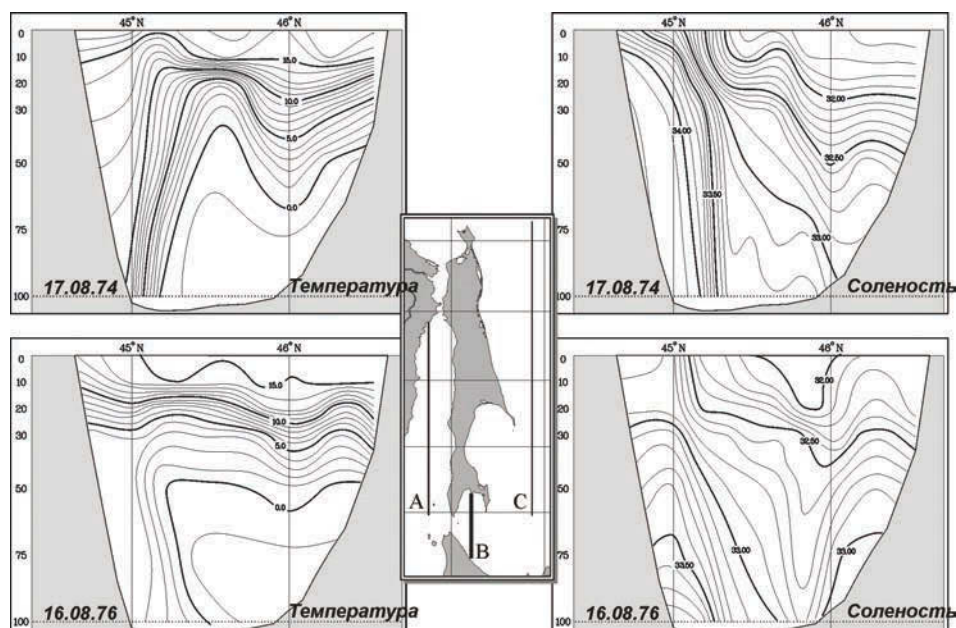
**Рис. 2.3.** Сезонные вариации  $T, S$ -диаграмм для средних океанологических станций

верхностной охотоморской водной массой являются основной причиной понижения солености вод подо льдом в зоне действия течения Соя [Пищальник, Архипкин, 2000; Пищальник и др., 2005].

Для понимания процессов формирования водных масс в проливе Лаперуза необходимо иметь представление об особенностях ледового режима. Средняя дата появления местного льда вдоль северного побережья залива Анива (район № 1 на рис. 2.2) приходится на вторую декаду января. Этот лед, образующийся под влиянием зимнего муссона, дрейфует в южном направлении и, постепенно увеличиваясь в толщине, в течение месяца заполняет всю акваторию залива. В умеренные зимы толщина его на южной границе залива не превышает 15–20 см.

Дрейфующий вдоль восточного побережья острова Сахалин охотоморский лед достигает пролива Лаперуза тоже во второй декаде января. Ледообразование в этом массиве начинается в ноябре. Дрейфует он в направлении открытой воды, поэтому скорость прироста толщины льда в прикромочной зоне мала, и на момент пересечения границы пролива средняя толщина его составляет ~15 см. В конце февраля охотоморский лед заполняет всю акваторию пролива, и начинается его вынос в Японское море (районы № 2, 3, 4 на рис. 2.2). Средняя толщина ледяного покрова увеличивается до ~35 см. В суровые зимы дрейфующий лед может проникать и в акваторию залива Анива. Местные льды в проливе Лаперуза образуются только в течение февраля и преимущественно в ночное время. Днем они под воздействием солнечной радиации почти полностью разрушаются.

Термическое разрушение льда начинается в первой декаде марта, а в третьей декаде происходит первое полное очищение исследуемой акватории ото льда. Процесс очищения в 50 % случаев не является односторонним, так как часто наблюдаются возвраты льда. Окончательное очищение происходит в третьей декаде апреля. Таким образом, ледяной покров



**Рис. 2.4.** Распределение температуры воды (°C, слева) и солёности (‰, справа) на меридиональном разрезе В (врезка) по результатам отдельных съёмок в период максимальной активности течения Соя

присутствует в проливе Лаперуза в течение двух-трех месяцев. При этом в зоне течения Соя процессы термического разрушения льда происходят непрерывно, поэтому ледяной покров присутствует там в мягкие и умеренные зимы достаточно редко [Тамбовский, Пищальник, 1993; Якунин, 1995; Романюк и др., 2017].

Значительные изменения положения северной границы потока течения Соя документально фиксировались японскими исследователями в течение 15 лет путем измерения расстояния от берега до границы теплых вод в районе Момбецу (по меридиану  $143^{\circ} 22'$  в. д.). Согласно этим данным, минимальная ширина потока составляла 18, а максимальная – 36 миль. В течение суток изменение местоположения границы теплых вод может достигать 10 миль (при средней ширине потока, по многолетним данным, ~25 миль) [Aota, Takidzawa, 1994]. Данные океанографических съёмок, выполненные в разные годы, наглядно подтверждают факт проникновения холодных вод Восточно-Сахалинского течения к побережью Хоккайдо в период максимальной интенсивности течения Соя в августе (рис. 2.4).

Анализ объемных T, S-диаграмм, рассчитанных для каждого месяца по среднеемноголетним данным, подтверждает присутствие в исследуемой акватории ПОВМ в теплый период года: появление в мае и исчезновение в декабре (рис. 2.5). Одной из особенностей полученных T, S-диаграмм является распределение объемов на графиках в виде буквы “V”, в основании которой лежит ядро ОВМ с практически неизменными во все сезоны T, S-индексами ( $T \approx 0,3^{\circ}\text{C}$ ,  $S \approx 33,00\text{‰}$ ). T, S-индексы ядра ПОВМ близки весной и осенью ( $T \approx 9,0^{\circ}\text{C}$ ,  $S \approx 32,0\text{‰}$ ). Летом температура воды заметно возрастает (до  $T \approx 16,5^{\circ}\text{C}$ ), а солёность начинает снижаться (до  $S \approx 31,7\text{‰}$ ).

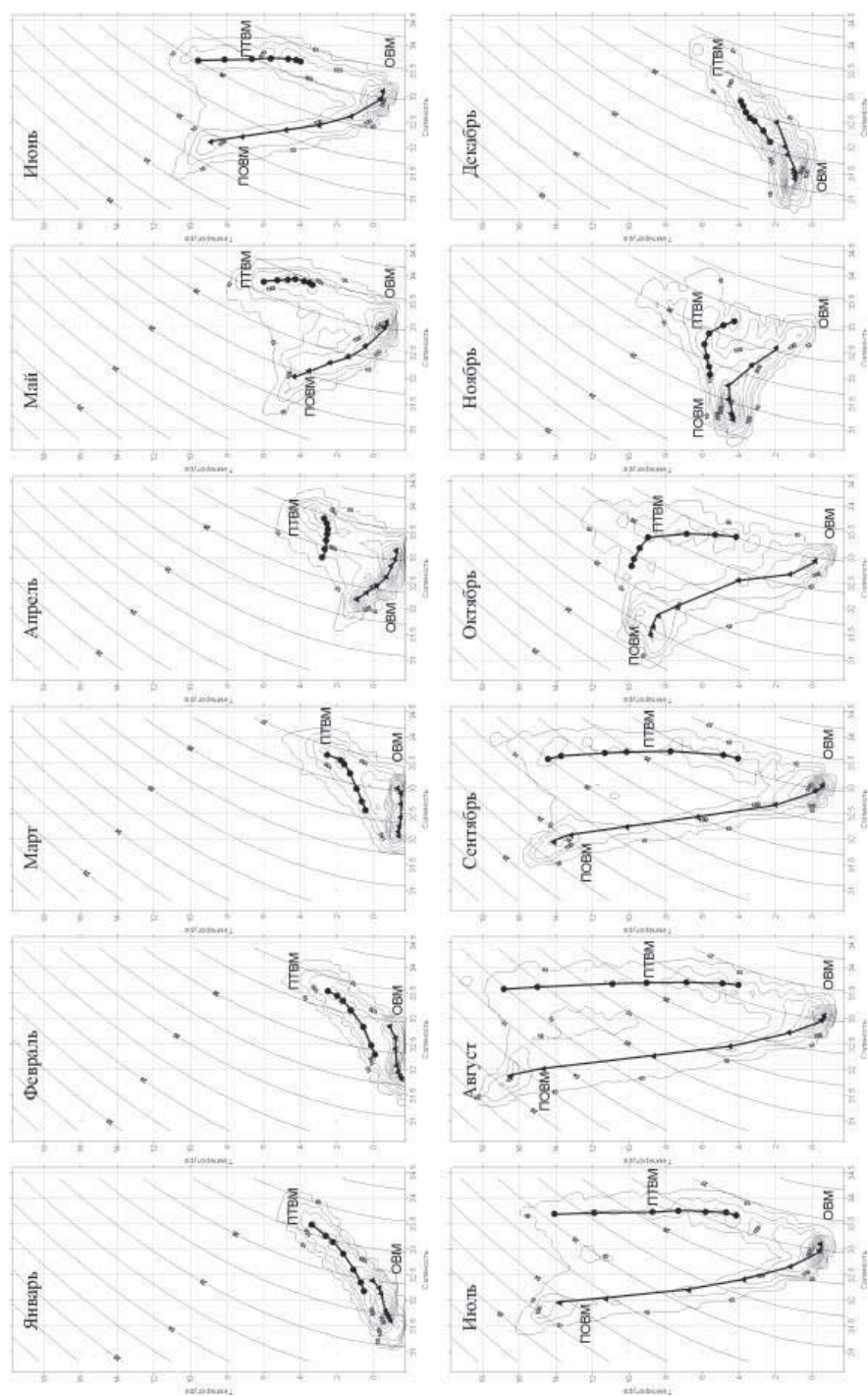


Рис. 2.5. Изменчивость объемных Т, S-диаграмм в исследуемой акватории. Аббревиатура водных масс в тексте

В ПТВМ четко выраженное ядро отсутствует, что свидетельствует об интенсивном перемешивании вод в струе течения Соя.

Рассмотрим особенности вертикальной термохалинной стратификации вод в выделенных структурах на примере средних станций (табл. 2.3–2.4), представляющих собой среднемноголетние значения температуры и солености на каждом стандартном горизонте, полученные осреднением данных в границах структур как по времени, так и по площади [Мамаев, 1994].

Отличительной чертой стратификации вод для обеих структур является их положительная общая вертикальная устойчивость в течение всего года, обусловленная в летний период интенсивным нагреванием вод, а в осенне-зимний период – распреснением поверхностных вод. Наиболее стратифицированными являются воды субарктической структуры в безледовый период. Максимальные величины устойчивости вод повсеместно наблюдаются в поверхностных горизонтах в летний период. Минимальная устойчивость (вплоть до нейтральной стратификации) наблюдается весной и летом в придонных горизонтах. При этом в субтропической структуре вод это может быть объяснено явлением даунвеллинга у северо-восточного побережья острова Хоккайдо в глубоководной части пролива Лаперуза.

Весной и летом в обеих структурах вклад термической составляющей в общую вертикальную устойчивость значительно больше, чем соленосной (за исключением придонных слоев субарктической структуры).

В зимний период, наоборот, доминирующим является вклад соленосной составляющей. Осенью в субтропической структуре в поверхностном слое преобладает соленосная составляющая, а в придонных – термическая.

Таблица 2.3

**Сезонная изменчивость параметров средней океанологической станции субарктической структуры вод в исследуемой акватории**

| P            | T     | S     | $10^8 E$ | $10^8 E_T$ | $10^8 E_S$ | $-E_T/E_S$ | NB    |
|--------------|-------|-------|----------|------------|------------|------------|-------|
| <b>Зима</b>  |       |       |          |            |            |            |       |
| 0            | –1.51 | 31.82 | 456.4    | –17.4      | 473.8      | 0.04       | 3.83  |
| 10           | –1.43 | 31.88 | 530.3    | –22.2      | 552.5      | 0.04       | 4.13  |
| 20           | –1.32 | 31.96 | 764.6    | –24.2      | 788.8      | 0.03       | 4.95  |
| 30           | –1.24 | 32.08 | 1107.1   | –16.4      | 1123.5     | 0.01       | 5.96  |
| 50           | –1.16 | 32.41 | 975.7    | –5.4       | 981.0      | 0.01       | 5.60  |
| 75           | –1.17 | 32.62 | 674.4    | –18.8      | 693.2      | 0.03       | 4.65  |
| 100          | –0.86 | 32.85 | 375.9    | –25.3      | 401.1      | 0.06       | 3.47  |
| <b>Весна</b> |       |       |          |            |            |            |       |
| 0            | 8.93  | 32.12 | 3318.1   | 2555.4     | 761.1      | –3.36      | 10.32 |
| 10           | 7.22  | 32.22 | 3579.1   | 2698.1     | 879.7      | –3.07      | 10.72 |
| 20           | 4.38  | 32.35 | 3064.2   | 2215.5     | 847.9      | –2.61      | 9.92  |
| 30           | 3.01  | 32.44 | 1830.8   | 1132.3     | 698.1      | –1.62      | 7.67  |
| 50           | 1.26  | 32.62 | 1357.7   | 475.6      | 881.9      | –0.54      | 6.60  |
| 75           | –0.32 | 32.96 | 931.7    | 162.2      | 769.4      | –0.21      | 5.47  |

Продолжение таблицы 2.3

| P            | T     | S     | $10^8 E$ | $10^8 E_T$ | $10^8 E_S$ | $-E_T/E_S$ | NB    |
|--------------|-------|-------|----------|------------|------------|------------|-------|
| 100          | -0.58 | 33.11 | 293.1    | 25.9       | 267.1      | -0.10      | 3.07  |
| <b>Лето</b>  |       |       |          |            |            |            |       |
| 0            | 16.51 | 31.84 | 5336.6   | 3989.8     | 1343.3     | -2.97      | 13.09 |
| 10           | 14.71 | 32.02 | 9664.8   | 8050.6     | 1611.2     | -5.00      | 17.62 |
| 20           | 8.69  | 32.27 | 9199.9   | 7523.1     | 1675.3     | -4.49      | 17.19 |
| 30           | 4.52  | 32.46 | 4206.8   | 2952.3     | 1253.8     | -2.36      | 11.62 |
| 50           | 1.30  | 32.73 | 1628.8   | 727.2      | 901.3      | -0.81      | 7.23  |
| 75           | -0.36 | 32.97 | 675.2    | 156.9      | 518.2      | -0.30      | 4.66  |
| 100          | -0.50 | 33.06 | 202.7    | 14.1       | 188.5      | -0.08      | 2.55  |
| <b>Осень</b> |       |       |          |            |            |            |       |
| 0            | 8.84  | 31.49 | 1410.5   | 191.2      | 1217.8     | -0.16      | 6.73  |
| 10           | 8.71  | 31.65 | 1748.0   | 299.9      | 1446.6     | -0.21      | 7.49  |
| 20           | 8.43  | 31.87 | 2468.6   | 943.3      | 1523.9     | -0.62      | 8.90  |
| 30           | 7.40  | 32.05 | 3470.3   | 1806.8     | 1662.3     | -1.09      | 10.56 |
| 50           | 4.05  | 32.56 | 2533.8   | 1362.6     | 1170.5     | -1.16      | 9.02  |
| 75           | 1.24  | 32.68 | 1127.2   | 533.9      | 593.0      | -0.90      | 6.02  |
| 100          | -0.14 | 32.94 | 588.0    | 133.0      | 454.8      | -0.29      | 4.34  |

В таблицах 2.3 и 2.4: P – давление, дцБ; T – температура, °C; S – солёность, ‰; E – параметр устойчивости ( $E = E_T + E_S$ ), дцБ-1;  $E_T$  и  $E_S$  – термическая ( $E_T = \alpha \cdot dT/d\rho$ ) и солёностная ( $E_S = \beta \cdot dS/d\rho$ ) составляющие устойчивости;  $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты термического расширения и солёностного сжатия;  $-E_T/E_S$  – плотностное соотношение; NB – частота Вейселя-Брента (цикл·ч-1)

Таблица 2.4

**Сезонная изменчивость параметров средней океанологической станции субтропической структуры вод в проливе Лаперуза**

| P           | T     | S     | $10^8 E$ | $10^8 E_T$ | $10^8 E_S$ | $-E_T/E_S$ | NB   |
|-------------|-------|-------|----------|------------|------------|------------|------|
| <b>Зима</b> |       |       |          |            |            |            |      |
| 0           | -0.08 | 32.30 | 1327.1   | -86.1      | 1413.1     | 0.06       | 6.53 |
| 10          | 0.12  | 32.48 | 1971.1   | -146.8     | 2117.8     | 0.07       | 7.96 |
| 20          | 0.55  | 32.84 | 2400.8   | -300.8     | 2701.4     | 0.11       | 8.78 |
| 30          | 1.24  | 33.17 | 1350.8   | -289.4     | 1639.9     | 0.18       | 6.59 |
| 50          | 1.67  | 33.35 | 387.5    | -119.5     | 506.6      | 0.24       | 3.53 |
| 75          | 1.98  | 33.45 | 234.9    | -123.5     | 358.0      | 0.34       | 2.75 |
| 100         | 2.49  | 33.58 | 252.9    | -89.2      | 341.7      | 0.26       | 2.85 |

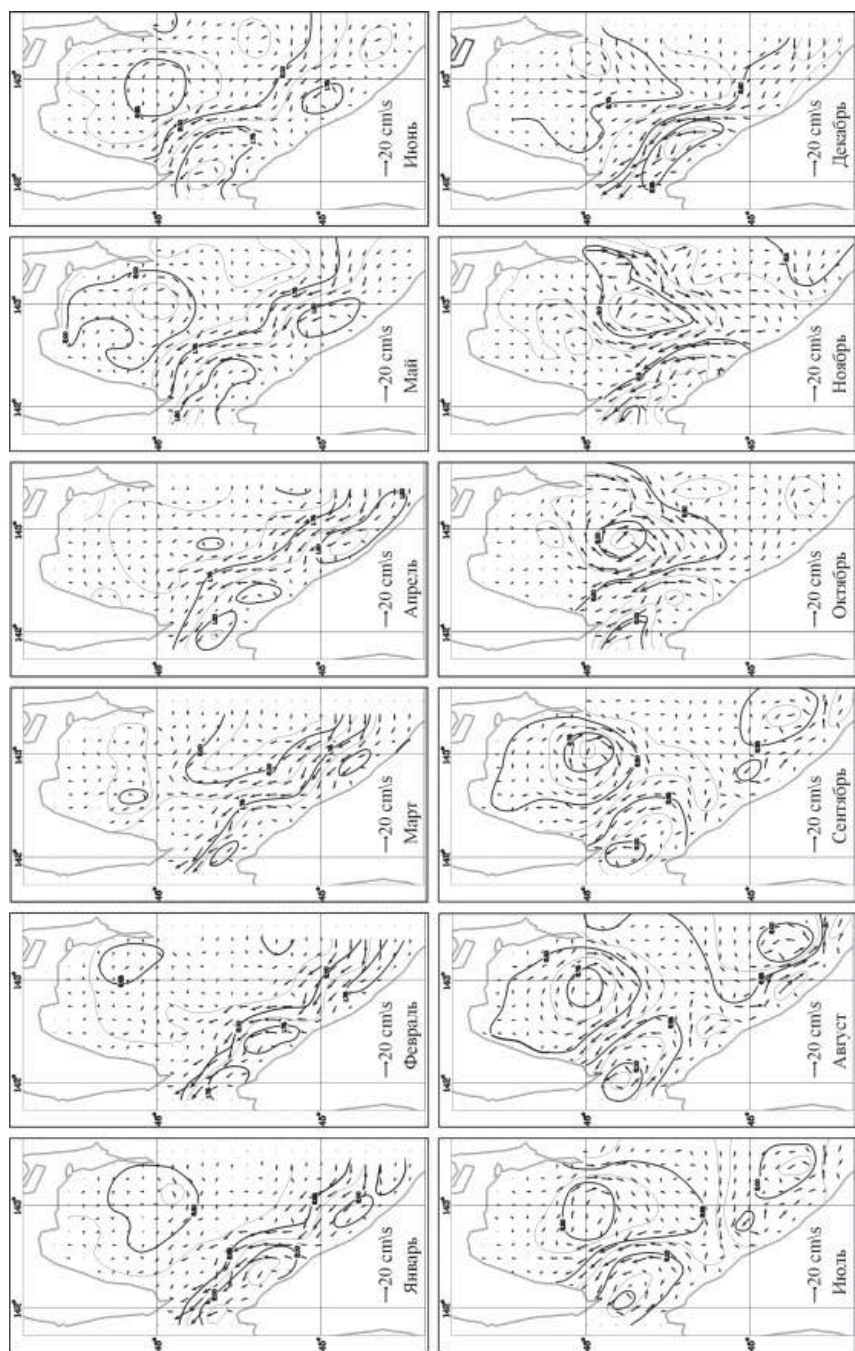
Продолжение таблицы 2.4

| Весна |       |       |        |        |        |        |       |
|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 0     | 9.58  | 33.71 | 2452.4 | 2298.6 | 152.0  | −15.13 | 8.87  |
| 10    | 8.14  | 33.73 | 2247.2 | 2131.2 | 114.5  | −18.62 | 8.49  |
| 20    | 6.64  | 33.74 | 1711.3 | 1633.5 | 76.7   | −21.32 | 7.41  |
| 30    | 5.61  | 33.75 | 907.8  | 887.6  | 19.2   | −46.22 | 5.40  |
| 50    | 4.66  | 33.74 | 298.7  | 348.0  | −50.1  | 6.96   | 3.10  |
| 75    | 4.23  | 33.72 | 63.8   | 140.3  | −77.2  | 1.83   | 1.43  |
| 100   | 3.98  | 33.69 | 0.7    | 25.9   | −61.8  | 0.91   | 0.01  |
| Лето  |       |       |        |        |        |        |       |
| 0     | 16.84 | 33.58 | 4465.0 | 4162.8 | 298.5  | −13.96 | 11.97 |
| 10    | 15.01 | 33.62 | 6648.3 | 6270.4 | 374.7  | −16.74 | 14.61 |
| 20    | 10.91 | 33.68 | 5466.7 | 5161.8 | 302.9  | −17.05 | 13.25 |
| 30    | 9.05  | 33.70 | 2383.3 | 2286.5 | 95.1   | −24.05 | 8.75  |
| 50    | 6.86  | 33.71 | 1233.3 | 1243.6 | −11.5  | 108.35 | 6.29  |
| 75    | 4.89  | 33.69 | 552.4  | 628.6  | −77.0  | 8.17   | 4.21  |
| 100   | 4.02  | 33.66 | 118.9  | 180.0  | −61.8  | 2.92   | 1.95  |
| Осень |       |       |        |        |        |        |       |
| 0     | 9.86  | 32.84 | 1273.6 | 208.8  | 1063.0 | −0.20  | 6.39  |
| 10    | 9.73  | 32.98 | 1682.4 | 351.5  | 1329.2 | −0.27  | 7.35  |
| 20    | 9.42  | 33.19 | 2203.5 | 605.4  | 1596.4 | −0.38  | 8.41  |
| 30    | 8.96  | 33.40 | 2094.3 | 1160.2 | 932.4  | −1.25  | 8.20  |
| 50    | 6.85  | 33.47 | 1207.7 | 1103.1 | 103.4  | −10.68 | 6.23  |
| 75    | 5.20  | 33.45 | 527.4  | 618.9  | −92.3  | 6.71   | 4.12  |
| 100   | 4.15  | 33.41 | 179.1  | 247.8  | −69.5  | 3.58   | 2.40  |

## 2.3. Моделирование циркуляции вод

Исходными данными для линейной квазигеострофической диагностической модели послужили расчетные и восстановленные среднемесячные значения плотности воды на 48 океанографических станциях в проливе Лаперуза. Методом интерполяции kriging данные значения были приведены в узлы регулярной сетки с шагом 10\*10 км [Пищальник и др., 2003].

Анализ результатов модельных расчетов циркуляции вод показывает, что исследуемый район имеет сложную динамику и гидролого-гидрохимическую структуру вод, которая формируется в результате взаимодействия двух разнонаправленных потоков вод различного генезиса (рис. 2.6). С одной стороны, это входящий с востока трансформированный поток вод Восточно-сахалинского течения (субарктическая структура), с другой – поступающий с запада поток вод из Японского моря в виде течения Соя (субтропическая структура).



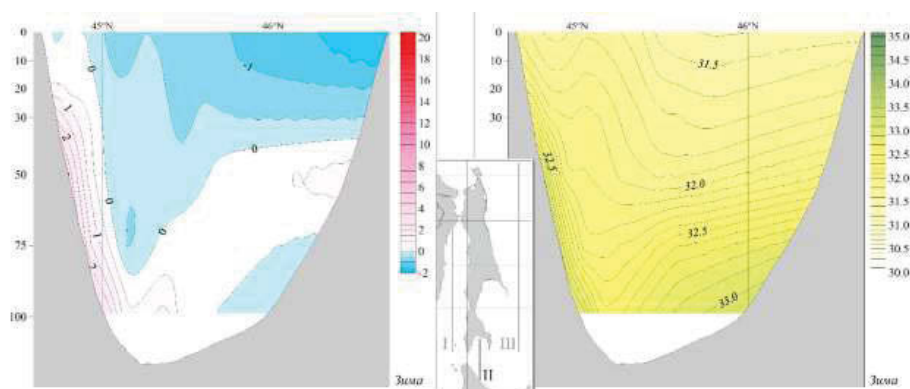
**Рис. 2.6.** Среднемесячные значения скоростей квазигеострофических течений (см/с) на поверхности и аномалий динамических высот (изолинии,  $\text{м}^2/\text{с}^2$ ) от отсчетной поверхности 100 децибар в проливе Лаптеву

Восточно-сахалинское течение является элементом общей циклонической циркуляции вод Охотского моря и формирует в северной части пролива два квазистационарных вихря: циклонической направленности на западной границе пролива, центр которого тяготеет к району скалы Камень опасности, и антициклонический вихрь, охватывающий всю акваторию залива Анива, с центром на его южной границе. Для названных элементов циркуляции характерной является их интенсификация от весны к осени, которая проявляется как в увеличении пространственных размеров, так и в повышении скоростей геострофических течений с 15–18 до 25–28 см/сек.

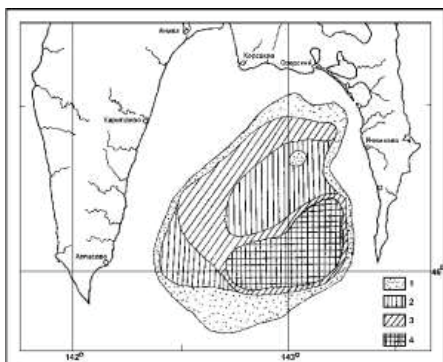
Осенью в период максимальной интенсификации Восточно-сахалинского течения центр антициклонического вихря из залива Анива смещается к югу в глубоководную часть пролива. В ноябре он заметно ослабевает и окончательно затухает в декабре. В зимний период в заливе Анива формируются два слабых сопряженных вихря: антициклонический, центр которого расположен на  $46^\circ$  с. ш., и вихрь циклонической направленности в северной половине залива (рис. 2.7). О слабой интенсивности этих вихревых образований свидетельствует тот факт, что по характерным изгибам изопикн они прослеживаются только до горизонта 50 м. В апреле, после очищения пролива ото льда и начала весенней перестройки атмосферной циркуляции, в заливе Анива формируется антициклонический вихрь, который сохраняется в течение всего безледового периода. Это наглядно подтверждается характером распределения гидрологических и гидрохимических параметров на вертикальных разрезах, проходящих через центр залива [Свидетельство..., 2019].

Приведенные результаты в корне меняют представление о характере циркуляции вод в заливе Анива, имеющиеся в литературных источниках, согласно которым весной и осенью движение вод направлено преимущественно против часовой стрелки, то есть доминирует циклонический тип циркуляции [Будаева и др., 1980]. Кроме того, характер изменчивости средних многолетних значений пространственного и временного распределения гидролого-гидрохимических параметров также не подтверждает наличия явно выраженных слоев в вертикальной структуре вод [Будаева, Макаров, 2000 а, 2000 б].

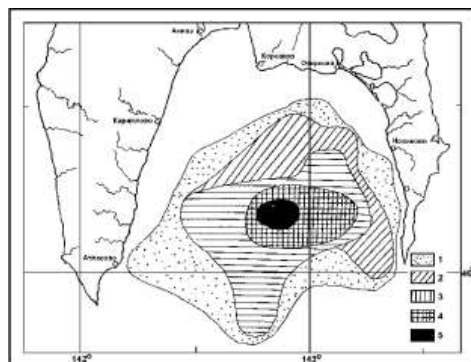
Косвенным доказательством стабильного существования антициклонического вихря в заливе Анива могут служить результаты летних учетных съемок скоплений креветок и крабов, которые сохраняются в течение про-



**Рис. 2.7.** Распределение температуры ( $^{\circ}\text{C}$ , слева) и солёности воды ( $\text{‰}$ , справа) на вертикальном разрезе II (врезка) зимой



**Рис. 2.8.** Уловы шримса-медвежонка (кг / 30 мин траления) по данным летней съемки СахНИРО 1991 года: 1 – от 0.1 до 1.0; 2 – от 2.0 до 3.0; 3 – от 3.0 до 5.0; 4 – от 10.0 до 20.0



**Рис. 2.9.** Уловы краба-стригуна (экз. / 30 мин траления) по данным летней съемки СахНИРО 1991 года: 1 – от 1 до 10; 2 – от 21 до 50; 3 – от 51 до 100; 4 – от 101 до 130; 5 – 386

должительного времени и зависят как от гидрологических условий, так и от наличия кормов, представленные на рисунках 2.8 и 2.9 [Пищальник, 1997]. Опускание вод в центре круговорота способствует накоплению фито- и зоопланктона, а также органических остатков, дрейфующих в виде пассивной примеси, что, в свою очередь, обеспечивает постоянную кормовую базу ракообразным, чем и объясняется плотность их скопления в этом районе.

В южной части пролива трансформированный поток субтропических вод течения Соя в поверхностных горизонтах прослеживается в виде серии вихревых образований преимущественно циклонической завихренности с характерным диаметром 10–15 миль. В виде струйного потока оно проявляется только в период максимального развития летом на горизонтах 20–50 м. Это подтверждается результатами моделирования расходов воды в струе течения Соя [Ohshima, Wakatsuchi, 1990] и оценками изменчивости расходов течения Соя [Пищальник, Архипкин, 2000]. Формирование вихрей циклонической направленности на западной и восточной границах пролива с характерным диаметром 25–30 миль обусловлено в основном за счет кинематического эффекта движения вод в разнонаправленных потоках. Причем западный вихрь генерирует Восточно-сахалинское течение, а восточный – течение Соя, что следует из анализа сезонной изменчивости скоростей течений в этих образованиях.

Характер расположения изолиний температуры и солёности воды на разрезе В зимой в проливе Лаперуза (см. рис. 2.7) так же, как и результаты объемного T, S-анализа (см. табл. 2.2), убедительно доказывают, что течение Соя не исчезает в холодный период года. В пользу данного утверждения говорят и результаты наблюдений японских исследователей [Aota, 1970, 1978; Aota, Takidzawa, 1994], в которых констатируется факт существования течения Соя зимой в виде подповерхностного потока со скоростями 15–17 см/сек, эпизодически проявляющегося вдоль северо-восточного побережья острова Хоккайдо.

## 2.4. Температура воды

Анализ пространственно-временной изменчивости динамики вод, выполненный в предыдущих параграфах, позволил выделить на акватории про-

лива Лаперуза четыре динамические квазистационарные структуры, которые формируют гидролого-гидрохимический режим вод его акватории. Это антициклонический вихрь диаметром ~40 миль в заливе Анива с опусканием вод в центре, циклонические вихри в районе скалы Камень опасности и в юго-западной части пролива (диаметром 20–25 миль каждый) с подъемом вод в их центрах и зона адвективного переноса вод течением Соя с хорошо развитым вертикальным перемешиванием, средняя ширина которой составляет ~25 миль. Пространственно-временной анализ среднесезонных значений океанографических параметров: температуры, солёности, плотности воды, растворенного в воде кислорода, величины pH и биогенных веществ, представленных в «АТЛАС-2018», подтверждает существование выделенных структурных элементов и позволяет существенно дополнить и воссоздать общую картину изменчивости режимных характеристик вод пролива.

Течение Соя формирует субтропическую структуру вод, занимающую южную часть пролива Лаперуза. В этой структуре (район № 4 на рис. 2.2) в течение года минимальная температура воды не опускается ниже 0 °C (рис. 2.10). Это самая теплая область пролива Лаперуза. Наиболее отчетливо это видно в предзимье и в ледовый сезон, когда температура воды здесь в среднем на 2–4 °C выше, чем на остальной его акватории.

Наличие ледяного покрова определяет специфику формирования термохалинных условий зимой в зоне течения Соя. По мере заполнения пролива дрейфующим льдом, в результате контакта с теплыми водами начинаются процессы его таяния, что по отличительным признакам состояния ледяного покрова подтверждают данные аэровизуальных наблюдений и спутниковые снимки. Анализ сезонных вариаций T, S-диаграмм для средних океанографических станций показывает, что понижение температуры и солёности в верхнем 30-метровом слое течения Соя определяется не замещением вод, а результатом таяния льда. Об этом свидетельствует и второй минимум годового хода солёности в поверхностном 10-метровом слое в феврале-марте на средней океанографической станции № 4 (рис. 2.11, слева).

Интенсивный рост температуры воды на поверхности пролива Лаперуза начинается сразу после очищения его акватории ото льда в марте-апреле. Максимальный прогрев поверхностных вод достигается в конце августа (табл. 2.5). Период стояния температурного максимума (время, в течение которого отклонения средней температуры от ее максимальных значений не превышают 0.1 °C) составляет четыре-восемь дней.

Таблица 2.5

**Динамика прогрева вод в проливе Лаперуза**

| № района | Наибольшая скорость прогрева вод на поверхности, °C/сут. | Наибольшая скорость охлаждения вод на поверхности, °C/сут. | Максимальная температура воды на поверхности (числитель) и на глубине 50 м (знаменатель), °C | Дата наступления температурного максимума на поверхности (числитель) и на глубине 50 м (знаменатель) | Среднее время стояния температурного максимума, сут. |
|----------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1.       | 0.19                                                     | 0.21                                                       | <u>17.03</u><br>5.38                                                                         | <u>28.08</u><br>10.11                                                                                | ± 6                                                  |
| 2.       | 0.24                                                     | 0.25                                                       | <u>16.73</u><br>6.08                                                                         | <u>02.09</u><br>11.11                                                                                | ± 4                                                  |

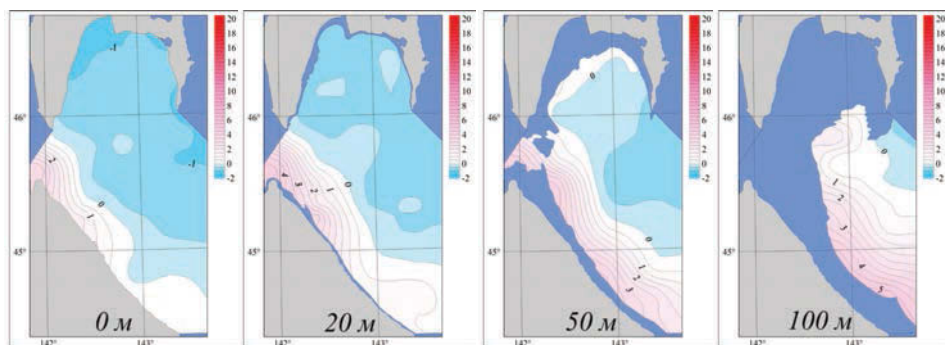
| № района | Наибольшая скорость прогрева вод на поверхности, °С/сут. | Наибольшая скорость охлаждения вод на поверхности, °С/сут. | Максимальная температура воды на поверхности (числитель) и на глубине 50 м (знаменатель), °С | Дата наступления температурного максимума на поверхности (числитель) и на глубине 50 м (знаменатель) | Среднее время стояния температурного максимума, сут. |
|----------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 3.       | 0.19                                                     | 0.21                                                       | $\frac{15.95}{4.07}$                                                                         | $\frac{22.08}{15.11}$                                                                                | ± 8                                                  |
| 4.       | 0.16                                                     | 0.16                                                       | $\frac{16.83}{7.89}$                                                                         | $\frac{29.08}{28.09}$                                                                                | ± 4                                                  |

Наибольшая величина среднемноголетнего максимума температуры в прибрежных водах (по данным береговых гидрометеостанций) за счет более интенсивного перемешивания и прогрева вод на мелководье может превышать температурный максимум в мористой части более чем на 1.0 °С, и наблюдается это явление на одну-две недели раньше.

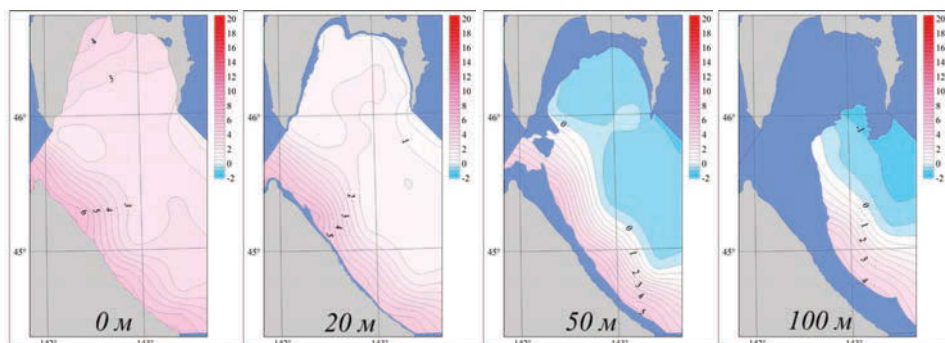
Процесс накопления тепла в поверхностных слоях происходит медленнее, чем его отдача в атмосферу. Максимальная скорость прогрева прибрежных вод составляет 0.22 °С/сут., а охлаждения – 0.26 °С/сут. Для открытой (мористой) части пролива эти показатели ниже на 0.02 и 0.05 °С/сут. соответственно. Это хорошо видно из графиков годового хода температуры воды на средней океанографической станции субарктической структуры вод по проявляющейся асимметрии относительно летнего максимума (см. рис. 2.11, слева). С началом осенней конвекции гомотермия в верхнем 30-метровом слое устанавливается в конце октября–начале ноября при значениях температуры 6–8 °С. Практически в этот же период в придонных слоях (75–100 м) начинается значимый рост температуры воды. Запоздывание прогрева с глубиной для горизонта 50 м составляет 75 дней. Таким образом, опускание нижней границы летней термической конвекции происходит со скоростью около 67 см/сут.

В субтропической структуре скорости прогрева и охлаждения вод одинаковы. Абсолютные значения средних скоростей изменчивости температуры на фазе прогрева и охлаждения относительно вод субарктической структуры понижены и составляют 0.16 °С/сут. Следствием интенсивного перемешивания вод в струе течения Соя является и запоздывание их прогрева с глубиной. Температурный максимум на горизонте 50 м наступает на месяц позже, чем на поверхности (скорость его заглубления – до 167 см/сут.). Соответственно и процесс охлаждения поверхностного слоя происходит значительно быстрее, чем в субарктической структуре. Гомотермия в верхнем 30-метровом слое формируется к середине ноября при температуре около 7 °С.

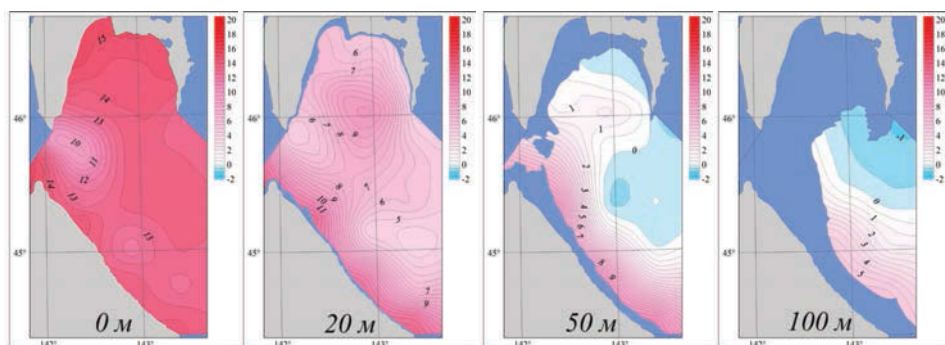
Стадии развития термоклина наглядно прослеживаются по вертикальному распределению температуры на серии меридиональных разрезов в различные сезоны года, пересекающих воды как субтропической, так и субарктической структур (рис. 2.11, справа). В мае в водах субарктической структуры за счет радиационного прогрева, ветрового и турбулентного перемешивания формируется достаточно тонкий слой, где колебания величин максимальных вертикальных градиентов температуры воды варьируют в пределах от 0.05 до 0.10 °С/м, то есть, согласно принятым стандартам, водная масса района стратифицируется [Стратификация гидрофизических...,



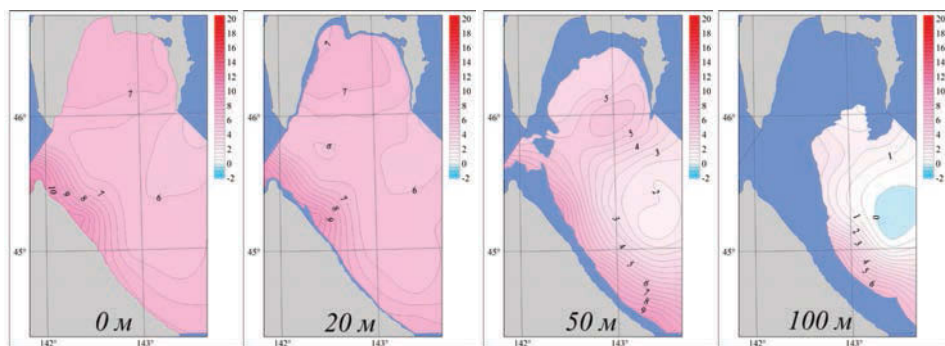
Зима



Весна

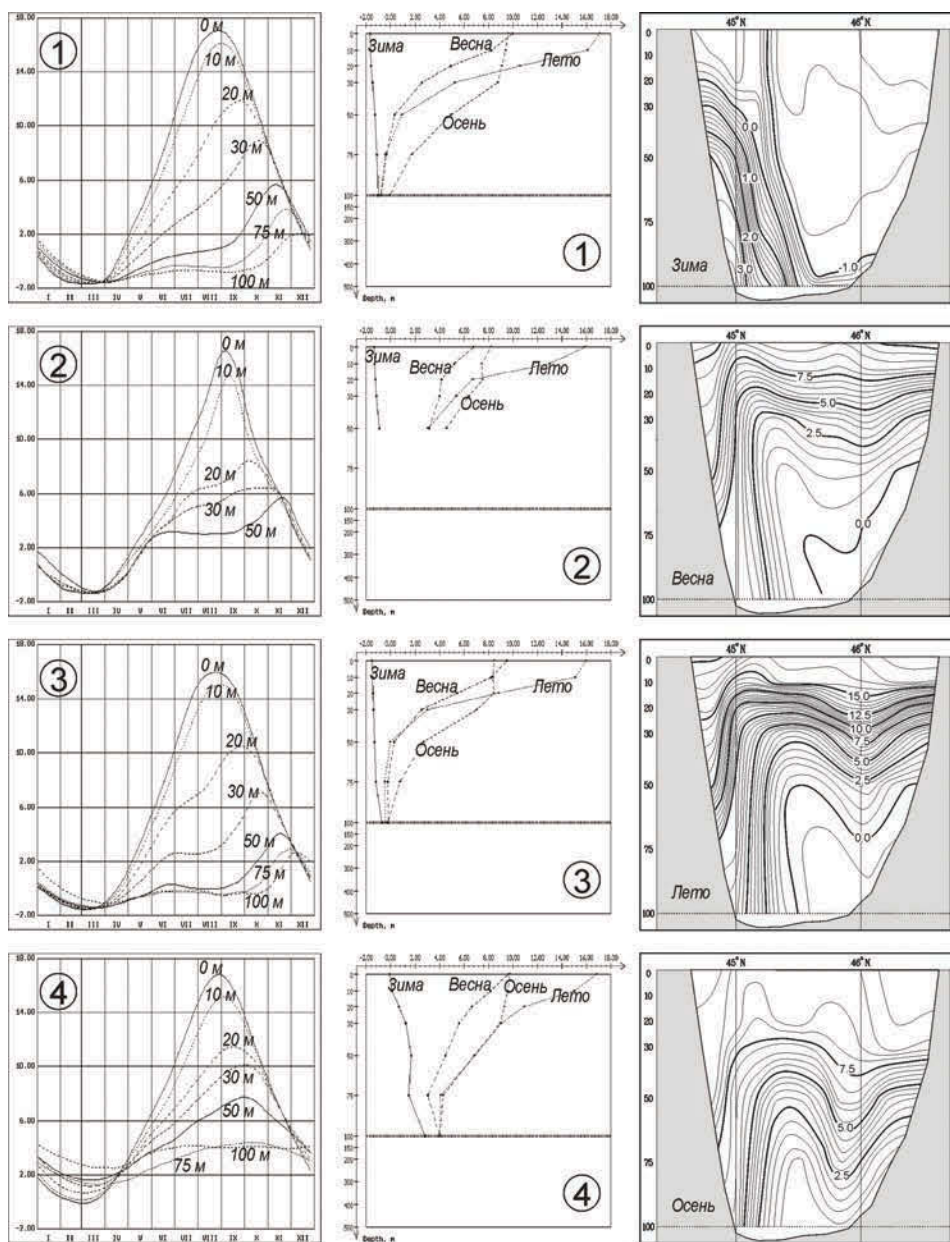


Лето



Осень

**Рис. 2.10.** Сезонное распределение средних многолетних значений температуры воды (°C) на горизонтах 0, 20, 50 и 100 м



**Рис. 2.11.** Восстановленный годовой ход температуры воды ( $^{\circ}\text{C}$ ) на стандартных горизонтах (слева) и ее вертикальное распределение по сезонам на средних станциях (по центру) в выделенных районах (см. рис. 2.2). Справа – распределение средних многолетних значений температуры воды по сезонам на меридиональном разрезе **В** ( $142^{\circ} 52'$  в. д.) в исследуемой акватории (схему расположения средних океанологических станций и разреза **В** см. на рис. 2.4)

1980]. По мере дальнейшего повышения температуры контрасты между прогретым слоем и подстилающими холодными водами, образовавшимися в результате осенне-зимней конвекции, усиливаются. В июне нижняя граница термоклина достигает глубин порядка 20 м, а вертикальные градиенты температуры возрастают до 0.3–0.5 °C/м.

По мере развития осенне-зимней конвекции и наблюдающейся в этот период интенсивной штормовой деятельности температурные различия в верхнем 20–30-метровом слое исчезают в районах № 3 и 4 к концу октября при температурном фоне соответственно 8 и 9 °C, в заливе Анива (район № 1) – в начале ноября при температуре 7 °C и самое позднее в середине ноября в районе Камня опасности (район № 2) при температуре около 5 °C. В этот период пикноклин еще не размыт и продолжает заглубляться. Максимальное заглубление его нижней границы (более 50 м) отмечается в центре антициклонического круговорота вод в заливе Анива. Среднее значение вертикального градиента температуры воды в слое скачка варьируется от 0.4 до 0.8 °C/м, причем наибольшие величины отмечаются в сентябре.

В результате активных процессов вертикального перемешивания вод в зоне течения Соя (район № 4) пикноклин практически отсутствует. Из особенностей вертикального распределения температуры следует отметить температурный минимум на горизонте 75 м в зимне-весенний период. Впоследствии в течение всего летне-осеннего периода в слое 75–100 м сохраняется гомотермия при температурном фоне 4 °C. При переходе от лета к осени происходит охлаждение поверхностного слоя и формируется квазиоднородный слой температуры воды, нижняя граница которого осенью расположена на горизонте 30 м. Зимой в поверхностных горизонтах отчетливо выражено понижение температуры воды, связанное с термическим разрушением ледяного покрова.

С началом процессов ледообразования на всей исследуемой акватории термическая конвекция усиливается за счет увеличения вклада соленостной составляющей, в результате чего скорость вертикальных движений возрастает в среднем на 0.8 м/сут. (то есть на 15–20 %). В поверхностных горизонтах в этот период повсеместно формируются слои инверсии с вертикальным градиентом температуры воды 0.02–0.04 °C/м, а в зоне теплого течения Соя – до 0.20 °C/м. В субарктической структуре вод к концу января-началу февраля температурная инверсия вновь сменяется гомотермией сначала в мелководных, а затем и в глубоководных районах при температуре ~1 °C.

На основную струю течения Соя, движущуюся в юго-восточном направлении вдоль побережья острова Хоккайдо, действует сила Кориолиса, которая отклоняет ее вправо, что обуславливает повышение уровня воды у берега, то есть создаются условия для формирования даунвеллинга. Анализ кривых вертикального распределения всех без исключения параметров в зоне течения Соя (район № 4) позволяет заключить, что даунвеллинг наиболее отчетливо выражен в весенне-летний период у побережья о-ва Хоккайдо к югу от 45° с. ш. Нижняя граница течения расположена на горизонте 50 м. Сформированный единый поток сильно перемешанных вод в узкой мелководной западной части пролива продолжает свое движение над большими глубинами в юго-восточной части пролива. При этом на северо-восточной периферии этого потока формируется серия мезомасштабных вихрей циклонической направленности [Ohshima, Wakatsuchi, 1990]. Вызванный этими вихрями подъем вод частично компенсирует опускание их в зоне даунвеллинга. Отличительной чертой этого района является наличие

минимума температуры и солености на горизонте 75 м в период с апреля по август (рис. 2.11, центр). Это обусловлено проникновением более теплых и соленых вод в придонные горизонты течения Соя, лежащие ниже 75 м, что подтверждается результатами расчета вертикальной устойчивости вод (см. табл. 2.4) и понижением концентраций фосфатов и силикатов на горизонте 100 м в весенне-летний период (см. разд. 2.9, 2.11).

В отличие от вод субарктической структуры, воды субтропической структуры характеризуются повышенными значениями температуры, солености, плотности воды и пониженными значениями гидрохимических параметров (табл. 2.6, 2.7).

## 2.5. Соленость воды

Субарктическая структура вод пролива, занимающая его центральную и северную части, формируется водами Восточно-сахалинского течения (рис. 2.12). Интенсивность потоков течения Соя и Восточно-сахалинского течения в значительной мере обусловлена сезонными колебаниями уровня Охотского моря. Так, по данным инструментальных наблюдений, максимальный подъем уровня в южной части Охотского моря происходит в декабре-январе, а в северной части Охотского и Японского морей – летом, в период максимального прогрева вод [Поезжалова, Шевченко, 1997; Кантаков, Шевченко, 2002]. Это приводит к тому, что в летний период интенсивность течения Соя растет от весны к лету, а Восточно-сахалинского течения, наоборот – от лета к зиме.

На мелководье, примыкающем к северной оконечности острова Сахалин, в результате осенней интенсификации потока Восточно-сахалинского течения происходит образование вертикальной фронтальной зоны, блокирующей поступление теплых и сильно распресненных вод из Сахалинского залива.

Таблица 2.6

### Сезонная изменчивость параметров средней океанологической станции субтропической структуры вод в проливе Лаперуза

| Горизонт, м | T, °C | S, ‰  | Условная плотность, усл. ед. | O <sub>2</sub> , мл/л | O <sub>2</sub> , ‰ | pH, ед. pH | PO <sub>4</sub> , mM/л | NO <sub>2</sub> , mM/л | SiO <sub>3</sub> , mM/л |
|-------------|-------|-------|------------------------------|-----------------------|--------------------|------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Зима        |       |       |                              |                       |                    |            |                        |                        |                         |
| 0           | -0.08 | 32.33 | 25.99                        | —                     | —                  | —          | —                      | —                      | —                       |
| 20          | 0.55  | 32.84 | 26.37                        | —                     | —                  | —          | —                      | —                      | —                       |
| 50          | 1.67  | 33.35 | 26.71                        | —                     | —                  | —          | —                      | —                      | —                       |
| 100         | 2.49  | 33.58 | 26.83                        | —                     | —                  | —          | —                      | —                      | —                       |
| Весна       |       |       |                              |                       |                    |            |                        |                        |                         |
| 0           | 9.58  | 33.71 | 26.06                        | 6.76                  | 103.7              | 8.18       | 0.35                   | 0.055                  | 1.93                    |
| 20          | 6.64  | 33.74 | 26.52                        | 7.08                  | 99.1               | 8.18       | 0.32                   | 0.095                  | 3.46                    |

Продолжение таблицы 2.6

| Гори-<br>зонт,<br>м | T, °C | S, ‰  | Услов-<br>ная<br>плот-<br>ность,<br>усл.<br>ед. | O <sub>2</sub> ,<br>мл/л | O <sub>2</sub> , % | pH,<br>ед. pH | PO <sub>4</sub> ,<br>мМ/л | NO <sub>2</sub> ,<br>мМ/л | SiO <sub>3</sub> ,<br>мМ/л |
|---------------------|-------|-------|-------------------------------------------------|--------------------------|--------------------|---------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 50                  | 4.66  | 3374  | 26.75                                           | 6.93                     | 93.0               | 8.12          | 0.58                      | 0.078                     | 7.46                       |
| 100                 | 3.98  | 33.69 | 26.78                                           | 6.76                     | 92.3               | 8.11          | 0.53                      | 0.080                     | 8.50                       |
| <b>Лето</b>         |       |       |                                                 |                          |                    |               |                           |                           |                            |
| 0                   | 16.84 | 33.58 | 24.49                                           | 5.92                     | 105.7              | 8.15          | 0.40                      | 0.013                     | 4.52                       |
| 20                  | 10.91 | 33.68 | 25.80                                           | 6.70                     | 101.2              | 8.18          | 0.58                      | 0.053                     | 7.78                       |
| 50                  | 6.86  | 33.71 | 26.46                                           | 6.47                     | 90.6               | 8.13          | 0.99                      | 0.077                     | 14.47                      |
| 100                 | 4.02  | 33.66 | 26.76                                           | 6.15                     | 84.2               | 8.06          | 1.15                      | 0.050                     | 18.98                      |
| <b>Осень</b>        |       |       |                                                 |                          |                    |               |                           |                           |                            |
| 0                   | 9.86  | 32.84 | 25.33                                           | 6.57                     | 99.8               | 8.20          | –                         | –                         | –                          |
| 20                  | 9.42  | 33.19 | 25.68                                           | 6.66                     | 100.3              | 8.19          | –                         | –                         | –                          |
| 50                  | 6.85  | 33.47 | 26.28                                           | 6.47                     | 92.3               | 8.15          | –                         | –                         | –                          |
| 100                 | 4.15  | 33.41 | 26.55                                           | 5.87                     | 80.4               | 8.06          | –                         | –                         | –                          |

Таблица 2.7

**Сезонная изменчивость параметров средней океанологической станции  
субарктической структуры вод в проливе Лаперуза**

| Гори-<br>зонт,<br>м | T, °C | S, ‰  | Услов-<br>ная<br>плот-<br>ность,<br>усл.<br>ед. | O <sub>2</sub> ,<br>мл/л | O <sub>2</sub> , % | pH,<br>ед. pH | PO <sub>4</sub> ,<br>мМ/л | NO <sub>2</sub> ,<br>мМ/л | SiO <sub>3</sub> ,<br>мМ/л |
|---------------------|-------|-------|-------------------------------------------------|--------------------------|--------------------|---------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| <b>Зима</b>         |       |       |                                                 |                          |                    |               |                           |                           |                            |
| 0                   | –1.51 | 31.82 | 25.62                                           | –                        | –                  | –             | –                         | –                         | –                          |
| 20                  | –1.42 | 31.96 | 25.73                                           | –                        | –                  | –             | –                         | –                         | –                          |
| 50                  | –1.16 | 32.51 | 26.17                                           | –                        | –                  | –             | –                         | –                         | –                          |
| 100                 | –0.86 | 32.85 | 26.44                                           | –                        | –                  | –             | –                         | –                         | –                          |
| <b>Весна</b>        |       |       |                                                 |                          |                    |               |                           |                           |                            |
| 0                   | 8.73  | 32.22 | 25.02                                           | 6.88                     | 104.1              | 8.21          | 0.49                      | 0.083                     | 4.03                       |
| 20                  | 4.83  | 32.55 | 25.79                                           | 7.27                     | 100.5              | 8.19          | 0.64                      | 0.140                     | 6.46                       |
| 50                  | 1.26  | 32.96 | 26.41                                           | 6.96                     | 88.1               | 8.10          | 0.95                      | 0.159                     | 17.49                      |
| 100                 | –0.48 | 33.11 | 26.63                                           | 6.41                     | 77.8               | 8.06          | 1.27                      | 0.170                     | 32.66                      |

| Лето  |       |       |       |      |       |      |      |       |       |
|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|
| 0     | 16.31 | 31.97 | 23.38 | 5.95 | 105.8 | 8.19 | 0.41 | 0.071 | 4.85  |
| 20    | 8.69  | 32.46 | 25.21 | 6.67 | 100.4 | 8.18 | 0.69 | 0.134 | 7.95  |
| 50    | 1.30  | 32.98 | 26.42 | 6.51 | 82.5  | 8.09 | 1.68 | 0.145 | 20.05 |
| 100   | −0.62 | 33.06 | 26.60 | 5.85 | 70.7  | 7.96 | 2.34 | 0.111 | 37.86 |
| Осень |       |       |       |      |       |      |      |       |       |
| 0     | 8.74  | 31.59 | 24.45 | 6.59 | 99.5  | 8.24 | 0.64 | 0.073 | 10.48 |
| 20    | 8.36  | 31.89 | 24.74 | 6.57 | 98.2  | 8.23 | 0.89 | 0.074 | 12.91 |
| 50    | 4.05  | 32.64 | 25.87 | 6.28 | 85.9  | 8.16 | 1.83 | 0.020 | 25.82 |
| 100   | −0.14 | 32.98 | 26.48 | 5.64 | 68.8  | 8.03 | 2.50 | 0.120 | 49.52 |

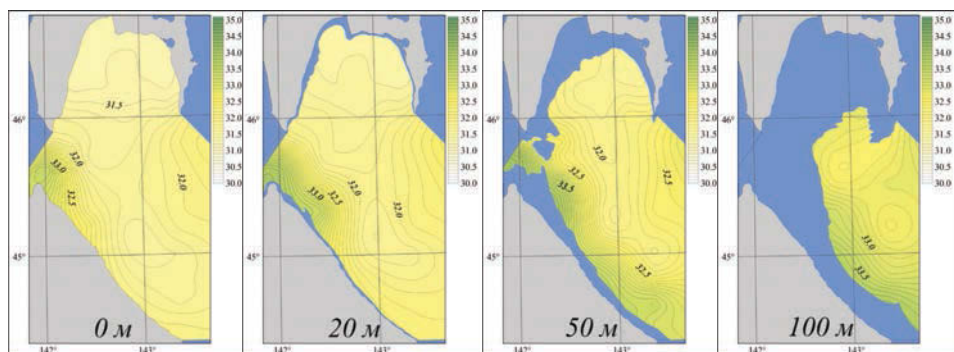
Результатом обменных процессов в фронтальной зоне является повышенное опреснение вод на западной периферии течения [Пищальник и др., 2003; Свидетельство..., 2019] (Приложение 4).

По мере продвижения Восточно-сахалинского течения на юг вдоль побережья острова от м. Елизаветы до м. Терпения его западная периферия дополнительно распресняется и обогащается биогенными веществами за счет контакта с прибрежными водами, вобравшими в себя воды осеннего паводка Амура и рек Сахалина. Это распреснение отчетливо прослеживается на картах осеннего распределения солёности и плотности воды вдоль всего восточного побережья Сахалина до горизонта 50 м [Пищальник, Бобков, 2000 а, б; Свидетельство..., 2019] (Приложение 4).

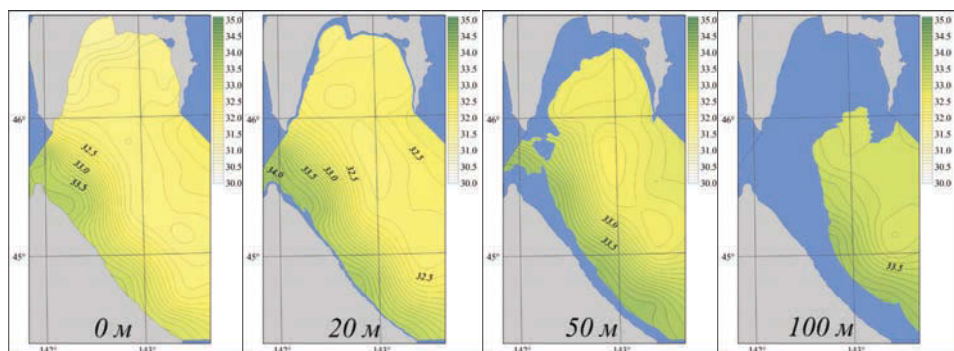
Во второй половине октября эти распресненные воды достигают пролива Лаперуза и по мере распространения на его акватории в течение ноября-декабря формируют в годовом ходе осенний минимум солёности (рис. 2.13, слева). На большей части акватории пролива основной минимум годового хода солёности наблюдается в ноябре. Самая поздняя дата наступления минимума солёности в заливе Анива отмечается в декабре. При переходе от лета к осени максимальное понижение солёности отмечается на горизонте 50 м (в среднем на 1.2 ‰). Выше и ниже указанного горизонта величина максимума солёности воды уменьшается до 0.7 и 0.4 ‰ соответственно. Восстановление солёности до своих среднегодовых значений происходит в феврале-марте. Основной максимум солёности в годовом ходе формируется в конце холодного периода (апрель-май), промежуточный – на максимуме испарения в сентябре. В целом амплитуда годовых колебаний варьирует от 0.5 до 1.3 ‰ (рис. 2.13).

Сочетание нескольких факторов при формировании ледяного покрова создает благоприятные условия для образования стационарных прибрежных полыней. В таких полынях значительно увеличивается солёность воды, что обусловлено повышенной интенсивностью теплообмена между океаном и атмосферой в холодный период года [Гладышев, 1998].

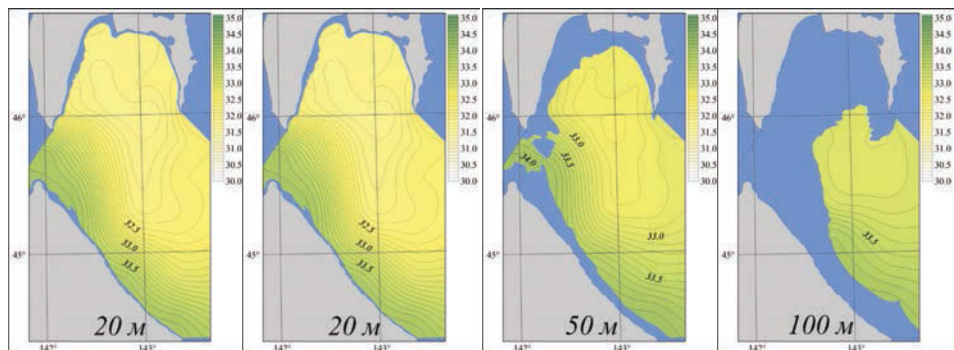
Квазистационарные полыни формируются на акватории Охотского и Японского морей вдоль их северных и северо-западных побережий под воздействием ветров зимнего муссона и заполняются, как правило, начальными и молодыми льдами. Образуются они в период с декабря по март в Японском море на участке побережья от пролива Невельского до порта



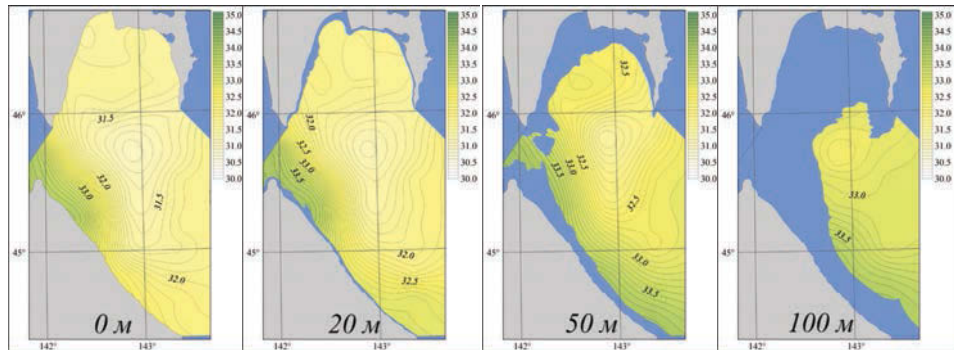
*Зима*



*Весна*

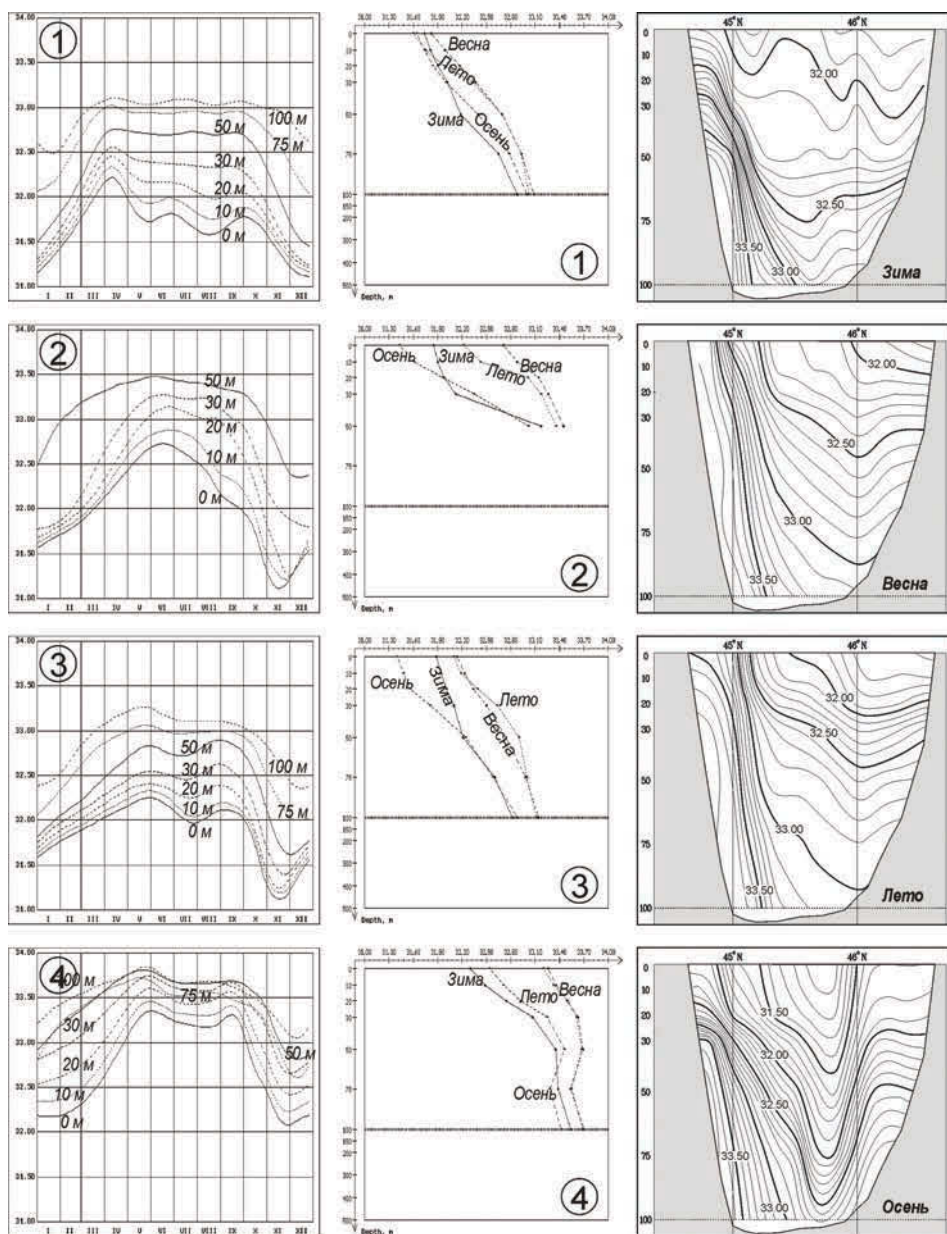


*Лето*



*Осень*

**Рис. 2.12.** Сезонное распределение средних многолетних значений солености воды (‰) на горизонтах 0, 20, 50 и 100 м



**Рис. 2.13.** Восстановленный годовой ход солёности воды (%) на стандартных горизонтах (слева) и ее вертикальное распределение по сезонам на средних станциях (по центру) в выделенных районах (см. рис. 2.2). Справа – распределение средних многолетних значений солёности воды по сезонам на меридиональном разрезе В (142° 52' в. д.) в проливе Лаперуза (схему расположения средних океанологических станций и разреза В см. на рис. 2.4)

Ванино, в Охотском – от пос. Аян до г. Магадан, включая всю акваторию Тауйской губы, и в северо-восточной части залив Шелихова. На Сахалине к таким районам относятся акватории заливов Анива и Терпения, а также участок северо-восточного побережья острова от полуострова Шмидта до пос. Комрво. Эти полыньи преимущественно находятся на мелководьях, что обуславливает быстрое распространение зимней конвекции до дна. Этим объясняется высокая скорость увеличения солёности воды в заливе Анива и формирование основного максимума солёности в годовом ходе (32.2 ‰ на поверхности и 32.7 ‰ на горизонте 50 м) на один-два месяца раньше, чем в субарктической структуре вод района № 3. В конце марта-начале апреля над южными районами Сахалина начинается перестройка атмосферной циркуляции.

Поступление солнечной радиации быстро увеличивается после наступления весеннего равноденствия, и среднесуточная температура воздуха южнее 48° с. ш. переходит через 0 °С. Процессы ледообразования прекращаются, начинается активное разрушение дрейфующего льда в море, и формируются условия для весеннего паводка на суше. Смена муссона приводит к увеличению повторяемости ветров южных румбов, что обуславливает смену направления дрейфа ледяного массива на противоположное (с юго-восточного на северо-западное). Эти события следуют одно за другим в сжатые сроки (порядка двух недель каждое), в результате чего в годовом ходе солёности в субарктической структуре вод в заливе Анива формируется отчетливо выраженный максимум солёности в верхнем 30-метровом слое.

На фоне общей тенденции понижения солёности на всей акватории пролива в верхнем 30-метровом слое в период с апреля по декабрь наблюдается летний локальный минимум солёности в августе, обусловленный обильными осадками и штормовым перемешиванием вод в результате прохождения тайфунов [Научно-прикладной..., 1990]. В заливе Анива, кроме того, отчетливо проявляется и локальный весенний минимум солёности, обусловленный интенсивным поступлением пресных вод в период половодья [Государственный водный..., 1987].

Следует обратить внимание на характер кривой годового хода солёности в районе Камня опасности на горизонте 50 м (район № 2 на рис. 2.13 слева). Вид ее свидетельствует о том, что в придонных слоях круглогодично присутствуют воды течения Соя. Данное обстоятельство наряду с непрерывным подъемом вод обуславливает в этом районе в летний период заметно повышенный общий уровень солёности по сравнению с другими районами субарктической структуры. Совместное влияние перечисленных выше факторов определяет и максимальную абсолютную величину разности годовых колебаний значений солёности: 1.6 ‰ на поверхности и 1.3 ‰ в придонном горизонте. Солёность субтропических вод выше субарктических в среднем на 1.0 ‰. Амплитуда годовых колебаний на поверхности составляет 1.3 ‰, у дна – 0.7 ‰ (табл. 2.6–2.7). Минимальные величины колебаний (не более 0.1 ‰) в течение года отмечаются в западной части пролива Лаперуза в зоне течения Соя.

Апвеллинг в районе скалы Камень опасности (район № 2) по среднемесячным значениям солёности (равно, как и температуры воды) зимой не проявляется. Расчеты показывают, что он существует около восьми месяцев в году [Kantakov, Samatov, 1996]. На картах гидролого-гидрохимического атласа [Свидетельство..., 2019] по пониженным значениям температуры воды апвеллинг перестает выделяться в ноябре и вновь проявляется на фазе активного прогрева поверхностных вод только в апреле.

## 2.6. Условная плотность

Плотность морской воды вычислялась по стандартной формуле [О введении шкалы..., 1982]. По законам гравитации более тяжелые воды стремятся расположиться ниже относительно легких вод. Этот процесс называется конвекцией и определяет устойчивость стратификации вод в целом. В теплое время года по мере прогрева вод плотность воды уменьшается. При отсутствии перемешивания на нижней границе прогретого слоя воды формируется пикноклин с характерными вертикальными градиентами плотности 0.09–0.13 усл. ед./м. Осенью в период, предшествующий образованию льда (ноябрь–декабрь), в поверхностных слоях субарктических вод за счет формирования термической неустойчивости наблюдается инверсия плотности. Подо льдом условия для инверсии сохраняются, но уже за счет повышения солёности. В водах субтропической структуры инверсия плотности наблюдается при совершенно других условиях.

В деятельном слое субарктической структуры вод определяющим фактором формирования режима плотности в весенне-летний период является прогрев воды. Поэтому в относительно мелководном проливе Лаперуза графики годового хода плотности в целом являются усложненным зеркальным отражением графиков годового хода температуры. Горизонтальные градиенты плотности формируют течения. Вода движется в сторону меньшей плотности вдоль изопикн, отклоняясь вправо в Северном полушарии на  $\sim 15^\circ$  (рис. 2.14).

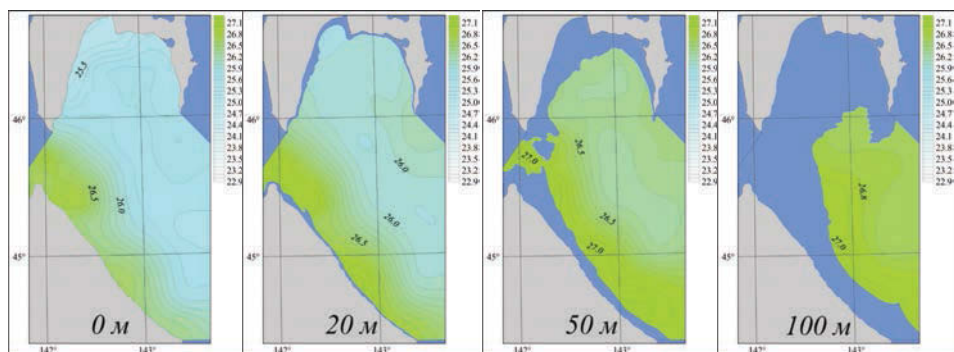
Характерный прогиб изопикн на разрезах подтверждает, что антициклонический вихрь в заливе Анива хорошо развит во всей толще вод только весной и летом. Осенью антициклонический круговорот заглубляется в придонные горизонты, и центр его смещается в глубоководную часть пролива (рис. 2.15). В то же время в поверхностных слоях начинает формироваться вихрь циклонической направленности.

Зимой в заливе Анива в слое 0–50 м формируются два сопряженных вихря: в районе  $46^\circ$  с. ш. циклонической направленности, а в центре залива – антициклонической. В придонных горизонтах движение вод крайне неустойчиво, что подтверждают инструментальные наблюдения, выполненные на многосуточной станции «Ева» [Кантаков и др., 2002]. По окончании ледового сезона циклонический вихрь разрушается и движение вод во всей толще осуществляется по часовой стрелке.

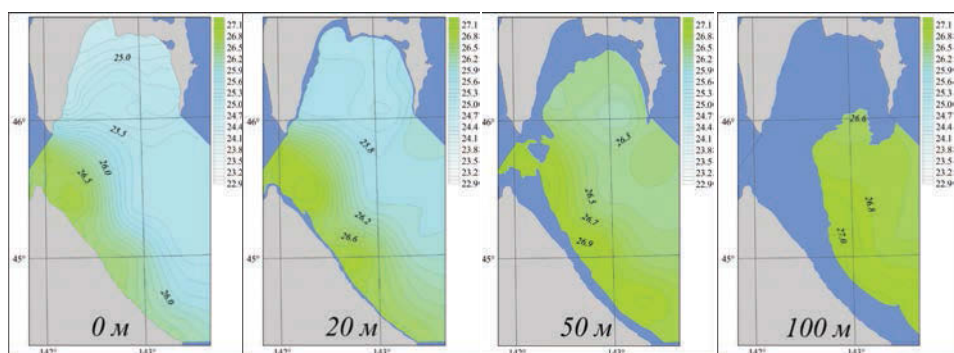
Поскольку плотность морской воды является функцией температуры и солёности и одновременно основной характеристикой для расчета скоростей геострофических течений, то карты пространственно-временного распределения изопикн имеют общие черты с картами изотерм, изохалин и изолиниями аномалий динамических высот (рис. 2.15, см. также рис. 2.6, 2.11 и 2.13). Поэтому на картах сезонного распределения изопикн также отчетливо выделяются все основные элементы структуры вод как на поверхности, так и на нижележащих горизонтах.

## 2.7. Растворенный в воде кислород

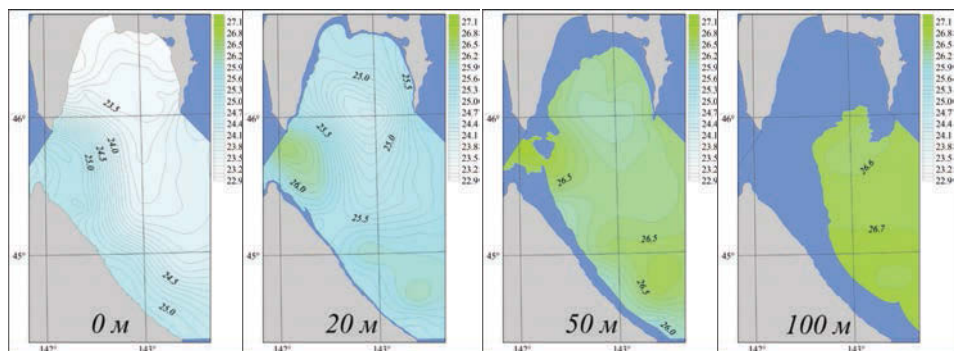
Динамика растворенного в воде кислорода (далее – кислород), как и двуокиси углерода, в поверхностных слоях определяется соотношением процессов продуцирования кислорода (поглощения  $\text{CO}_2$ ) при фотосинтезе и его потреблением (с выделением  $\text{CO}_2$ ) при окислении органического



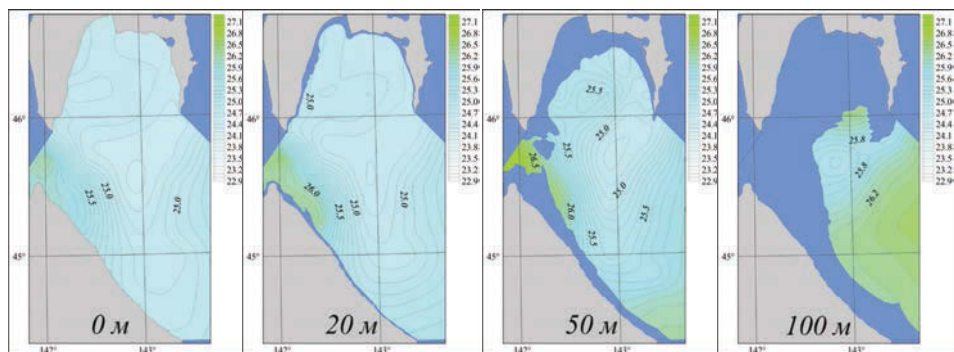
*Зима*



*Весна*

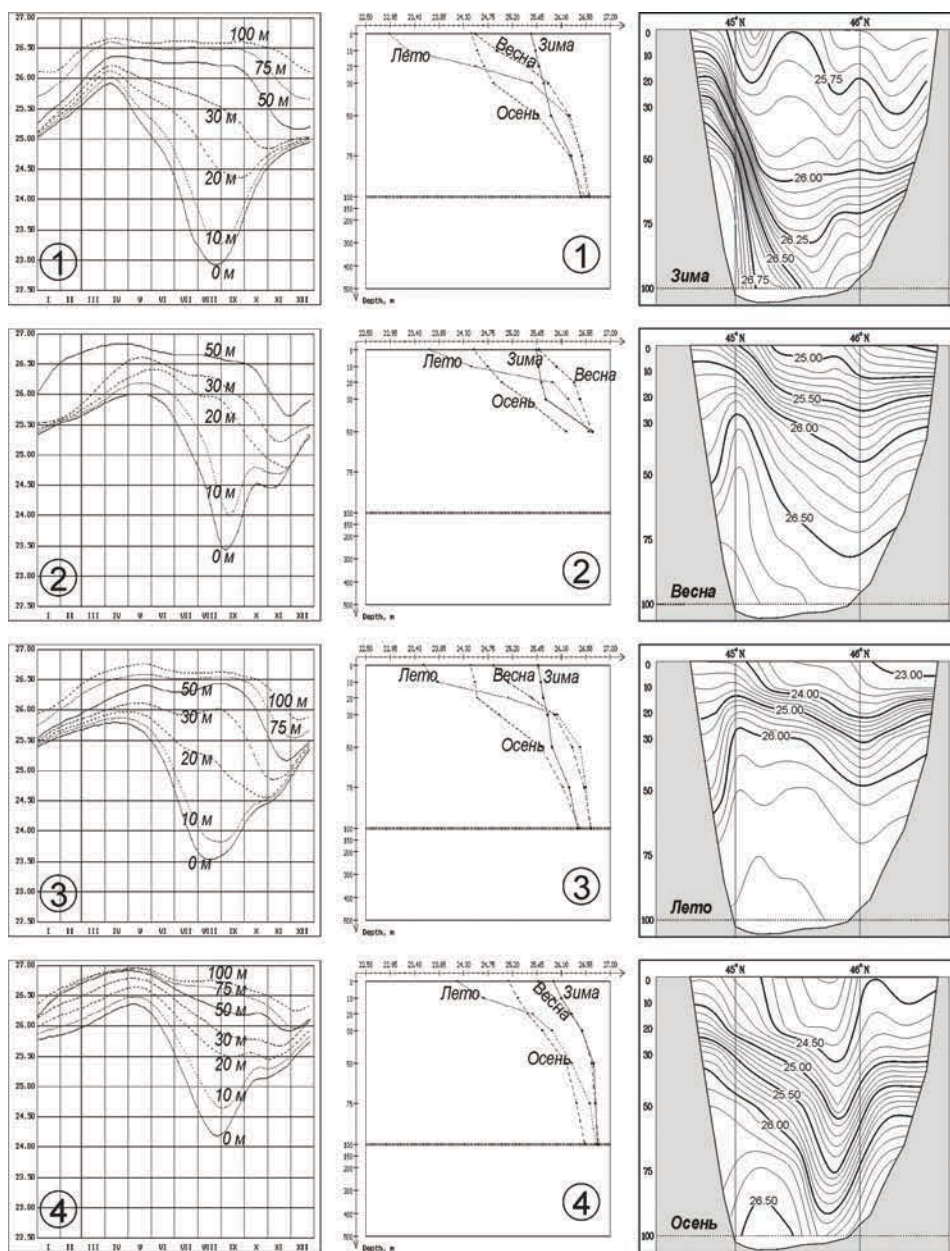


*Лето*

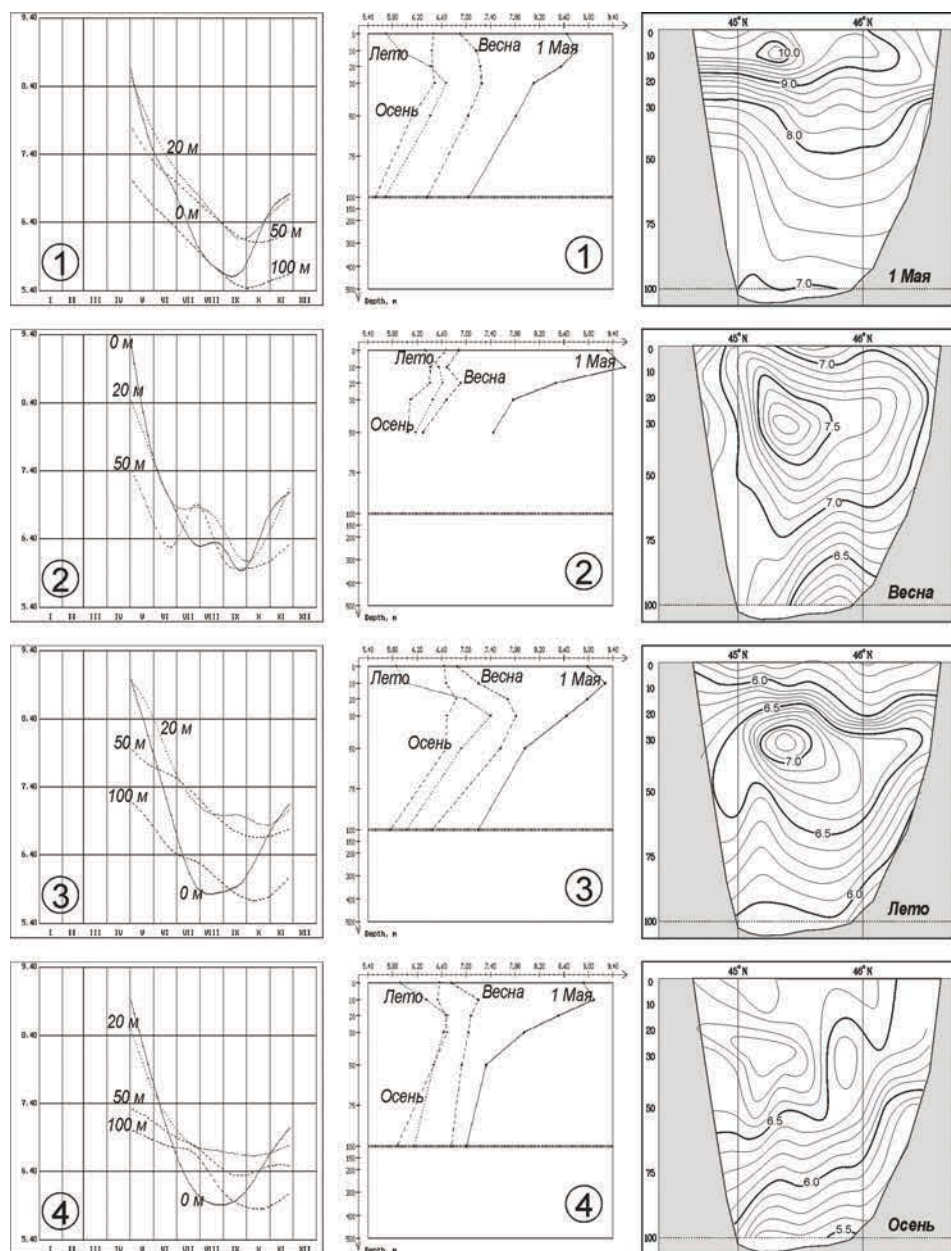


*Осень*

**Рис. 2.14.** Сезонное распределение средних многолетних значений условной плотности воды (усл. ед.) на горизонтах 0, 20, 50 и 100 м



**Рис. 2.15.** Восстановленный годовой ход условной плотности воды на стандартных горизонтах (слева) и ее вертикальное распределение по сезонам на средних станциях (по центру) в выделенных районах (см. рис. 2.2). Справа – распределение средних многолетних значений условной плотности воды по сезонам на меридиональном разрезе В ( $142^{\circ} 52'$  в. д.) в проливе Лаперуза (схему расположения средних океанологических станций и разреза В см. на рис. 2.4)



**Рис. 2.16.** Восстановленный годовой ход абсолютного содержания растворенного в воде кислорода (мл/л) на стандартных горизонтах (слева) и его вертикальное распределение по сезонам на средних станциях (по центру) в выделенных районах (см. рис. 2.2). Справа – распределение средних многолетних значений растворенного в воде кислорода по сезонам на меридиональном разрезе В ( $142^{\circ} 52'$  в. д.) в проливе Лаперуза (схему расположения средних океанологических станций и разреза В см. на рис. 2.4)

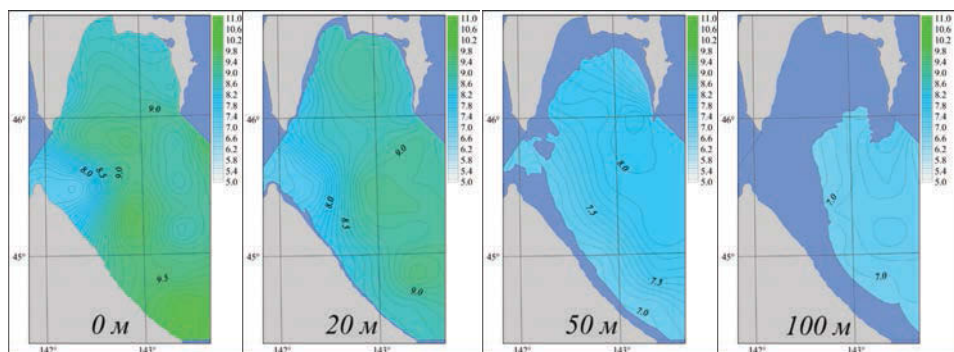
вещества [Алекин, Ляхин, 1984]. Определяющее влияние на эти процессы оказывает температурный режим, поэтому кривые годового хода кислорода (особенно в поверхностных слоях) хорошо коррелируют с кривыми годового хода температуры воды, по сути, являются их зеркальным отражением (рис. 2.16). В годовом ходе кислорода также прослеживаются два экстремума – зимний максимум и летний минимум. В поверхностных горизонтах минимум содержания растворенного кислорода по времени практически совпадает с наступлением температурного максимума.

Однако в подповерхностных горизонтах эта зависимость нарушается за счет возрастающего влияния процессов фотосинтеза и циркуляции вод, которые и определяют специфические особенности кислородного режима, присущие каждому выделенному району.

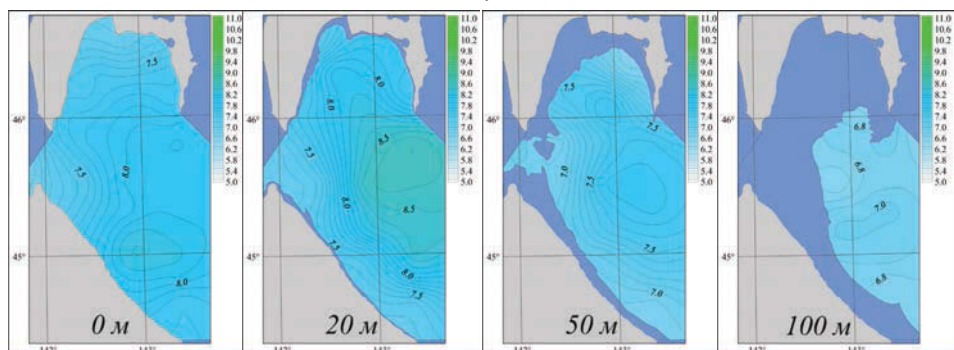
Общими элементами режима для всего пролива является процесс поглощения кислорода из атмосферы в холодный период года и отдача его в атмосферу по мере прогрева вод, что характерно для морей высокоширотной зоны океана в целом [Алекин, Ляхин, 1984]. Наиболее резко это выражено в поверхностном слое, имеющем непосредственный контакт с атмосферой, что приводит к понижению концентрации кислорода во время максимального прогрева вод, достигая абсолютного минимума, зафиксированного в годовом ходе на горизонте 100 м в осенний период. В процессе охлаждения содержание кислорода во всей толще вод возрастает (рис. 2.17).

В поверхностном слое годовой максимум кислорода наблюдается сразу после очищения акватории ото льда, с началом развития процессов фотосинтеза. Ранней весной абсолютное содержание растворенного кислорода на разных горизонтах (0, 20 и 50 м) во всех районах существенно различается и коррелирует с пространственным распределением температуры воды. В теплый период года концентрации кислорода повсеместно выравниваются. На графиках годового хода хорошо видно, что в поверхностных слоях наступление кислородного минимума приурочено ко времени наступления на соответствующих горизонтах максимума температуры воды. В придонных слоях такая зависимость нарушается и кислородный минимум на горизонте 100 м наступает на один-два месяца раньше температурного максимума, то есть уже в первой половине октября. Поскольку концентрация кислорода в любой точке водной массы определяется соотношением восстановительных и окислительных процессов, то можно констатировать, что по мере заглубления нижней границы пикноклина процессы продуцирования кислорода начинают превалировать над процессами его потребления (см. рис. 2.17).

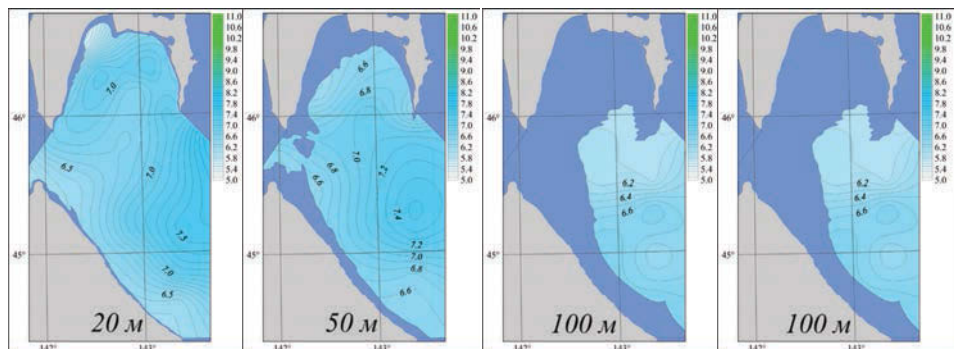
Искажение общей картины годового хода абсолютного содержания кислорода происходит в наиболее динамичных районах № 2 и 4. Для рассматриваемого временного периода (июнь–октябрь) максимум абсолютного содержания кислорода (9.3 мл/л на поверхности и 9.6 мл/л на горизонте 10 м) наблюдается в зоне подъема вод у скалы Камень опасности. Здесь же отмечается и максимальный размах колебаний годового хода (около 3.0 мл/л). Кроме того, это единственный район, где отчетливо выражено проявление локального летнего максимума кислорода, образованию которого предшествует раннее разрушение холодного подповерхностного слоя (ХПС) (отепляющее влияние вод течения Соя на горизонте 50 м, о чем говорилось выше) и развитие процессов фотосинтеза при температурном фоне 4–6 °С. На всех рисунках легко угадываются те же пространственно-временные структуры, которые наблюдаются в распределении температуры, солености и плотности вод. Другими словами, на исследуемой акватории и по



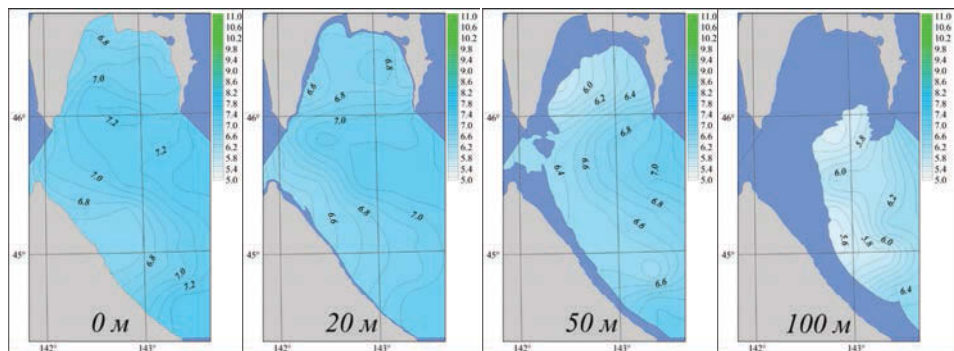
26 апреля



Весна



Лето



Осень

**Рис. 2.17.** Сезонное распределение средних многолетних значений растворенного в воде кислорода (мл/л) на горизонтах 0, 20, 50 и 100 м

пространственному распределению кислорода хорошо идентифицируются вихревые структуры.

Вместе с тем сочетание гидрологических и гидрохимических процессов придает общей картине распределения кислорода ряд специфических особенностей. Другой важной характеристикой состояния вод является насыщенность их кислородом, то есть отношение уровня наблюдаемого содержания к величине возможной концентрации кислорода, растворенного при данной температуре и солености, выраженное в процентах. Как видно на графиках годового хода относительного содержания кислорода, в субарктической структуре наблюдается постоянное пересыщение вод кислородом на горизонте 20 м. В водах субарктической структуры насыщенность подповерхностных вод (горизонт 20 м) выше, чем поверхностных, отмечается только в осенний период и свидетельствует о большой интенсивности проходящих процессов фотосинтеза (осенняя вспышка цветения фитопланктона). Процесс поглощения кислорода из атмосферы в поверхностных горизонтах начинается в ноябре (рис. 2.18).

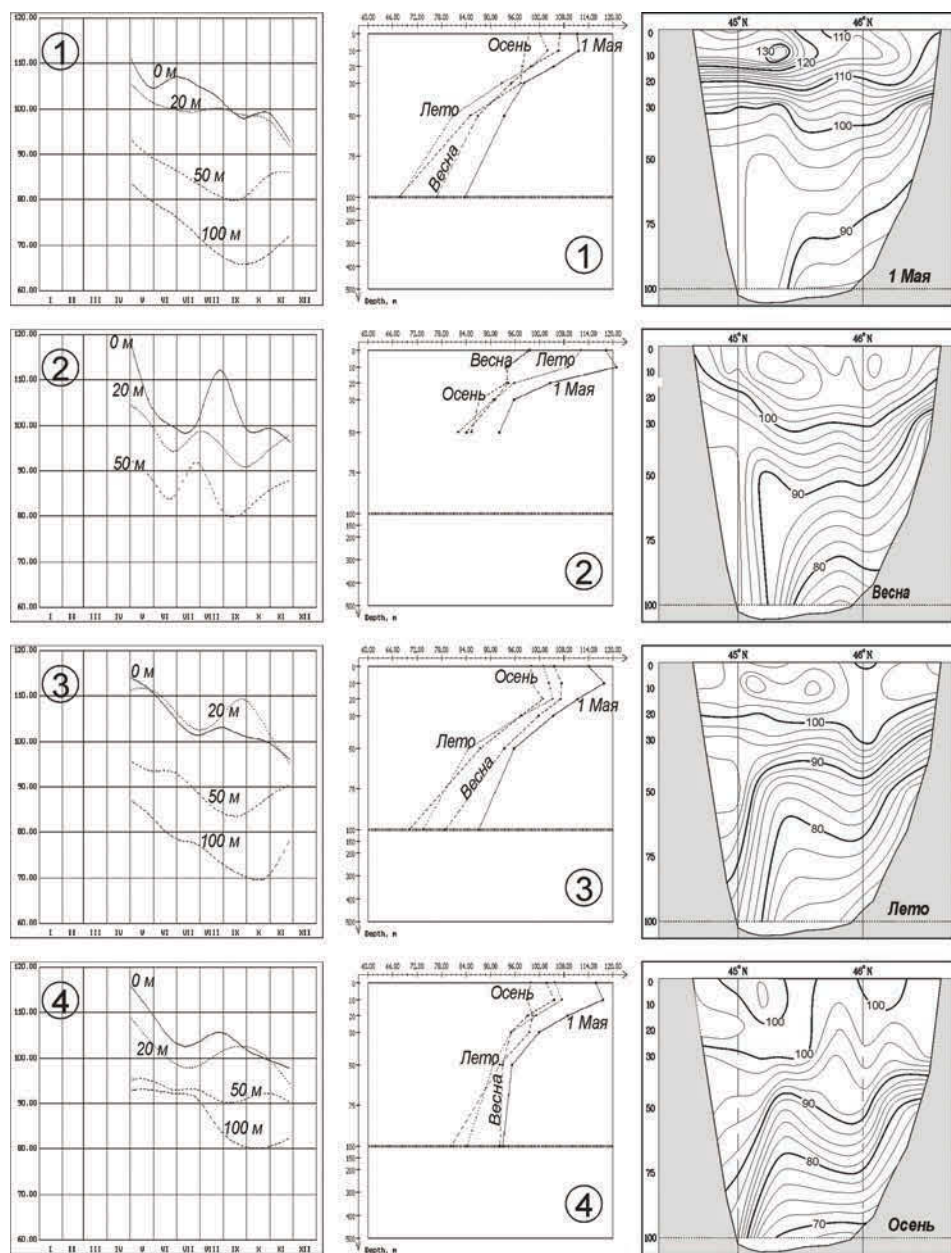
На графиках вертикального распределения хорошо видно заглубление максимума пересыщения вод кислородом по мере их прогрева от ранней весны к осени. В заливе Анива за счет постоянных нисходящих движений вод в центре антициклонического круговорота он размывается. Максимальная насыщенность вод кислородом (до 118 %) и максимальный размах колебаний величины относительного содержания (до 22 %) так же, как и абсолютных значений кислорода, наблюдается в зоне подъема вод у скалы Камень опасности (район № 2).

Характерной особенностью вертикального распределения абсолютного и относительного содержания растворенного в воде кислорода является наличие подповерхностного максимума, который формируется в результате развивающегося фотосинтеза (см. рис. 2.15, 2.16). Глубина его залегания определяется положением пикноклина, и от ранней весны к лету он заглубляется в среднем с 10 до 30 м. Максимальное заглубление (на отдельных станциях до 50 м) отмечается осенью. Максимум кислорода исчезает в осенне-зимний период в результате охлаждения вод и прекращения фотосинтеза. По данным единичных измерений, зимой наблюдается плавное понижение содержания растворенного кислорода от поверхности до дна на общем фоне слабого недонасыщения (96–98 %) кислородом поверхностных вод из-за того, что сам процесс инвазии кислорода в воду протекает достаточно медленно, а на исследуемой акватории его еще дополнительно ограничивает ледяной покров. Состояние недонасыщения поверхностных вод в холодный период года характерно для Охотского моря в целом [Гидрометеорология и гидрохимия..., 1993] (рис. 2.18, 2.19).

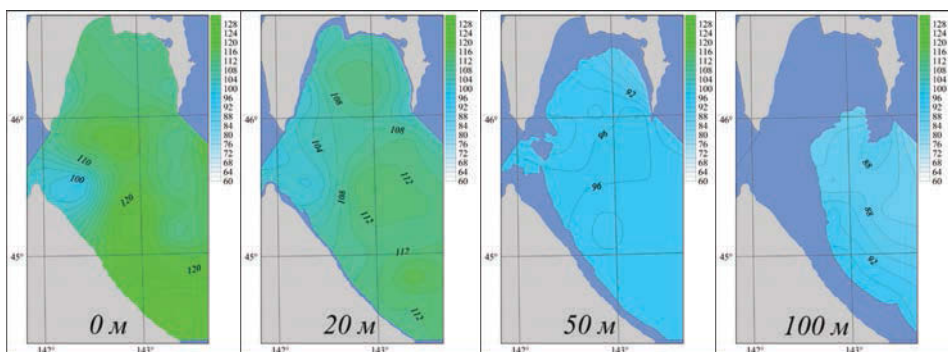
Наиболее низкие значения растворенного кислорода во все сезоны (от 7.2 мл/л на поверхности весной до 5.5 мл/л осенью) наблюдаются на входе в пролив субтропических вод с течением Соя. Насыщение вод кислородом здесь едва достигает 100 %.

По низким значениям кислорода струя вод течения Соя вдоль побережья острова Хоккайдо хорошо идентифицируется только до 45° с. ш. Южнее наблюдается скачкообразное увеличение содержания кислорода, обусловленное наличием здесь квазистационарных локальных вихрей, что хорошо согласуется как с результатами диагностических расчетов циркуляции вод (см. рис. 2.4), так и с результатами моделирования расходов в струе течения Соя [Ohshima, Wakatsuchi, 1990].

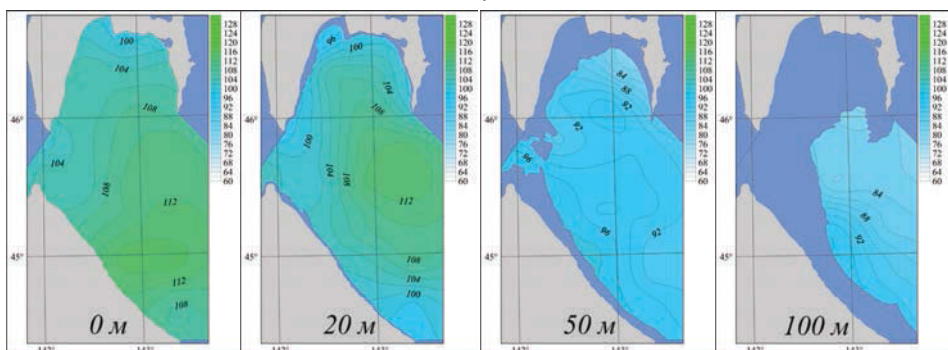
Пониженное содержание кислорода отмечается на мелководье в север-



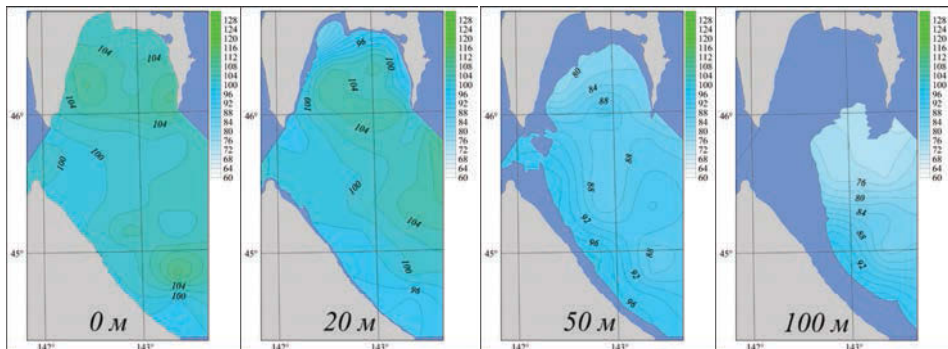
**Рис. 2.18.** Восстановленный годовой ход относительного содержания растворенного в воде кислорода (%) на стандартных горизонтах (слева) и его вертикальное распределение по сезонам на средних станциях (по центру) в выделенных районах (см. рис. 2.2). Справа – распределение средних многолетних значений относительного содержания кислорода по сезонам на меридиональном разрезе В (142° 52' в. д.) в проливе Лаперуза (схему расположения средних океанологических станций и разреза В см. на рис. 2.4)



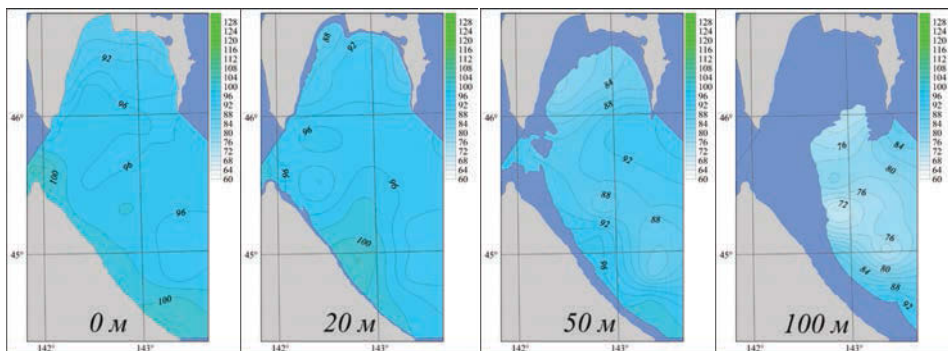
26 апреля



Весна



Лето



Осень

**Рис. 2.19.** Сезонное распределение средних многолетних значений относительного содержания растворенного в воде кислорода (%) на горизонтах 0, 20, 50 и 100 м

ной части залива Анива, где воды более распреснены и прогреты. Минимальные значения содержания кислорода (от 5.5 мл/л на 100 м до 6.5 мл/л на 50 м) фиксируются в придонных горизонтах осенью.

Наиболее высокие значения растворенного кислорода (в среднем до 9.2–9.4 мл/л, или до 125 % насыщения) наблюдаются на поверхности ранней весной. Далее в зависимости от температурного режима, интенсивности фотосинтеза и динамики вод они заглубляются в подповерхностные горизонты. Сочетание взаимодействия перечисленных факторов обуславливает формирование в отмеченных ранее основных вихревых образованиях локальных экстремумов, которые косвенным образом характеризуют направленность вертикального движения вод.

## 2.8. Величина pH

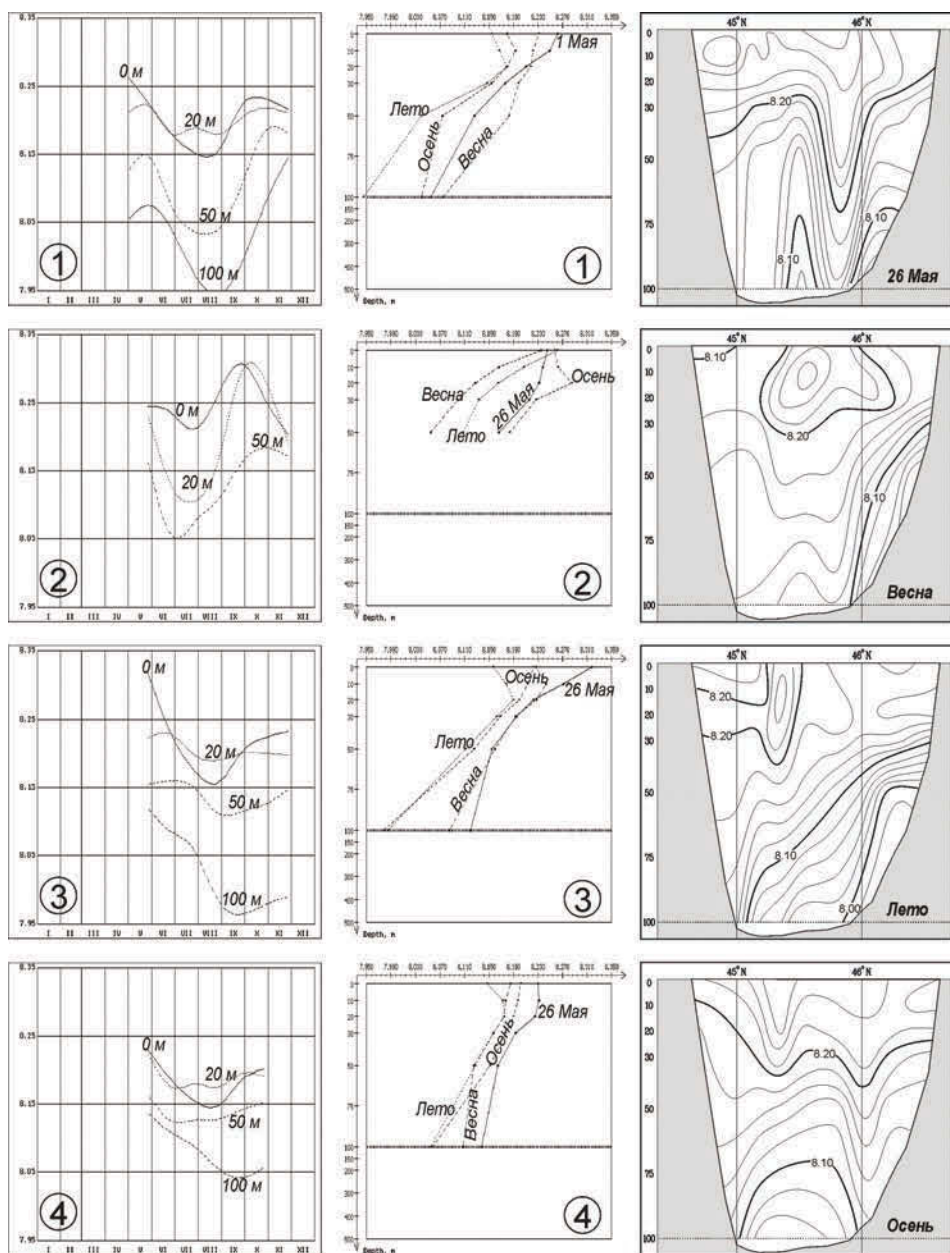
При выделении  $\text{CO}_2$  в атмосферу или его поглощении в процессе фотосинтеза наблюдается рост величины pH. Также изменения значений величины pH тесно взаимосвязаны с концентрацией кислорода (характер графиков годового хода практически идентичен). Поступление  $\text{CO}_2$  из атмосферы, выделение двуокиси углерода при дыхании морских организмов и разложении органического вещества приводят к понижению pH, то есть к увеличению кислотности морской воды. Все это многократно усложняет общую картину распределения pH во времени и в пространстве.

На графиках годового хода величины pH в теплую половину года общими элементами режима для всех районов является наличие весеннего (в мае) и осеннего (в сентябре-октябре) максимумов и летнего (в августе, а для района № 2 – в июле) минимумов величины pH (рис. 2.20). Также для всех районов (кроме района скалы Камень опасности) характерно запаздывание наступления экстремумов с глубиной. В районе № 2 летний минимум pH в придонных горизонтах, наоборот, отмечается раньше, чем в поверхностных. Объясняется это динамикой вод и особенностями протекания здесь процессов фотосинтеза, которые на горизонте 50 м прослеживаются по максимумам как абсолютного, так и относительного содержания кислорода. Исключением из общего правила является годовой ход величины pH на горизонте 20 м, где по мере заглубления пикноклина, а, следовательно, и кислородного максимума формируется также подповерхностный максимум pH.

Наибольшие значения величины pH (в среднем 8.31) наблюдаются на поверхности в районе № 3 ранней весной, наименьшие (в среднем 7.94) – в придонном горизонте в заливе Анива. Максимальный размах колебаний в безледный период (в среднем 0.35) отмечен в районе № 3, минимальный (в среднем 0.19) – в водах течения Соя.

Характерной особенностью вертикального распределения величины pH является наличие максимума в слое активного фотосинтеза (за счет уменьшения концентрации углекислого газа). Ниже этого слоя она уменьшается под влиянием процессов окисления органического вещества (накопление  $\text{CO}_2$ ) и увеличения гидростатического давления.

С повышением температуры в поверхностных слоях происходит уменьшение pH. Это обстоятельство еще более рельефно выделяет его подповерхностный максимум. Однако наступление его относительно кислородного несколько запаздывает по времени. В водах субарктической структуры максимальные значения pH наблюдаются летом и осенью.



**Рис. 2.20.** Восстановленный годовой ход величины pH на стандартных горизонтах (слева) и ее вертикальное распределение по сезонам на средних станциях (по центру в выделенных районах (см. рис. 2.2)). Справа – распределение средних многолетних значений величины pH по сезонам на меридиональном разрезе В (142° 52' в. д.) в проливе Лаперуза (схему расположения средних океанологических станций и разреза В см. на рис. 2.4)

В районе № 2 подповерхностный максимум рН проявляется только осенью, но выражен очень резко. В относительно теплых (особенно в холодный период года) водах субтропической структуры весенний цикл процессов фотосинтетической деятельности начинается в более ранние сроки. Поэтому подповерхностный максимум рН здесь наблюдается уже ранней весной, хорошо выражен летом, а осенью практически размывается.

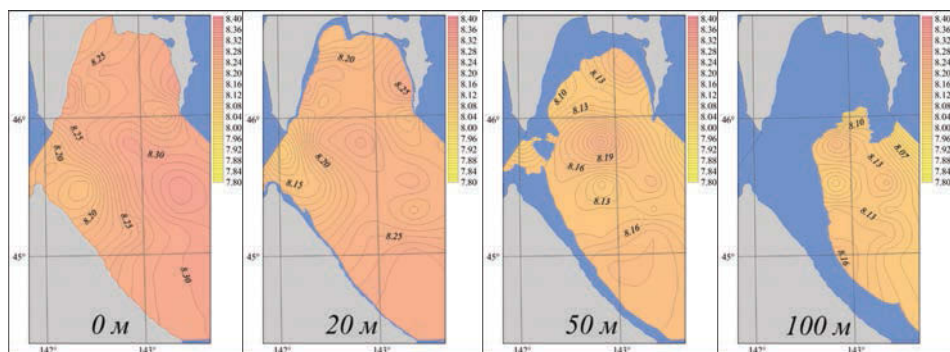
Особенности пространственно-временного распределения величины рН (рис. 2.21) так же, как и других уже описанных выше параметров, формируются под влиянием основных динамических факторов, существующих в проливе Лаперуза. Контуры зон выраженных круговоротов хорошо видны на рисунках, включая и те особенности, которые присущи распределению самой величины рН.

Во все сезоны на всех представленных картах по минимальным значениям рН на входе в пролив из Японского моря прослеживаются воды течения Соя. При этом особо следует подчеркнуть вполне удовлетворительное совпадение границ этих вод, отчетливо заметных по резкому увеличению горизонтальных градиентов содержания и растворенного кислорода (см. рис. 2.16), и величины рН. Летом и осенью хорошо выражены зоны подъема вод: в районе скалы Камень опасности и в центре зоны циклонического круговорота в юго-восточной части пролива. Первая проявляется в поверхностных горизонтах по максимальным значениям рН и обусловлена активным протеканием процессов фотосинтеза. Вторая, наоборот, по минимальным значениям в подповерхностных горизонтах, что обусловлено подъемом вод с больших глубин с низкой температурой и малыми значениями величины рН.

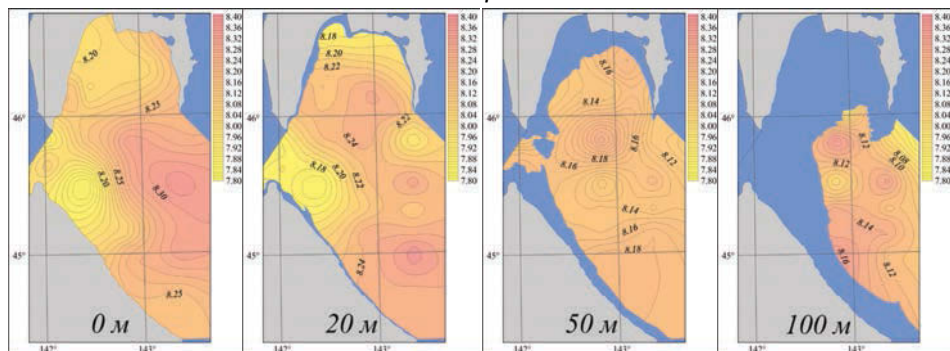
## 2.9. Фосфаты

Биогенные вещества (минеральные вещества, которые постоянно входят в состав биомассы организмов и необходимы для обеспечения процессов метаболизма) присутствуют в морской воде в виде различных соединений. Наибольшие колебания концентраций этих веществ наблюдаются в эвфотическом слое, где они интенсивно потребляются в процессе фотосинтетической деятельности фитопланктоном и определенными видами бактерий при продуцировании органического вещества. Обогащение поверхностных горизонтов биогенными веществами происходит за счет подъема промежуточных вод в процессе вертикальной циркуляции (мезомасштабные циклонические вихри, прибрежный апвеллинг, зимняя конвекция), а также за счет поступления их с речным стоком, атмосферными осадками и рециклингом. Поэтому пространственно-временное распределение биогенных веществ, как и растворенного в воде кислорода, является чувствительным индикатором динамики вод.

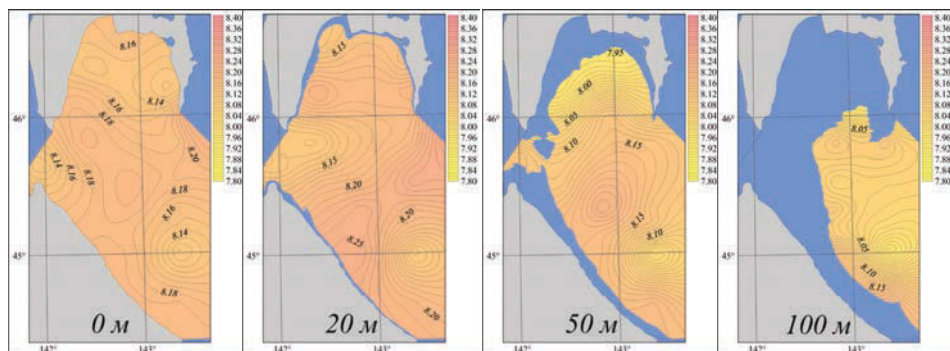
Соединения фосфора в очень малых количествах находятся в морской воде. Они участвуют в процессе синтеза белка и, следовательно, могут лимитировать развитие фитопланктона. Для годового хода содержания фосфатов в водах исследуемого района в целом характерно наличие весенне-летнего минимума, обусловленного активным потреблением их в эвфотическом слое. Ближе к осени общее содержание фосфатов быстро увеличивается (рис. 2.22). Рост содержания биогенных веществ осенью обусловлен двумя причинами: 1) затуханием процессов фотосинтеза; 2) усилением адвекции биогенных веществ с водами Восточно-сахалинского течения. Как было по-



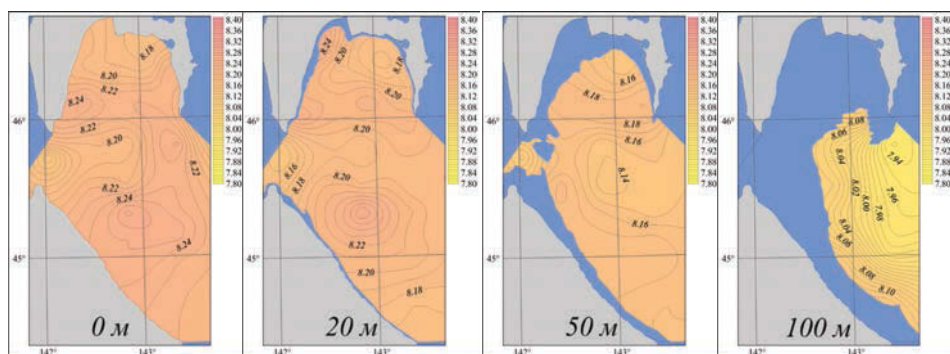
26 апреля



Весна

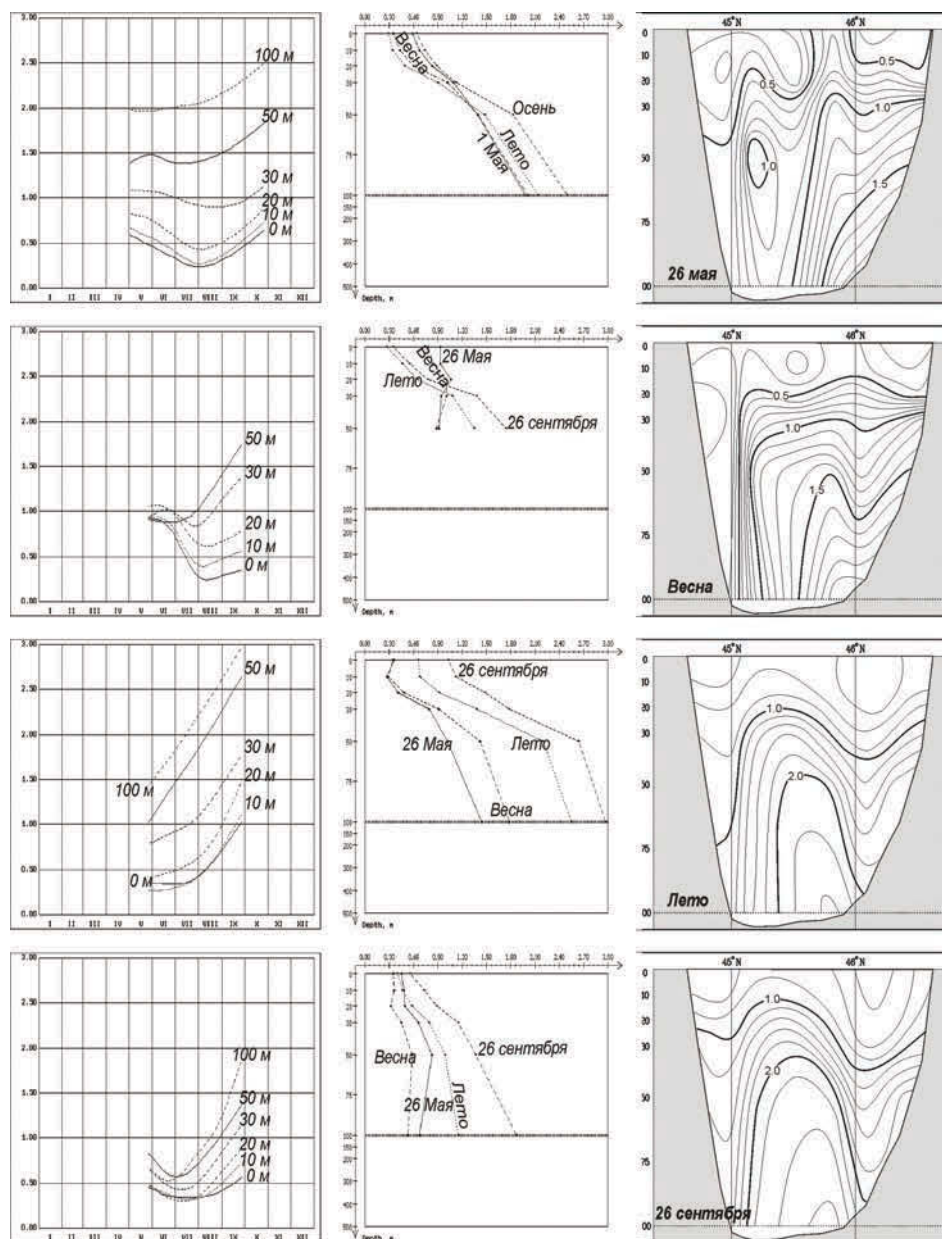


Лето



Осень

**Рис. 2.21.** Сезонное распределение средних многолетних значений величины pH (усл./ед.) на горизонтах 0, 20, 50 и 100 м



**Рис. 2.22.** Восстановленный годовой ход концентрации фосфатов ( $\mu\text{M}/\text{л}$ ) на стандартных горизонтах (слева) и их вертикальное распределение по сезонам на средних станциях (по центру). Справа – распределение средних многолетних значений концентрации фосфатов по сезонам на меридиональном разрезе **В** ( $142^{\circ} 52'$  в. д.) в проливе Лаперуза (схему расположения средних океанологических станций и разреза **В** см. на рис. 2.4)

казано выше, при осенней интенсификации Восточно-сахалинского течения западная периферия потока активно взаимодействует с водами Сахалинского залива, в результате чего вдоль восточного побережья острова формируется струя распресненных и обогащенных биогенными веществами вод, которая хорошо проявляется на сезонных картах распределения солености, плотности, фосфатов и силикатов для всего охотоморского шельфа острова [Пищальник, Бобков, 2000 а, б; Свидетельство..., 2019].

В октябре эти воды достигают акватории пролива Лаперуза, обуславливая не только понижение солености, но и увеличение концентрации биогенных веществ во всей толще вод (рис. 2.23).

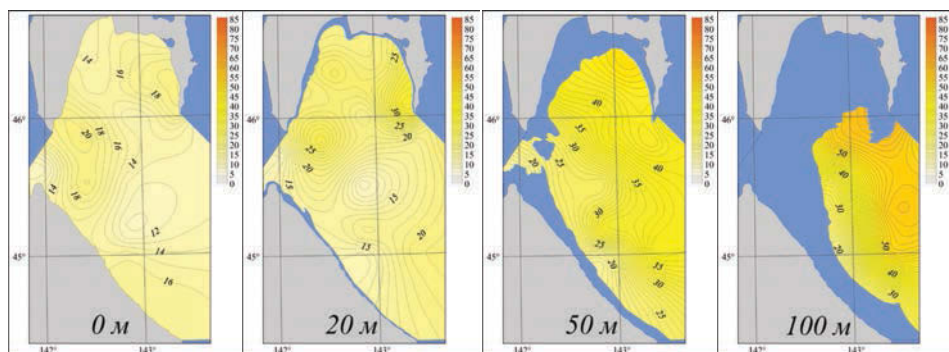
В заливе Анива самое низкое содержание фосфатов в годовом ходе наблюдается в поверхностных горизонтах (в среднем до 0.24  $\mu\text{M}/\text{л}$ ) в конце июля. Но уже в конце августа содержание их в верхнем 20-метровом слое начинает увеличиваться. Однако по мере заглубления слоя, где протекает активная фотосинтетическая деятельность, минимальные концентрации фосфатов отмечаются на глубинах ~30 м еще в сентябре. Для придонных горизонтов характерны общая тенденция незначительных изменений концентрации фосфатов от весны к лету и дальнейшее повышение их содержания от лета к осени, обусловленное, как уже отмечалось, дополнительным поступлением биогенных веществ в результате усиления Восточно-сахалинского течения (рис. 2.23).

## 2.10. Нитриты

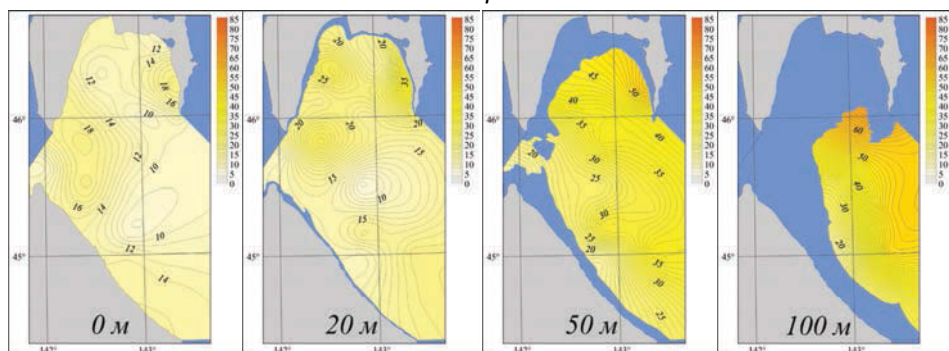
Нитриты – промежуточная форма нахождения связанного азота в морской воде, которая окисляется в конечном итоге до нитратного азота, интенсивно потребляемого фитопланктоном и денитрифицирующими бактериями, использующими при недостатке кислорода в воде кислород нитратов на окисление органических веществ. Восстанавливать нитраты до нитритов способны диатомовые и зеленые водоросли. Важным источником обогащения поверхностных вод нитратами являются атмосферные осадки. Основные потребности живых организмов обеспечиваются за счет внутреннего круговорота азота в толще вод. В виде нитратов в морской воде содержится более 65 % связанного азота.

Однако из-за сложности их аналитического определения степень изученности их пространственно-временного распределения невелика. Вместе с тем простота и высокая чувствительность методов определения нитритного азота обусловила этой наименее существенной форме азота большую степень изученности, чем нитратной. Нитритный азот служит индикатором окислительно-восстановительных процессов. Концентрация нитритов зависит от количества распадающегося органического вещества, отражая уже прошедший процесс синтеза. Кроме того, пополнение запасов соединений связанного азота происходит за счет речного стока и атмосферных осадков. В глубинных водах нитриты обычно отсутствуют, а на поверхности высокие концентрации нитритов наблюдаются в районах интенсивного подъема вод [Сапожников, 1982].

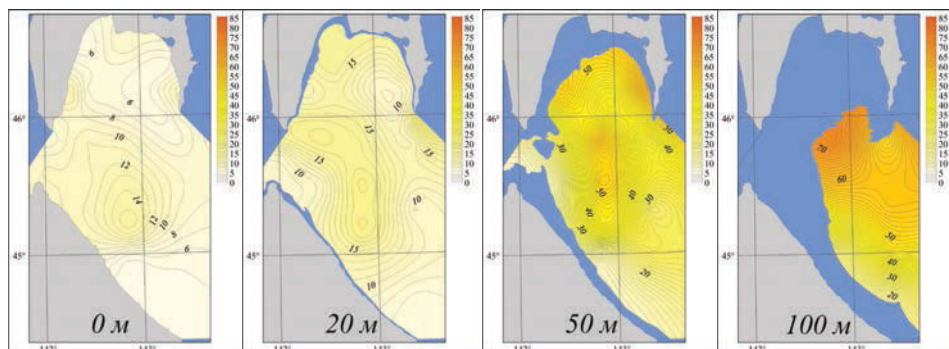
Совокупность отмеченных процессов определяет особенности сезонных колебаний различных форм азота. Так, при интенсивной фотосинтетической деятельности фитопланктона весной концентрация ионов аммония и нитратов в поверхностных слоях может падать до аналитического нуля, а их максимум (соответственно около 1.5 и 35.0  $\mu\text{M}/\text{л}$ ) наблюдается в зимнее



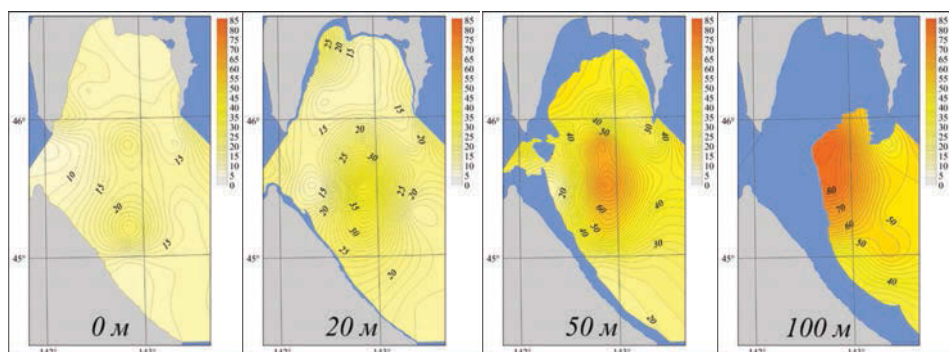
26 апреля



Весна



Лето



Осень

**Рис. 2.23.** Сезонное распределение средних многолетних значений фосфатов ( $\mu\text{M/l}$ ) на горизонтах 0, 20, 50 и 100 м

время, когда распад органического вещества происходит в условиях слабого или полного отсутствия потребления азота.

Нитриты, наоборот, зимой отсутствуют, так как практически к этому времени полностью окисляются. Наибольшие их концентрации (в отдельных случаях более  $1.0 \text{ } \mu\text{M/л}$ ) отмечаются в конце лета и осенью, когда идет интенсивный распад вновь образовавшегося органического вещества и затухает фотосинтез. В то же время повышенное содержание минеральных форм азота, указывающее на усиление процессов разложения органических остатков, может служить показателем загрязнения вод.

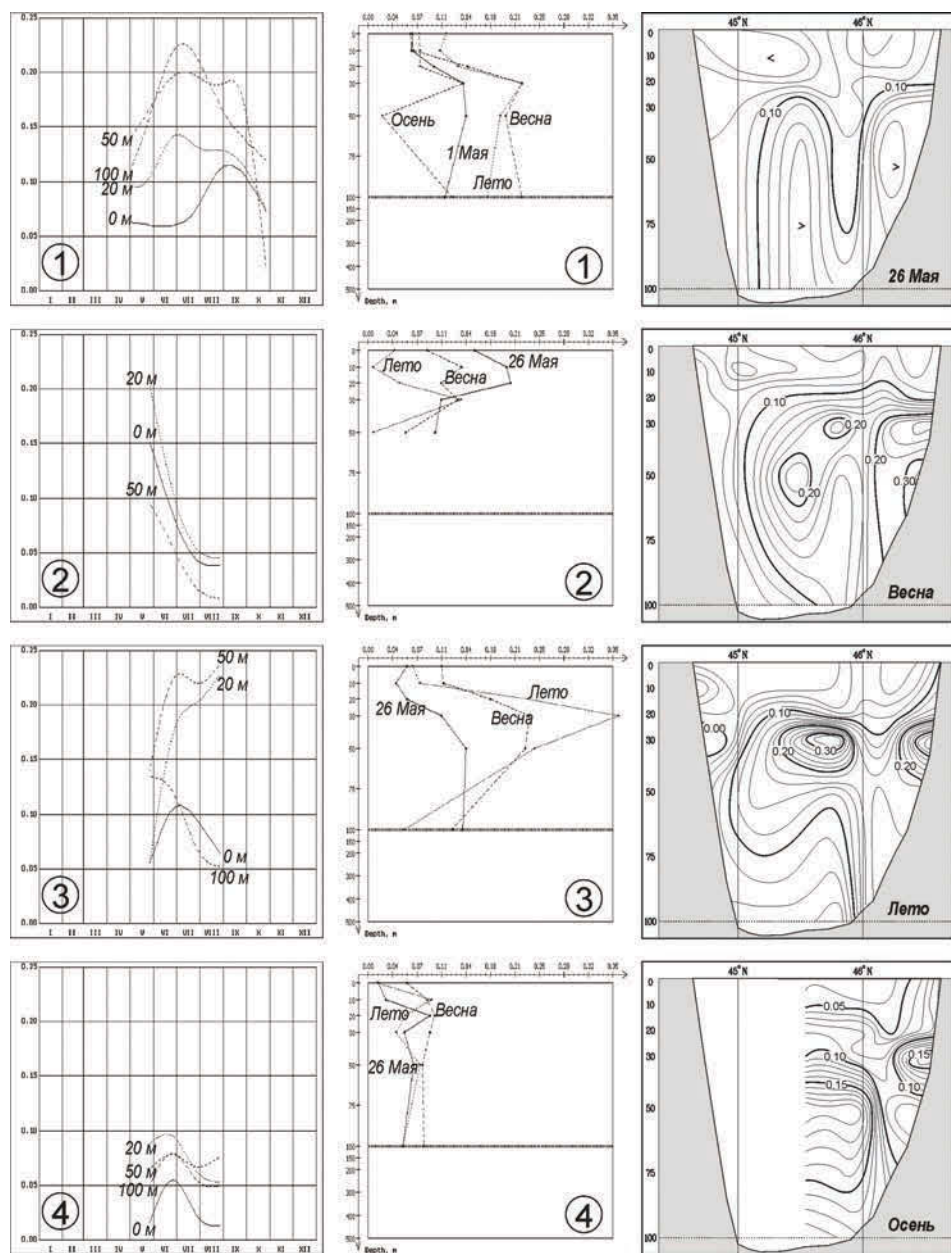
Как следует из условий протекания процесса нитрификации, заметное повышение концентрации промежуточных продуктов окисления должно обнаруживаться при дефиците кислорода. Это обуславливает характерную особенность вертикального распределения аммонийного азота и нитритов – наличие подповерхностного максимума под зоной фотосинтеза, где резко убывает содержание кислорода. В открытых глубоководных районах действует термическая тенденция к превращению всех форм азота в нитраты, поэтому в глубинных слоях накапливаются только конечные продукты окисления и минерализации органических веществ. Характерной чертой годового хода концентрации нитритов в водах субарктической структуры в районах № 1 и 3 является наличие летнего максимума (рис. 2.24).

Наибольшие значения концентрации нитритов наблюдаются здесь в придонных горизонтах и достигают  $0.20\text{--}0.25 \text{ } \mu\text{M/л}$ . В зоне подъема вод в районе скалы Камень опасности, наоборот, летом на всех горизонтах четко выражен минимум, а максимальные концентрации  $0.10\text{--}0.20 \text{ } \mu\text{M/л}$  наблюдаются весной.

В водах течения Соя на фоне минимального абсолютного содержания нитритов (в среднем от  $0.01$  до  $0.10 \text{ } \mu\text{M/л}$ ) и их наименьшей изменчивости относительно других районов можно выделить весенний максимум и летний минимум. Исходя из особенностей годового хода концентрации нитритов в Татарском проливе, где приблизительно равные по величине весенний и осенний максимумы разделены летним минимумом [Пищальник, Бобков, 2000 а, б; Свидетельство..., 2019], можно предположить, что и в районе № 4 в годовом ходе должен наблюдаться осенний максимум содержания нитритов, хотя и менее заметно выраженный, чем весной.

Особенностью вертикального распределения нитритного азота является существование подповерхностного максимума на нижней границе пикноклина. Наибольшие значения нитритов (в среднем до  $0.36 \text{ } \mu\text{M/л}$ ) наблюдаются летом в районе № 3 непосредственно под зоной фотосинтеза (30 м и глубже). Из этого следует важный вывод, что в данном районе постоянное поступление биогенных веществ с водами Восточно-сахалинского течения в сочетании с температурным режимом создают оптимальные условия для максимальной скорости синтеза органического вещества. Весьма сложное вертикальное распределение нитритов, с наличием двух максимумов, наблюдается в динамичных районах № 2 и 4.

Картина пространственно-временного распределения содержания нитритов во многом повторяет картину распределения фосфатов на соответствующих горизонтах (рис. 2.25). И это не удивительно, так как, во-первых, они связаны между собой стехиометрическим соотношением в составе органического вещества, а во-вторых, именно биохимические процессы ассимиляции и регенерации биогенных элементов, а также наличие квазистационарных вихревых образований определяют характер их вертикального распределения.



**Рис. 2.24.** Восстановленный годовой ход концентрации нитритов ( $\mu\text{M}/\text{л}$ ) на стандартных горизонтах (слева) и их вертикальное распределение по сезонам на средних станциях (по центру) выделенных районах (см. рис. 2.2). Справа – распределение средних многолетних значений концентрации нитритов по сезонам на меридиональном разрезе В ( $142^{\circ} 52'$  в. д.) в проливе Лаперуза (схему расположения средних океанологических станций и разреза В см. на рис. 2.4)

По максимальному содержанию нитритов ранней весной отчетливо проявляется зона подъема вод в районе скалы Камень опасности. В другие сезоны года на различных горизонтах по максимальным концентрациям нитритов подъем вод в этом районе корректнее определить как апвеллинг у м. Крильон. Следует отметить, что подобная ситуация возникает здесь и при анализе распределения других параметров. Скорее всего, это две самостоятельные стационарные зоны подъема вод, но существенно различающиеся по гидрохимическому режиму вследствие того, что подъем вод в них происходит с различных горизонтов. Также отчетливо во все сезоны проявляется апвеллинг вдоль Тонино-Анивского полуострова.

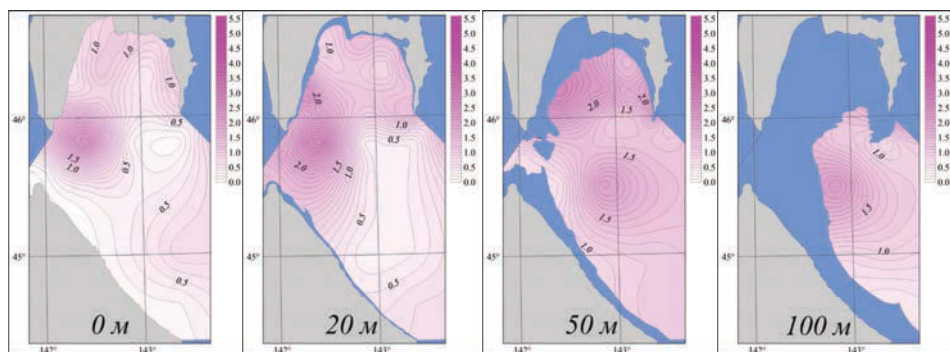
## 2.11. Силикаты

Кремний входит в состав скелетных образований морских организмов. Содержание его в морской воде значительно превышает концентрации других биогенных веществ и изменяется в широких пределах от единиц до сотен  $\mu\text{M}/\text{л}$ . Главным источником соединений кремния в природных водах являются процессы химического выветривания и растворения кремнеосодержащих материалов, а в океанских водах – материковый сток [Алекин, 1970]. Дальневосточные моря относятся к северотихоокеанской зоне повышенной концентрации кремниевой кислоты в поверхностном слое, где кремний не выступает лимитирующим биогенным элементом, то есть в моменты наибольшего развития фитопланктона содержание его никогда не доходит до аналитического нуля. В этих же районах наблюдается повышенное содержание кремния и в донных осадках, что лишний раз доказывает преобладание биогенных процессов выпадения кремния в донные отложения [Бруевич, 1966; Сапожников, 1982]. В водах пролива Лаперуза содержание силикатов в среднем на порядок выше, чем фосфатов. Тем не менее сезонные изменения концентрации кремниевой кислоты имеют те же основные тенденции, что и годовой ход фосфатов, то есть понижение концентраций в верхнем 50-метровом слое от весны к лету с последующим повышением их от лета к осени (рис. 2.25).

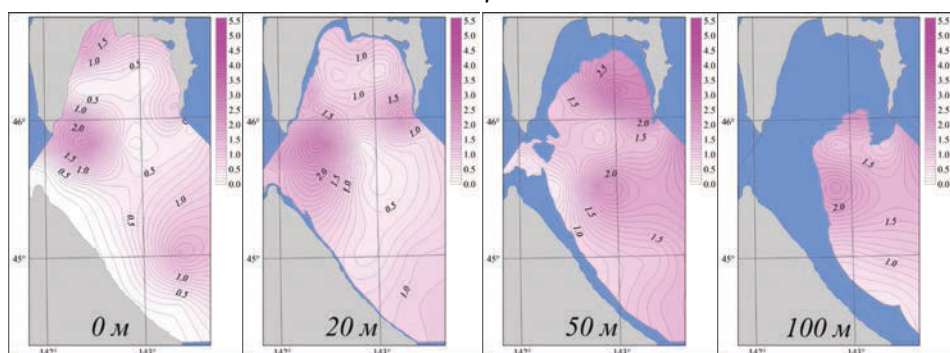
При этом вследствие того, что силикаты в процессе фотосинтеза выедаются в меньшей степени, основной минимум их годового хода выражен заметно слабее, чем у фосфатов (см. рис. 2.22). В этом и состоят основные различия годового хода фосфатов и силикатов, которые наиболее ярко проявляются в районе № 2.

Следует обратить внимание на тот факт, что в выделенном районе № 4 весной содержание силикатов на горизонте 100 м так же, как и фосфатов, относительно вышележащих горизонтов понижено. Это подтверждает высказанное ранее предположение о существовании зоны даунвеллинга вдоль северо-восточного побережья острова Хоккайдо и опускании субтропических вод по его подводным склонам в глубоководную часть пролива Лаперуза.

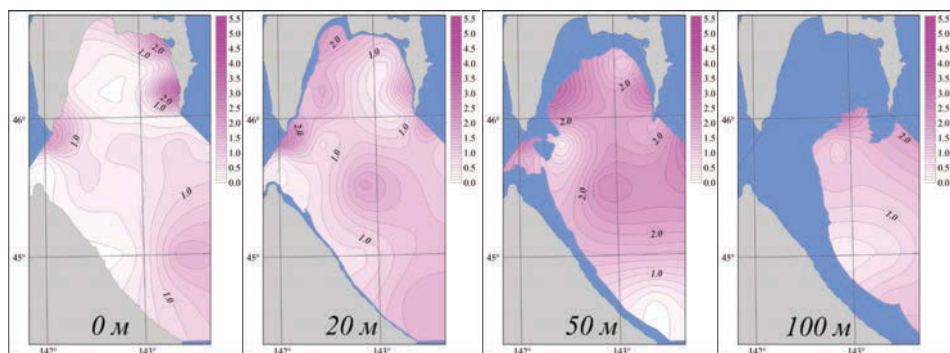
Абсолютные значения концентрации силикатов в поверхностных горизонтах (так же, как и фосфатов) во всех районах приблизительно равны. Основные различия наблюдаются в толще вод ниже пикноклина. Минимальными концентрациями силикатов ( $0.05\text{--}0.25 \mu\text{M}$ ) характеризуются субтропические воды. Характер вертикального распределения содержания силикатов и фосфатов также аналогичен: то есть резкое увеличение их концентраций в теплую половину года ниже границы пикноклина.



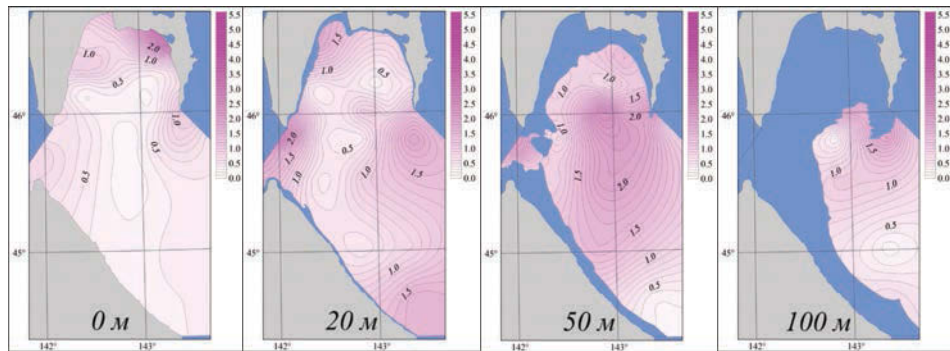
26 апреля



Весна



Лето



Осень

**Рис. 2.25.** Сезонное распределение средних многолетних значений нитритов ( $\mu\text{M/l}$ ) на горизонтах 0, 20, 50 и 100 м

Зимой вследствие затухания фотосинтетической деятельности и в результате конвекции происходит выравнивание концентраций и фосфатов, и силикатов в толще вод пролива Лаперуза, а содержание нитритов стремится к нулю. При этом на фоне ослабления циркуляционных процессов в поверхностных горизонтах содержание фосфатов и силикатов должно увеличиваться значительно быстрее, чем в придонных.

Пространственное распределение содержания силикатов вследствие незначительного уменьшения их концентраций в зоне фотосинтеза четче, чем у фосфатов, и согласуется с наличием стационарных зон подъема глубинных вод, а также распространения материкового стока. Поэтому повышенные концентрации кремния во все сезоны и на всех горизонтах являются индикатором зон подъема вод: в циклоническом круговороте в юго-восточной части пролива; апвеллинга вдоль Тонино-Анивского полуострова и у мыса Крильон (рис. 2.26, 2.27). Циклонический вихрь в районе скалы Камень опасности начинает проявляться только в летне-осенний период, то есть на фазе интенсификации Восточно-сахалинского течения.

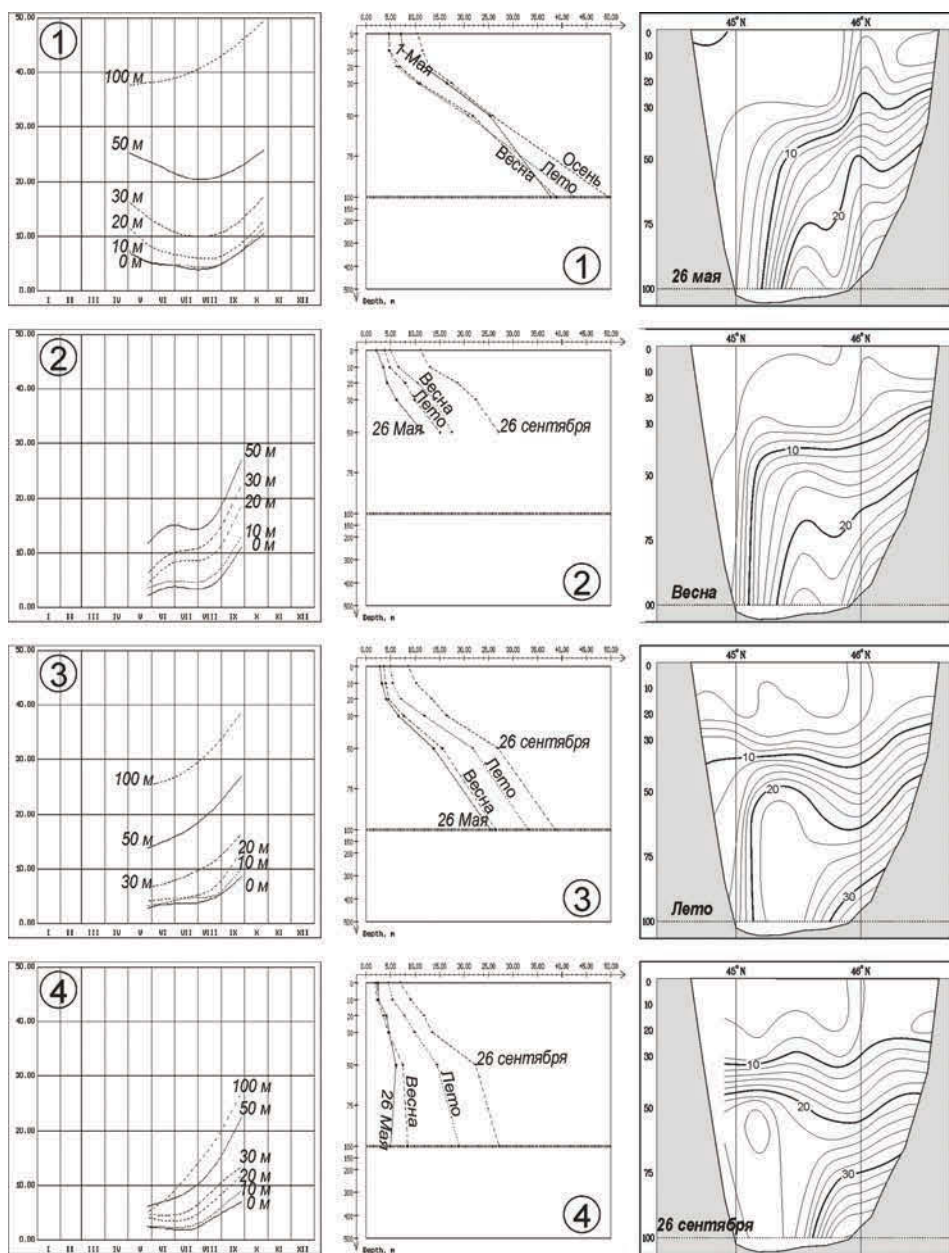
По пониженному содержанию кремния в поверхностных горизонтах ранней весной хорошо выражены районы, где процессы фотосинтеза протекают наиболее активно – это залив Анива и струя течения Соя. Летом и в начале осени на фазе усиления потока Восточно-сахалинского течения содержание кремнекислоты повсеместно увеличивается. Вместе с тем по мере заглупления пикноклина в подповерхностных и придонных горизонтах на картах прорисовывается минимум силикатов в центре антициклонического круговорота в заливе Анива.

Величина первичной продукции была вычислена по графикам вертикального изменения фосфатов в эвфотическом слое в весенне-летний период [Сапожников, 1984]. Для районов № 1–4 она составила соответственно 0.34, 0.22, 1.02 и 0.33 г С/м<sup>2</sup> сут. Таким образом, максимально продуктивным районом является зона поступления в пролив вод Восточно-сахалинского течения (район № 3). Подтверждением этого является наличие в этой зоне подповерхностного минимума фосфатов и нитритов. Полученные значения укладываются в диапазон изменчивости величин первичной продукции для других районов сахалинского шельфа [Аржанова и др., 2002]. Здесь необходимо отметить, что изменчивость концентраций всех проанализированных гидрохимических параметров на акватории пролива Лаперуза не выходит за пределы колебаний аналогичных величин для всего Охотского моря [Hydrochemical Atlas ..., 2001]. Однако в указанных работах данные по проливу Лаперуза отсутствуют, поэтому их можно использовать только для ориентировочной оценки гидрохимического фона.

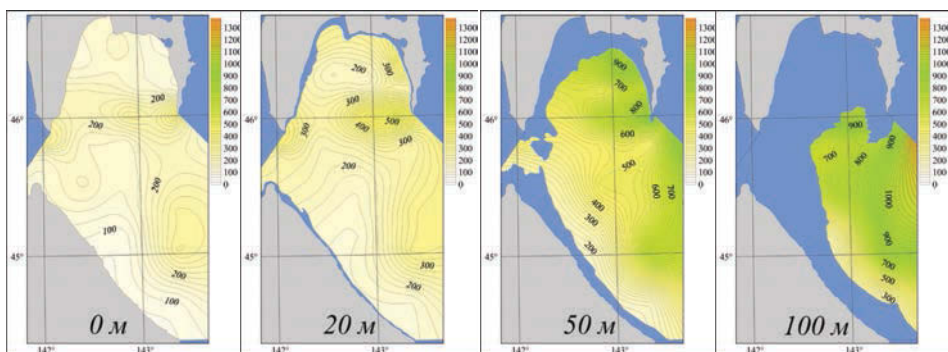
## **Заключение к главе 2**

Результаты расчетов, полученные на цифровых моделях, и проведенный системный анализ позволили получить новые сведения о гидролого-гидрохимическом режиме вод пролива Лаперуза и залива Анива, а также уточнить количественные значения основных параметров водных масс (в том числе и в малоизученный зимний период), суть которых заключается в следующем:

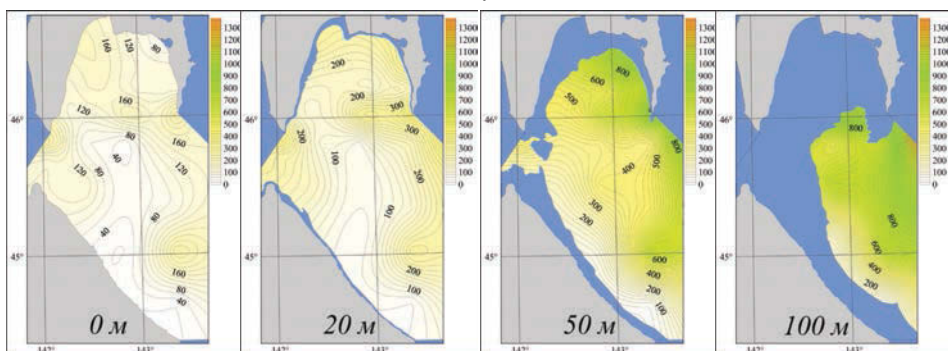
а) в период отсутствия льда в исследуемом районе выделяются три водные массы (ПОВМ, ОВМ и ПТВМ), при наличии льда – только две (ОВМ и ПТВМ). Пространственно-временное распределение водных масс обуслав-



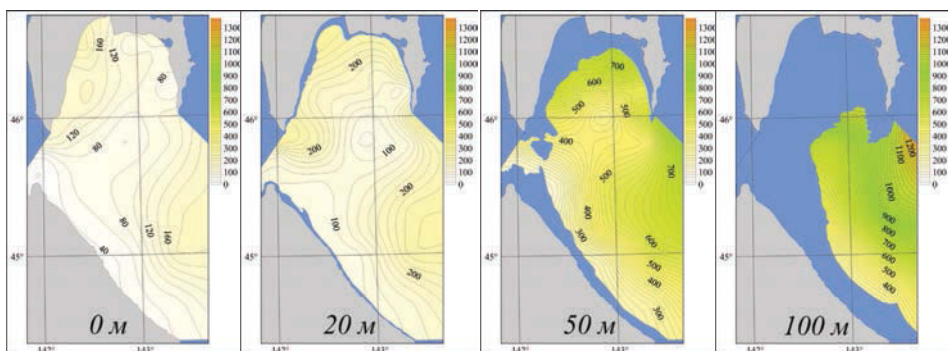
**Рис. 2.26.** Восстановленный годовой ход концентрации силикатов ( $\mu\text{M}/\text{л}$ ) на стандартных горизонтах (слева) и их вертикальное распределение по сезонам на средних станциях (по центру) в выделенных районах (см. рис. 2.2). Справа – распределение средних многолетних значений концентрации силикатов по сезонам на меридиональном разрезе В ( $142^\circ 52'$  в. д.) в проливе Лаперуза (схему расположения средних океанологических станций и разреза В см. на рис. 2.4)



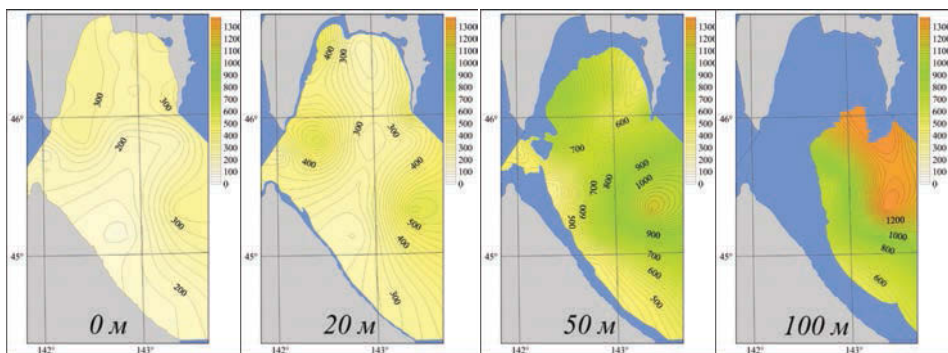
26 апреля



Весна



Лето



Осень

**Рис. 2.27.** Сезонное распределение средних многолетних значений силикатов ( $\mu\text{M}/\text{л}$ ) на горизонтах 0, 20, 50 и 100 м

ливают наличие двух типов структуры вод: субарктической и субтропической. Воды субарктической структуры занимают большую часть акватории пролива Лаперуза (60–90 %). Значительная сезонная изменчивость объема зафиксирована у ПОВМ и ПТВМ (до 70 %), наименьшая – ОВМ (до 30 %);

б) минимум общего теплосодержания ( $8969 \times 10^{15}$  Дж) в проливе наблюдается в марте, максимум ( $54785 \times 10^{15}$  Дж) – в сентябре, при этом весной половина тепла приходится на ПТВМ, а осенью практически весь запас тепла сосредоточен в зоне субарктической структуры;

в) общее количество солей в проливе Лаперуза и заливе Анива в течение года изменяется не более чем на 3 %: от максимума в июне ( $54\,528 \times 10^{12}$  кг) до минимума в декабре ( $52\,772 \times 10^{12}$  кг);

г) вертикальная термохалинная устойчивость вод в проливе Лаперуза в течение всего года положительна. Весной и летом в обеих структурах вклад термической составляющей в общую вертикальную устойчивость значительно больше, чем соленосной (за исключением придонных слоев субарктической структуры). В зимний период, наоборот, доминирующим является вклад соленосной составляющей. Осенью в субтропической структуре в поверхностном слое преобладает соленосная составляющая, а в придонных – термическая;

д) в исследуемом районе выделено четыре динамические квазистационарные структуры, которые формируют его гидролого-гидрохимический режим вод: это антициклонический вихрь диаметром ~40 миль в заливе Анива с опусканием вод в центре, циклонические вихри в районе скалы Камень опасности (район № 2) и в юго-западной части пролива (район № 3) диаметром 20–25 миль каждый с подъемом вод в их центрах и зона адвективного переноса вод течением Соя с хорошо развитым вертикальным перемешиванием, средняя ширина которой составляет ~25 миль;

е) установлено, что смены типа циркуляции весной и осенью в заливе Анива, как это считалось ранее, не происходит. Данный вывод подтверждается отсутствием явно выраженных слоев в вертикальной структуре вод по гидрологическим и гидрохимическим показателям, а также результатами летних учетных съемок скоплений креветок и крабов (в центре антициклонического круговорота происходит скопление фито- и зоопланктонных организмов, а также органических остатков). Процесс постоянного опускания вод в центре вихря обеспечивает стабильную кормовую базу ракообразным, чем и объясняется плотность их скопления в этом районе;

ж) зимой в поверхностном слое не происходит замещения вод течения Соя водами Восточно-сахалинского течения. Основной причиной резкого понижения солености вод в поверхностном слое является таяние дрейфующего льда, поступающего в зону влияния течения Соя;

з) пространственно-временной анализ среднесезонных значений океанографических параметров: температуры, солености, плотности воды, растворенного в воде кислорода, величины рН и биогенных веществ, представленных в «АТЛАС-2018», подтверждает существование выделенных структурных элементов и позволяет описать процессы, происходящие в толще вод исследуемого района. Так, например:

1) апвеллинг в районе скалы Камень опасности (район № 2) по среднесезонным значениям солености воды (равно как и температуры) зимой не проявляется. По пониженным значениям температуры воды апвеллинг перестает выделяться в ноябре и вновь проявляется на фазе активного прогрева поверхностных вод только в апреле;

2) в результате воздействия силы Кориолиса на струю течения Соя созда-

ются перекосы уровня и, соответственно, условия для формирования даунвеллинга, который наиболее отчетливо выражен в весенне-летний период у побережья о-ва Хоккайдо к югу от 45° с. ш. Наличие даунвеллинга является причиной формирования промежуточного минимума температуры и солености воды на горизонте 75 м. Проникновение теплых и соленых вод в придонные горизонты течения Соя, лежащие ниже 75 м, подтверждается результатами расчета вертикальной устойчивости вод и понижением концентраций фосфатов и силикатов на горизонте 100 м в весенне-летний период. Компенсирует даунвеллинг подъем глубинных вод серией мезомасштабных циклонических вихрей вдоль северо-восточной периферии этого потока;

3) наиболее высокие значения растворенного в воде кислорода (в среднем до 9.4 мл/л, или до 125 % насыщения) наблюдаются на поверхности ранней весной. Далее в зависимости от интенсивности прогрева вод фотосинтеза и динамики вод кислородный максимум заглубляется в подповерхностные горизонты. Сочетание взаимодействия перечисленных факторов обуславливает формирование в отмеченных ранее основных вихревых образованиях локальных экстремумов, которые косвенным образом подтверждают направленность вертикального движения вод;

4) пространственно-временное распределение содержания нитритов находится в хорошем соответствии с распределением фосфатов на соответствующих горизонтах. И это не удивительно, так как, во-первых, они связаны между собой стехиометрическим соотношением в составе органического вещества, а во-вторых, именно биохимические процессы ассимиляции и регенерации биогенных элементов, а также наличие квазистационарных вихревых образований определяют характер их вертикального распределения.

## Литература к главе 2

1. Алекин, О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алекин. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
2. Алекин, О. А. Химия океана / О. А. Алекин, Ю. И. Ляхин. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1984. – 344 с.
3. Аржанова, Н. В. Обеспеченность фитопланктона биогенными элементами в северной части Охотского моря / Н. В. Аржанова, И. А. Налетова, В. В. Сапожников, А. В. Полякова // Океанология. – 2002. – Т. 42. – Вып. 2. – С. 198–209.
4. Архипкин, В. С. Алгоритмы и программы по обработке океанологической информации / В. С. Архипкин. – М. : изд-во Московского университета, 1992. – 83 с.
5. Архипкин, В. С. Основы термодинамики морской воды / В. С. Архипкин, С. А. Добролюбов. – М. : Диалог-МГУ, 1998. – 154 с.
6. Богородский, П. В. Моделирование нарастания льда в заприпайной полынье / П. В. Богородский, А. П. Макштас, А. В. Пнюшков // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2012. – № 2 (93). – С. 85–94.
7. Бруевич, С. В. Химия Тихого океана / С. В. Бруевич. – М. : Наука, 1966. – 358 с.
8. Будаева, В. Д. Диагностические расчеты стационарных течений в заливе Анива и проливе Лаперуза / В. Д. Будаева, В. Г. Макаров, И. Ю. Мельникова // Труды ДВНИИ. – 1980. – Вып. 87. – С. 66–78.
9. Будаева, В. Д. Сезонная изменчивость пикноклина в заливе Анива и

проливе Лаперуза / В. Д. Будаева, В. Г. Макаров // Тр. ДВНИГМИ. – 2000 а. – Вып. 140. – С. 19–23.

10. Гидрометеорология и гидрохимия морей. – Т. IX: Охотское море. – Вып. 2: Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности / под ред. Ф. С. Терзиева. – СПб. : Гидрометеоиздат, 1993. – 168 с.

11. Гидрометеорология и гидрохимия морей. – Т. IX: Охотское море. – Вып. 1: Гидрометеорологические условия / под ред.: Б. Х. Глуховского, Н. П. Гоптарева, Ф. С. Терзиева. – СПб. : Гидрометеоиздат, 1993. – 168 с.

12. Гладышев, С. В. Термохалинная структура вод придонного слоя на северном шельфе Охотского моря / С. В. Гладышев // Метеорология и гидрология, 1998. – № 3. – С. 54–64.

13. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. – Т. 1: РСФСР. – Вып. 22: Бассейны рек Сахалинской области. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1987. – 228 с.

14. Кантаков, Г. А. Анализ непериодических течений в проливе Лаперуза (Соя) в связи с изменениями уровня и воздействием ветра / Г. А. Кантаков, Г. В. Шевченко // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов. – Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 2001. – С. 62–74.

15. Кантаков, Г. А. Современные исследования течений в рыбопромысловых районах Сахалино-Курильского региона / Г. А. Кантаков, В. Н. Частиков, Г. В. Шевченко // Тр. СахНИРО. – 2002. – Т. 4. – С. 3–21.

16. Леонов, А. В. Биогидрохимическая модель трансформации органо-генных веществ и ее использование для расчета первичной продукции в экосистеме Охотского моря / А. В. Леонов, В. В. Сапожников // Комплексные исследования экосистемы Охотского моря. – М. : изд-во ВНИРО, 1997. – С. 143–166.

17. Леонов, А. В. Анализ условий трансформации нефтяных углеводородов в морских водах и моделирование процесса в заливе Анива / А. В. Леонов, В. М. Пищальник // Водные ресурсы. – 2005 б. – Т. 32. – № 6. – С. 712–726.

18. Леонов, А. В. Развитие микроводорослей в Охотском море в зимних условиях и моделирование их годовой динамики в заливе Анива / А. В. Леонов, Т. А. Могильникова, В. М. Пищальник, О. В. Зенкин // Водные ресурсы. – 2007. – Т. 34. – № 2. – С. 204–215.

19. Леонов, А. В. Моделирование природных процессов на основе имитационной гидроэкологической модели трансформации соединений С, N, P, Si : учебное пособие / А. В. Леонов. – Южно-Сахалинск : СахГУ, 2008. – 168 с.

20. Леонов, А. В. Моделирование загрязнения морской среды нефтяными углеводородами и их биотрансформации в водах Татарского пролива / А. В. Леонов, В. М. Пищальник, О. В. Чичерина // Водные ресурсы. – 2010 а. – Т. 37. – № 2. – С. 225–238. – DOI: 10.1134/S0097807810020107.

21. Леонов, А. В. Трансформация биогенных веществ в водах Татарского пролива (Японское море): анализ результатов математического моделирования / А. В. Леонов, В. М. Пищальник, О. В. Чичерина // Водные ресурсы. – 2010 б. – Т. 37. – № 1. – С. 33–57. – DOI: 10.1134/S0097807810010033.

22. Леонов, А. В. Оценка переноса водными массами биогенных веществ в Татарском проливе / А. В. Леонов, В. М. Пищальник, В. С. Архипкин // Водные ресурсы. – 2011. – Т. 38. – № 1. – С. 65–79. – DOI: 10.1134/S009780781006103X.

23. Леонов, А. В. Моделирование природных процессов на основе имитационной гидроэкологической модели трансформации соединений С, N,

P, Si : учебное пособие / А. В. Леонов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Южно-Сахалинск : СахГУ, 2012. – 148 с.

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

25. Леонов, А. В. Биогидрохимия морской среды и особенности трансформации биогенных веществ и нефтяных углеводородов в акватории юго-восточного шельфа Сахалина / А. В. Леонов, В. М. Пищальник, О. В. Чичерина // Водные ресурсы. – 2016. – Т. 43. – № 2. – С. 164–187. – DOI: 10.7868/S032105961602005X.

26. Мамаев, О. И. Термохалинный анализ вод Мирового океана / О. И. Мамаев. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1987. – 296 с.

27. Мамаев, О. И. Т, S-анализ вод Черного моря / О. И. Мамаев, В. С. Архипкин, В. С. Тужилкин // Океанология. – 1994. – Т. 34. – Вып. 2. – С. 178–192.

28. Морошкин, К. В. Водные массы Охотского моря / К. В. Морошкин. – М. : Наука, 1966. – 55 с.

29. Научно-прикладной справочник по климату СССР. – Сер. 3. – Ч. 1–6. – Вып. 34: Сахалинская область. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1990. – 350 с.

30. О введении Шкалы практической солености, 1978, и нового Международного уравнения состояния морской воды // Океанология, 1982. – Т. 22. – Вып. 2. – С. 337–343.

31. Пищальник, В. М. Каталог глубоководных наблюдений, выполненных в шельфовой зоне острова Сахалин за период 1948–1987 гг. / В. М. Пищальник, С. М. Климов. – Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО АН СССР, 1991. – 168 с.

32. Пищальник, В. М. Методологические принципы построения компьютеризированного гидролого-гидрохимического атласа сахалинского шельфа / В. М. Пищальник, А. О. Бобков // Ежегодник качества морских вод по гидрохимическим показателям. – Обнинск : ВНИИГМИ-МЦД, 1992. – С. 312–334.

33. Пищальник, В. М. Опыт создания компьютеризированного атласа сахалинского шельфа / В. М. Пищальник // Комплексные исследования экосистемы Охотского моря. – М. : изд-во ВНИРО, 1997. – С. 67–78.

34. Пищальник, В. М. Сезонная изменчивость термохалинной структуры вод пролива Лаперуза / В. М. Пищальник, В. С. Архипкин // Вестник МГУ, 2000 – Сер. «География». – № 5. – С. 43–47.

35. Пищальник, В. М. Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин / В. М. Пищальник, А. О. Бобков. – Ч. I. – Южно-Сахалинск : изд-во СахГУ, 2000 а. – 174 с.

36. Пищальник, В. М. Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин / В. М. Пищальник, А. О. Бобков. – Ч. II. – Южно-Сахалинск : изд-во СахГУ, 2000 б. – 108 с.

37. Пищальник, В. М. Изучение условий функционирования экосистемы залив Анива – пролив Лаперуза / В. М. Пищальник, А. В. Леонов // Водные ресурсы. – 2003. – Т. 30. – № 5. – С. 616–636.

38. Пищальник, В. М. Сезонные вариации циркуляции вод в прибрежных районах острова Сахалин / В. М. Пищальник, В. С. Архипкин, Г. И. Юрасов, С. С. Ермоленко // Метеорология и гидрология. – 2003. – С. 87–95.

39. Пищальник, В. М. Природно-техногенные комплексы шельфовых зон и основы их моделирования / В. М. Пищальник, В. А. Мелкий // Объединенный научный журнал. – 2004. – № 31 (123). – С. 61–68.

40. Пищальник, В. М. Прогноз геоэкологической обстановки в шель-

фовых зонах на основе моделирования океанографических процессов : дис. ... д-ра техн. наук / В. М. Пищальник. – Владивосток : ДВГТУ, 2004. – 268 с.

41. Пищальник, В. М. Термохалинный анализ вод пролива Лаперуза / В. М. Пищальник, В. С. Архипкин, А. В. Леонов // Водные ресурсы. – 2005. – Т. 32. – № 1. – С. 18–27.

42. Пищальник, В. М. Моделирование природных процессов на основе ГИС «Сахалинский шельф» / В. М. Пищальник, А. О. Бобков. – Южно-Сахалинск : изд-во СахГУ, 2008. – 104 с.

43. Пищальник, В. М. Восстановление среднемесячных термохалинных полей в Татарском проливе / В. М. Пищальник, В. С. Архипкин, А. В. Леонов // Водные ресурсы. – 2009. – Т. 36. – № 6. – С. 655–667.

44. Пищальник, В. М. О циркуляции вод в Татарском проливе / В. М. Пищальник, В. С. Архипкин, А. В. Леонов // Водные ресурсы. – 2010. – Т. 37. – № 6. – С. 657–670. – DOI: 10.1134/S0097807810060035.

45. Пищальник, В. М. Математическое моделирование условий функционирования экосистемы Татарского пролива / В. М. Пищальник, А. В. Леонов, В. С. Архипкин, В. А. Мелкий. – Южно-Сахалинск : СахГУ, 2011. – 104 с.

46. Пищальник, В. М. Восстановление годового хода термохалинных характеристик и циркуляции вод на северо-восточном шельфе Сахалина / В. М. Пищальник, В. С. Архипкин, А. В. Леонов // Водные ресурсы. – 2014. – Т. 41. – № 4. – С. 362–374. – DOI: 10.7868/S0321059614040129.

47. Пищальник, В. М. Моделирование среднемесячных термохалинных характеристик и циркуляции вод на юго-восточном шельфе Сахалина / В. М. Пищальник, В. С. Архипкин, А. В. Леонов // Изв. ТИНРО. – 2017. – Т. 191. – С. 160–175.

48. Плотников, В. В. Ледовые условия / В. В. Плотников, Л. П. Якунин, А. Г. Петров // Проект «Моря. Гидрометеорология и гидрохимия морей». – Т. VIII: «Японское море». – Вып. 1: «Гидрометеорологические условия». – СПб. : Гидрометеиздат, 2003. – С. 347–394.

49. Поезжалова, О. С. Вариации среднего уровня Охотского моря / О. С. Поезжалова, Г. В. Шевченко // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. – Т. VIII: Цунами и сопутствующие явления. – Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 1997. – С. 131–144.

50. Попов, В. А. Роль арктических заприпайных полыней в генезисе новых льдов в морях сибирского шельфа и распреснении поверхностных вод Северного ледовитого океана / В. А. Попов, И. Л. Карелин // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2009. – № 3 (83). – С. 74–87.

51. Романюк, В. А. Анализ межгодовой и сезонной изменчивости ледовитости в заливе Анива и проливе Лаперуза по данным дистанционного зондирования Земли / В. А. Романюк, И. В. Еременко, В. М. Пищальник // ИнтерКарто/ИнтерГИС 23. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий в условиях глобальных изменений климата: Материалы Междунар. конф. – М. : изд-во Моск. ун-та, 2017. – Т. 3. – С. 81–92. – DOI: 10.24057/2414-9179-2017-3-23-81-92.

52. Сапожников, В. В. Формирование основного солевого состава морской воды и ее физико-химические свойства / В. В. Сапожников // Тихий океан. – М. : Мысль, 1982. – С. 172–240.

53. Сапожников, В. В. Рекомендации по гидрохимическим методам оценки первичной продукции в океане / В. В. Сапожников. – М. : изд-во ВНИРО, 1984. – 31 с.

54. Свидетельство об официальной регистрации базы данных № 930002.

База данных по гидрологии, гидрохимии и химическому загрязнению вод Сахалинского шельфа. Авторы: Пищальник В. М. Дата регистрации в Реестре баз данных 26 октября 1993 г.

55. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015660472. Программный комплекс для расчета площади ледяного покрова в Охотском и Японском морях по данным ДЗЗ (ПК «ЛЕД»). Авторы: Пищальник В. М., Бобков А. О., Романюк В. А. Дата гос. регистрации в Росреестре программ для ЭВМ 01 октября 2019 г.

56. Стратификация гидрофизических полей северной части Тихого океана // Тр. ВНИИГМИ-МЦД, 1980. – Вып. 69. – 145 с.

57. Супранович, Т. И. Непериодические течения и водообмен в проливе Лаперуза / Т. И. Супранович, Г. И. Юрасов, Г. А. Кантаков // Метеорология и гидрология, 2001. – № 3. – С. 80–84.

58. Тамбовский, В. С. Атлас льдов Охотского и Японского морей / В. С. Тамбовский, В. М. Пищальник. – Южно-Сахалинск, 1993. – 195 с.

59. Якунин, Л. П. Атлас границ распространения и крупных форм льда дальневосточных морей России / Л. П. Якунин. – Владивосток : ТОИ ДВО РАН, 1995. – 57 с.

60. Aota, M. Study of the variation of oceanographic Condition Nord-East of Hokkaido in the sea of Okhotsk / M. Aota // Low Temperature Seine, 1970. – № 28. – P. 261–279.

61. Aota, M. Наблюдение океанографических условий вблизи побережья острова Хоккайдо в Охотском море зимой / М. Aota, Т. Kawamura // Геофизика. 07. Океанология: РЖ. – 1979. – 10B289. – Реф. ст.: Aota M., Kawamura T. Observation of oceanographic condition in the Okhotsk Sea coast of Hokkaido in Winter // Low Temperat. Sci. Phys. Sci., 1978. – № 36. – P. 93–105.

62. Aota, M. Наблюдение океанографических условий у охотоморского побережья острова Хоккайдо зимой / М. Aota, Т. Kawamura // Геофизика. 07. Океанология: РЖ. – 1980. – 9B248. – Реф. ст.: Aota M., Kawamura T. // Low Temperat. Sci. Phys. Sci., 1979. – № 38. – P. 135–142.

63. Aota, M. Soya Projekt / M. Aota, T. Takizawa // Marine Science Monthly (Japan), 1994. – Vol. 26. – № 12. – P. 819–823.

64. Hydrochemical Atlas of the Sea of Okhotsk 2001 / Edited by V. Sapoznikov, S. Levitus / NOAA Atlas NESDIS 41. – Moscow. – Silver Spring, March 2001. – 155 p.

65. Itoh, M. Seasonal Variations of Water Masses and Sea Level in the Southwestern Part of the Okhots Sea / M. Itoh, K. I. Ohshima // Journal of Oceanography, Terrapub, Japan, 2000. – Vol. 56. – P. 634–654.

66. Kantakov, G. A. Upwelling in La Perouse Strait: Oceanographical and hydrobiological properties / G. A. Kantakov, A. D. Samatov // Workshop on the Okhotsk Sea and Arctic, Tokio, Japan, 1996. – P. 63–75.

67. Matsuyama, M. On the Soya Warm Current. Part 2. Observations of current, temperature and salinity fields in the Soya Warm Current in August 1998 / M. Matsuyama, M. Aota, K. Ogawa, T. Abe, M. Wakada, Y. Koike, A. Katayama, T. Miyazaki, F. Suzuki // The 16 international symposium on Okhotsk Sea & Sea ice 4–8 February, 2000. Abstract. Okhotsk Sea & cold ocean research association. – Mombetsu, Hokkaido, Japan. – P. 186–191.

68. Ohshima, K. I. Numerical study of barotropic instability associated with the Soya warm current in the Sea of Okhotsk / K. I. Ohshima, M. A. Wakatsuchi // J. Phys. Oceanog, 1990.

### ГЛАВА 3.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОЙ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОРГАНОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (CNPSI-МОДЕЛЬ)



Применение модельного подхода к изучению природной среды позволяет на основе имеющихся абиотических данных адекватно отображать состояние и развитие биотических процессов, а также антропогенного загрязнения окружающей среды органическими соединениями. С этой целью была разработана цифровая гидроэкологическая CNPSi-модель, с помощью которой можно осуществить имитацию процессов биотрансформации органических и минеральных соединений органогенных элементов (C, N, P, Si), режима  $O_2$  как в двуслойной водной среде, так и в поверхностном слое донных отложений.

Цифровую CNPSi-модель можно использовать в качестве инструмента исследований для решения разнообразных задач водно-экологических проблем: загрязнение водных экосистем, условия окислительной трансформации веществ в водных экосистемах, самоочищение водоемов, режимы изменчивости концентраций органогенных веществ и реакций водных экосистем на возрастание биогенной нагрузки и др.

Мировой опыт показывает, что освоение морских нефтегазовых месторождений в настоящее время еще не может осуществляться без техногенного отрицательного воздействия на морскую среду. Наиболее тяжелые последствия, как правило, наблюдаются в результате аварий при транспорте добытой нефти. Поэтому наблюдения и оценка антропогенного воздействия на гидробионты, обитающие в морской среде, с целью сохранения возобновляемых биоресурсов шельфа Сахалина являются актуальной задачей. Загрязнение морской среды нарушает естественное развитие экологических процессов трансформации органических веществ, формирования биомассы фито- и зоопланктона – основы кормовой базы морского сообщества. В итоге снижается биопотенциал морской среды и происходит ее деградация, которая часто необратима [Фащук и др., 2003].

В настоящее время северо-восточный шельф о. Сахалин является главным нефтегазоносным районом Дальнего Востока России. Первая поисковая скважина была пробурена в 1977 г. на северном своде структуры Одопту-море. Промышленная добыча нефти с нефтедобывающей платформы «Моликпак» (в рамках проекта «Сахалин-2») началась в 1999 г., а с берега (наклонное бурение) – на два года раньше.

На всей акватории дальневосточных морей фоновое содержание нефтяных углеводородов (NF) составляет 15–20 мкг/л [Немировская, 1996, 1997; Tkalin, 1993]. По оценкам экспертов содержание экстрагируемых NF в открытых водах шельфа Сахалина может меняться в пределах 1–10 мкг/л, в прибрежных водах – 10–100 мкг/л, в заливах и устьях рек – 100–1000 мкг/л, в районах локального загрязнения – >1000 мкг/л [Патин, 2001].

Анализ литературы позволил сделать вывод, что наиболее долгосрочными процессами, влияющими на распределение и скорость трансформации NF, являются перенос NF водными массами и бактериальное разложение их растворенных компонентов. Поэтому в дальнейшем при моделировании условий трансформации NF в морской среде мы будем уделять особое внимание именно этим процессам, которые в итоге являются важнейшими в утилизации загрязнения вод NF.

Полученный опыт практического применения CNPSi-модели показывает, что эта модель способна воспроизводить условия биотрансформации веществ как в пресноводных, например, в Рыбинском водохранилище [Леонов и др., 1996], в реке Велеса [Назаров, Леонов, 1999], так и в морских экосистемах: в Охотском [Леонов, Сапожников, 1997; Пищальник, Леонов, 2003; Леонов, Пищальник, 2005 а, б; Leonov et al., 2010; 2018 а; Леонов и др., 2016], в Японском [Леонов и др., 2010 а, б], в Каспийском [Леонов, Стыгар, 2001] и в Белом [Леонов и др., 2004, 2005, 2006; 2017; 2018; Leonov et al., 2018 б] морях. Одно из направлений применения данной модели – изучение условий биотрансформации и переноса нефти и нефтепродуктов в разных морских экосистемах [Леонов и др., 2010; 2011; 2016; 2017; Леонов, Чичерина, 2013].

### 3.1. Особенности CNPSi-модели

При создании цифровой модели биотрансформации вещества в водной среде были формализованы процессы круговорота веществ в водных экосистемах на основе физико-химических законов. Модель воспроизводит переходные процессы формирования биомассы, изменения концентраций органических и биогенных веществ (ОВ и БВ): утилизацию микроорганизмами отдельных субстратов, образование живой биомассы, выделение продуктов обмена веществ и формирование детрита. Она имитирует реакцию экосистемы на внешние воздействия, которые учитывают информацию об изменении факторов состояния водной среды (водный режим, температура, освещенность и прозрачность водной среды, биогенная нагрузка) для выделенных участков исследуемой акватории, в целом не более десяти. В цифровой модели определяются мгновенные скорости переходных процессов, описывающих изменения значений концентраций веществ с учетом гидрологических и гидрохимических параметров. Результаты моделирования позволяют выявить особенности внутригодовой динамики биомасс и концентраций химических веществ. Это позволяет охарактеризовать условия развития процессов биотрансформации ОВ и БВ в экосистеме в изучаемых акваториях по достаточно полному набору расчетных характеристик: скорости отдельных процессов, внутренние и внешние потоки веществ, их баланс, биогенная нагрузка.

Цифровая математическая CNPSi-модель воспроизводит динамику концентраций растворенного органического углерода (DOC), режим растворенных в воде газов – кислорода ( $O_2$ ) и свободного азота ( $N_2$ ), а также взаимосвязанные биогидрохимические циклы соединений P, N и Si в водной среде: детритных фракций P (PD), N (ND) и Si (SiD); растворенных неорганических компонентов P (DIP), Si ( $SiO_4$ ) и N – аммонийного ( $NH_4$ ), нитритного ( $NO_2$ ), нитратного N ( $NO_3$ ) и мочевины (UR); растворенных органических форм P (DOP), N (DON) и Si (DOSi). Она описывает трансформацию соединений биогенных элементов в водной среде и в донных отложениях, включает взве-

шенные соединения P, N и Si (соответственно PDs, NDs и SiDs), растворенный органический C (DOCs), минеральные компоненты N ( $\text{NH}_4\text{s}$  и  $\text{NO}_3\text{s}$ ), P (DIPs) и Si ( $\text{SiO}_4\text{s}$ ), а также растворенные газы ( $\text{O}_2\text{sed}$  и  $\text{N}_2\text{s}$ ). Единицы измерения указанных компонентов – мг Элемента/л [Леонов, 2012].

Помимо перечисленных выше растворенных и минеральных соединений и газов, цифровая CNPSi-модель описывает функционирование и развитие сообщества водных организмов (бактерии-, фито-, зоопланктон, макрофиты), которые осуществляют биотрансформацию соединений биогенных элементов в водной среде: гетеротрофные бактерии ( $B_1$ ) потребляют органические соединения и в процессе метаболизма образуют пул минеральных веществ; фитопланктон ( $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$ ), а также макрофиты (МК) утилизируют минеральные вещества и формируют запас органических веществ в водной среде; зоопланктонные организмы – растительноядный зоопланктон ( $Z_1$ ) и хищный зоопланктон ( $Z_2$ ) – регулируют динамику организмов сообщества и своей активностью влияют на развитие продукционно-деструкционных процессов.

В модели учтена возможность трансформации загрязняющих веществ, в частности NF, трансформация которых осуществляется нефтеокисляющими бактериями ( $B_4$ ). В данной работе биомасса бактерий  $B_1$  и всех групп фитопланктона ( $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ), зоопланктона ( $Z_1$ ,  $Z_2$ ) и макрофитов (МК) вычисляется в единицах N и обозначена соответственно  $B_1\text{N}$ ,  $F_1\text{N}$ ,  $F_2\text{N}$ ,  $F_3\text{N}$ ,  $Z_1\text{N}$ ,  $Z_2\text{N}$ ,  $\text{MKN}$ , а биомасса бактерий  $B_4$  вычисляется в единицах NF.

### 3.2. Общая характеристика программы CNPSi-модели

Программа модели построена на основе обобщения отдельных модельных разработок, с помощью которых изучались процессы, связанные с биотрансформацией и переносом веществ в водных экосистемах. Математически CNPSi-модель записана в форме обыкновенных дифференциальных уравнений (подготовил В. М. Николаев, ИНБЮМ, г. Севастополь). На основе учитываемых взаимодействий между химическими и биологическими переменными, а также физическими параметрами состояния водной среды модель рассчитывает мгновенные скорости протекания процессов, влияющих на изменение концентраций химических веществ и биомасс организмов. Эти значения мгновенных скоростей влияют на итоговые концентрации компонентов в каждый момент времени в течение года с учетом изменения основных факторов среды (водный режим, температура, освещенность, прозрачность воды, фотопериод, биогенная нагрузка, загрязнение вод).

В целом цифровая CNPSi-модель содержит пакет отдельных подпрограмм для расчета концентрации веществ, скоростей их изменения, времени оборота биогенных субстанций и биомасс, внутренних и внешних потоков веществ, их балансов для  $\text{O}_2$ , органических и минеральных компонентов N, P, C и Si, а также биомасс микроорганизмов (гетеротрофных бактерий, трех групп фитопланктона, двух групп зоопланктона, макрофитов).

Программный комплекс, реализующий данную модель, состоит из двух взаимосвязанных блоков. Первый блок представляет собой непосредственно модель, которая по соответствующим алгоритмам описывает функционирование водной экосистемы. На входе задаются изменения основных параметров состояния водной среды в течение года. На выходе получаем значения расчетных концентраций химических и биологических перемен-

ных, времена их оборота, удельную продукцию микроорганизмов, внутренние и внешние потоки веществ, суммарные значения балансов соединений биогенных элементов.

Второй блок комплекса позволяет отображать полученную расчетную информацию в виде графиков, таблиц, диаграмм на экране монитора или бумажном носителе.

Уравнения модели включают две основных программы – BALPHOS (для ввода данных) и BAL (для вычисления параметров), а также набор подпрограмм и функций для выполнения всех промежуточных операций и вычисления вспомогательных характеристик.

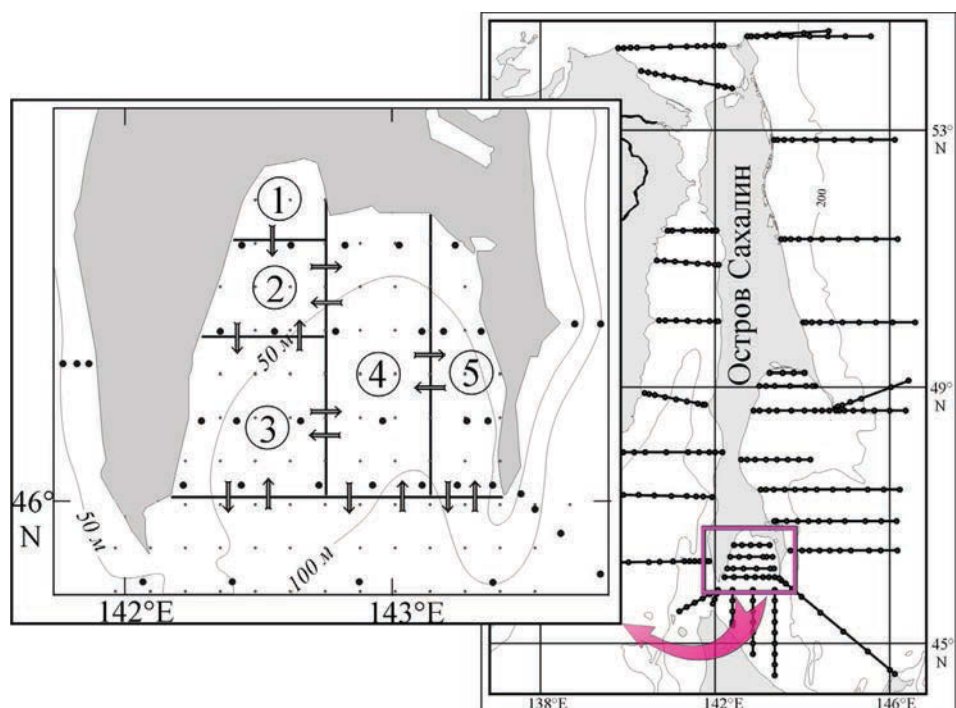
### **3.3. Моделирование годового хода изменений концентраций соединений N и нефтяных углеводородов в заливе Анива с применением цифровой CNPSi-модели**

Для объективной оценки процессов, влияющих на трансформацию форм N и NF, необходимо выделить полигон в акватории Охотского моря, который наиболее подвержен вероятному загрязнению NF и достаточно хорошо изучен с точки зрения биогидрохимии и гидрологии. Наиболее удобным полигоном, на наш взгляд, для моделирования и натурных наблюдений долгосрочных процессов, протекающих в водной среде, служит залив Анива. При этом на берегу залива расположены завод по сжижению природного газа и причалы для крупнотоннажных судов, что при моделировании позволяет просчитать максимально возможные нагрузки при поступлении NF в морскую среду.

#### **3.3.1. Районирование акватории залива Анива**

Численные эксперименты по исследованию процессов трансформации и переноса БВ в проливе Лаперуза [Пищальник, Леонов, 2003] показали, что представление о заливе Анива как районе единого антициклонического круговорота с опусканием вод в его центре, не отражает того многообразия океанографических условий, которые фиксируются в разных его частях. На существенную пространственную неоднородность состояния водной среды залива указывают данные наблюдений гидролого-гидрохимических съемок, выполненных в 2001–2002 гг., а также полученных результатов анализа сезонной изменчивости пространственно-временного распределения планктонных организмов [Брагина, 2002]. Поэтому для адекватности воспроизведения биохимических процессов, развивающихся в водах залива, выполнено его дополнительное районирование по характерным особенностям годового хода гидрологических и гидрохимических параметров [Леонов, Пищальник, 2005 а, б]. По результатам анализа выделено пять классов станций, между которыми провели условные границы (рис. 3.1). Морфометрические характеристики выделенных участков приведены в таблице 3.1. Обсудим характерные их особенности.

*Участок 1* (бухта Лососей) – самый мелководный, на который приходится > 50 % речного стока всего залива. Это самая распресненная часть залива Анива, и здесь по всем показателям наблюдаются наиболее резкие отличия от других участков. Интенсивное конвективное и ветровое перемешивание водных масс очень быстро приводит к выравниванию по горизонтали и вер-



**Рис. 3.1.** Схема стандартных гидрологических разрезов на шельфе Сахалина (справа) и границы выделенных районов в заливе Анива (слева)

тикали гидрологических и гидрохимических параметров. Только в апреле, в период начала интенсивного прогрева вод, в этом районе можно выделить два самостоятельных слоя – верхний (прогретый) и нижний (охлажденный).

Таблица 3.1

**Морфометрические характеристики выделенных участков  
в заливе Анива**

| № участка                        | 1    | 2    | 3    | 4     | 5    |
|----------------------------------|------|------|------|-------|------|
| Средняя глубина, м               | 16.4 | 25.7 | 50.6 | 65.1  | 48.7 |
| Площадь зеркала, км <sup>2</sup> | 429  | 600  | 1600 | 2010  | 1170 |
| Объем вод, км <sup>3</sup>       | 7.6  | 19.7 | 84.7 | 135.4 | 58.8 |

*Участок 2* расположен к югу от бухты Лососей, сюда направлен постоянный приток воды из бухты. Характеризуется четко выраженным водообменом с соседними участками 3 и 4. В весенний период (апрель–июнь) в процессе прогрева воды на участке 2 отчетливо прослеживается термоклин и выделяются два слоя с разной температурой воды. По окончании весеннего прогрева весь столб воды в результате перемешивания становится однородным по вертикали.

*Участок 3* (юго-западная часть залива) имеет свободный водообмен с открытой частью пролива Лаперуза. Характеризуется поступлением вод преимущественно из пролива, которые непосредственно влияют на гидролого-гидрохимический режим данной акватории.

*Участок 4* – центральная и наиболее глубоководная часть залива Анива. Отличительная особенность его режима – характерное опускание вод в центре антициклонического круговорота и максимальное заглубление термоклина (до горизонта 60–70 м).

*Участок 5* расположен вдоль западного побережья Тонино-Анивского полуострова. Характеризуется наличием постоянного апвеллинга вод в безледный период, что отчетливо выражается в абсолютных значениях температуры воды. Также важно, что из этого региона преимущественно идет отток воды в пролив Лаперуза (см. рис. 3.1).

### **3.3.2. Характеристика входных данных для модельных расчетов**

Среднемноголетние значения гидрологических и гидрохимических параметров морской среды залива Анива были рассчитаны с помощью ГИС «Сахалинский шельф» [Пищальник, Бобков, 2000, 2008] и дополнены данными из литературных источников [Научно-прикладной..., 1990]. Основные параметры состояния водной среды, необходимые для реализации модели, представлены в таблице 3.2. Из нее следует, что в результате осенне-зимней конвекции в январе-марте воды хорошо перемешаны практически до дна на всей акватории залива. На участке 1 формирование термоклина происходит на глубине 10 м только в апреле, а на участке 2 с апреля по июнь сохраняется термоклин на 20 м. На третьем участке в апреле – на 20 м, в июле – на 40 м. На участках 4 и 5 глубина залегания образовавшегося в апреле термоклина – на 20 м, а к декабрю он заглубляется на 50 и 40 м соответственно.

Среднемноголетние значения температуры воды в поверхностном слое на участке 1 сохраняют отрицательные значения с января ( $-1.1^{\circ}\text{C}$ ) по апрель ( $-0.1^{\circ}\text{C}$ ), а на участках 2–5 – с января по март ( $-0.8$  ÷  $-1.5^{\circ}\text{C}$ ). Прогрев вод в бухте Лососей начинается с мая, а на участках 2–5 – с апреля. Наибольшая температура поверхностного слоя здесь отмечена в октябре ( $12.5^{\circ}\text{C}$ ), на участках 2–5 – в августе ( $12.4$ ,  $13.0$ ,  $12.8$  и  $11.6^{\circ}\text{C}$  соответственно). Среднемноголетние температуры поверхностного слоя в декабре на участках 1–5 остаются еще положительными ( $1.0$  ÷  $1.3^{\circ}\text{C}$ ).

Температура воды подповерхностного слоя на всей акватории залива Анива в апреле отрицательна ( $-0.4$  ÷  $-0.8^{\circ}\text{C}$ ). Повышение температуры подповерхностных вод в летний период происходит медленно. Наибольшие значения температуры воды на участках 4 и 5 достигаются к ноябрю ( $4.4$  ÷  $4.3^{\circ}\text{C}$ ), а к декабрю отмечено охлаждение вод до  $1.9$  ÷  $1.5^{\circ}\text{C}$ .

Среднемноголетние значения освещенности поверхности моря и фотопериода (или продолжительности светового дня) приняты одинаковыми для всех участков [Научно-прикладной..., 1990]. Наибольшие значения указанных показателей отмечены в мае-июле, а наименьшие – в январе и декабре (табл. 3.2).

Оцененные для участков 1–5 значения прозрачности водной среды меняются от 1 до 10 м. Максимальная прозрачность воды наблюдается во всех регионах в феврале-марте, минимальная – в сентябре-декабре (см. табл. 3.2).

Величины объемов переноса водных масс для двуслойной системы залива Анива первоначально были оценены динамическим методом расчета циркуляции вод на мелководье в квазигеострофическом приближении по среднемноголетним ежемесячным значениям плотности воды несмотря на его известные недостатки. Как и предполагалось, полученные суммарные значения переноса воды, вычисленные этим методом, оказались явно завышенными.

В связи с тем, что залив Анива является полузамкнутой акваторией, можно ввести коррекцию значений расходов воды по среднемноголетнему изменению уровня моря. Согласно [Поезжалова, Шевченко, 1997], максимальный среднемноголетний уровень моря на станциях наблюдений в г. Корсакове и м. Крильон отмечается в январе, а минимальный – в августе (размах колебаний соответственно 18 и 20 см). С учетом общей площади зеркала залива 5800 км<sup>2</sup> получим, что при изменении уровня моря на 1 см изменение объема воды в нем составит 0.052 км<sup>3</sup>. При таком порядке величин большое влияние на значения расходов воды будут оказывать значения речного стока, атмосферных осадков, испарения и изменения объемов воды в заливе за счет ее термического прогрева, что в сумме сопоставимо с полученными ранее значениями расходов воды в общем объеме [Пищальник, 1990].

Таблица 3.2

**Среднемноголетние значения параметров морской среды по месяцам для участков 1–5 залива Анива (температура: в числителе – значения для верхнего слоя, в знаменателе – для нижнего)<sup>1</sup>**

| Уча-<br>сток                             | I                | II               | III              | IV                 | V                  | VI                | VII                | VIII               | IX                  | X                 | XI                | XII               |
|------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Глубина термоклина, м                    |                  |                  |                  |                    |                    |                   |                    |                    |                     |                   |                   |                   |
| 1                                        | 0                | 0                | 0                | 10                 | 0                  | 0                 | 0                  | 0                  | 0                   | 0                 | 0                 | 0                 |
| 2                                        | 0                | 0                | 0                | 20                 | 20                 | 20                | 0                  | 0                  | 0                   | 0                 | 0                 | 0                 |
| 3                                        | 0                | 0                | 0                | 20                 | 30                 | 30                | 40                 | 0                  | 0                   | 0                 | 0                 | 0                 |
| 4                                        | 0                | 0                | 0                | 20                 | 30                 | 30                | 40                 | 40                 | 50                  | 50                | 50                | 50                |
| 5                                        | 0                | 0                | 0                | 20                 | 30                 | 30                | 40                 | 40                 | 40                  | 40                | 40                | 40                |
| Температура, °C                          |                  |                  |                  |                    |                    |                   |                    |                    |                     |                   |                   |                   |
| 1                                        | <u>-1.1</u><br>– | <u>-1.3</u><br>– | <u>-0.8</u><br>– | <u>1.3</u><br>–0.8 | <u>4.3</u><br>–    | <u>6.7</u><br>–   | <u>11.1</u><br>–   | <u>12.1</u><br>–   | <u>12.2</u><br>–    | <u>12.5</u><br>–  | <u>6.3</u><br>–   | <u>1.0</u><br>–   |
| 2                                        | <u>-1.0</u><br>– | <u>-1.4</u><br>– | <u>-1.4</u><br>– | <u>0.9</u><br>–0.4 | <u>3.5</u><br>–0.1 | <u>7.0</u><br>1.3 | <u>9.8</u><br>–    | <u>12.4</u><br>–   | <u>9.8</u><br>–     | <u>6.5</u><br>–   | <u>4.9</u><br>–   | <u>1.1</u><br>–   |
| 3                                        | <u>-0.7</u><br>– | <u>-1.3</u><br>– | <u>-1.4</u><br>– | <u>0.5</u><br>–0.4 | <u>3.4</u><br>0.4  | <u>6.9</u><br>1.5 | <u>10.3</u><br>1.2 | <u>13.0</u><br>–   | <u>11.0</u><br>–    | <u>8.6</u><br>–   | <u>4.8</u><br>–   | <u>1.2</u><br>–   |
| 4                                        | <u>-0.7</u><br>– | <u>-1.4</u><br>– | <u>-1.4</u><br>– | <u>0.6</u><br>–0.7 | <u>3.3</u><br>0.2  | <u>6.8</u><br>1.3 | <u>9.5</u><br>1.1  | <u>12.8</u><br>1.7 | <u>11.2</u><br>1.33 | <u>8.6</u><br>3.0 | <u>4.7</u><br>4.4 | <u>1.3</u><br>1.9 |
| 5                                        | <u>-0.8</u><br>– | <u>-1.4</u><br>– | <u>-1.5</u><br>– | <u>0.4</u><br>–0.8 | <u>3.1</u><br>0.1  | <u>6.5</u><br>1.0 | <u>9.2</u><br>0.7  | <u>11.6</u><br>1.1 | <u>10.6</u><br>1.1  | <u>8.4</u><br>3.5 | <u>4.5</u><br>4.3 | <u>1.0</u><br>1.5 |
| Освещенность, кал/(см <sup>2</sup> сут.) |                  |                  |                  |                    |                    |                   |                    |                    |                     |                   |                   |                   |
| 1–5                                      | 112.9            | 142.8            | 209.7            | 266.7              | 274.2              | 300.0             | 274.2              | 258.1              | 250.0               | 161.0             | 150.0             | 112.9             |

<sup>1</sup> Глубина залегания термоклина и температура воды рассчитаны с помощью ГИС «Сахалинский шельф». Данные по освещенности и фотопериоду приведены по [Научно-прикладной..., 1990] без деления по слоям.

Продолжение таблицы 3.2

| Уча-<br>сток    | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Фотопериод      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1–5             | 0.34 | 0.41 | 0.49 | 0.59 | 0.64 | 0.69 | 0.67 | 0.60 | 0.52 | 0.44 | 0.36 | 0.34 |
| Прозрачность, м |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1               | 5    | 2    | 2    | 5    | 5    | 5    | 5    | 6    | 8    | 8    | 9    | 10   |
| 2               | 5    | 1    | 1    | 5    | 5.8  | 5.5  | 6.5  | 8    | 8    | 8    | 9    | 10   |
| 3               | 5    | 1    | 1    | 5    | 6    | 6    | 7.3  | 8.5  | 8.6  | 8.8  | 8    | 10   |
| 4               | 5    | 1    | 1    | 5    | 6    | 7    | 7.5  | 8    | 7.8  | 7.5  | 7    | 10   |
| 5               | 5    | 2    | 1.5  | 6    | 6.3  | 6.5  | 7.2  | 8    | 7.7  | 7.4  | 7    | 10   |

Значения величин атмосферных осадков и испарения в течение года были пропорционально учтены по всем участкам с учетом их площадей (см. табл. 3.1). Речной сток был учтен по вычисленному модулю стока. Приращение объемов вод рассчитывалось по средневзвешенной температуре до границы слоя скачка плотности воды (оценивается суммарно по гало- и термоклин) для каждого месяца. Таким образом, итоговые величины расходов воды подсчитывались алгебраическим сложением составляющих, характеризующих перечисленные выше процессы. Полученная кривая годового расхода воды, вычисленная по приращению уровня моря, качественно повторяла картину внутригодового хода расходов воды. Это дало основание считать, что расходы воды через границы участков внутри залива следует вычислять пропорционально значениям, рассчитанным в квази-геострофическом приближении.

Полученные по данной методике величины суммарного переноса воды по слоям приведены в таблице 3.3. Они хорошо согласуются с уточненными представлениями об общей циркуляции вод в заливе Анива и подтверждают вывод о том, что общий характер антициклонической циркуляции вод в заливе нарушается только в зимние месяцы [Пицальник и др., 2003].

Анализ полученных расчетных значений расходов воды на границах выделенных участков 1–5 показывает, что интенсивный водообмен характерен на границах между участками 1 и 2, 2 и 4, 4 и 5. Меньшие значения водообмена наблюдаются на границе между участками 3 и 4. Повышенные значения переноса на всех границах отмечены в мае в период весеннего половодья. В зимний период, начиная с ноября, происходит слабовыраженный обратный водообмен на границах участков 4 и 3 и 5 и 4, а на границах участков 4 и 2 начинается с декабря.

Поступление вод в залив Анива из пролива Лаперуза в поверхностном слое отмечается на участках 3 и 4 в сентябре–ноябре, а на участке 5 – в ноябре. В остальные месяцы направления переноса вод меняются на противоположные, а в отдельные месяцы водообмен в поверхностном слое отсутствует.

В нижнем слое участков 3, 4 и 5 на границе с проливом Лаперуза водообмен отсутствует в январе–марте, а на границе участка 3 еще и с августа по декабрь. Поступление вод из пролива Лаперуза на участок 4 отмечено в сентябре–декабре, а на участок 5 – в ноябре.

Вынос вод в нижнем слое в пролив Лаперуза из участков 3 и 4 проис-

ходит в апреле–июле, а из участка 5 – с апреля по октябрь и в декабре (см. табл. 3.3).

Таблица 3.3

**Среднемноголетние ежемесячные значения расходов воды на границах участков 1–5 (числитель – значения для верхнего слоя, знаменатель – для нижнего), речной сток, обмен с внешними акваториями (пролив Лаперуза) и перенос по вертикали (км³)**

| Пере-нос из                                                                     | I                   | II                  | III                 | IV                   | V                    | VI                   | VII                  | VIII               | IX                  | X                    | XI                    | XII                   |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 ⇒ 2                                                                           | <u>0.033</u><br>–   | <u>0.008</u><br>–   | <u>0.091</u><br>–   | <u>0.62</u><br>0.068 | <u>1.533</u><br>–    | <u>0.49</u><br>–     | <u>0.519</u><br>–    | <u>0.57</u><br>–   | <u>0.082</u><br>–   | <u>0.447</u><br>–    | <u>0.275</u><br>–     | <u>0.009</u><br>–     |
| 2 ⇒ 3                                                                           | <u>0.022</u><br>–   | <u>0.03</u><br>–    | <u>0.128</u><br>–   | <u>0.1</u><br>0.3    | <u>0.3</u><br>0.1    | <u>0.27</u><br>0.03  | <u>0.1</u><br>–      | <u>0.1</u><br>–    | <u>0.936</u><br>–   | <u>0.0</u><br>–      | <u>0.27</u><br>–      | <u>0.0</u><br>–       |
| 2 ⇒ 4                                                                           | <u>0.03</u><br>–    | <u>0.01</u><br>–    | <u>0.026</u><br>–   | <u>0.45</u><br>0.023 | <u>1.553</u><br>0.0  | <u>0.331</u><br>0.0  | <u>0.561</u><br>–    | <u>0.62</u><br>–   | <u>0.10</u><br>–    | <u>0.554</u><br>–    | <u>0.0</u><br>–       | <u>0.0</u><br>–       |
| 3 ⇒ 2                                                                           | <u>0.0</u><br>–     | <u>0.0</u><br>–     | <u>0.0</u><br>–     | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>–    | <u>0.0</u><br>–     | <u>0.02</u><br>–     | <u>0.0</u><br>–       | <u>0.0</u><br>–       |
| 3 ⇒ 4                                                                           | <u>0.021</u><br>–   | <u>0.029</u><br>–   | <u>0.07</u><br>–    | <u>0.30</u><br>0.282 | <u>0.482</u><br>0.30 | <u>0.30</u><br>0.128 | <u>0.20</u><br>0.047 | <u>0.24</u><br>–   | <u>0.159</u><br>–   | <u>0.20</u><br>–     | <u>0.0</u><br>–       | <u>0.0</u><br>–       |
| 4 ⇒ 2                                                                           | <u>0.0</u><br>–     | <u>0.0</u><br>–     | <u>0.0</u><br>–     | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>0.0  | <u>0.0</u><br>0.0   | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>0.0     | <u>0.018</u><br>0.0   |
| 4 ⇒ 3                                                                           | <u>0.0</u><br>–     | <u>0.0</u><br>–     | <u>0.0</u><br>–     | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>0.0  | <u>0.0</u><br>0.0   | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.11</u><br>0.132  | <u>0.05</u><br>0.038  |
| 4 ⇒ 5                                                                           | <u>0.004</u><br>–   | <u>0.001</u><br>–   | <u>0.0</u><br>–     | <u>0.4</u><br>0.646  | <u>1.288</u><br>0.9  | <u>0.567</u><br>0.2  | <u>0.7</u><br>0.077  | <u>0.8</u><br>0.8  | <u>0.034</u><br>0.4 | <u>0.41</u><br>0.393 | <u>0.0</u><br>0.0     | <u>0.105</u><br>0.018 |
| 5 ⇒ 4                                                                           | <u>0.0</u><br>–     | <u>0.0</u><br>–     | <u>0.022</u><br>–   | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>0.0  | <u>0.0</u><br>0.0   | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.014</u><br>0.012 | <u>0.0</u><br>0.0     |
| Речной сток:                                                                    |                     |                     |                     |                      |                      |                      |                      |                    |                     |                      |                       |                       |
| 1                                                                               | 0.1                 | 0.1                 | 0.1                 | 1.0                  | 2.3                  | 0.5                  | 0.3                  | 0.4                | 0.2                 | 0.5                  | 0.4                   | 0.2                   |
| Обмен (поступление/вынос) с внешней акваторией пролива Лаперуза (верхний слой): |                     |                     |                     |                      |                      |                      |                      |                    |                     |                      |                       |                       |
| 3                                                                               | <u>0.0</u><br>0.044 | <u>0.0</u><br>0.093 | <u>0.0</u><br>0.2   | <u>0.0</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>0.016  | <u>0.0</u><br>0.02   | <u>0.0</u><br>0.033  | <u>0.0</u><br>0.0  | <u>0.1</u><br>0.0   | <u>0.2</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>0.53    | <u>0.0</u><br>0.0     |
| 4                                                                               | <u>0.0</u><br>0.094 | <u>0.0</u><br>0.158 | <u>0.0</u><br>0.28  | <u>0.0</u><br>0.022  | <u>0.0</u><br>0.166  | <u>0.0</u><br>0.033  | <u>0.0</u><br>0.02   | <u>0.0</u><br>0.0  | <u>0.08</u><br>0.0  | <u>0.14</u><br>0.0   | <u>0.3</u><br>0.0     | <u>0.26</u><br>0.0    |
| 5                                                                               | <u>0.0</u><br>0.035 | <u>0.0</u><br>0.067 | <u>0.0</u><br>0.084 | <u>0.0</u><br>1.0    | <u>0.0</u><br>1.422  | <u>0.0</u><br>0.6    | <u>0.0</u><br>0.8    | <u>0.0</u><br>0.95 | <u>0.0</u><br>0.7   | <u>0.0</u><br>0.3    | <u>0.03</u><br>0.0    | <u>0.0</u><br>0.054   |
| Обмен (поступление/вынос) с внешней акваторией пролива Лаперуза (нижний слой):  |                     |                     |                     |                      |                      |                      |                      |                    |                     |                      |                       |                       |
| 3                                                                               | =<br>–              | =<br>–              | =<br>–              | <u>0.0</u><br>0.008  | <u>0.0</u><br>0.014  | <u>0.0</u><br>0.011  | <u>0.0</u><br>0.002  | =<br>–             | =<br>–              | =<br>–               | =<br>–                | =<br>–                |
| 4                                                                               | =<br>–              | =<br>–              | =<br>–              | <u>0.0</u><br>0.03   | <u>0.0</u><br>0.034  | <u>0.0</u><br>0.027  | <u>0.0</u><br>0.02   | <u>0.0</u><br>0.0  | <u>0.017</u><br>0.0 | <u>0.02</u><br>0.0   | <u>0.034</u><br>0.0   | <u>0.088</u><br>0.0   |

| Перенос из                       | I                 | II                | III               | IV                | V                 | VI                | VII               | VIII               | IX                | X                  | XI                  | XII                 |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| 5                                | $\frac{0.0}{0.2}$ | $\frac{0.0}{0.2}$ | $\frac{0.0}{0.2}$ | $\frac{0.0}{0.2}$ | $\frac{0.0}{1.1}$ | $\frac{0.0}{0.3}$ | $\frac{0.0}{0.1}$ | $\frac{0.0}{0.05}$ | $\frac{0.0}{0.1}$ | $\frac{0.0}{0.53}$ | $\frac{0.007}{0.0}$ | $\frac{0.0}{0.006}$ |
| Обмен по вертикали в акваториях: |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                    |                   |                    |                     |                     |
| 1                                | –                 | –                 | –                 | 0.2               | –                 | –                 | –                 | –                  | –                 | –                  | –                   | –                   |
| 2                                | –                 | –                 | –                 | 0.1               | 0.1               | 0.1               | –                 | –                  | –                 | –                  | –                   | –                   |
| 3                                | –                 | –                 | –                 | 0.1               | 0.1               | 0.1               | 0.1               | –                  | –                 | –                  | –                   | –                   |
| 4                                | –                 | –                 | –                 | 0.1               | 0.1               | 0.1               | 0.1               | 0.1                | 0.1               | 0.1                | 0.1                 | 0.1                 |
| 5                                | –                 | –                 | –                 | 0.1               | 0.1               | 0.1               | 0.1               | 0.1                | 0.1               | 0.1                | 0.1                 | 0.1                 |

Отметим, что в литературе нет достаточной информации о поступлениях, содержании и распределении NF по акватории залива Анива. Есть только фрагментарные оценки [Пищальник, 1986; Патин, 1997]. Поэтому загрязнение NF участков 1–5 в заливе Анива в модельных расчетах было принято на основе анализа типичных источников загрязнения, принимая во внимание литературные данные по поступлению нефти и нефтепродуктов в воды Мирового океана [Леонов, 2012]:

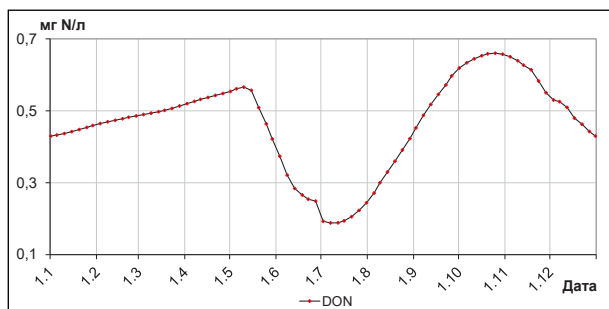
- *участок 1* (бухта Лососей) – основное загрязнение этой акватории соединениями биогенных элементов и NF происходит с речным стоком. Принятые в данной работе показатели стока рек учитывают многоводный режим [Леонов, Пищальник, 2005 б]. Содержание NF в речной воде, определяющее антропогенную нагрузку на морскую среду залива (для января–марта в пределах 1–2 ПДК, апреля–мая – 5–6 ПДК, июня–декабря – 4 ПДК), учитывает повышенное состояние загрязнения речных вод, исходя из имеющихся в литературе данных [Патин, 2001; Пищальник, 1986; Шапоренко, 1997];

- *участки 2, 3, 4, 5* – здесь предусмотрена возможность естественного выхода NF из донных отложений (скорости порядка 0.001–0.01 мг/(л×сут)) и поступление NF в водную среду за счет процессов переноса из открытой части пролива Лаперуза, а также из соседних акваторий;

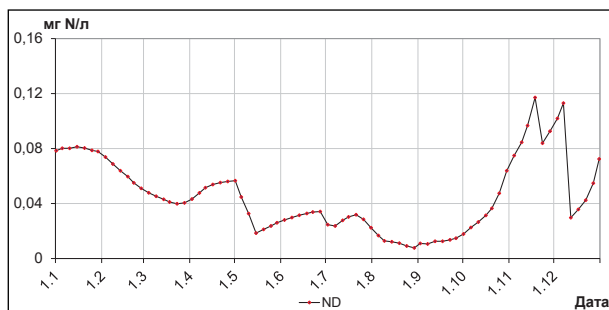
- *участок 4* – задано антропогенное загрязнение морской среды порядка 0.01 мг/(л×сут.) за счет потерь NF, которые неизбежны при операциях по переработке и транспортировке нефти в морских условиях, а также перенос из соседних акваторий.

### 3.3.3. Анализ изменения концентраций биогенных веществ

Вариации концентраций растворенных органических и минеральных форм N в течение года достаточно разнообразны. Основные тенденции изменения концентраций БВ в водах залива Анива в первые пять месяцев года связаны со снижением их взвешенных и повышением растворенных форм. Для второй половины года отмечается обратная тенденция в изменении концентраций взвешенных и растворенных форм биогенных элементов. При этом можно выделить периоды, когда изменения происходят разнонаправленно для отдельных БВ. Рассмотрим подробнее эти процессы по результатам анализа годовой динамики форм N для глубоководной части залива Анива.



**Рис. 3.2.** Вариации средних расчетных концентраций органических форм N (DON) в заливе Анива



**Рис. 3.3.** Вариации средних расчетных концентраций органических форм N (ND) в заливе Анива

Наибольший диапазон изменения концентраций характерен для DON: от 0.188 до 0.659 мг N/л. При этом скорость изменения концентраций DON меняется от  $1.02 \times 10^{-3}$  мг N/(л×сут) в начале года (концентрация увеличивается от 0.423 до 0.565 мг N/л в середине мая), затем со скоростью  $6.62 \times 10^{-3}$  мг N/(л×сут) она снижается до 0.188 мг N/л (середина июля) и далее возрастает со скоростью  $4.44 \times 10^{-3}$  мг N/(л×сут) до конца октября, формируя максимум (0.659 мг N/л) в годовом ходе. К концу года концентрация DON вновь снижается со скоростью  $2.54 \times 10^{-3}$  мг N/(л × сут) до 0.484 мг N/л (рис. 3.2).

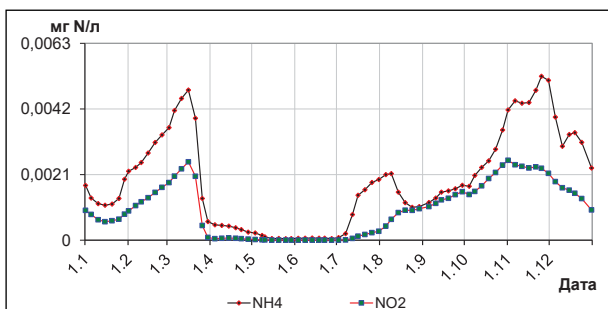
В динамике ND в течение года отмечаются следующие тенденции:

с января по сентябрь концентрация ND практически монотонно снижается (колебания в пределах от  $7.8 \times 10^{-2}$  до  $0.9 \times 10^{-2}$  мг N/л); в период с середины ноября – первой декады декабря фиксируются два небольших максимума с концентрациями ND 0.117 и 0.126 мг N/л соответственно, однако уже к началу второй декады декабря концентрация ND резко падает до  $2.3 \times 10^{-2}$  мг N/л с последующей тенденцией роста к концу года до  $7.2 \times 10^{-2}$  мг N/л (рис. 3.3).

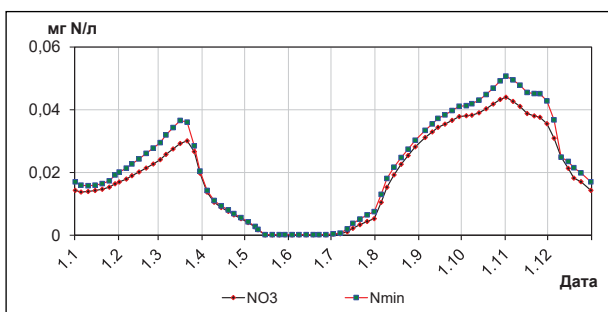
Значения концентраций минеральных форм N изменяются в характерных для них диапазонах:

- $\text{NH}_4$  – в течение года в пределах от  $< 1.0 \times 10^{-4}$  до  $5.2 \times 10^{-3}$  мг N/л. Первый минимум в годовом ходе  $1.1 \times 10^{-3}$  мг N/л формируется в середине января. Далее концентрация  $\text{NH}_4$  равномерно повышается к середине марта до  $4.7 \times 10^{-3}$  мг N/л, а при активизации роста биомасс бактерий и зоопланктона резко падает к началу апреля, достигая минимума  $< 1.0 \times 10^{-4}$  мг N/л к середине мая, который сохраняется до начала июля. Во второй половине года после формирования промежуточного максимума  $2.1 \times 10^{-3}$  мг N/л в начале августа процесс повторяется (рис. 3.4);

- $\text{NO}_2$  – в пределах от  $< 1.0 \times 10^{-4}$  до  $2.6 \times 10^{-3}$  мг N/л. В первые три месяца года концентрация  $\text{NO}_2$  меняется синхронно с изменениями концентраций  $\text{NH}_4$ , увеличиваясь от исходного значения до первого максимума ( $2.5 \times 10^{-3}$  мг N/л) к середине марта. К концу марта концентрации снижаются практически до аналитического нуля и на таком минимальном уровне со-



**Рис. 3.4.** Вариации средних расчетных концентраций минеральных форм N ( $\text{NH}_4$  и  $\text{NO}_2$ ) в заливе Анива



**Рис. 3.5.** Вариации средних расчетных концентраций минеральных форм N ( $\text{NO}_3$  и  $\text{Nmin}$ ) в заливе Анива

$10^{-4}$  до  $4.4 \times 10^{-2}$  мг N/л). Минимальные концентрации  $\text{NO}_3$  характерны для периода активного развития биомассы гетеротрофных бактерий  $\text{B}_1\text{N}$  с мая по июль (рис. 3.5).

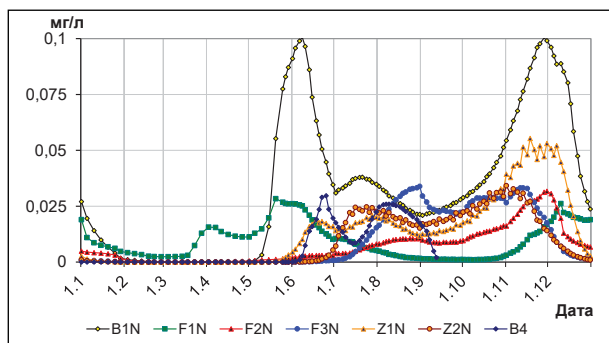
Поскольку значения концентраций  $\text{NO}_3$  являются наибольшими из всех минеральных фракций N, то вполне естественно, что изменения в течение года концентраций  $\text{Nmin}$  (которые являются их алгебраической суммой) повторяют в деталях ход изменения концентраций  $\text{NO}_3$ . Влияние промежуточных минеральных форм N ( $\text{NH}_4$  и  $\text{NO}_2$ ) на содержание  $\text{Nmin}$  прослеживается только в периоды январь–март и октябрь–декабрь, когда концентрация  $\text{Nmin}$  выше  $\text{NO}_3$ . В апреле–сентябре влияние  $\text{NH}_4$  и  $\text{NO}_2$  на общее содержание минеральных форм N либо пренебрежимо мало, либо совсем отсутствует из-за низких абсолютных значений концентраций этих форм N в водной среде (см. рис. 3.5).

Изменения средних расчетных значений биомасс организмов низшего трофического звена в единицах N (гетеротрофных бактерий,  $\text{B}_1\text{N}$ , трех групп фитопланктона,  $\text{F}_1\text{N}$ ,  $\text{F}_2\text{N}$  и  $\text{F}_3\text{N}$ , растительного и хищного зоопланктона,  $\text{Z}_1\text{N}$  и  $\text{Z}_2\text{N}$ ) в водах залива Анива показаны на рисунке 3.6.

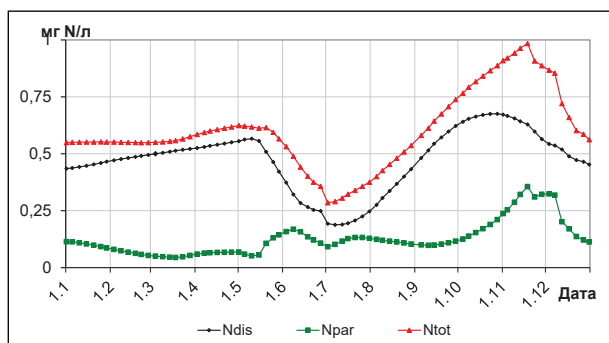
Развитие биомассы гетеротрофных бактерий  $\text{B}_1\text{N}$  начинается с конца первой декады мая. В течение года наблюдается два выраженных максимума значений биомассы (концентрации до 0.1 мг N/л) — в конце первой

храняются до середины июля. Далее с ростом концентрации  $\text{NH}_4$  в воде возрастает и концентрация  $\text{NO}_2$ , которая к концу октября достигает второго максимума в годовом ходе ( $2.6 \times 10^{-3}$  мг N/л), а к концу года понижается до  $1.0 \times 10^{-3}$  мг N/л (см. рис. 3.4);

—  $\text{NO}_3$  — находится в пределах от  $< 1.0 \times 10^{-4}$  до  $4.4 \times 10^{-2}$  мг N/л — это наибольший размах колебаний среди минеральных фракций N. В течение года выделяются два периода роста концентрации  $\text{NO}_3$ : первый — со скоростью  $\sim 1.96 \times 10^{-4}$  мг N/(л×сут) с начала года до третьей декады марта (от концентрации 0.014 до 0.030 мг N/л); второй — со скоростью  $\sim 3.81 \times 10^{-4}$  мг N/(л×сут) со второй декады июля до начала ноября (от концентрации  $< 1.0 \times$



**Рис. 3.6.** Вариации расчетных значений биомасс бактерий, фито- и зоопланктона в единицах N в заливе Анива



**Рис. 3.7.** Вариации средних расчетных концентраций агрегированных форм N ( $N_{dis}$ ,  $N_{par}$ ,  $N_{tot}$ ) в заливе Анива

мг N/л). Периоды пониженного содержания биомасс  $F_1N$  в водах залива наблюдаются в феврале–марте (минимум  $2.38 \times 10^{-3}$  мг N/л), со второй декады сентября по октябрь (минимум от  $1.11 \times 10^{-3}$  мг N/л). После третьего максимума значение биомассы  $F_1N$  к концу года снижается до  $1.90 \times 10^{-2}$  мг N/л (см. рис. 3.6).

Развитие биомассы фитопланктона  $F_2N$  начинается с начала мая. С середины августа и до середины ноября отмечается плавное повышение биомассы  $F_2N$  ( $8.8 \times 10^{-3} \div 1.04 \times 10^{-2}$  мг N/л), а выраженный максимум биомассы  $F_2N$  формируется к началу декабря ( $3.17 \times 10^{-2}$  мг N/л). В декабре биомасса  $F_2N$  резко снижается и к концу года составляет  $6.8 \times 10^{-3}$  мг N/л (см. рис. 3.6).

Развитие биомассы  $F_3N$  отмечено с начала июля. Максимум биомассы ( $3.38 \times 10^{-2}$  мг N/л) наступает к концу августа и колеблется в пределах  $1.0 \times 10^{-2}$  от этого значения до середины ноября. К концу года значение биомассы  $F_3N$  уменьшается до  $1.1 \times 10^{-3}$  мг N/л (см. рис. 3.6).

Развитие биомассы зоопланктона  $Z_1N$  начинается к началу июня, и первый максимум отмечается в середине июня, а к началу августа формируется второй максимум ( $\sim 2.0 \times 10^{-2}$  мг N/л), далее к началу сентября биомасса  $Z_1N$  снижается до  $1.3 \times 10^{-2}$  мг N/л. Абсолютный максимум в годовом ходе достигается к началу декабря и колеблется в пределах  $4.59 \times 10^{-2} \div 5.53 \times 10^{-2}$  мг N/л до его середины, далее к концу года сле-

декады июня и в конце ноября. Между этими максимумами значение биомассы  $Z_1N$  понижается до  $2.09 \times 10^{-2}$  мг N/л (в начале сентября). Развитие биомассы бактерий  $B_1N$  – в период с февраля по апрель. После второго максимума значение биомассы  $B_1N$  к концу года снижается до  $2.37 \times 10^{-2}$  мг N/л (см. рис. 3.6).

Активизация развития биомасс фитопланктона  $F_1N$  начинается в конце марта или после очищения акватории залива от дрейфующего льда. В течение года отмечено три промежуточных максимума  $F_1N$ : первый формируется к началу апреля ( $1.595 \times 10^{-2}$  мг N/л), второй – к началу третьей декады мая ( $2.837 \times 10^{-2}$  мг N/л) и третий – ко второй декаде декабря ( $2.615 \times 10^{-2}$

дует резкий спад до  $2.8 \times 10^{-3}$  мг N/л (см. рис. 3.6).

Биомассы  $Z_2N$  начинают развиваться с середины июня и достигают к середине июля промежуточного максимума со значением  $2.14 \times 10^{-2}$  мг N/л, и далее с небольшим понижением в августе, начиная с сентября до ноября, биомассы  $Z_2N$  повышаются до  $3.42 \times 10^{-2}$  мг N/л, и с середины ноября концентрация их резко снижается практически до аналитического нуля (см. рис. 3.6).

На рисунке 3.7 представлен годовой ход концентраций агрегированных фракций N ( $N_{dis}$ ,  $N_{par}$  и  $N_{tot}$ ). При этом диапазон колебаний  $N_{dis}$  находится в пределах  $0.1879 \div 0.6762$ ,  $N_{par} - 0.0442 \div 0.3558$  мг N/л и  $N_{tot} - 0.2865 \div 0.9849$  мг N/л.

В холодный период года наблюдаются сравнительно небольшие изменения концентраций агрегированных форм N. Для агрегированных концентраций N соотношения разных форм для характерных периодов времени в течение года составляют:

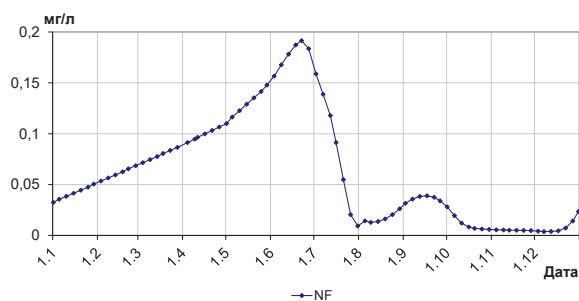
- в начале года:  
 $N_{tot} : N_{dis} = 0.5490 : 0.4351 = 1.3 : 1$ ;
- весной (начало снижения концентрации  $N_{dis}$  в середине мая):  
 $N_{tot} : N_{dis} = 0.6123 : 0.5569 = 1.1 : 1$ ;  
 $N_{tot} : N_{par} = 0.6123 : 0.0554 = 11.1 : 1$ ;  
 $N_{dis} : N_{par} = 0.5569 : 0.0554 = 10.1 : 1$ ;
- летом (период минимальных концентраций  $N_{dis}$  в начале июля):  
 $N_{tot} : N_{dis} = 0.2851 : 0.1931 = 1.5 : 1$ ;  
 $N_{tot} : N_{par} = 0.2851 : 0.0920 = 3.1 : 1$ ;  
 $N_{dis} : N_{par} = 0.1931 : 0.0920 = 2.1 : 1$ ;
- осенью (повышение концентраций  $N_{dis}$  в конце октября):  
 $N_{tot} : N_{dis} = 0.8871 : 0.6760 = 1.3 : 1$ ;  
 $N_{tot} : N_{par} = 0.8871 : 0.2112 = 4.2 : 1$ ;  
 $N_{dis} : N_{par} = 0.6760 : 0.2112 = 3.2 : 1$ ;
- в конце года:  
 $N_{tot} : N_{dis} = 0.6194 : 0.4927 = 1.3 : 1$ ;  
 $N_{tot} : N_{par} = 0.6194 : 0.1266 = 4.9 : 1$ ;  
 $N_{dis} : N_{par} = 0.4927 : 0.1266 = 3.9 : 1$ .

Таким образом, при изменении концентраций различных форм N в течение года остаются близкими соотношения только для значений концентраций агрегированных форм N ( $N_{tot} : N_{dis}$ ). Для других агрегированных форм N колебания соотношений в течение года изменяются в широких пределах, при этом они максимальны в весенний период и минимальны – летом.

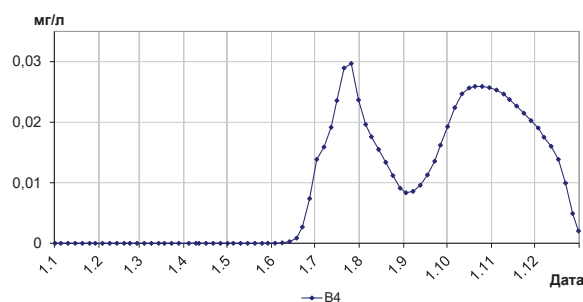
### **3.3.4. Динамика концентраций нефтяных углеводородов и биомасс нефтеокисляющих бактерий**

Расчет динамики концентраций нефтяных углеводородов (NF) и биомасс нефтеокисляющих бактерий ( $B_4$ ) для акватории залива Анива в целом показан на рисунке 3.8. В расчетах концентрация NF на начало года принята равной  $3.25 \times 10^{-2}$  мг/л. С начала года и до середины июня содержание NF возрастает со средней скоростью  $7.6 \times 10^{-4}$  мг/(л×сут) и достигает максимального значения  $0.1914$  мг/л к третьей декаде июня. Далее с ростом биомассы  $B_4$  (начиная с третьей декады июня) концентрация NF к концу июля снижается до  $9.3 \times 10^{-3}$  мг/л. В течение оставшегося периода года наблюдаются асинхронные колебания биомассы  $B_4$  и концентрации NF (рис. 3.9).

В таблице 3.4 приведены расчетные значения основных потоков NF для



**Рис. 3.8.** Вариации средних расчетных концентраций NF в заливе Анива



**Рис. 3.9.** Вариации средних расчетных концентраций биомасс  $B_4$  в заливе Анива

залива Анива. Скорость поступления NF со дна и из внешних источников в воды залива Анива в первую половину года выше скорости его расхода на развитие процессов биотрансформации. В результате в воде происходит накопление NF до  $2 \div 5$  ПДК.

С повышением температуры воды происходит активизация биотрансформации NF, и их содержание в воде поддерживается на низком уровне ( $1 \div 2$  ПДК). В течение года нефтеокисляющие бактерии  $B_4$  – основной канал деградации NF, так как они потребляют за год ~210 тыс. т NF. Оценка производилась с учетом общего объема вод в акватории залива Анива.

Таблица 3.4

**Расчетные значения основных потоков NF для залива Анива  
(над чертой – тыс. т /год, под чертой – т/сут)**

| Поток                                                                            | Значение                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Речной сток (+)                                                                  | <u>2.1297</u><br>58.35                          |
| Внешняя нагрузка (+)                                                             | <u>90.9909</u><br>249.29                        |
| Естественное поступление (просачивание с морского дна, эрозия осадков и др. (+)) | <u>122.4142</u><br>307.99                       |
| Вынос в пролив Лаперуза (–)                                                      | <u>1.1375</u><br>3.12                           |
| Потребление NF бактериями $B_4C$ (–)                                             | <u>210.3869</u><br>3.12                         |
| Баланс потоков, вычисленных в тыс.т/год                                          | <u>+215.5348</u><br><u>-211.5244</u><br>+4.0104 |
| Невязка баланса, %                                                               | 1.9                                             |

Согласно современным представлениям о циркуляции вод в заливе Анива [Пищальник и др., 2003], в центральной его части находится квазистационарный антициклонический вихрь, что объясняет наличие наибольших концентраций NF и повышенную скорость их деградации за счет увеличения времени их пребывания в этой зоне [Симонов и др., 1974].

Результаты моделирования подтверждают тот факт, что экосистема залива Анива «справляется» с общим потоком NF, который из разных источников может попадать в морскую среду в течение года. Температурный режим залива Анива благоприятен для формирования высокого потенциала самоочищения морской среды. Невязка годового баланса NF составляет < 2 %, что вполне приемлемо и находится в пределах точности выполненных расчетов.

### Заключение к главе 3

Для моделирования динамики форм N и NF в заливе Анива с помощью CNPSi-модели использованы среднееголетние ежемесячные характеристики состояния морской среды (температура, соленость, освещенность, прозрачность, биогенная нагрузка, загрязнение вод). Параметры водообмена были оценены в квазигеострофическом приближении и откорректированы по среднееголетнему изменению уровня моря.

CNPSi-модель воспроизводит весь спектр внутригодового изменения органических, минеральных и взвешенных концентраций форм N, анализ которого позволяет заключить, что зимой в глубоководной части залива Анива нет активного потребления биогенных веществ организмами и происходит повышение концентраций DON и  $\text{NO}_3$ . Весной, в период активизации роста биомассы организмов, происходит снижение концентрации органических и минеральных форм N. Летом при активизации продукционных процессов в водной среде возрастает запас органических веществ. В конце лета—начале осени по мере снижения активности организмов концентрация минеральных компонентов N начинает возрастать. В конце осени концентрации биогенных веществ значительно возрастают за счет интенсивного поступления при водообмене с водами Восточно-сахалинского течения. Расчетная картина изменчивости концентраций БВ находится в хорошем соответствии с результатами натурных наблюдений.

Активность развития биомасс организмов, участвующих в трансформации форм N (гетеротрофных бактерий, фито- и зоопланктона) в водах залива Анива, определяется океанографическими условиями и характером поступления NF. Расчетные концентрации NF изменяются в январе—марте в пределах  $0.1 \div 0.24$  мг/л (или 2–5 ПДК), а летом и осенью снижаются до 1–2 ПДК. Оцененные значения концентраций NF близки к их аналитическим определениям, характерным для незагрязненных вод шельфа Сахалина.

Наибольшее потребление NF бактериями происходит в июне—июле (на разных участках залива его скорость варьируется от  $3.0 \times 10^{-3}$  до  $1.0 \times 10^{-2}$  мг/(л×сут)). Эти оценки близки к имеющимся в литературе данным по биодеградации нефти в естественных условиях.

Расчет баланса NF показывает, что экосистема залива Анива справляется с заданным минимальным загрязнением морской среды по NF. Трансформация растворенных NF происходит в основном при их бактериальной деструкции, в результате чего на всей акватории залива происходит утили-

зация за год ~210 тыс. т NF, что сопоставимо суммарным годовым поступлениям NF в воды залива Анива.

Такого типа исследования особенно полезны при обобщении накопленной океанологической информации, для составления балансов веществ, прогностических вариантов расчетов по заданным сценариям и объяснения тенденций изменения океанологических параметров.

### Литература к главе 3

1. Брагина, И. Ю. Сезонная и межгодовая изменчивость зоопланктона по результатам исследований 1995–1999 гг. в проливе Лаперуза (Соя) и прилегающих водах / И. Ю. Брагина // Тр. СахНИРО. – 2002. – Т. 4. – С. 48–69.
2. Леонов, А. В. Анализ особенностей функционирования экосистемы Рыбинского водохранилища / А. В. Леонов, А. С. Литвинов, С. М. Разгулин // Водные ресурсы. – 1996. – Т. 23. – № 6. – С. 739–753.
3. Леонов, А. В. Биогидрохимическая модель трансформации органогенных веществ и ее использование для расчета первичной продукции в экосистеме Охотского моря. Сб. Комплексные исследования Охотского моря / А. В. Леонов, В. В. Сапожников. – М. : изд-во ВНИРО, 1997. – С. 143–166.
4. Леонов, А. В. Математическое моделирование процессов биотрансформации органогенных веществ для изучения условий евтрофирования вод поверхностного слоя Каспийского моря / А. В. Леонов, О. В. Стыгар // Водные ресурсы. – 2001. – Т. 28. – № 5. – С. 587–605.
5. Леонов, А. В. Функционирование экосистемы Белого моря: исследование на основе математической модели трансформации органогенных веществ / А. В. Леонов, Н. Н. Филатов, Р. Э. Здорovenнов, Г. Э. Здорovenнова // Водные ресурсы. – 2004. – Т. 31. – № 5. – С. 556–575.
6. Леонов, А. В. Биотрансформация органогенных веществ в водах залива Анива: оценка с помощью математического моделирования / А. В. Леонов, В. М. Пищальник // Водные ресурсы. – 2005 а. – Т. 32. – № 5. – С. 558–574.
7. Леонов, А. В. Анализ условий трансформации нефтяных углеводородов в морских водах и моделирование процесса в заливе Анива / А. В. Леонов, В. М. Пищальник // Водные ресурсы. – 2005 б. – Т. 32. – № 6. – С. 712–726.
8. Леонов, А. В. Трансформация биогенных веществ в водах Татарского пролива (Японское море) / А. В. Леонов, В. М. Пищальник, О. В. Чичерина // Водные ресурсы, 2010а. – Т. 37. – № 1. – С. 33–57.
9. Леонов, А. В. Моделирование загрязнения морской среды нефтяными углеводородами и их биотрансформации в водах Татарского пролива / А. В. Леонов, В. М. Пищальник, О. В. Чичерина // Водные ресурсы. – 2010 б. – Т. 37. – № 2. – С. 225–238.
10. Леонов, А. В. Биогидрохимия морской среды и особенности трансформации биогенных веществ и нефтяных углеводородов на юго-восточном шельфе Сахалина / А. В. Леонов, В. М. Пищальник, О. В. Чичерина // Водные ресурсы. – 2016. – Т. 43. – № 2. – С. 164–187.
11. Леонов, А. В. Трансформации органогенных веществ в экосистеме Белого моря: оценка по результатам математического моделирования / А. В. Леонов, Н. Н. Филатов, О. В. Чичерина // Водные ресурсы. – 2005 в. – Т. 32. – № 4. – С. 435–451.
12. Леонов, А. В. Математическое моделирование условий функциони-

рования экосистемы губы Чупа Белого моря: трансформация органогенных веществ и биопродуктивность морской среды / А. В. Леонов, Н. Н. Филатов, Р. Э. Здореннов, Г. Э. Здореннова // Водные ресурсы. – 2006. – Т. 33. – № 5. – С. 589–614.

13. Леонов, А. В. Загрязнение морской среды нефтепродуктами и их деградация в экосистеме Каспийского моря: анализ результатов численного моделирования / А. В. Леонов, Л. В. Семеняк, О. В. Чичерина // Исследования океанов и морей. – М. : Тр. ГОИН, 2011. – Вып. 213. – С. 407–418.

14. Леонов, А. В. Моделирование природных процессов на основе имитационной гидроэкологической модели трансформации соединений C, N, P, Si : учебное пособие / А. В. Леонов. – Южно-Сахалинск, 2012. – 148 с.

15. Леонов, А. В. Математическое моделирование трансформации нефтяных углеводородов в разных районах Белого моря / А. В. Леонов, О. В. Чичерина // Водные ресурсы, 2013. – Т. 40. – № 1. – С. 36–61.

16. Леонов, А. В. Биогидрохимия морской среды и особенности трансформации биогенных веществ и нефтяных углеводородов в акватории юго-восточного шельфа Сахалина / А. В. Леонов, В. М. Пищальник, О. В. Чичерина // Водные ресурсы. – 2016. – Т. 43. – № 2. – С. 164–187. – DOI: 10.7868/S032105961602005X.

17. Леонов, А. В. Углеводороды в Белом море: их поступление и трансформация в морской среде в разных районах / А. В. Леонов, Л. В. Семеняк, О. В. Чичерина // Водные ресурсы. – 2017. – Т. 44. – № 1. – С. 38–62. – DOI: 10.7868/S0321059617010084.

18. Леонов, А. В. Биогидрохимический портрет Белого моря / А. В. Леонов, Е. В. Колтовская, О. В. Чичерина // Компьютерные исследования и моделирование. – 2018. – Т. 10. – № 1. – С. 125–160. – DOI: 10.20537/2076-7633-2018-10-1-125-160.

19. Назаров, Н. А. Моделирование водного и биогеохимического циклов лесного водосбора в течение года / Н. А. Назаров, А. В. Леонов // Водные ресурсы. – 1999. – Т. 26. – № 1. – С. 35–47.

20. Научно-прикладной справочник по климату СССР. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1990. – Сер. 3. – Вып. 34. – 350 с.

21. Немировская, И. А. Углеводороды в экосистеме юго-западной части Берингова моря / И. А. Немировская // Геохимия. – 1996. – № 2. – С. 165–170.

22. Немировская, И. А. Углеводороды воды, взвеси и донных осадков Охотского моря (распределение, формы миграции, генезис) / И. А. Немировская // Комплексные исследования Охотского моря. – М. : изд-во ВНИРО, 1997. – С. 172–178.

23. Патин, С. А. Нефть и экология континентального шельфа / С. А. Патин. – М. : изд-во ВНИРО, 2001. – 247 с.

24. Патин, С. А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа / С. А. Патин. – М. : изд-во ВНИРО, 1997. – 350 с.

25. Пищальник, В. М. Гидрохимия и загрязнение морских вод шельфа о-ва Сахалин, прогностические оценки и рекомендации по предотвращению загрязнения : дис. ... канд. геогр. наук / В. М. Пищальник. – Южно-Сахалинск : Сахалинское УГКС, 1986. – 178 с.

26. Пищальник, В. М. Опыт расчета водного баланса залива Анива / В. М. Пищальник // Тр. ДВНИГМИ. – 1990. – Вып. 40. – С. 92–94.

27. Пищальник, В. М. Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин / В. М. Пищальник, А. О. Бобков. – Южно-Сахалинск : изд-во СахГУ, 2000. – Ч. I. – 174 с. ; Ч. II. – 108 с.

28. Пищальник, В. М. Опыт совместного применения электронного

океанографического атласа и имитационной математической модели для исследования процессов биотрансформации органических веществ в проливе Лаперуза / В. М. Пищальник, А. В. Леонов // Тр. СахНИРО. – 2002. – Т. 4. – С. 22–47.

29. Пищальник, В. М. Сезонные вариации циркуляции вод в прибрежных районах о. Сахалин / В. М. Пищальник, В. С. Архипкин, Г. И. Юрасов // Метеорология и гидрология. – 2003. – № 5. – С. 87–95.

30. Пищальник, В. М. Изучение условий функционирования экосистемы залив Анива – пролив Лаперуза / В. М. Пищальник, А. В. Леонов // Водные ресурсы. – 2003. – Т. 30. – № 5. – С. 616–636.

31. Пищальник, В. М. Моделирование природных процессов на основе ГИС «Сахалинский шельф» / В. М. Пищальник, А. О. Бобков. – Южно-Сахалинск : изд-во СахГУ, 2008. – 104 с.

32. Поезжалова, О. С. Вариации среднего уровня Охотского моря / О. С. Поезжалова, Г. В. Шевченко // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. – Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 1997. – Т. 8. – С. 131–141.

33. Симонов, А. И. Современное состояние химического загрязнения вод Северной Атлантики / А. И. Симонов, С. Г. Орадовский, А. А. Ющак // Метеорология и гидрология. – 1974. – № 3. – С. 50–61.

34. Фащук, Д. Я. Геоэкологические последствия аварийных разливов нефти / Д. Я. Фащук, С. Н. Овсиенко, А. В. Леонов [и др.] // Известия АН. – Сер. Географ. – 2003. – № 5. – С. 57–73.

35. Шапоренко, С. И. Загрязнение прибрежных морских вод России / С. И. Шапоренко // Водные ресурсы. – 1997. – Т. 24. – № 3. – С. 320–327.

36. Leonov, A. 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 / A. V. Leonov, V. M. Pishal'nik, V. S. Arkhipkin, O. V. Chicherina // Water Resources, 2010. – Vol. 37. – № 4. – P. 528–564.

37. Leonov, A. V. Transformations of Nutrients in the Northeastern Waters of the Sakhalin Shelf: An Analysis of Mathematical Modeling Results / A. V. Leonov, V. M. Pishal'nik, V. I. Petukhov, O. V. Chicherina // Океанологические исследования, 2018 а. – Т. 46. – № 2. – С. 112–144.

38. Leonov, A. V. Indicators of Biohydrochemical Portrate of the White Sea: Internal/External Fluxes of Biogenic Substances and Balances of N and P / A. V. Leonov, L. V. Semenyak, O. V. Chicherina // Океанологические исследования, 2018 б. – Т. 46. – № 3. – С. 144–182.

39. Tkalin, A. V. Background pollution characteristics of the N. E. Sakhalin Island shelf / A. V. Tkalin // Mar. Pol. Bull., 1993. – Vol. 26. – № 12. – P. 704–706.

## ГЛАВА 4.

# ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ МНОГОФАКТОРНОГО АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИВОТНЫХ



В данной главе рассматриваются возможности применения цифровых технологий при моделировании пространственно-временного распределения животных, на примере бурого медведя в его естественной среде обитания. Современный выбор цифровых технологий, основанный на методах кодирования и передачи информации, представленный в виде дискретных систем, позволяет проанализировать множество разноплановых вариантов за малые промежутки времени, что важно при выполнении экономических, экологических и социальных задач.

В последние десятилетия наиболее активное воздействие человека на компоненты окружающей среды выражается в интенсивном развитии нефтегазовой отрасли, промышленных рубок лесов, строительстве производственных объектов и подъездных путей, а как следствие – фрагментации территорий, что приводит к трансформации естественных ландшафтов и экосистем [Мелкий и др., 2015]. Особенно заметно это проявляется на изолированных территориях в силу их природно-географических условий [Денисова и др., 2012]. Подобная деятельность наблюдается и на о. Сахалин, которая обуславливает сокращение территорий, пригодных для обитания животных. Помимо этого чрезмерная добыча биологических ресурсов, включая водно-биологические, привела к сокращению кормовой базы многих представителей териофауны [Тварковский, Минервин, 2002]. Критерии и показатели, отражающие данные воздействия, имеют строго антропоцентрический смысл, который человек предъявляет к среде, к ее природным и природно-антропогенным элементам.

Обработка результатов натурных и дистанционных наблюдений за объектами природной среды и проведение системного анализа полученной информации с использованием цифровых технологий позволяют более точно определить состояние объектов среды и воздействие на них техногенных факторов с целью последующей оценки и прогноза возможных изменений, а также управления их состоянием.

Важным представителем природной среды островных экосистем Сахалина является бурый медведь (*Ursus arctos*), распространенный по всей территории острова [Воронов, 1972]. Он выступает как связующее звено между отдельными элементами ландшафта, являясь значимым индикатором состояния территории его обитания, подверженной активной жизнедеятельности человека [Пачковский, Середкин, 2004]. Изменение условий обитания бурого медведя приводит к серьезным проблемам его сосуществования с человеком: нередко фиксируются конфликтные контакты, проявляющиеся в агрессивном поведении животного, вплоть до гибели людей, нападениях на домашний скот, нанесении материального ущерба, что приводит к вынужденному отстрелу отдельных особей [Mano, 1994; Bombieri and ect., 2019].

Для оптимизации условий совместного обитания человека и бурого медведя необходимо выявить закономерности изменения его поведения как представителя среды обитания под воздействием различных факторов этой среды. Такой подход требует всестороннего изучения распространения особей бурого медведя на территории с учетом их сезонной приуроченности к местам обитания с целью исключения возможных инцидентов с человеком. Таким образом, пространственно-временное распределение бурого медведя становится эффективным инструментом исследования, планирования и проведения мероприятий по охране окружающей среды и безопасности жизнедеятельности человека [Никулина, 2018].

Эколого-географический анализ, моделирование пространственно-временного распределения бурого медведя проводились на примере территории государственного природного комплексного регионального заказника «Восточный» на о. Сахалин. Его можно рассматривать как эталонный участок, не подверженный антропогенному воздействию, где исследователями отмечается высокая плотность популяции бурого медведя (в отличие от других более обжитых районов острова) [Еременко, Сабилов, 2016].

Сбор полевых материалов производился в рамках программы «Изучение и сохранение бурого медведя в Сахалинской области», организованной региональной общественной организацией «Экологическая вахта Сахалина» и Тихоокеанским институтом географии ДВО РАН при поддержке Министерства лесного и охотничьего хозяйства Сахалинской области.

С точки зрения разнообразия природных ландшафтов район регионального заказника «Восточный» можно рассматривать как своеобразный полигон, где на ограниченном пространстве расположена самая высокая горная система острова Сахалин с характерной высотной дифференциацией растительности. Здесь сохранились девственные леса и другие природные комплексы с оригинальным видовым составом, сложной структурой и большим биологическим разнообразием. Территория располагается в бассейнах двух нерестовых рек и занимает общую площадь 68005 га [Еременко, Сабилов, 2016; Сабилов, Сабилова, 2004].

В данной главе представлена методика анализа и моделирования пространственно-временного распределения бурого медведя, основанная на применении комплекса методов наблюдений и картографирования. Сбор информации о состоянии популяции и поведении бурого медведя проводился как натурными, так и инструментальными методами. Формализация представлений о жизненном цикле бурого медведя выполнена на основе математического анализа с применением статистических методов, выражена в ранжировании и определении значимости факторов, влияющих на распределение особей в пространстве с учетом сезонных особенностей. Разработка и построение карт сезонных мест обитания бурого медведя и обработка полученных данных выполнены методами геоинформационного моделирования.

#### **4.1. Методика анализа и моделирования пространственно-временного распределения животных**

Методика анализа пространственно-временного распределения бурого медведя и условий его обитания основана на комплексе методов натурных, дистанционных наблюдений [Еременко, 2008; Середкин и др., 2012]

и методов моделирования на основе математического, картографического представления результатов в пространственном, временном и обобщенном виде [Никулина, Минервин, 2018; Никулина и др., 2020].

Сбор и анализ данных о пространственно-временных особенностях обитания бурого медведя, а также методах геоинформационного картографирования включают:

1. Предварительную оценку.

Исходными данными для анализа являются: научные труды [Воронов, 1972; Костин, Еремин, 2004], фондовые и архивные материалы [Министерство экологии Сахалинской области], результаты систематизации данных геоэкологического состояния и техногенной нагрузки на компоненты природной среды; предполевое дешифрирование с выделением участков для мониторинга объекта исследования в естественных условиях как идеальной (оптимальной) среды обитания в пространственно-временных континуумах.

Применение геоинформационных методов при экологическом картографировании и картографировании ареалов животных отражено в работах [Кокорина, 2010; Мухтарова и др., 2018], моделировании геопространства [Хлебникова, Опритова, 2017], использовании методов моделирования в исследованиях бурого медведя [Clevenger and ect., 1990; Jodie Martin and ect., 2012].

2. Проведение стационарных полевых исследований с целью выявления особенностей обитания бурых медведей в условиях островных экосистем, следов их жизнедеятельности (рис. 4.1):



**Рис. 4.1.** Стационарные наблюдения за бурыми медведями (фото автора)

особенностей питания; сезонности в потреблении отдельных видов пищевых ресурсов; типов растительных сообществ, характерных для исследуемой территории. Определение пищевого рациона проводилось на основе анализа экскрементов, при этом учитывалось процентное содержание объема отдельных пищевых компонентов в каждом образце, а

также в описании мест кормления и следов жизнедеятельности, связанных с пищедобывательной деятельностью бурого медведя.

3. Инструментальные исследования.

Регистрация животных проводилась с использованием системы глобального спутникового позиционирования (GPS), цифровых фотоаппаратов и инфракрасных фотоловушек.

4. Маршрутные наблюдения.

При проведении маршрутных наблюдений фиксируются животные, встреченные на пути, и следы их жизнедеятельности. Местоположение особей наносится на картографическую основу.

Оснащение животных GPS-ошейниками (рис. 4.2) позволяет отследить их перемещения по территории за счет спутниковой регистрации локаций

особей и выявить сезонные особенности смены мест обитания с учетом полного годового цикла жизнедеятельности бурого медведя.

Моделирование пространственно-временного распределения бурого медведя основывается на результатах проведенного мониторинга, формализации данных и включает в себя следующие этапы:



**Рис. 4.2.** GPS-меченная особь бурого медведя (фото автора)

1. Определение факторов среды и критериев оценки местообитаний бурого медведя. Выявляются факторы среды обитания, влияющие на приуроченность животных к территории. Для выбора факторов анализируются имеющиеся теоретические материалы, данные, полученные в результате натурных и инструментальных наблюдений, цифровые тематические карты-схемы. На основе анализа наиболее значимых факторов выделяются критерии оценки мест обитания бурого медведя с учетом приуроченности исследуемых особей к изучаемой территории.

2. Определение сезонности. По результатам проведенных наблюдений и временного анализа каждого фактора среды обитания бурого медведя определяется сезонность, проявляющаяся в смене условий распределения животных по территории.

3. Ранжирование критериев оценки. Ранжирование оцениваемых критериев производится на основе установления относительной значимости исследуемых типов факторов и их упорядочения с применением математической функции желательности Харрингтона [Адлер и др., 1976] (рис. 4.3). Оценка критериев производится в установленных диапазонах-рангах согласно балльно-рейтинговой оценочной шкале по пятибалльной системе. Учитывается проявление каждого показателя по величине использования: 1 – наименее благоприятные условия обитания, 5 – наиболее благоприятные.

4. Оценка значимости рассматриваемых факторов.

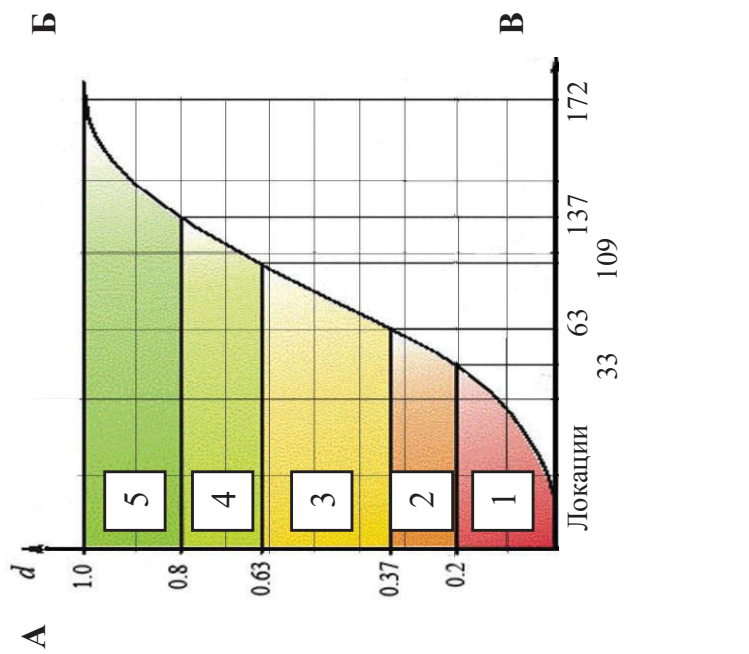
Относительная значимость всех факторов рассчитывается путем нормирования значений, полученных в результате ранжирования [Коросов, 2007]. С этой целью оценки, полученные на основе анализа каждого фактора, суммируются по горизонтали (формула 4.1), а затем последовательно нормируются (формула 4.2).

$$\sum P_N = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 \quad (4.1)$$

$$КФ = P_i / \sum P_i N \quad (4.2)$$

Далее вычисляется относительная значимость каждого фактора в процентах путем отношения суммы нормированных значений к общему числу типов (формула 4.3):

$$G_{ij} = \sum КФ / N \sum * 100 \%, \quad (4.3)$$



**Рис. 4.3.** Ранжирование классифицируемых типов с использованием функции «желательности» Харрингтона:  
 А – график логистической функции Харрингтона; Б – фрагмент таблицы анализа мест обитания бурого медведя;  
 В – соответствия между параметрами предпочтения в эмпирической и числовой системах

где  $\sum P_i N$  – сумма рангов N-уровня;  $P_1...P_5$  ( $P_i$ ) – ранги; КФ – коэффициент нормирования;  $N \sum$  – общее число типов (критериев);  $G_{ij}$  – относительная значимость фактора.

Относительная значимость всех факторов рассчитывается в отдельности для каждого сезонного периода.

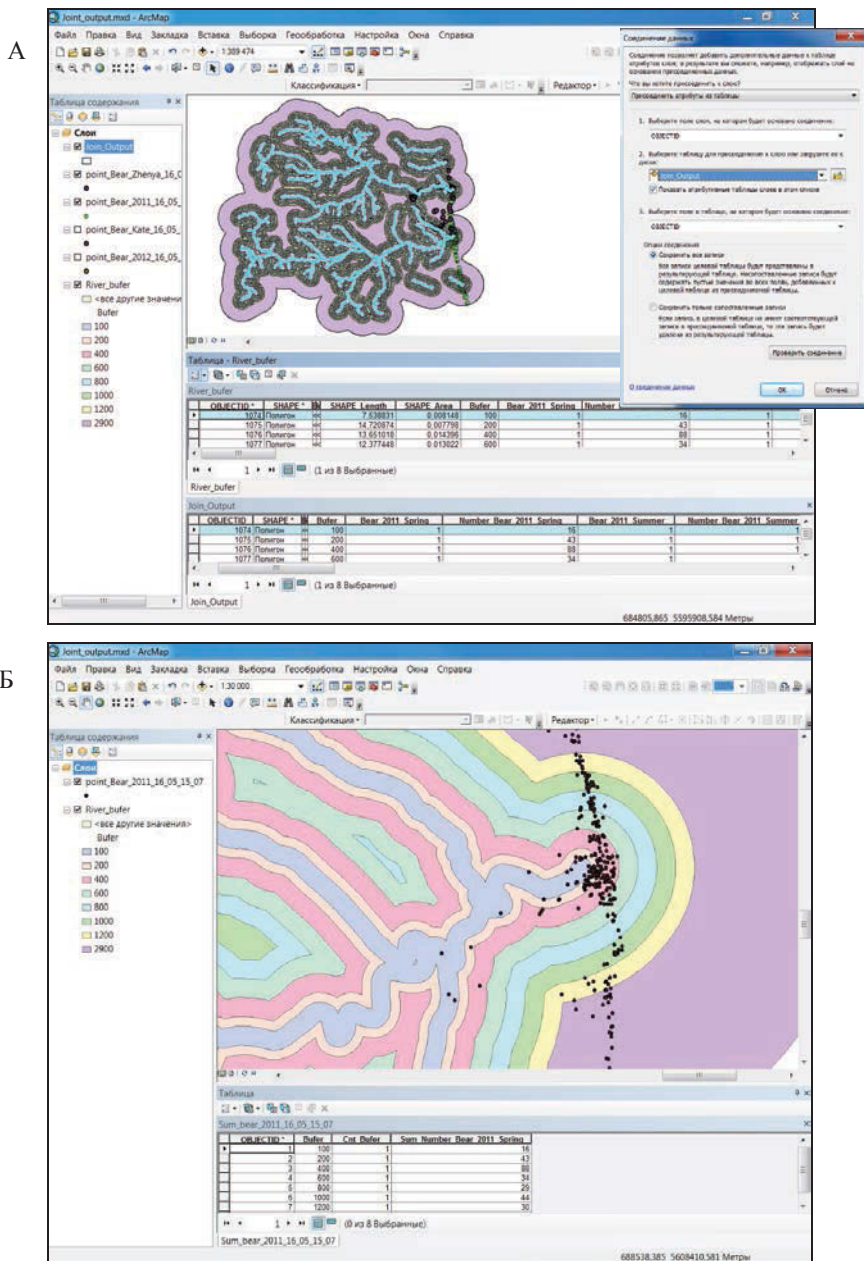
5. Статистический анализ пространственно-временных данных. Для обработки пространственных данных используется инструмент статистики ArcGIS и программный комплекс Statistica Ultimate Academic 13. Вычисляются статистические показатели, отражающие пространственные закономерности распределения точек – локаций бурого медведя, и статистическая значимость полученных данных.

6. Тематическое картографирование. Картографическое отображение условий среды обитания бурого медведя с применением программных комплексов ArcGIS Desktop 10, ScanEx Image Processor: а) на основе цифровой модели рельефа [Цифровая модель рельефа] получены карты высоты, уклона и экспозиции склонов, проведена их классификация и выделены восемь типов в пределах каждого фактора; б) для определения параметров расстояния – удаленности животных от водных объектов или их границ (устье реки, русло реки, морское побережье) использована топографическая основа масштаба 1:200 000, построены буферные зоны согласно восьмиступенчатой типизации данных факторов; в) для отображения растительного покрова данной территории на основе дешифрирования разновременных космических снимков серии Landsat, Sentinel [Гук и др., 2013] и результатов натурных наблюдений [Сабиров, Сабирова, 2004] построена карта растительности методом максимального подобия.

На рисунке 4.4 представлена схема построения картографических произведений, отражающая их основные элементы.

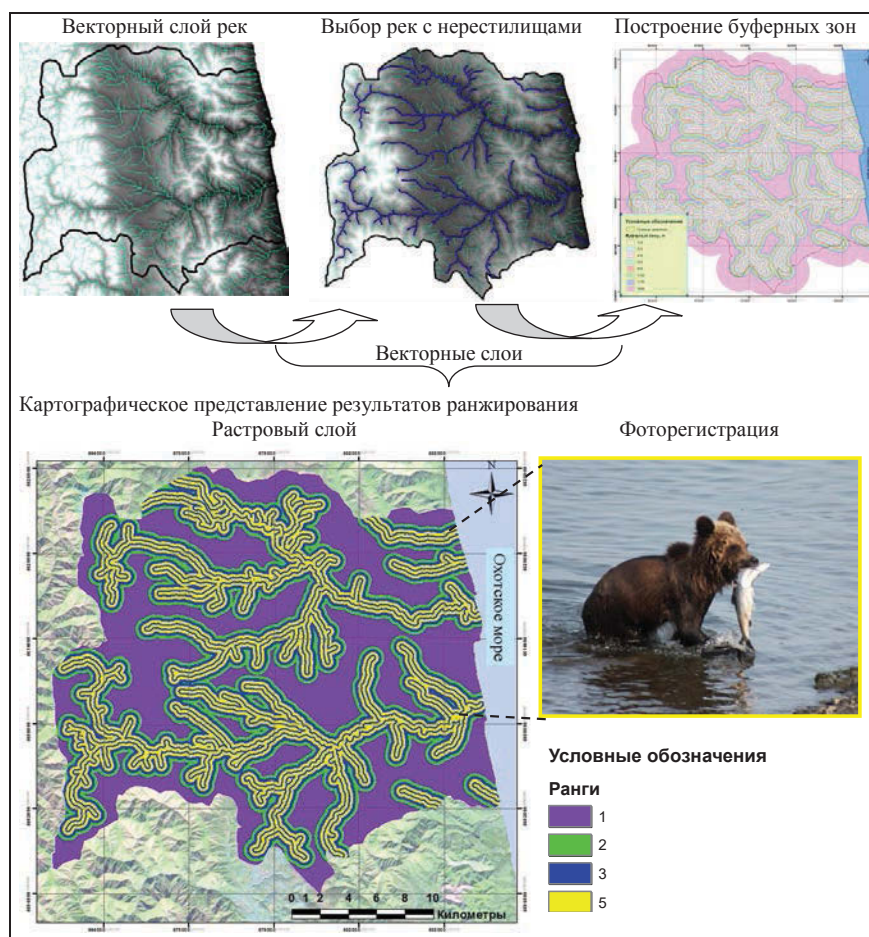


**Рис. 4.4.** Схема построения картографического произведения



**Рис. 4.5.** Процесс подсчета точек:  
 А – создание промежуточной таблицы и присвоение атрибутивных данных;  
 Б – результаты суммирования точек в каждом целевом слое

После предварительной подготовки цифровых слоев проводится подсчет точек в каждом целевом поле методом пространственной выборки объектов. Для этого производится работа с атрибутивными таблицами, создаются дополнительные поля и промежуточные таблицы для соединения и связи значений и присвоения атрибутивных данных (рис. 4.5 А). Командой

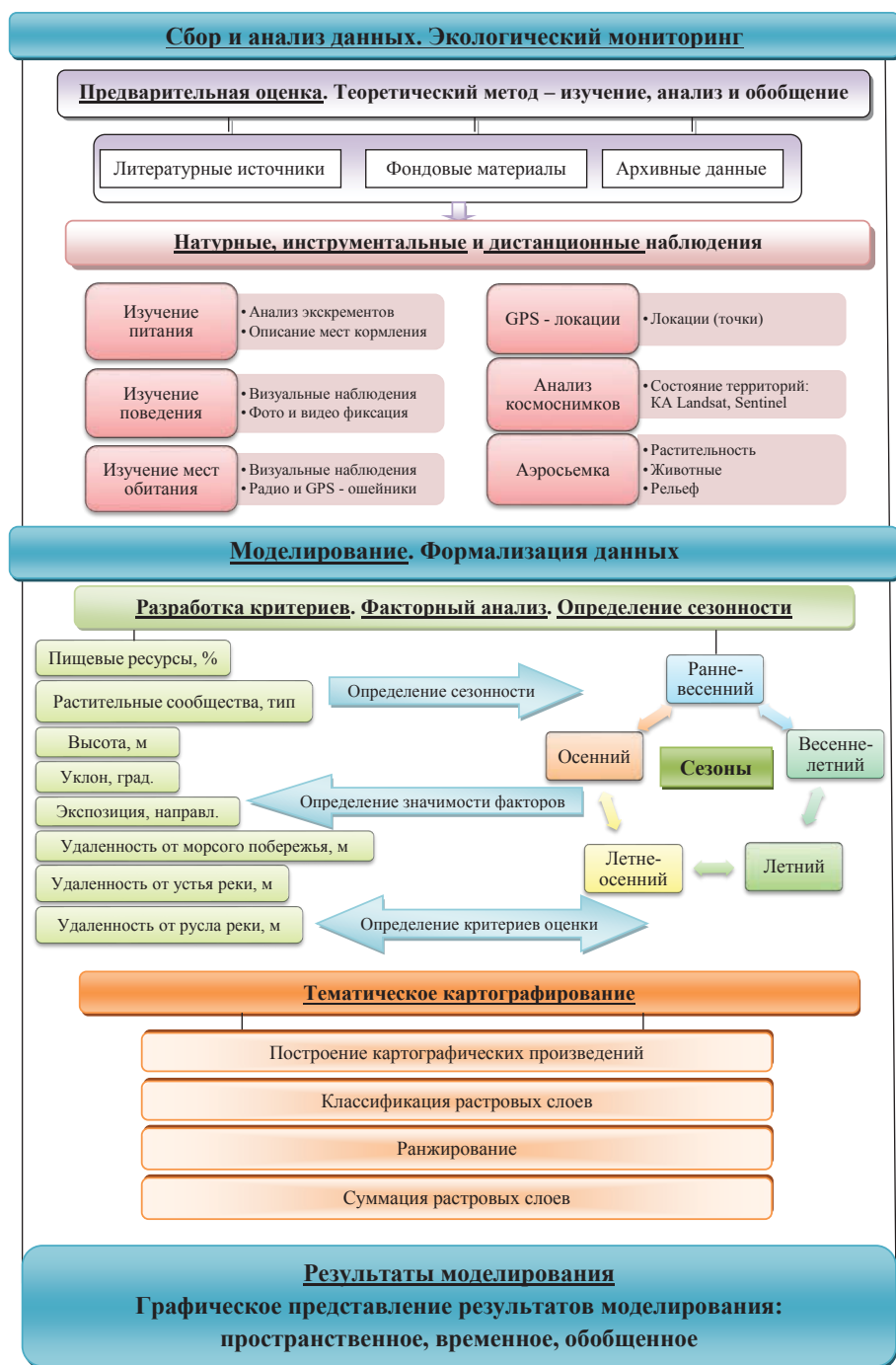


**Рис. 4.6.** Технологическая схема построения тематической карты

«суммирование значений» получаем общее количество точек в каждом исследуемом типе (рис. 4.5 Б). Таким образом, по результатам конечных значений вычисляются средние показатели концентрации локаций бурого медведя в различных диапазонах факторов. Полученные результаты применяются для дальнейшего ранжирования информации.

7. Классификация растровых данных по результатам ранжирования. Инструментом геообработки «переклассификация» все растры приводятся к идентичной шкале, это необходимо при присвоении рангов (от одного до пяти) каждому диапазону значений для их графического отображения. На рисунке 4.6 представлена технологическая схема построения тематической карты от этапа подготовки цифровых слоев до картографического отображения результатов ранжирования.

8. Синтез цифровых данных. Для построения модели, отражающей условия сезонного обитания бурого медведя на исследуемой территории, проведен синтез готовых растровых слоев с помощью инструмента «калькулятор растра» посредством умножения каждого растрового слоя на значение процента влияния фактора (веса) и затем суммирования их вместе для создания финального растра. Важное значение при данном анализе имеет корректное определение веса каждого слоя.



**Рис. 4.7.** Схема методики анализа и моделирования пространственно-временного распределения бурого медведя

Схема анализа и моделирования мест обитания бурого медведя основана на концепции Дж. Бойда, отражающей основные элементы, характеризующие процессы, действующие в непрерывном цикле с окружающей

средой и учитывающие ее возможные изменения, позволяющие принимать решения и действия, представленные в данном исследовании в виде картографического отображения (рис. 4.7).

## **4.2. Результаты моделирования пространственно-временного распределения животных на основе определения и анализа факторов среды и критериев сезонных мест обитания**

Статистический анализ пространственно-временного распределения животных показал, что все их перемещения имеют определенные закономерности в распределении отдельных факторов среды и их значимости.

Согласно Z-оценки нормального распределения локаций бурого медведя (статистическая величина, отражающая распределение значений относительно среднего), следует, что ее величина является статистически значимой, что говорит о кластеризации имеющихся точек локаций. Это отражено на графике нормального распределения (рис. 4.8).

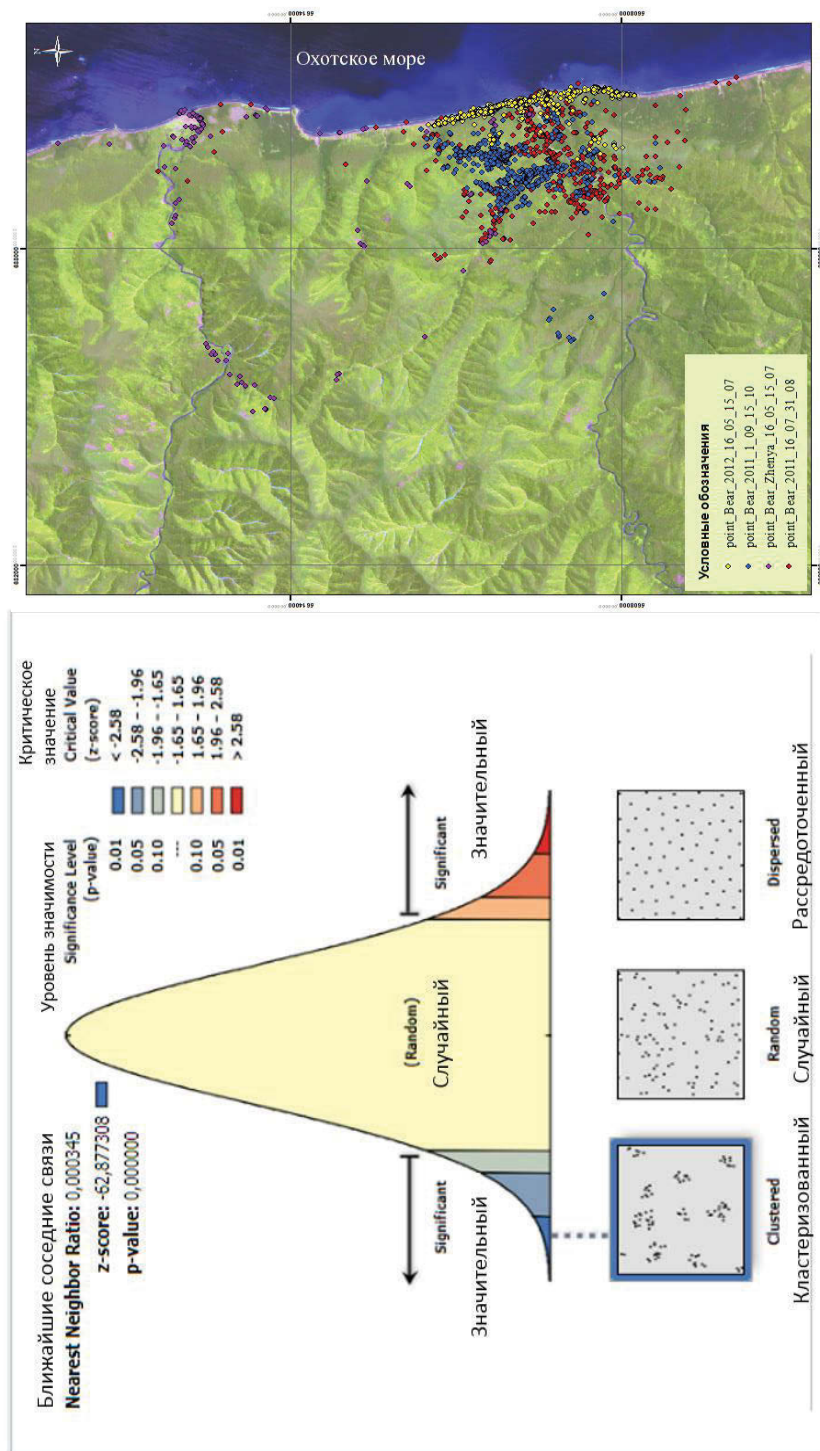
Биотические и абиотические условия среды обитания характеризуются следующими факторами:

- 1) виды потребляемых кормов, их доля и значимость в питании: ресурсы растительного и животного происхождения (рис. 4.9 А);
- 2) типы растительных сообществ;
- 3) рельеф местности – высота над уровнем моря, экспозиция и крутизна склона (рис. 4.9 Б);
- 4) поверхностные воды – реки, ручьи, озера, заболоченные участки;
- 5) морское побережье;
- 6) климатические показатели – температура, атмосферные осадки, продолжительность безморозного периода, сроки сохранения снежного покрова.

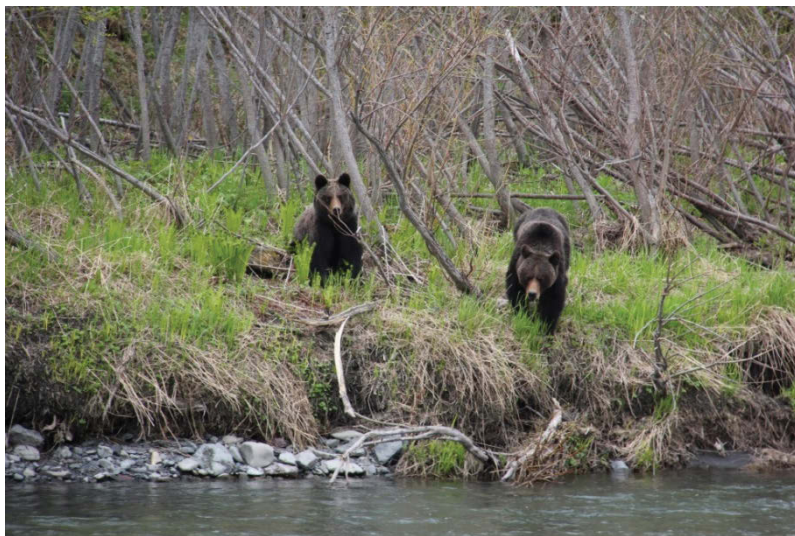
Наличие и доступность пищевых ресурсов – первостепенный биотический фактор среды, который во многом определяет нахождение животных в отдельных районах территории, характеризующихся рельефом местности, типом растительных сообществ и их территориального размещения, высотной зональностью. Для бурых медведей на о. Сахалин большое значение имеет приуроченность к водным объектам, преимущественно к рекам, имеющим нерестовое значение, и к морскому побережью – источнику питания, особенно в малокормный весенний период.

Детальное изучение каждого фактора позволило выявить сезонность в распределении животных по отдельным территориям. В результате анализа выделены пять сезонных периодов, характеризующихся проявлением различной степени значимости каждого рассматриваемого фактора, отчетливой сменой локаций бурого медведя на исследуемой территории (рис. 4.10). Характеристика которых приводится ниже.

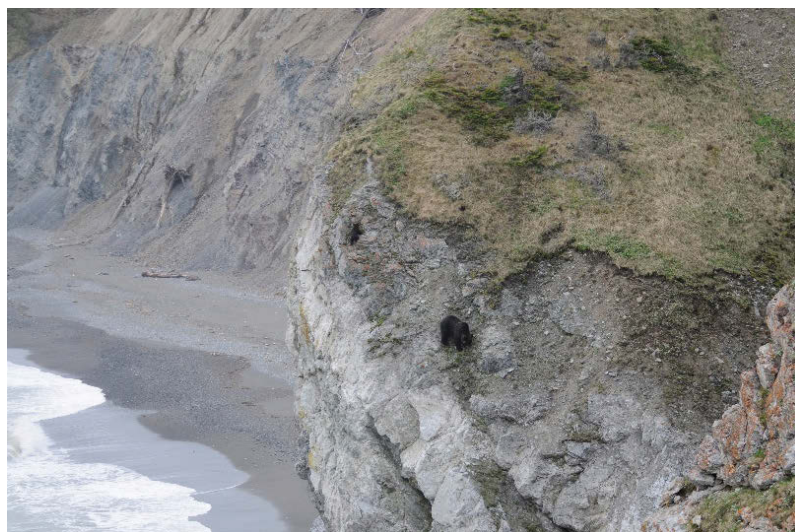
Первый сезонный период ранневесенний, длится с выхода животных из берлоги (вторая половина апреля) и до начала вегетации травянистых растений (первая половина мая). Этот период малокормный – из-за наличия снежного покрова и труднодоступности пищевых ресурсов. Некоторое время бурый медведь держится возле берлоги и не совершает значительных перемещений, затем перемещается на склоны сопки и выходит на морское побережье.



**Рис. 4.8.** График нормального распределения локаций бурого медведя (слева) и отображение точек-локаций для анализа их перемещения на исследуемой территории (справа)



А

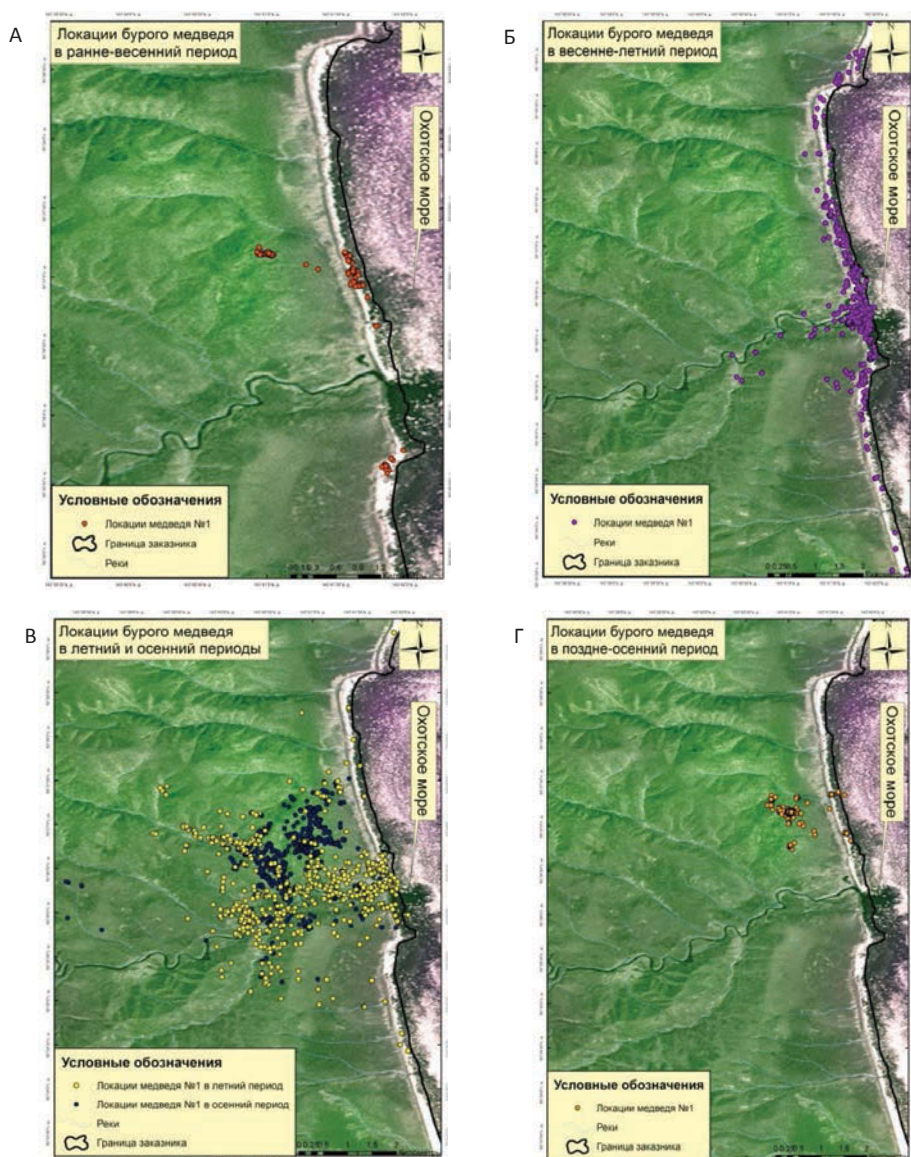


Б

**Рис. 4.9.** Территориальная приуроченность бурых медведей в весенне-летний период (фото автора слева, справа – автор фото А. В. Колгин)

Второй период – весенне-летний, длится с середины мая до конца июля. В питании преобладают травянистые растения, их доля составляет более 90 %. Бурый медведь приурочен к морским и речным террасам, а также к морскому побережью.

Третий – летний, длится с конца июля до конца августа. Характеризуется началом захода лососевых в нерестовые реки, которые составляют основу рациона питания бурого медведя. В этот период также отмечено обильное поедание им ягод черники овальнолистной. В начале сезона животные некоторое время находятся вблизи приустьевой зоны, а по мере продвижения рыбы поднимаются выше по реке и распределяются по ее притокам. Площадь сезонного распределения локаций в этом периоде максимальна.



**Рис. 4.10.** Сезонное распределение локаций бурого медведя по территории заказника «Восточный»

Четвертый – осенний, длится с начала сентября и до середины октября. В этот сезон пищевой рацион медведя в значительной доле пополняется орехами кедрового стланика, ягодами рябины бузинолистной, брусники, боярышника, черники сахалинской и др. В данный период животные перемещаются на большие высоты, приуроченные к кедрово-стланиковым ценозам и притокам рек.

Пятый сезонный период – позднеосенний (вторая половина октября – ноябрь) характеризуется подготовкой бурого медведя к залеганию в берлогу. Пищевая активность в этот период заметно снижена. Животные не совершают значительных перемещений и приурочены к местам зимовок.

Анализ факторов проводится с учетом сезонности и на основе восьмиуровневой оценки выделенных критериев.

1. Питание – рыба, травянистая растительность, ягоды, орехи, выбросы моря (водоросли, морские млекопитающие, ракообразные, моллюски).

2. Растительные сообщества: темнохвойные леса; лиственничные леса; березовые формации; подгольцовая растительность и заросли кедрового стланика; разнотравно-кустарниковые сообщества; сообщества с преобладанием осины и ивы козьей; пойменные тополево-чозениво-ивовые леса.

3. Высоты над уровнем моря: 0–100 м; 100–200; 200–300; 300–400; 400–500; 500–700; 700–900; 900 и более м.

4. Крутизна склона: 0–15; 15–25; 35–45; 45–55; 55–65; 65–75; 75–84.

5. Экспозиция склона: север; северо-восток; восток; юго-восток; юг; юго-запад; запад; северо-запад.

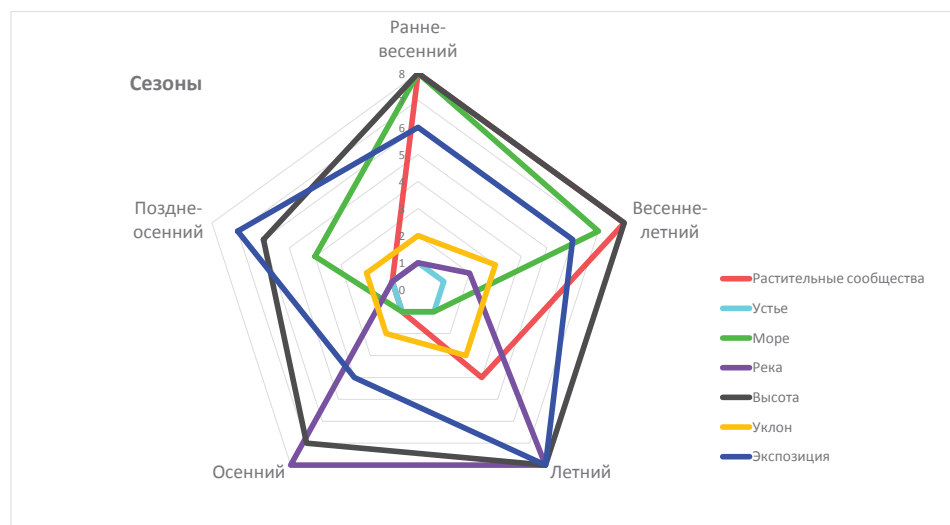
6. Удаленность от реки: 0–100 м; 100–200; 200–400; 400–500; 500–700; 700–800; 800–1000; 1000–1500 м.

7. Удаленность от устья реки: 0–100 м; 100–200; 200–400; 400–500; 500–700; 700–800; 800–100; 1000 и более м.

8. Удаленность от морского побережья: 0–100 м; 100–200; 200–400; 400–500; 500–700; 700–800; 800–1000; 1000 и более м.

Все анализируемые показатели и расчеты объединены и представлены в табличном виде, что определяет удобство анализа и оценки данных.

Унифицированное представление сезонных и пространственных различий в обитании бурого медведя отражено в виде результирующей модели-схемы (лепестковой диаграммы) (рис. 4.11). В данном случае лепестковая диаграмма отражает приоритетность каждого фактора в определенный сезонный период и его функциональную значимость. Так, например, река (близость от основных русел) в летний и осенний периоды является источником добываемой рыбы (основной наживочный корм), где пространственное размещение животных отмечается преимущественно вблизи нерестовых русел рек. В весенне-летний период для медведей определенное значение составляют пойменные участки и надпойменные террасы. Эти зоны имеют благоприятные условия для раннего развития травянистой растительности, как ее надземной части, так и подземной в виде луковиц и



**Рис. 4.11.** Результирующая модель-схема, представляющая сезонные и пространственные различия в обитании бурого медведя

корневищ, которые медведь охотно поедает в малокормный период. Эти условия определяются избыточным увлажнением пойменных участков (амплитуда колебаний температуры здесь меньше, чем на более сухих участках, что препятствует промерзанию почвы).

На диаграмме рельеф территории (главным образом высота) занимает большую площадь и является наиболее приоритетным фактором во всех сезонах, высотная дифференциация обуславливает распределение характерных условий местности.

В результате анализа факторов отмечено, что диапазон используемых высот для наблюдаемых особей составляет от 0 до 800 м. При этом наибольшая частота встречаемости животных отмечается на высотах от 0 до 100 м. В зависимости от сезонности бурый медведь встречается на всех уровнях уклона и экспозиции склона. Так, например, в весенне-летний период преобладает восточное направление, а в осенний – юго-западное.

В весенний и весенне-летний периоды морское побережье имеет для медведей важное значение, являясь источником пищи, где скапливаются различные биологические выбросы моря, а приустьевые части рек заполняются лососевыми видами рыб в начале их хода [Воронов, 1972; Костин, Еремин, 2004]. По мере подъема рыбы выше по течению реки выходы медведей на побережье становятся кратковременными или вообще отсутствуют.

С началом хода лососевых и до окончания их нереста медведь потребляет рыбу совместно с растительными ресурсами, поэтому в этот период животные часто выходят к реке. Близость их перемещений (относительно рек или крупных притоков) в среднем составляет от 0 до 100 м. Однако в ранневесенний (выход из берлоги) и позднеосенний (залегание в берлогу) периоды удаленность от реки у исследуемых медведей превышала 1000 м.

### 4.3. Обобщенное представление результатов моделирования пространственно-временного распределения животных в пределах его ареала

Оценка пространственно-временного распределения локаций бурого медведя, основанная на анализе факторов среды и критериев сезонных мест обитания животных, является основой для последующего моделирования нахождения и поведения животного (табл. 4.1). В качестве примера в работе рассматриваются пространственные предпочтения сезонной миграции животных в весенне-летний период.

Таблица 4.1

#### Факторы и критерии оценки пространственно-временного распределения локаций бурого медведя по территории заказника «Восточный» в весенне-летний период

|         | Критерии |              |                            |      |         |       |                  |                   |           |
|---------|----------|--------------|----------------------------|------|---------|-------|------------------|-------------------|-----------|
| Питание |          | Выбросы моря | Травянистая растительность | Рыба | Черника | Ягоды | Кедровый стланик | Наземные животные | Насекомые |
|         | Ранги    | 3            | 5                          | 2    | 0       | 1     | 2                | 1                 | 1         |

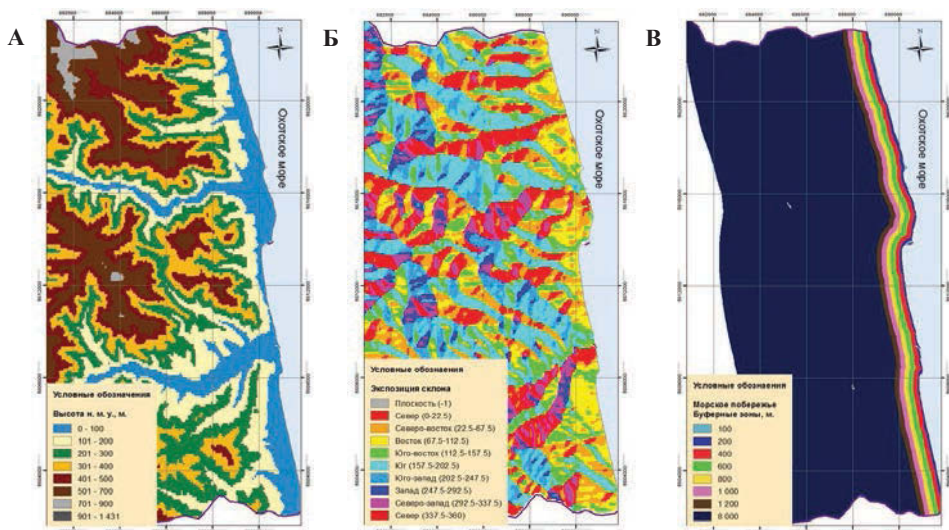
Продолжение таблицы 4.1

| Растительные сообщества           | Типы    | Прибрежные сообщества | Пойменные леса | Разнотравно-кустарниковые сообщества | Сообщества с преобладанием осины и ивы козьей | Темнохвойные леса | Листолюбивые леса | Березовые формации | Подгольц. раст-ть и заросли кедрового стланика |
|-----------------------------------|---------|-----------------------|----------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------------------------------------------|
|                                   | Ранги   | 5                     | 1              | 3                                    | 1                                             | 2                 | 2                 | 1                  | 2                                              |
|                                   | Вес, %  | 13                    |                |                                      |                                               |                   |                   |                    |                                                |
| Высота                            | Типы, м | 0–100                 | 100–200        | 200–300                              | 300–400                                       | 400–500           | 500–700           | 700–900            | > 700                                          |
|                                   | Ранги   | 5                     | 1              | 1                                    | 1                                             | 1                 | 1                 | 1                  | 1                                              |
|                                   | Вес, %  | 9                     |                |                                      |                                               |                   |                   |                    |                                                |
| Уклон                             | Типы, м | 0–15                  | 15–25          | 25–35                                | 35–45                                         | 45–55             | 55–65             | 65–75              | 75–84                                          |
|                                   | Ранги   | 1                     | 1              | 1                                    | 1                                             | 3                 | 5                 | 5                  | 1                                              |
|                                   | Вес, %  | 16                    |                |                                      |                                               |                   |                   |                    |                                                |
| Экспозиция                        | Типы, м | сев.                  | сев.-вост.     | вост.                                | юго-вост.                                     | юг                | юго-зап.          | зап.               | сев.-зап.                                      |
|                                   | Ранги   | 3                     | 2              | 5                                    | 3                                             | 1                 | 1                 | 1                  | 1                                              |
|                                   | Вес, %  | 14                    |                |                                      |                                               |                   |                   |                    |                                                |
| Удаленность от реки               | Типы, м | 0–100                 | 100–200        | 200–400                              | 400–600                                       | 600–800           | 800–1000          | 1000–1200          | > 1200                                         |
|                                   | Ранги   | 3                     | 3              | 3                                    | 3                                             | 2                 | 3                 | 3                  | 5                                              |
|                                   | Вес, %  | 22                    |                |                                      |                                               |                   |                   |                    |                                                |
| Удаленность от устья реки         | Типы, м | 0–100                 | 100–200        | 200–400                              | 400–600                                       | 600–800           | 800–1000          | 1000–1200          | > 1200                                         |
|                                   | Ранги   | 2                     | 3              | 4                                    | 4                                             | 2                 | 3                 | 3                  | 5                                              |
|                                   | Вес, %  | 13                    |                |                                      |                                               |                   |                   |                    |                                                |
| Удаленность от морского побережья | Типы, м | 0–100                 | 100–200        | 200–400                              | 400–600                                       | 600–800           | 800–1000          | 1000–1200          | > 1200                                         |
|                                   | Ранги   | 5                     | 5              | 2                                    | 1                                             | 1                 | 1                 | 1                  | 1                                              |
|                                   | Вес, %  | 13                    |                |                                      |                                               |                   |                   |                    |                                                |

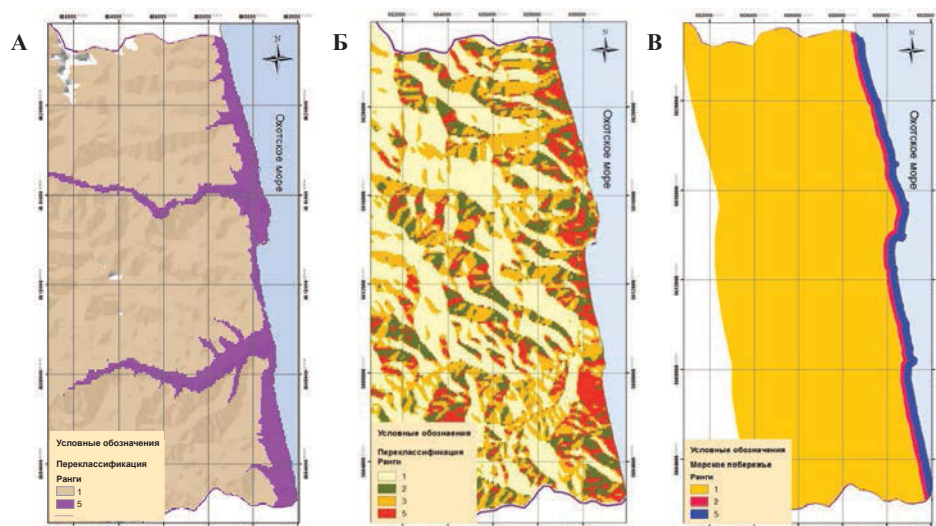
В ходе обработки данных в программном комплексе ArcGIS были созданы промежуточные карты-схемы наиболее вероятных областей распространения *Ursus arctos* в разные сезонные периоды и отражен вклад каждого анализируемого фактора. Таким образом, подготовлено семь цифровых слоев, отражающих абиотические и биотические факторы, влияющие на распространение особей по территории, на основе чего построены и проанализированы 40 карт-схем. Все слои классифицированы на восемь диапазонов значений для удобства работы с картографическим материалом (рис. 4.12, 4.13).

Согласно распределению локаций бурого медведя по высоте, 95 % точек сконцентрировано в диапазоне от 0 до 100 м. Поэтому данному типу был присвоен самый высший ранг (5). Все остальные высоты посещаются реже и относятся к низшему рангу (1) (рис. 4.13 А).

Анализ слоя экспозиции позволяет заключить, что большинство точек сконцентрировано на склонах восточных направлений – юго-восточном, северо-восточном и восточном (преимущественно). Карта-схема оптимальности условий представлена рангами 5, 3, 2, 1. Это связано с тем, что



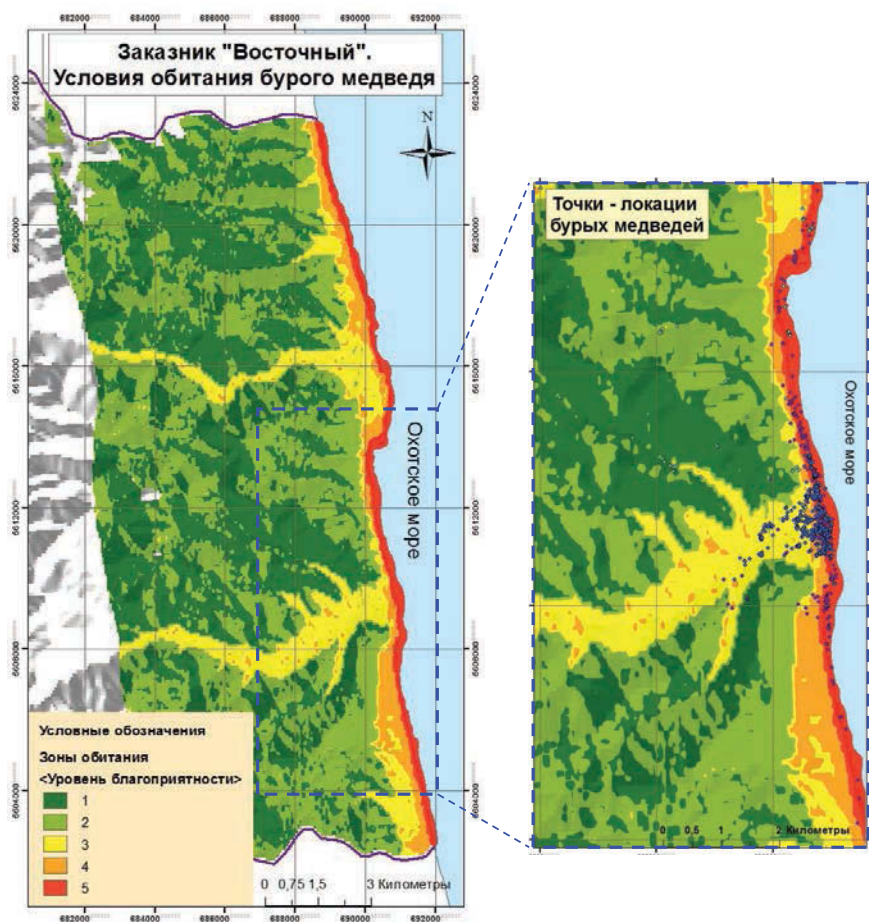
**Рис. 4.12.** Исходные цифровые слои: А – высота, м; Б – экспозиция; В – удаленность от морского побережья, м



**Рис. 4.13.** Результаты переклассификации цифровых слоев: А – высоты, м; Б – экспозиции; В – удаленности от морского побережья, м (5 – высший ранг, 1 – низший ранг)

животные ориентированы по направлению к морскому побережью как к источнику биологических ресурсов (выбросов), а также к территории, где интенсивнее сходит снег и появляется первая растительность (корм для медведя в ранний период его жизненного цикла).

Удаленность от морского побережья представлена в виде буферных зон (рис. 4.13 В). Так как животные сконцентрированы в пределах прибрежной полосы и морских террас, то основной диапазон их перемещения составляет от 0 до 200 м, с удалением – до 400 м.



**Рис. 4.14.** Модель мест обитания бурого медведя в весенне-летний период

На основе геоинформационного обобщения представленных цифровых данных получено модельное представление мест обитания бурого медведя в весенне-летний период. Для тестирования добавлены точки – локации бурых медведей, концентрация которых отмечается в зонах с наивысшими значениями рангов 4, 5, что подтверждает корректность полученных результатов и, следовательно, правильность выбора методов анализа и моделирования (рис. 4.14).

Таким образом, в весенне-летний период продолжительностью около двух месяцев бурый медведь преимущественно обитает вблизи морского побережья, морских террас с частыми выходами к поймам рек и надпойменным террасам. В пространственном масштабе площадь, активно используемая животными в данный период (с рангами 4, 5), составляет порядка 14 % от всей исследуемой площади.

## Заключение к главе 4

Предложенная методика представляет собой современный автоматизированный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, анализ и фор-

мализацию данных в визуализированном представлении в виде тематических карт, математических и картографических моделей мест обитания животных. Геоинформационная система может быть дополнена геоданными различного характера и решать поставленные задачи. Технологическая реализация ГИС позволяет регистрировать пространственно-временные изменения распределения животных в зависимости от изменяющихся условий среды; прогнозировать их концентрацию на отдельных территориях; оценивать риски, связанные с конфликтными ситуациями между человеком и животными, а также формулировать рекомендации для обеспечения безопасности как при осуществлении рекреационной, туристической деятельности, так и при определении пространственно-временного регламента проведения производственных работ и их администрировании с учетом сезонных локаций животных на отдельных территориях.

Данная методика прошла верификацию и подтверждается достоверными результатами многолетних исследований, которые указывают на повторяемость и цикличность отдельных процессов жизнеобитания животных во все временные периоды их активного существования с точной привязкой к местности. Результаты исследования могут быть транспонированы и на других представителей териофауны, а также крупных животных морских экосистем.

## Литература к главе 4

1. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 280 с.
2. Воронов, В. Г. Бурый медведь островов Сахалинской области / В. Г. Воронов // Экология, морфология, охрана и использование медведей. – М. : Наука, 1972. – С. 22–24.
3. Денисова, Я. В. Биоразнообразие Сахалинской области : учебное пособие / Я. В. Денисова, И. В. Еременко, Я. П. Белянина [и др.]. – Южно-Сахалинск : изд-во СахГУ, 2012. – 400 с.
4. Доклады об экологической ситуации и об охране окружающей среды Сахалинской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mpr.sakhalin.gov.ru/about/doklady-ob-ehkologicheskoi-situacii-i-ob-okhrane-okruzhajushchei-sredy-sakhalinskoi-oblasti/>
5. Еременко, И. В. Эколого-фаунистические комплексы природного заказника «Восточный» / И. В. Еременко, Р. Н. Сабиров // Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: VI Сахалинская молодеж. науч. школа, г. Южно-Сахалинск, Россия, 3–8 октября 2016 г. : сборник материалов. – Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 2016. – С. 375–379.
6. Кокорина, И. П. Применение геоинформационных методов в зоогеографическом картографировании / И. П. Кокорина // Гео-Сибирь, 2010. – Т. 1. – № 2. – С. 151–154.
7. Коросов, А. В. Специальные методы биометрии : учебное пособие / А. В. Коросов. – Петрозаводск : изд-во ПетрГУ, 2007. – 363 с.
8. Костин, А. А. Бурый медведь Сахалинской области / А. А. Костин, Ю. П. Еремин // Охота и охотничье хозяйство. – 2004. – № 7. – С. 18–20.
9. Мелкий, В. А. Экологический мониторинг и мероприятия по снижению уровня возможного негативного воздействия трубопроводов (проект «Сахалин 2») на окружающую среду острова Сахалин / В. А. Мелкий,

А. А. Верхотуров, Д. В. Долгополов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка, 2015. – № 4. – С. 101–108.

10. Методики описания биоразнообразия заказника «Восточный» по материалам экспедиционных данных 2007 года. Труды международного форума по проблемам науки, техники и образования / под ред.: В. А. Малинникова, В. В. Вишневого. – Т. 3. – М. : Академия наук о Земле, 2008. – С. 85–86.

11. Мониторинг охотничьих ресурсов и среды их обитания в Сахалинской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://les.sakhalin.gov.ru/dejatelnost/okhotniche-khozjaistvo/monitoring-okhotnichikh-resursov-i-sredy-ikh-obitanija/>

12. Мухтарова, А. М. Картографирование ареалов модельных видов животного населения Республики Дагестан / А. М. Мухтарова, В. В. Братков, Н. М. Биктимирова [и др.] // Юг России: экология, развитие, 2018. – № 13(4). – С. 68–85. – [Doi.org/10.18470/1992-1098-2018-4-68-85](https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-4-68-85).

13. Никулина, И. В. Влияние геоэкологической обстановки на состояние популяции бурого медведя и обеспечение безопасности работ на территории / И. В. Никулина // Нефтегазовый комплекс: проблемы и решения : материалы первой национал. науч.-практ. конф. – Южно-Сахалинск : СахГУ, 2018. – 87 с.

14. Никулина, И. В. Применение цифровых технологий для изучения пространственно-временного распределения бурого медведя (*Ursus arctos* Linnaeus, 1758) на острове Сахалин / И. В. Никулина, И. Г. Минервин // Материалы докладов XVII Межд. науч.-практ. конф. «Фундаментальные и прикладные науки сегодня». 10–11 декабря 2018 г. – North Chalston. – Raleigh : Lulu Press, 2018. – Т. 2. – С. 45–49.

15. Никулина, И. В. Геоинформационное биогеографическое картографирование состояния островных экосистем по данным дистанционного зондирования Земли / И. В. Никулина, И. Г. Минервин, В. А. Мелкий, А. В. Радченко // Вестник СГУГиТ, 2020. – Т. 25. – № 1. – С. 194–210.

16. Пачковский, Д. Теория ландшафтных видов в практике сохранения бурого медведя Камчатки / Д. А. Пачковский, И. В. Середкин // Всероссийская конференция «Сибирская зоологическая конференция» (Новосибирск, 15–22 сентября 2004 г.) : тезисы докладов. – Новосибирск, 2004. – С. 166.

17. Сабилов, Р. Н. Сахалинский природный заказник «Восточный»: леса и флороченотическое разнообразие / Р. Н. Сабилов, Н. Д. Сабирова // Вестник Сахалинского музея. – 2004. – № 11. – С. 398–413.

18. Середкин, И. В. Изучение бурого медведя на Сахалине / И. В. Середкин, Д. В. Лисицин, М. Ю. Борисов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т. 14. – № 1 (8). – С. 1925–1928.

19. Тварковский, Л. С. Охрана живых морских ресурсов российского Дальнего Востока (вторая половина XIX–XX в.) / Л. С. Тварковский, И. Г. Минервин. – Нижний-Новгород : изд-во Волго-Вятской акад. госслужбы ; М. : изд-во МНЭПУ, 2002. – 154 с.

20. Хлебникова, Т. А. Экспериментальные исследования современных программных продуктов для моделирования геопространства / Т. А. Хлебникова, О. А. Оприлова // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. – 2017. – Т. 22. – № 1. – С. 119–131.

21. Цифровая модель рельефа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>

22. Bombieri, G. Brown bear attacks on humans: a worldwide perspective /

G. Bombieri, J. Naves, V. Penteriani et al. // Scientific Reports, 2019. – 9: 8573. – DOI:10.1038/s41598-019-44341-w.

23. Clevenger, A. P. Movement and activity patterns of a European brown bear in the Cantabrian Mountains, Spain / A. P. Clevenger, F. J. Purroy, M. R. Pelton // The Eighth Int. Conf. on Bear Research and Management «Bears – Their Biology and Management». – Victoria: Int. Assoc. Bear Res. Manage., 1990. – Vol. 8. – P. 205–211. – Doi: 10.2307/3872920.

24. Mano, T. Home range and habitat use of brown bears in the southwestern Oshima Peninsula, Hokkaido / T. Mano // The Ninth Int. Conf. «Bear Research and Management» Missoula Int. Assoc. Bear Res. Manage., 1994. – Vol. 9. – P. 319–325. – Doi: 10.2307/3872717.

25. Martin J. Brown bear habitat suitability in the Pyrenees: Transferability across sites and linking scales to make the most of scarce data / J. Martin, E. Revilla, P-Y. Quenette et. al. // Journal of Applied Ecology, 2012. – Vol. 9(3). – P. 621–631. – DOI:10.2307/23259059.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ



Результаты интенсивного развития и распространения информационных технологий, в последнее время определяемые как процессы цифровизации, явились основой возникновения тенденций к значительным изменениям в экономике страны. При этом важно понимать, что процессы цифровой трансформации требуют соответствующей реакции для создания среды, способствующей развитию стратегически значимых отраслей.

Отечественные и зарубежные исследования нацелены на выявление эффектов цифровизации в различных сферах общества, секторах экономики, в условиях новых технологических вызовов. Для России цифровизация важна не только по геополитическим причинам, но и в связи с широкими возможностями повышения производительности труда, переходом от модели сырьевого экспортера к модели инновационного развития. Воплощение цифровых технологий в жизнь – одна из характерных особенностей будущего мира. Это обусловлено прогрессом в областях микроэлектроники и телекоммуникаций, IT-технологий. Движение по пути цифровизации является сегодня одним из ключевых приоритетов развития нашего государства. Важно отметить, что вследствие развития и распространения информационных технологий в рамках процессов цифровизации экономики открываются новые возможности обмена информацией между отдельными логистическими, вспомогательными системами и их элементами, что в конечном итоге приводит к формированию внушительных массивов данных.

В представленном исследовании авторы сделали попытку обобщения накопленного опыта в научно-исследовательской лаборатории дистанционного зондирования Земли (ЮСНИС) Сахалинского государственного университета и Российской академии наук по применению цифровых технологий на практике в разнонаправленных естественно-научных исследованиях на переходном этапе к работе с большими данными.

Но даже эти исследования с применением цифровых технологий поднимают большой пласт возможной реализации и применения этих технологий, ориентированных на решение конкретных задач экономического развития Сахалинской области, вопросов экологии, безопасности жизнедеятельности и др. Так, например, планируемое кратное увеличение грузопотока по Северному морскому пути потребует обеспечения ледовой информацией судоводителей, перевозящих грузы по Дальневосточному транспортному коридору, который является продолжением Северного морского пути в дальневосточных морях с сезонным ледяным покровом и является самым коротким путем из Европы в Азию. В его развитии как международного транспортного пути крайне заинтересованы Китай, Япония, Корея, которые готовы значительную часть своих грузов отправлять в Европу по этому пути и принять инвестиционное участие в его развитии.

Представленные в работе технические и методические разработки сотрудниками лаборатории являются научно-техническим и методическим вкладом, готовым для интеграции в глобальную информационную систему, переходящую к работе с большими данными.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

### ИНСТРУКЦИЯ ПО РАБОТЕ С ПК «ЛЕД»

#### *Системные требования*

Для использования модулей ПК «ЛЕД» необходима электронно-вычислительная машина, удовлетворяющая минимальным системным требованиям, а именно:

- операционная система: Windows XP, Windows 7, Windows 8, Windows 10;
- оперативная память: 2 GB;
- процессор: с тактовой частотой 1 ГГц;
- свободное место на жестком диске: 3 MB и дополнительное место для карт-схем JMA и отчетов Microsoft Office Excel;
- программное обеспечение.

#### *Запуск программы*

Для работы модулей ПК «ЛЕД» необходимо скопировать директории с модулями программы на любое запоминающее устройство. Программа не требует установки. Для запуска и дальнейшей работы используются EXE-файлы, расположенные в директориях соответствующих модулей, или их ярлыки:

- RegionMap.exe – модуль RegionMap;
- IceMapNew.exe – новый модуль IceMap для произвольных схем районирования;
- IceMap.exe – старый модуль IceMap для фиксированной схемы районирования.

#### *Модуль RegionMap*

Модуль расположен в отдельной директории и содержит следующие файлы:

- RegionMap.cfg, RegionMap.ini – файлы настроек;
- RegionMap.exe – пусковой файл модуля;
- Книга4.txt – файл координат береговой линии;
- Кригинг512x512.txt, Кригинг640x448.txt – файлы соответствия точек для проведения интерполяции (соответственно для архивных карт JMA и для оперативных карт JMA).

Для отображения карты используется кнопка «Карта» в левой верхней части окна программы (рис. П1.1). Данные координат береговой линии считываются из файла «Книга 4.txt» в корневой директории модуля. После загрузки карты в рабочее поле программы будет отображена карта с географической координатной сеткой, береговой линией и границами акваторий. При наведении курсора мыши на карту в левой части окна программы отображаются географические (в градусах) и декартовы координаты (в пикселях) текущей точки (рис. П1.1).



**Рис. П1.1**  
*Отображение операции*

В правой части окна расположены панели инструментов для работы с картой и регионами.

Панель «Назначение маски» позволяет перед созданием маски выбрать ее назначение (рис. П1.2):

- «Карта районирования» – будет создана маска, содержащая конфигурацию районов для расчета характеристик площади и объема льда;

- «Карта толщины льда» – будет создана маска, содержащая конфигурацию зон разной толщины льда.

Панель «Формат карт» позволяет задать формат выходной маски (рис. П1.3):

- «Архивные 512 x 512» – формат для работы с архивными картами JMA разрешения 512 x 512 пикселей;

- «Оперативные 640 x 448» – формат для работы с оперативными картами JMA разрешения 640 x 448 пикселей.

Панель «Способ привязки» позволяет выбрать необходимый метод привязки к карте точек границ выделяемых регионов (рис. П1.4):

- «к берегу» – привязка к ближайшей точке береговой линии;

- «к меридианам» – привязка к ближайшему меридиану;

- «к параллелям» – привязка к ближайшей параллели;

- «к нарисованным линиям» – привязка к уже нарисованным линиям границ регионов;

- остальные пункты представляют комбинации вышеперечисленных методов в соответствии с их названиями;

- «Начать новую линию» – позволяет выделить новую линию на карте, последовательно отмечая необходимые точки нажатием левой кнопки мыши (ЛКМ).

Для завершения построения линии используется двойной щелчок ЛКМ.

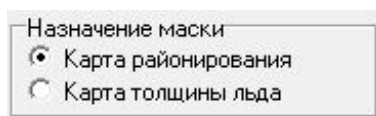
Панель «Линии» позволяет использовать инструменты редактирования регионов, их сохранения и загрузки (рис. П1.5).

Панель содержит следующие инструменты:

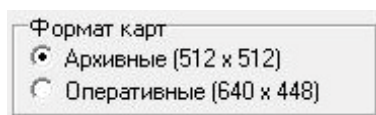
- «Убрать последний узел» – позволяет удалить последний из отмеченных узлов линии;

- «Убрать линию» – позволяет убрать завершенную линию нажатием ЛКМ;

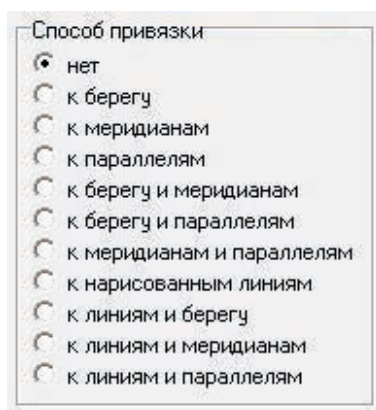
- «Закраска района» (CL) – позволяет с помощью нажатия ЛКМ выде-



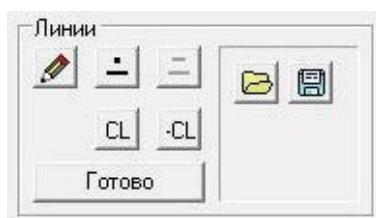
**Рис. П1.2. Отображение операции**



**Рис. П1.3. Отображение операции**



**Рис. П1.4. Отображение операции**



**Рис. П1.5. Отображение операции**



**Рис. П1.6.** Диалоговое окно для выбранного региона



**Рис. П1.7.** Диалоговое окно ввода толщины льда

лить регион, ограниченный нарисованными линиями и береговой линией.

После нажатия ЛКМ будет выведено диалоговое окно для ввода имени выбранного региона (рис. П1.6) и в случае работы с масками толщины льда – окно ввода толщины льда (в см) в выделенном регионе (рис. П1.7). После ввода и нажатия кнопки «ОК» в соответствующих диалоговых окнах регион будет отмечен на карте случайно сгенерированным цветом;

- кнопка «Готово» – позволяет завершить процесс создания регионов и начать обработку карты. После завершения обработки будет выведено диалоговое окно сохранения файлов маски. Перед нажатием кнопки «Готово» необходимо задать назначение маски и формат карт в панелях с соответствующими названиями;

- «Загрузить конфигурацию линий» – позволяет загрузить конфигурацию линий границ регионов из ранее созданного TXT-файла с помощью диалогового окна;

- «Сохранить конфигурацию линий» – позволяет сохранить конфигурацию нарисованных линий границ регионов в TXT-файл с помощью диалогового окна. Инструменты сохранения и загрузки конфигураций линий необходимо применять до начала создания регионов (при использовании инструмента «Закраска района»).

#### **Выходные данные модуля RegionMap**

Выходными данными модуля RegionMap являются изображения в формате BMP, представляющие цветовую маску, и конфигурационные TXT-файлы. Пример маски для архивных карт-схем JMA представлен на рисунке П1.8.

Каждой цветовой маске соответствует конфигурационный файл с идентичным именем, которое было задано на завершающем этапе создания маски.



**Рис. П1.8.** Пример маски для архивных карт-схем JMA

Конфигурационный файл имеет следующий вид:

- первая строка содержит количество регионов, отраженных на цветовой маске;

- вторая и последующая строки включают данные о регионах, размещенные в нескольких столбцах. Если конфигурационный файл соответствует маске районирования, данные представляют два столбца:

- столбец с кодировкой цвета, соответствующего региону;
- название региона, заданное пользователем.

Если конфигурационный файл соответствует маске толщины льда, данные представляют три столбца:

- столбец с кодировкой цвета, соответствующего региону;
- толщина льда, заданная пользователем в сантиметрах;
- название региона, заданное пользователем.

Последняя строка содержит отметку о назначении маски:

- «RegionMask» – для маски районирования;
- «IceThicknessMask» – для маски толщины льда.

### **Модуль IceMap**

Модуль расположен в отдельной директории и содержит следующие файлы:

- ✓ IceMap.cfg, IceMap.ini, IceMapNew – файлы настроек;
- ✓ IceMap.exe – пусковой файл старого модуля IceMap для фиксированной схемы районирования;
- ✓ IceMapNew.exe – пусковой файл нового модуля IceMap для произвольных схем районирования;
- ✓ RKE.txt, ПовторY.txt – файлы, содержащие данные для корректировки расчета площадей льда.

Для запуска модуля IceMap рекомендуется использовать файл IceMapNew.exe в корневой директории модуля. IceMapNew.exe позволяет работать с произвольными схемами районирования и производить вычисление как площади, так и объема льда.

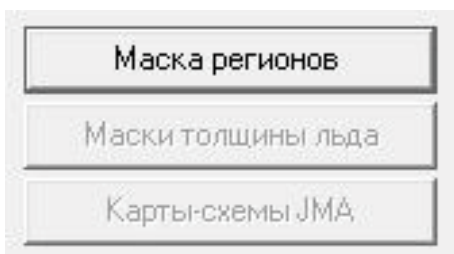
Модуль IceMap.exe позволяет использовать только фиксированную схему районирования Охотского и Японского морей и не содержит функций по вычислению объема льда.

Перед началом обработки необходимо подготовить:

- исходные карты-схемы JMA в формате BMP, находящиеся в открытом доступе на сайте [www.data.jma.go.jp](http://www.data.jma.go.jp);
- маску районирования;
- маски толщины льда (если планируется расчет объемов льда).

Для начала обработки карт-схем JMA необходимо сначала задать маску районирования, созданную ранее в модуле RegionMap (см. пункт 3) или с помощью графических и текстовых редакторов. Маска обязательно должна включать файл изображения цветовой маски формата BMP и конфигурационный файл с идентичным именем формата TXT. Формат маски районирования (512 x 512 пикселей для архивных карт-схем или 640 x 448 пикселей для оперативных карт-схем) должен соответствовать файлам карт-схем JMA. Для выбора файла маски нужно нажать кнопку «Маска регионов» и указать нужный файл с помощью открывшегося диалогового окна (рис. П1.9).

Если расчеты объемов льда не требуются, данный абзац может быть пропущен. После выбора файла маски можно при необходимости выбрать файлы масок толщины льда, созданные ранее в модуле или с помощью графических и текстовых редакторов. Названия файлов масок, их количе-



**Рис. П1.9.** Отображение операции

ство и формат (512 x 512 пикселей или 640 x 448 пикселей) должны соответствовать файлам карт-схем JMA. Кроме того, маски толщины льда должны быть расположены в отдельной директории, из которой будут считаны программой. Для выбора файлов масок толщины льда используется кнопка «Маски толщины льда», выбор осуществляется через диалоговое окно.

После выбора маски регионов и при необходимости задания масок толщины льда необходимо выбрать обрабатываемые карты-схемы JMA сплоченности ледяного покрова, расположенные в отдельной директории. Для выбора используется кнопка «Карты-схемы JMA» и диалоговое окно выбора файлов. После выбора карт-схем все обнаруженные карты-схемы будут обработаны.

#### **Выходные данные модуля IceMap**

| Объёмы льда |       |                                    |                  |
|-------------|-------|------------------------------------|------------------|
|             |       | <b>Ледовый сезон 2015-2016 гг.</b> |                  |
|             |       | Охотское море                      | Татарский пролив |
| 15.12       | 13.1  | 1.2                                |                  |
| 15.01       | 97.6  |                                    |                  |
| 15.02       | 191.4 | 4.6                                |                  |
| 15.03       | 421.4 | 7.0                                |                  |
| 15.04       | 242.3 |                                    |                  |
| 15.05       | 73.2  |                                    |                  |

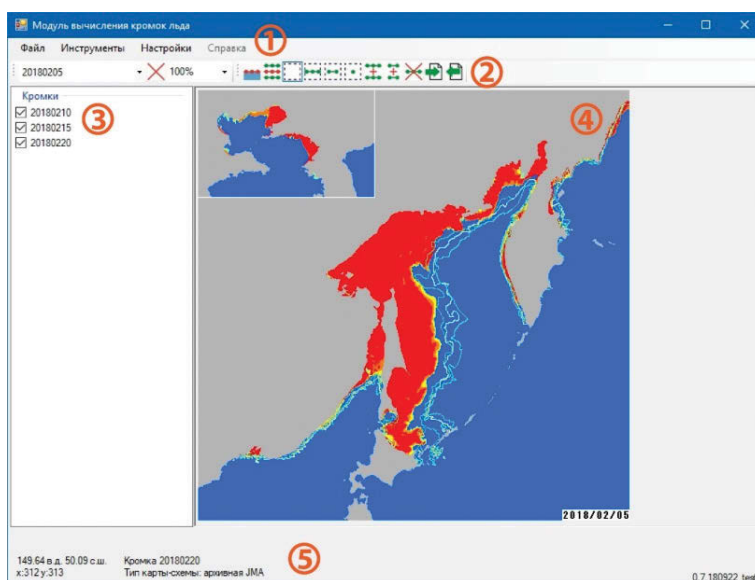
**Рис. П1.10.** Пример результирующего файла в ходе обработки данных в модуле IceMap

Результаты обработки данных в модуле IceMap записываются в файлы Microsoft Office Excel формата XLS, пример результирующего файла изображен на рисунке П1.10. Для работы с выходными данными можно использовать любую версию MS Office Excel начиная с 2003. Данные о площадях льда разной сплоченности и их объемах

в исследуемых регионах располагаются на разных листах Excel-книги.

## ИНСТРУКЦИЯ ПО РАБОТЕ С АЛГОРИТМОМ ДЕЙСТВИЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ КРОМОК ЛЬДА

Интерфейс программного модуля вычисления местоположения кромок льда включает горизонтальное меню, панель инструментов, панель объектов, рабочую область, информационную область.



**Рис. П2.1.** Интерфейс программного модуля вычисления местоположения кромок льда и его основные элементы

Горизонтальное меню (1 на рис. П2.1) включает несколько пунктов и подпунктов, которые позволяют осуществлять базовые операции над файлами карт-схем, управлять отображением групп инструментов (пункт «Инструменты»), переходить в дополнительные окна настроек (пункт «Настройки») и справочных материалов (пункт «Справка»).

Для импорта новых карт-схем сплоченности ледяного покрова в программу используется подпункт горизонтального меню «Файл» – «Импорт карты». После осуществления функции выбора открывается диалоговое меню выбора файлов карт-схем JMA.

Панель инструментов (2 на рис. П2.1) содержит две группы инструментов – «Компоновка» и «Кромки». Для выбора инструментов используется левая кнопка мыши.

Группа «Компоновка» включает инструменты для управления отображением карт-схем:

- инструмент «Выбор карты» для выбора карты-схемы по имени в виде выпадающего списка;
- инструмент «Удаление карты» для удаления карты-схемы из списка загруженных в программу;
- «Масштаб карты» – инструмент управления масштабом отображаемой карты-схемы (указывается в процентах от размера файла карты-схемы).

Вычисление местоположения кромки ледяного покрова по картам-схемам JMA.

Группа «Кромки» позволяет переключаться между основными инструментами для работы с кромками ледяного покрова:

- «Вычисление кромки» для расчета местоположения кромки льда по текущей карт-схеме ледяного покрова. После выбора данного инструмента во всплывшем окне необходимо задать имя для новой кромки льда;

- «Вычисление средней кромки» для расчета средней кромки между двумя датами. Перед использованием этого инструмента предварительно должны быть выбраны две кромки в области объектов (3 на рис. П2.1) программного модуля;

- несколько инструментов для выделения элементов кромок – «Прямоугольное выделение элементов кромки», «Выделение кромки», «Выделение участка кромки», «Выделение точки кромки», которые позволяют отметить произвольные элементы кромок для произведения над ними дальнейших действий;

- «Преобразовать выделение в новую кромку» – используется для создания новой кромки из выделенных элементов других кромок, после выбора инструмента;

- «Преобразовать выделение в новый участок кромки» – позволяет объединить выделенные элементы в единый участок и добавить через выпадающий список диалогового окна к любой уже существующей кромке;

- «Удаление выделенных элементов кромки» – удаляет все элементы кромок, находящиеся в выделенном состоянии;

- «Экспорт кромок» – инструмент для сохранения географических координат выбранных в области объектов кромок в текстовом формате или формате шейп-файла через соответствующее диалоговое окно сохранения файлов;

- «Импорт кромки» – инструмент для загрузки в программу сохраненных файлов кромки через соответствующее диалоговое окно.

Панель объектов (3 на рис. П2.1) включает список всех текущих загруженных в программу объектов кромок льда. С помощью флажков, расположенных слева от имени кромки, можно регулировать их отображение поверх текущей карты-схемы. С помощью нажатия правой кнопкой мыши (ПКМ) по объекту кромки открывается контекстное меню со списком доступных операций, применимых к выбранной кромке (часть из них доступна в группе инструментов «Кромки»):

- экспорт в файл;
- выделение;
- переименование;
- настройка внешнего вида (цвет);
- удаление.

В рабочей области (4 на рис. П2.1) отображается текущая карта-схема и визуализируются все элементы кромок, отображение которых включено на панели объектов. Рабочая область позволяет просматривать карту-схему и линии кромок в необходимом масштабе, а также использовать инструменты для выделения кромок (группа «Кромки» на панели инструментов) нажатием левой кнопки мыши (ЛКМ) на необходимый элемент кромки. С помощью инструмента «Выделение точки кромки» и комбинации Shift + ЛКМ можно выделять часть участка кромки. Комбинация Ctrl + ЛКМ при использовании любых инструментов выделения кромки позволяет выделить несколько произвольных элементов кромок.

Информационная область (5 на рис. П2.1) содержит следующие данные:

- географические и декартовы координаты точки, на которую наведен курсор мыши;

- тип текущей карты-схемы;

- имя кромки льда, на которую наведен курсор мыши;

- текущая версия программного модуля.

В результате обработки ледовых карт-схем координаты точек кромок льда импортируются из программного модуля в текстовый файл (.txt) или векторный шейп-файл (.shp).

В текстовом файле первая строка включает заголовки столбцов, а последующие содержат информацию о каждой точке кромки: порядковый номер точки; координаты широты и долготы; число, указывающее на порядковый номер участка кромки, к которому относится данная точка. Столбцы отделяются друг от друга разделителями-табуляциями.

Шейп-файл – это простой нетопологический формат для хранения геометрического местоположения и атрибутивной информации географических объектов. Географические объекты кромок льда в шейп-файле с линейной геометрией представляются линиями.

Результирующие файлы совместимы с ГИС-приложениями (например, ArcGIS, QGIS и др.) и могут быть использованы в них для дальнейшего анализа, обработки и визуализации.

## ИНСТРУКЦИЯ ПО РАБОТЕ С ПРОГРАММНЫМИ АЛГОРИТМАМИ ОБРАБОТКИ ЛЕДОВЫХ И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Для работы с программными алгоритмами необходимо установленное на компьютере приложение Microsoft Office Excel 2003-2016. Программные алгоритмы представляют собой макросы, разработанные на языке VBA в среде разработки Excel VBA. ExcelVBA (Visual Basic for Applications) – это диалект языка программирования Visual Basic, расширяющий возможности Visual Basic и предназначенный для работы с приложениями Microsoft Office и другими программами. Выбор Excel VBA был обусловлен его широкими возможностями работы с файлами разных форматов, создаваемыми в приложении Microsoft Office Excel. Кроме того, данная среда по умолчанию встроена в приложения Excel.

### **Алгоритм действия для типизации зим по суровости ледовых условий**

Макрос представляет собой стандартный Excel-файл с поддержкой макросов формата XLSM, содержащий код VBA-макроса и лист с интерфейсом для ввода входных данных, а также прилагающийся к нему файл шаблона диаграмм расширения CRTX, который расположен в той же директории. Файл шаблона необходим для построения диаграмм, размещаемых в формируемом из получаемых данных Excel-файле.

Входными данными для макроса являются годы и соответствующие им суммарные значения ледовитости как параметр классификации. Для расчета значений ледовитости применяется формула (ПЗ.1):

$$L_j = \sum_{i=1}^{P_j} L_{ij}, \quad (\text{ПЗ.1})$$

где  $L_j$  – суммарная ледовитость  $j$ -го года,  $L_{ij}$  – ледовитость  $i$ -й декады  $j$ -го года,  $P_j$  – количество декад в  $j$ -м году [Петров и др., 1998].

Перед выполнением макроса значения соответствующего года и ледовитости заносятся соответственно в столбцы А и В, как видно из рисунка ПЗ.1. Пропуски в столбцах (пустые ячейки) годов и ледовитости недопустимы для проведения корректных расчетов.

Ячейки С2-Г2 (рис. ПЗ.1) позволяют настроить цветовую схему, используемую при формировании нового Excel-файла с данными о типизации. Для этого следует выбрать из доступных в палитре Excel цветов цвет заливки ячеек, относящихся к соответствующим типам зим, указанным в ячейках С1-Г1. Указанные цвета (или цвета по умолчанию) будут использованы при построении результирующих таблиц и диаграмм.

|   | А    | В           | С  | Д | Е | Ф | Г  | Н            |
|---|------|-------------|----|---|---|---|----|--------------|
| 1 | Годы | Ледовитость | ЭМ | М | У | С | ЭС | кол-во типов |
| 2 |      |             |    |   |   |   |    | 3 типа       |
| 3 |      |             |    |   |   |   |    |              |
| 4 |      |             |    |   |   |   |    |              |
| 5 |      |             |    |   |   |   |    |              |

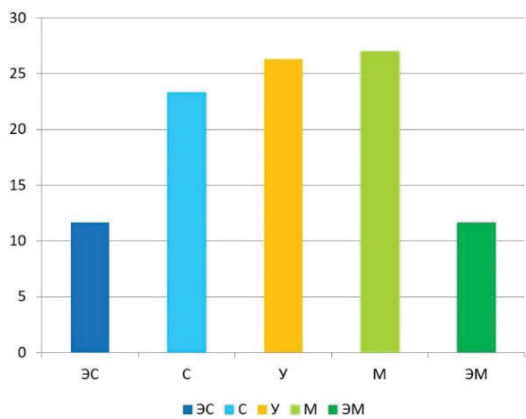
Создать новый документ

Ячейка Н2 (рис. ПЗ.1) представляет собой выпадающий список, позволяющий выбрать необходимый вид ранжирования зим исследуемого периода по суровости ледовых условий. В зависимости от выбора

**Рис. ПЗ.1.** Рабочий лист Excel макроса типизации зим

|             |      |      |                   |      |
|-------------|------|------|-------------------|------|
| Среднее     | 50.5 | 63.1 | $\leq \text{ЭС}$  |      |
| Max         | 74.9 | 54.7 | $\leq \text{С} <$ | 63.1 |
| Min         | 26.5 | 46.3 | $< \text{У} <$    | 54.7 |
| s (ст.откл. | 10.5 | 37.8 | $< \text{М} \leq$ | 46.3 |
| 0.8s        | 8.4  |      | $\text{ЭМ} \leq$  | 37.8 |
|             |      |      |                   |      |
| 1882-2018   |      | %    |                   |      |
| ЭС          | 16   | ЭС   | 11.67883          |      |
| С           | 32   | С    | 23.35766          |      |
| У           | 36   | У    | 26.27737          |      |
| М           | 37   | М    | 27.0073           |      |
| ЭМ          | 16   | ЭМ   | 11.67883          |      |

**Рис. ПЗ.2.** Таблицы промежуточных значений (сверху) и таблицы количественного и процентного соотношений зим разных типов (снизу) в результирующем Excel-файле



**Рис. ПЗ.3.** Столбчатая диаграмма процентного соотношения зим разных типов в результирующем Excel-файле

емыми формулами ранжирования зим по суровости ледовых условий. Полученные промежуточные значения заносятся в таблицы созданной книги, на их основе проводятся расчеты количественного и процентного соотношений зим разных типов, на листе книги Excel формируются таблицы (рис. ПЗ.2), строится диаграмма процентных соотношений (рис. ПЗ.3).

После этих расчетов все значения суммарной ледовитости за каждый год поочередно сравниваются с полученными значениями границ интервалов для определения типа зимы, на листе книги Excel формируется таблица типизации, изображенная на рисунке ПЗ.4.

На основе данных таблицы типизации с помощью шаблона строится столбчатая диаграмма типизации, отражающая значения суммарной ледовитости в процентах от площади исследуемой акватории и тип зимы за

схемы ранжирования зимы подразделяются на типы, каждому из которых соответствует интервал значений ледовитости, значения на границах которого вычисляются с помощью одного из четырех способов ранжирования зим с применением соответствующих формул для вычисления границ интервалов типов зим.

После заполнения всех вышеуказанных ячеек и нажатия на кнопку «Создать новый документ» начинается выполнение макроса типизации зим. Все введенные значения считываются, автоматически создается новая книга Excel, происходит расчет с помощью формул и функций Excel промежуточных данных – среднего, минимального и максимального значений суммарной ледовитости за весь период и значений ледовитости на границах данных интервалов для каждого типа зимы. Так же вычисляются амплитуды, длины (d) интервалов типов зим в соответствии с используемыми

| Годы | Умеренная | Экстремально суровая | Суровая | Мягкая | Экстремально мягкая |
|------|-----------|----------------------|---------|--------|---------------------|
| 1882 |           |                      |         | 41.6   |                     |
| 1883 |           |                      | 56.1    |        |                     |
| 1884 |           |                      | 60.3    |        |                     |
| 1885 |           | 63.4                 |         |        |                     |
| 1886 |           |                      |         | 45.7   |                     |
| 1887 | 47.8      |                      |         |        |                     |
| 1888 |           |                      |         | 43.7   |                     |
| 1889 | 52.0      |                      |         |        |                     |
| 1890 |           | 69.7                 |         |        |                     |
| 1891 | 52.0      |                      |         |        |                     |
| 1892 |           |                      | 57.2    |        |                     |
| 1893 |           |                      |         | 43.7   |                     |
| 1894 |           |                      |         | 41.6   |                     |
| 1895 | 49.9      |                      |         |        |                     |

**Рис. ПЗ.4.** Область таблицы типизации зим Охотского моря за период 1882–2018 гг. по суровости ледовых условий на пять типов с помощью формул А. И. Бровина и В. А. Спичкина

каждый год для всего исследуемого ряда ледовитости.

После окончания расчетов и формирования Excel-файла существует возможность его сохранения в любой директории.

Полученные с помощью обработки макросом типизации зим данные в виде таблиц и диаграмм используются для дальнейшего анализа ледовитости исследуемого периода, сравнения разных зим периода и всего ряда

ледовитости с другими рядами аналогичных временных масштабов.

**Алгоритм действия выборки гидрометеорологических параметров температуры воздуха и расчета СГДМ, СГДТ, средних, сумм с месячной, пентадной, сезонной дискретностью**

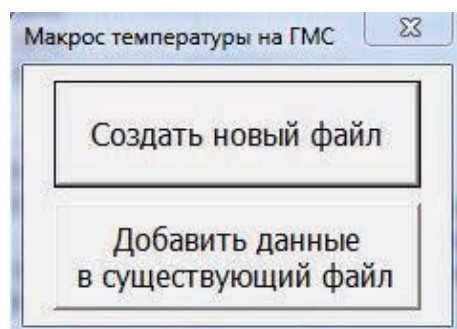
Макрос расчета СГДМ и СГДТ по данным ГМС представлен XLSM-файлом, содержащим VBA-код макроса, лист с интерфейсом, изображенном слева на рисунке ПЗ.5, а также дополнительное окно, выводимое на экран в процессе работы макроса и изображенное на рисунке ПЗ.5 справа.

Ячейки В1-В2 позволяют настроить цветовую схему для заливки ячеек результирующего Excel-файла, содержащего значения СГДМ и СГДТ. Ячейка В3 представляет собой выпадающий список, с помощью которого задается формат используемых входных данных. Входными данными для макроса являются файлы выборки из архива сайтов [rp5.ru](http://rp5.ru) и [aisori.meteo.ru](http://aisori.meteo.ru).

Флажки «Расчет месячных СГДМ / СГДТ» и «Расчет пентадных СГДМ / СГДТ» позволяют выбрать необходимые расчеты, которые должны быть произведены макросом.

Файлы, загружаемые с [rp5.ru](http://rp5.ru), имеют формат Excel-файла XLS, помещенного в GZ-архив. Для обработки файла макросом температур воздуха на ГМС загруженный GZ-архив должен быть предварительно распакован.

|    | А                                                                | В             |
|----|------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1  | Тепло                                                            |               |
| 2  | Холод                                                            |               |
| 3  | Формат входных данных                                            | rp5.ru (.xls) |
| 4  | <input checked="" type="checkbox"/> Расчёт месячных СГДМ / СГДТ  |               |
| 5  | <input checked="" type="checkbox"/> Расчёт пентадных СГДМ / СГДТ |               |
| 6  |                                                                  |               |
| 7  |                                                                  |               |
| 8  | Посчитать                                                        |               |
| 9  |                                                                  |               |
| 10 |                                                                  |               |



**Рис. ПЗ.5.** Интерфейс макроса температур воздуха на ГМС

Файлы с данными включают гидрометеорологическую информацию, содержащуюся в отдельных строках для каждого наблюдения, которых за сутки может быть проведено несколько. В ячейках столбца А содержатся дата и время проведения наблюдений, в столбцах В-АВ – гидрометеорологическая информация (rp5.ru).

Файлы, загружаемые с [aisori.meteo.ru](http://aisori.meteo.ru), представляют собой текстовые TXT или DAT-файлы с данными в виде таблиц, которые содержат строки, соответствующие отдельным наблюдениям. Каждая строка включает следующие данные: индекс WMO, год, месяц, день проведения наблюдения, признаки качества измерения температур, минимальную температуру воздуха, среднюю температуру воздуха, максимальную температуру воздуха за сутки, суточное количество осадков, дополнительную характеристику ([aisori.meteo.ru](http://aisori.meteo.ru)).

Для начала обработки следует нажать на кнопку «Посчитать» и выбрать из отфильтрованных по заданному ранее в ячейке В3 формату файлов соответствующий XLS, DAT или TXT-файл с метеорологическими данными, после чего будет выведено диалоговое окно с двумя вариантами выбора (рис. П3.5, справа), позволяющее выбрать место для сохранения данных – поместить их в новый файл или добавить в уже существующий файл с данными о температуре воздуха для выбранной ГМС. После этого начинается запуск макроса.

В первую очередь открывается исходный файл, из него считываются данные о датах и времени проведенных на ГМС наблюдений и соответствующие им значения температуры, из которых выбираются минимальные и максимальные температуры воздуха и рассчитываются средние. После этого начинается формирование результирующего XLS-файла либо открытие уже существующего для пополнения актуальной информацией. Происходит проверка наличия в книге листа с данными за прошлый год для корректного расчета СГДМ, строятся таблицы минимальных, максимальных и средних (рис. П3.6) значений температур воздуха с числами месяца в заголовках строк и месяцами в заголовках столбцов.

При включенном флажке «Расчет месячных СГДМ / СГДТ» (рис. П3.5) происходит расчет среднемесячных значений температур воздуха, которые помещаются в ячейки В99–М99, и среднегодовой температуры воздуха (ячейка Р99). После этого рассчитываются и отмечаются соответствующими цветами дни перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С путем перебора значений температуры воздуха.

| В | С | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р | С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ | Э | Ю | Я | В | Г | Д | Е | Ж | З | И | Й | К | Л | М |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|

Если среди дней холодного сезона находится день  $m$  со значением среднесуточной температуры  $T_m$  положительного знака или равной  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и для которого сумма значений всех среднесуточных температур воздуха, начиная с этого дня, положительна, то есть  $\sum_{i=m}^n T_i > 0$ , то этот день является днем перехода на положительную температуру.

Если среди дней теплого сезона находится день  $m$  со значением среднесуточной температуры  $T_m$  отрицательного знака или равной  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и для которого сумма значений всех среднесуточных температур воздуха, начиная с этого дня, отрицательна, то есть  $\sum_{i=m}^n T_i < 0$ , то этот день является днем перехода на положительную температуру.

Установленные дни перехода среднесуточной температуры воздуха через  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  отмечаются в таблице Excel заливкой цвета, соответствующего холодному либо теплomu сезону.

Затем производятся расчеты сумм градусов мороза и тепла за каждый месяц (ячейки B100–M100 и B101–M101) и весь год (ячейки P100–P101).

При включенном флажке «Расчет пентадных СГДМ / СГДТ» (рис. ПЗ.5) производятся расчеты средних температур за каждую пентаду (ячейки P67–AB73) и расчеты сумм градусов мороза и тепла за каждую пентаду (ячейки B100–M100 и P75–AB81).

Пример всех расчетных данных и таблицы для ГМС «Александровск-Сахалинский» на листе результирующего Excel-файла представлен на рисунке ПЗ.6.

### **Алгоритм действия определения значимости тренда**

Макрос представлен XLSM-файлом, содержащим VBA-код макроса и лист с таблицей критических значений корреляции Пирсона. Входными данными для макроса являются значения суммарной площади ледяного покрова (столбец В), соответствующие им номера годов (столбец А), а также верхняя и нижняя границы периодов (соответственно столбцы F и G), для которых необходимо установить значимость линейного тренда. Данные заносятся на новый лист Excel-файла в таблицу, изображенную на рисунке ПЗ.7. При заполнении столбцов с исходными данными для их корректной обработки не допускаются пропуски в рядах. Допускается случай заполнения нескольких листов в книге Excel, при котором макросом будут рассчитаны значимости трендов для всех корректно заполненных листов.

После заполнения указанных столбцов пользователь запускает макрос значимости тренда из списка макросов книги Excel, происходит считывание исходных данных и проверка их корректности. На основе значений ряда

|   | А    | В        | С     | Д        | Е | Г            | Н           | И          | Ж         |
|---|------|----------|-------|----------|---|--------------|-------------|------------|-----------|
| 1 | Годы | Значения | Номер | Тренд    |   | Год (начало) | Год (конец) | Коэф. кор. | Крит. зн. |
| 2 | 1979 | 60.5     | 1     | 49.04133 |   | 1982         | 1990        | 0.29       | 0,47      |
| 3 | 1980 | 60.2     | 2     | 48.61871 |   | 1983         | 1995        | 0.20       | 0,39      |
| 4 | 1981 | 44.1     | 3     | 48.19609 |   | 1979         | 2015        | 0.53       | 0,22      |
| 5 | 1982 | 49.4     | 4     | 47.77347 |   |              |             |            |           |
| 6 | 1983 | 48.6     | 5     | 47.35085 |   |              |             |            |           |

**Рис. ПЗ.7.** Область таблицы с исходными и выходными данными в результирующем Excel-файле макроса значимости тренда, выполненного для значений площади ледового покрова Охотского моря за период с 1979 по 2015 г.

ледовитости производится расчет соответствующих им значений линейного тренда (столбец D), определяемых с помощью стандартной функции Excel – ТЕНДЕНЦИЯ. Далее рассчитываются значения коэффициента корреляции  $r_{xy}$  (столбец H) между рядами площади ледового покрова и значений линейного тренда, соответствующие заданным пользователем периодам, при помощи функции КОРРЕЛ. Рассчитывается количество степеней свободы по формуле (ПЗ.2):

$$df = N - 2, \quad (\text{ПЗ.2})$$

где  $df$  – количество степеней свободы,  $N$  – размер выборки значений ледовитости и значений линейного тренда для каждого из периодов.

Из таблицы выбираются критические значения  $r_{\text{крит}}$  (столбец I), большие или равные рассчитанным коэффициентам корреляции. Установление значимости или незначимости линейного тренда происходит путем сравнения значений коэффициентов корреляции по абсолютной величине для каждого периода и их критических значений:

– если  $|r_{xy}| \geq r_{\text{крит}}$ , линейный тренд является значимым при уровне доверительной вероятности 95 %;

– если  $|r_{xy}| < r_{\text{крит}}$ , линейный тренд не является значимым при уровне доверительной вероятности 95 %.

Результаты сравнения заносятся в результирующую таблицу (столбец J).

#### **Алгоритм действия выборки значений ледовитости**

Макрос выборки значений ледовитости представлен XLSM-файлом, содержащим VBA-код. Входными данными для макроса являются один или несколько файлов для одного и того же района за разные годы.

После запуска макроса пользователю необходимо выбрать обрабатываемые Excel-файлы, находящиеся в одной директории. С каждого листа каждого выбранного файла считываются значения площади льда разной сплоченности и суммируются для каждой даты с помощью формулы (ПЗ.3):

$$S_{ij} = S_{ij(1-3)} + S_{ij(4-6)} + S_{ij(7-8)} + S_{ij(9-10)}, \quad (\text{ПЗ.3})$$

где  $S_{ij}$  – сумма площадей, занятых морским льдом для года  $i$ , даты  $j$ ,  $S_{ij(1-3)}$ ,  $S_{ij(4-6)}$ ,  $S_{ij(7-8)}$ ,  $S_{ij(9-10)}$  – площади, занятые морским льдом для года  $i$ , даты  $j$  и соответствующие сплоченности льда 1–3, 4–6, 7–8 или 9–10 баллов.

После завершения всех расчетов формируется результирующий Excel-файл с таблицей, показанной на рисунке ПЗ.8. Таблица содержит в заголовках строк даты ледового сезона, а в заголовках каждого столбца – номер года. В ячейки таблицы помещаются значения суммарной ледовитости.

#### **Алгоритм действия выборки СГДМ и СГДТ и макрос расчета аномалий**

Входными данными для макроса являются Excel-файлы с данными о температурах воздуха, формируемые при помощи выборки гидрометеорологических параметров макроса температур воздуха на ГМС, описанного выше.

Перед началом основных расчетов необходимо запустить из списка макросов модуль «Сумма\_градусодней» и в открывшемся диалоговом окне выбрать интересующий предварительно сформированный Excel-файл с данными о температурах воздуха на ГМС. С каждого листа этого файла считываются СГДТ и СГДМ и помещаются в таблицу на отдельный лист с названием ГМС в текущую Excel-книгу, как показано на рисунке ПЗ.9. Данная таблица содержит три столбца – год, сумма градусодней мороза и сумма.

|    | A     | B      | C      | D      | E      | F      | G      | H      | I      | J      | K      | L      | M      | N      | O      | P      | Q      |
|----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1  |       | 1979   | 1980   | 1981   | 1982   | 1983   | 1984   | 1985   | 1986   | 1987   | 1988   | 1989   | 1990   | 1991   | 1992   | 1993   | 1994   |
| 2  | 5.11  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 3  | 10.11 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 4  | 15.11 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 5  | 20.11 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 6  | 25.11 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 7  | 30.11 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 8  | 5.12  | 20.73  | 110.91 | 96.1   | 13.95  | 8.54   | 24.88  | 17.25  | 14.25  | 23.72  | 15.41  | 8.61   | 49.47  | 24.25  | 14.84  | 68.67  | 99.03  |
| 9  | 10.12 | 45.39  | 125.74 | 116.28 | 33.02  | 70.68  | 35.39  | 28.11  | 27.65  | 23.3   | 68.12  | 9.08   | 37.38  | 32.23  | 20.12  | 116.17 | 134.21 |
| 10 | 15.12 | 112.09 | 131.32 | 93.6   | 94.07  | 100.77 | 56.65  | 73.92  | 31.29  | 23.29  | 90.03  | 11.69  | 64.74  | 48.31  | 20.46  | 132.46 | 150.45 |
| 11 | 20.12 | 149.7  | 156.71 | 96.37  | 77.44  | 155.45 | 48.86  | 142.58 | 30.29  | 51.7   | 117.65 | 12.96  | 96.51  | 122.49 | 25.68  | 135.66 | 152.38 |
| 12 | 25.12 | 198    | 193.11 | 118.08 | 114.53 | 187.34 | 63.3   | 141.22 | 72.15  | 49.59  | 124.54 | 21.19  | 119.05 | 101.33 | 33.46  | 127.72 | 128.05 |
| 13 | 31.12 | 198    | 198    | 135.4  | 158.13 | 157.97 | 106.09 | 151.46 | 109.36 | 83.77  | 134.54 | 24.15  | 126.75 | 116.81 | 78.49  | 157.56 | 147.02 |
| 14 | 5.01  | 198    | 198    | 139.62 | 174.34 | 120.94 | 72.24  | 160.69 | 115.68 | 114.19 | 157.9  | 44.41  | 141.33 | 104.25 | 118.99 | 154.24 | 188.84 |
| 15 | 10.01 | 198    | 198    | 159.04 | 168.93 | 128.23 | 108.27 | 189.67 | 119.29 | 124.72 | 166.47 | 127.25 | 159.48 | 92.17  | 147.91 | 172.32 | 196.19 |
| 16 | 15.01 | 198    | 197.74 | 176.78 | 144.64 | 145.61 | 134.34 | 194.02 | 118.82 | 182.76 | 172.86 | 160.9  | 160.58 | 102.48 | 162.84 | 192.19 | 180.51 |
| 17 | 20.01 | 198    | 192.36 | 182.26 | 175.51 | 130.91 | 135.33 | 197.35 | 135.11 | 187.22 | 183.7  | 179.29 | 173.53 | 127.68 | 163.8  | 191.46 | 191.04 |
| 18 | 25.01 | 198    | 198    | 194.04 | 197.09 | 193.11 | 84.94  | 194.89 | 167.03 | 198    | 176.35 | 192.86 | 185.69 | 176.66 | 193.27 | 194.32 | 193.8  |
| 19 | 31.01 | 198    | 198    | 198    | 197.58 | 194.93 | 128.21 | 198    | 194.01 | 198    | 169.29 | 182.21 | 197.47 | 174.02 | 192.13 | 198    | 198    |
| 20 | 5.02  | 198    | 198    | 198    | 198    | 198    | 154.53 | 198    | 196.27 | 198    | 176.9  | 177.41 | 198    | 159.03 | 189.27 | 198    | 198    |
| 21 | 10.02 | 198    | 198    | 198    | 198    | 195.31 | 88.04  | 198    | 197.32 | 198    | 175.04 | 192.44 | 198    | 176.91 | 197.7  | 198    | 198    |
| 22 | 15.02 | 198    | 198    | 198    | 198    | 197.62 | 125.28 | 189.8  | 198    | 198    | 170.6  | 195.92 | 198    | 179.93 | 198    | 198    | 194.2  |
| 23 | 20.02 | 198    | 198    | 198    | 191.71 | 198    | 178.35 | 198    | 197.28 | 198    | 191.43 | 198    | 198    | 180.02 | 198    | 198    | 198    |
| 24 | 25.02 | 198    | 198    | 198    | 191.82 | 198    | 187.96 | 198    | 172.16 | 198    | 198    | 198    | 198    | 181.79 | 195.89 | 198    | 196.95 |
| 25 | 28.02 | 198    | 198    | 198    | 197.89 | 198    | 175.41 | 198    | 184.71 | 198    | 198    | 198    | 198    | 186.82 | 196.01 | 198    | 198    |

Рис. ПЗ.8. Область таблицы с выходными данными в результирующем Excel-файле макроса ледового сезона

|   | А    | В                        | С                       |
|---|------|--------------------------|-------------------------|
| 1 | Год  | Сумма градусодней мороза | Сумма градусодней тепла |
| 2 | 1927 | 0                        | 2899                    |
| 3 | 1928 | -1293                    | 2887                    |
| 4 | 1929 | -1437                    | 2774                    |
| 5 | 1930 | -1134                    | 2908                    |
| 6 | 1931 | -1354                    | 2543                    |
| 7 | 1932 | -1075                    | 2601                    |
| 8 | 1933 | -1357                    | 2909                    |
| 9 | 1934 | -1140                    | 2772                    |

**Рис. ПЗ.9.** Часть таблицы, сформированной модулем «Сумма\_градусодней» (СГД) Excel-файла с данными о температурах воздуха ГМС «Владивосток» градусодней тепла

**Рис. ПЗ.10.** Интерфейс формы DataForm для добавления, удаления и выбора шаблона периодов

После формирования таблицы исследуемых параметров необходимо запустить из списка макросов модуль «Аномалии». Открывшаяся форма (рис. ПЗ.10) позволяет создавать и сохранять (кнопка «Сохранить шаблон») шаблоны периодов для расчета температурных норм, указав в полях начала и конца периода соответствующие годы, удалять (кнопка «Удалить шаблон») созданные ранее шаблоны и выбирать период (из сохраненных шаблонов в выпадающем списке или заданный вручную) для проведения дальнейших расчетов и построения диаграмм. Для подтверждения выбора используется кнопка «ОК».

После выбора и подтверждения периода для вычисления нормы начинается основная часть расчетов. Создается новая Excel-книга с именем по умолчанию «Аномалии.xls». С помощью функций

MiddleColdTemp и MiddleWarmTemp вычисляются значения норм СГДТ и СГДМ соответственно по формулам (ПЗ.4) и (ПЗ.5):

$$N_{\text{СГДТ}} = \frac{\sum_{i=m}^n \text{СГДТ}_i}{n}, \quad (\text{ПЗ.4})$$

$$N_{\text{СГДМ}} = \frac{\sum_{i=m}^n \text{СГДМ}_i}{n}, \quad (\text{ПЗ.5})$$

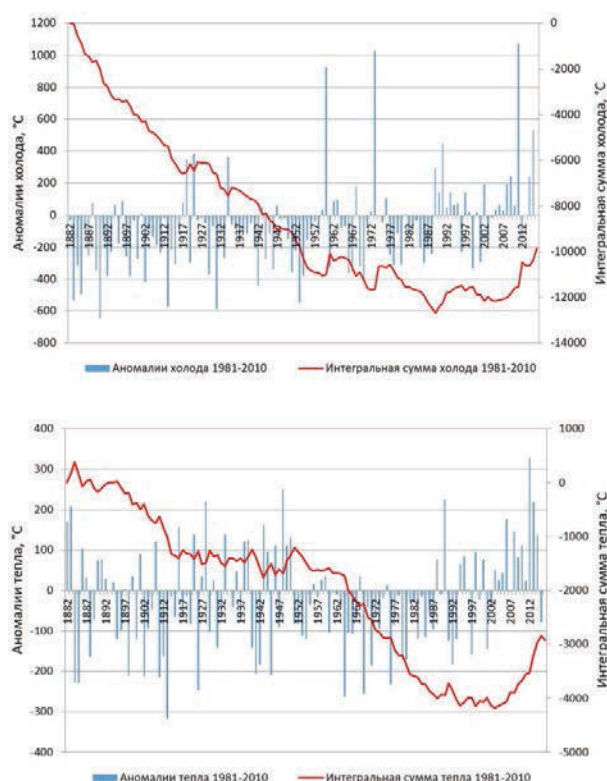
где  $N_{\text{СГДТ}}$  и  $N_{\text{СГДМ}}$  – нормы СГДТ и СГДМ,  $\text{СГДТ}_i$  и  $\text{СГДМ}_i$  – значения градусодней тепла и мороза за  $i$ -й год,  $n$  – количество лет в периоде для вычисления нормы,  $m$  – первый год данного периода.

После определения норм рассчитываются значения аномалий СГДТ и

СГДМ для каждого года по формулам (П3.6) и (П3.7) и с помощью функции ArSum() вычисляются арифметические суммы для аномалий СГДТ и СГДМ за каждый год.

$$A_{\text{СГДТ}_i} = \text{СГДТ}_i - N_{\text{СГДТ}}, \quad (\text{П3.6})$$

$$A_{\text{СГДМ}} = \text{СГДМ}_i - N_{\text{СГДМ}}, \quad (\text{П3.7})$$



**Рис. П3.11.** Столбчатая диаграмма ряда аномалий СГДМ (слева) и СГДТ (справа) и соответствующие графики интегральных кривых аномалий СГДМ (слева) и СГДТ (справа) периода 1882–2016 гг. относительно климатической нормы 1981–2010 гг. в результирующем Excel-файле макроса суммы градусодней, выполненного для данных ГМС «Александровск-Сахалинский»

1882–2016 гг. относительно климатической нормы 1981–2010 гг. показаны на рисунке П3.11.

где  $A_{\text{СГДТ}_i}$  и  $A_{\text{СГДМ}}$  – арифметические суммы СГДТ и СГДМ для  $i$ -го года.

Все полученные значения (аномалии мороза, аномалии тепла, арифметические суммы тепла и мороза) заносятся в созданную Excel-книгу в таблицу на лист с названием, идентичным названию ГМС, по данным которой проводились расчеты.

После построения таблицы на основе значений ее ячеек строятся столбчатая диаграмма аномалий СГДМ и график интегральной кривой аномалий СГДМ (по значениям интегральных сумм СГДМ) для соответствующего временного периода. Аналогичные диаграммы строятся для аномалий СГДТ и арифметических сумм СГДТ.

Пример столбчатой диаграммы аномалий СГДМ и СГДТ и графики интегральных кривых для данных ГМС «Александровск-Сахалинский» за период

## ИНСТРУКЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПРОГРАММЫ АТЛАС-2018

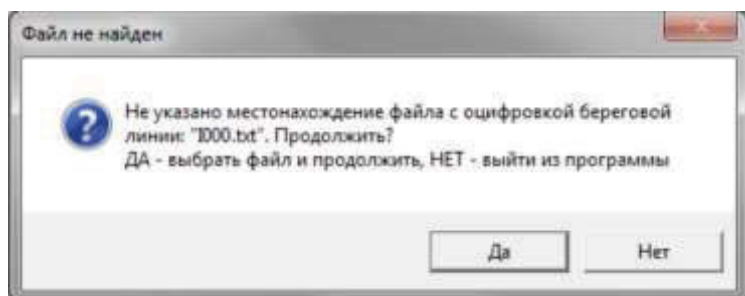
### Установка программы АТЛАС-2018

Перепишите каталог «АТЛАС-2018» с подкаталогами «Atlas\_Info», «Для расчета» и «Инструкция», а также файлами приложений **АТЛАС-2018.exe** на любой диск вашего компьютера. Запустите файл приложения **АТЛАС-2018.exe**. На появившейся титульной странице нажмите клавишу ОК (рис. П4.1).



**Рис. П4.1.** Титульная страница программы **АТЛАС-2018**

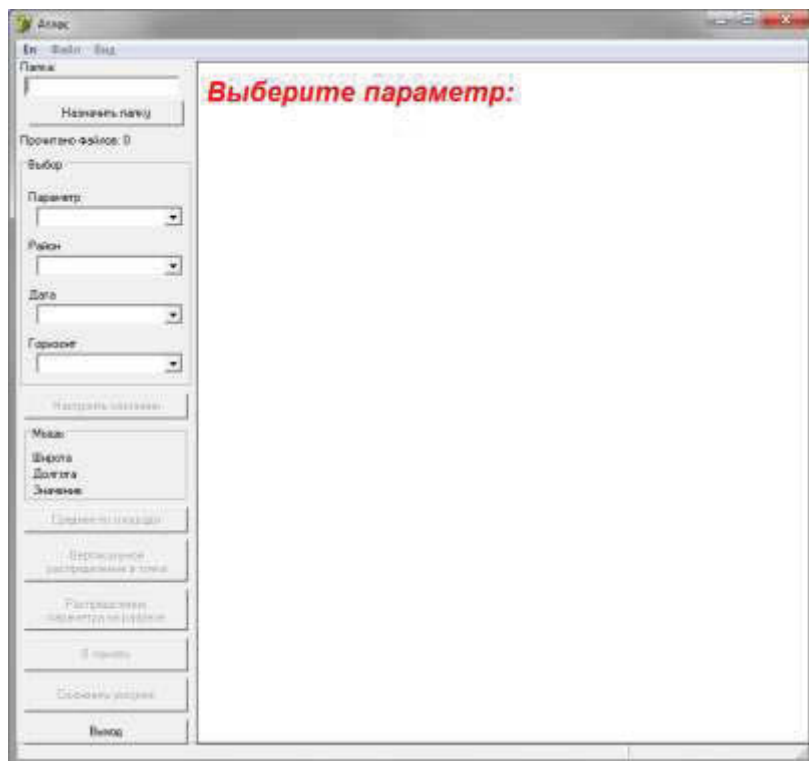
После этого появится заставка (рис. П4.2).



**Рис. П4.2.** Вид заставки при первой установке программы **АТЛАС-2018** на компьютере

В заставке нажмите клавишу «Да» и в поисковом окне откройте последовательно каталог **«АТЛАС-2018»**, затем подкаталог **«Atlas\_Info»**. На нижней строчке окна высветится имя искомого файла «I000.txt». Нажмите кнопку **«Открыть»**.

Появится новая заставка с новым названием файла. Повторяйте описанные выше операции четыре раза, пока не откроется новое основное окно (рис. П4.3):

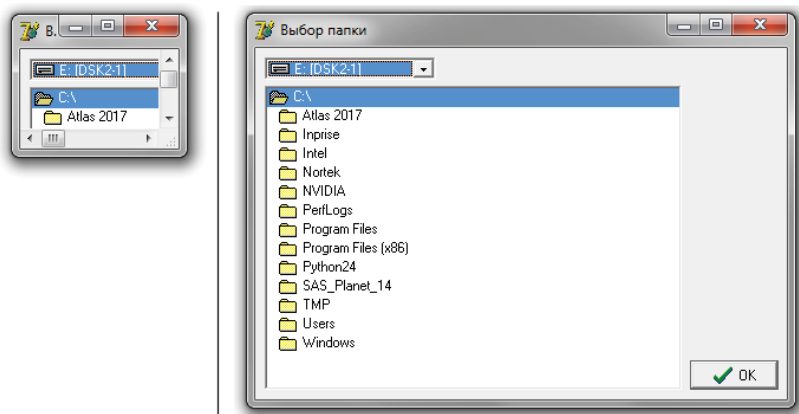


**Рис. П4.3.** Вид основного окна при первой установке программы **АТЛАС-2018** на компьютере для назначения папки с исходными данными

Нажмите кнопку **«Назначить папку»** (на рисунке выделено эллипсом). Высветится поисковое окно в свернутом виде (рис. П4.4, слева), которое надо растянуть за правый нижний угол до такого размера, пока вы не увидите кнопку **«ОК»** (рис. П4.4, справа). В верхней строке окна подтверждаем выбор диска, на котором находится программа, а в нижней части окна в основном каталоге **«АТЛАС-2018»** надо открыть подкаталог **«Для расчета»** и указать путь к подкаталогу **«Data\_files»** нажатием кнопки **«ОК»**. Затем следует выйти из программы, нажав кнопку **«Выход»** в нижнем левом углу рабочего окна. Программа закроется и сохранит все свои настройки в файле **АТЛАС-2018.ini**, который будет находиться в той же папке, где находится файл запуска приложения **АТЛАС-2018.exe**.

#### **Настройка рабочего окна**

Повторно запускаем файл приложения **АТЛАС-2018.exe**. На заставке нажимаем кнопку **«ОК»**. На экране появится окно, показанное на рисунке П4.5. Пока у вас не выбраны все значения – *параметр–район–дата–го-*

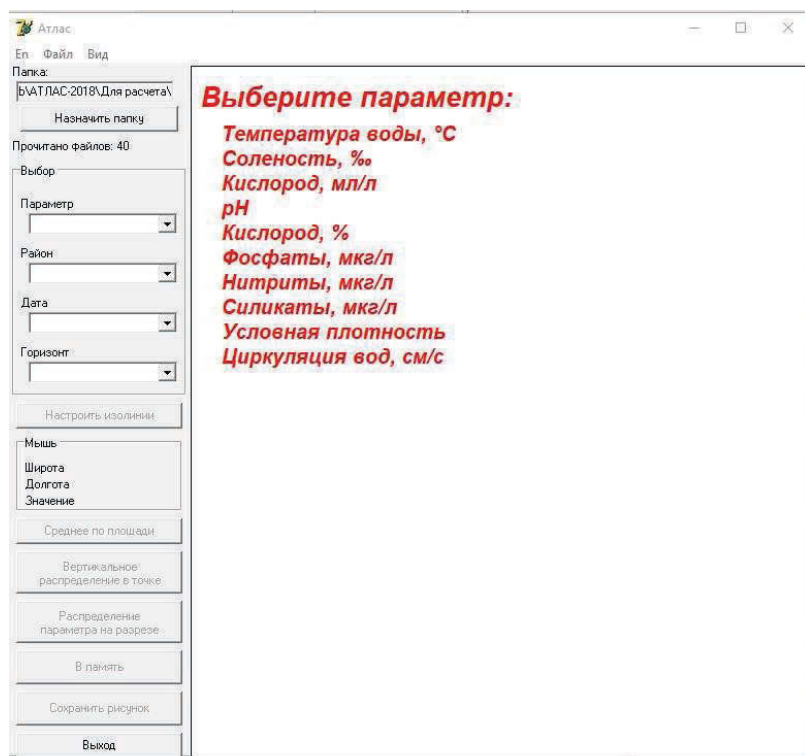


**Рис. П4.4.** Вид заставки для назначения папки с исходными данными при первой установке программы **АТЛАС-2018**

ризонт – большая часть кнопок на левой панели будет не активна.

Если вы перенесли выполняемый файл на другой компьютер или просто в другую папку, то ранее сформированный файл с расширением .ini не будет соответствовать новому расположению программы. Поэтому файл с расширением .ini следует удалить, а процедуру установки повторить заново.

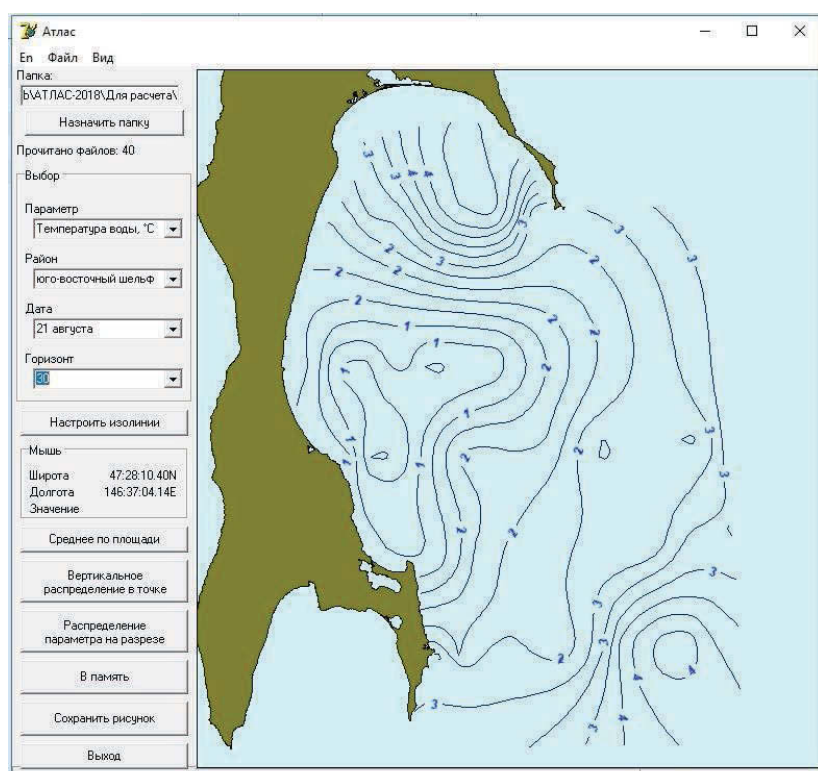
Сначала настройте размер окна. Предпочтительно сдвинуть окно, насколько это возможно, вверх и, потянув за правый нижний угол, максимально растянуть по вертикали. Вытягивать окно по ширине экрана не рекомендуется, поскольку большая часть монитора будет пустой. Соотно-



**Рис. П4.5.** Вид рабочего окна программы на втором этапе запуска

шение сторон, как показано на рисунке П4.5, близко к оптимальному.

В графическом окне справа программа показывает названия и размерность параметров, которые находятся в подкаталоге **«Для расчета»**. В ниспадающем меню кнопки **«Параметр»** выбираем нужный. В графическом окне справа появляется перечень районов. В ниспадающем меню кнопки **«Район»** выбираем интересующую акваторию. Аналогичным образом выбираем дату и горизонт. Выбирать их следует именно в таком порядке, как они здесь перечислены, поскольку каждый выбор определяет набор функций для графического представления определенных параметров. После выбора всех параметров программа отобразит данные в графическом виде (рис. П4.6). Изменять параметры активной кнопки, которая выделена синим цветом, можно колесиком мыши.



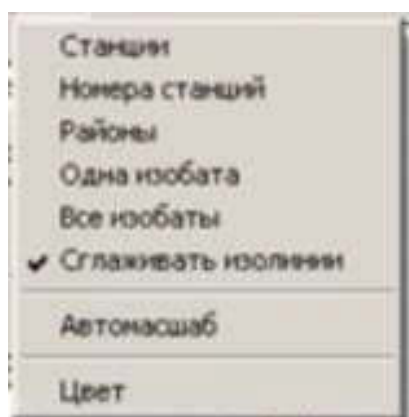
**Рис. П4.6.** Пример графического представления параметра «температура воды» в районе юго-восточного шельфа на 21 августа на горизонте 30 м

Следует заметить, что в процессе работы программа запоминает все сделанные настройки, поэтому при последующих запусках она будет стартовать с нужным языком интерфейса, размерами окна, установленными цветами изолиний, и т. д.

#### **Настройка главного меню**

Первая функция в главном меню – **«Еп»** служит для переключения между русским и английским языками интерфейса. С помощью второй функции **«Файл»** можно изменить путь к папке с данными и осуществить штатный выход из программы.

Если активировать любую строчку ниспадающего меню функции **«Вид»**

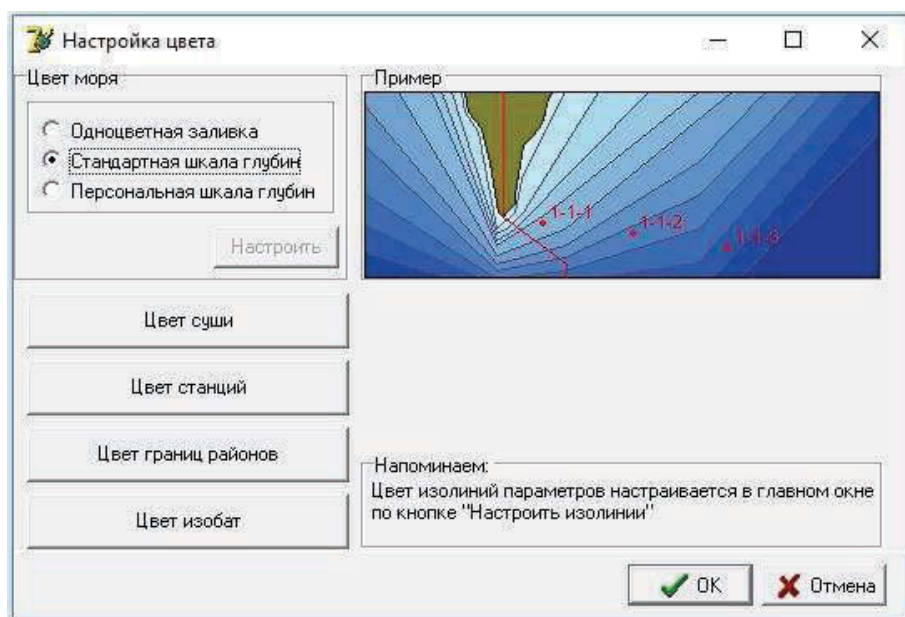


**Рис. П4.7.** Пример ниспадающего меню функции «Вид»

(слева от надписи будет появляться или исчезать, если она там была, галочка, рис. П4.7), то можно выбрать и нанести на карту дополнительные элементы:

- стандартные «Станции», на которых производились наблюдения и по которым выполнялись расчеты средних значений параметров на стандартных океанологических горизонтах;
- «Номера станций», под которыми они находятся в базе данных (см. рис. 3.1) (примечание: надписи номеров станций включаются только при активном режиме опции «Станции». Другими словами, сначала надо включить отображение станций, а уже потом их номера);
- выделить на карте границы районов («Районы»), в которых выполнялась интерполяция;
- выделить на картах зону мелководья до глубины 10 м («Одна изобата»);
- выделить и подписать на карте «Все изобаты» до горизонта 500 м;
- установить режим «Сглаживать изолинии»;
- установить режим «Автомасштаб», то есть восстановить масштаб после детального просмотра участка акватории;
- установить «Цвет» элементов подводного рельефа карты (рис. П4.8).

В окне «Настройка цвета» справа помещено небольшое графическое окно, в котором в режиме реального времени видны вносимые изменения. Слева сверху представлены варианты настройки цвета изобат. Выделена та



**Рис. П4.8.** Настройка цвета элементов рельефа карты из главного меню

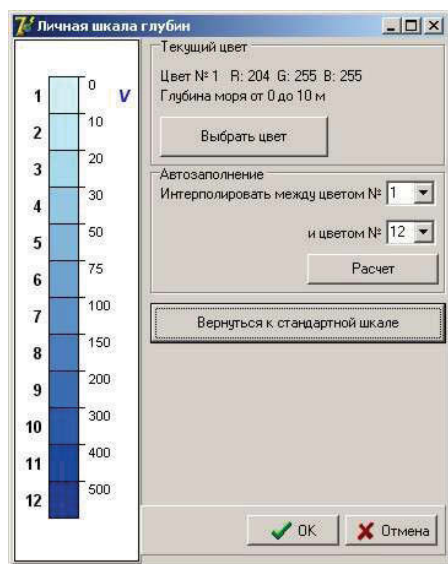
строчка, которая в данный момент активна. Вносить изменения в стандартную шкалу глубин нельзя, поэтому кнопка «*Настроить*» в данном случае не активна.

При активации строки «*Одноцветная заливка*» (цвет моря) картинка справа изменится, а кнопка «*Настроить*» станет активной. С помощью данной опции можно закрасить всю акваторию одним выбранным цветом.

При активации строки «*Стандартная шкала глубин*» цвета раскраски различных горизонтов будут такие, как показано на рисунке П4.8 (картинка справа).

При выборе строки «*Персональная шкала глубин*» и активации кнопки «*Настроить*» откроется дополнительное окно (рис. П4.9). В левом графическом окне будут отображены цвета стандартного набора. Слева от шкалы подписаны номера цветов с 1-го по 12-й (по количеству стандартных горизонтов), справа – соответствующие им глубины. Если щелкнуть мышкой прямо по одному из цветов, то справа от шкалы появится синяя галочка, а на панельке «*Текущий цвет*» будут видны его параметры: номер, глубина моря и RGB-представление. Нажав на кнопку «*Выбрать цвет*», можно установить в качестве основного любой цвет (рис. П4.10).

Опция «*Автозаполнение*» позволяет плавно менять цветовую гамму между выделенными горизонтами. Для этого надо указать номер первого горизонта и выбрать для него цвет (рис. П4.9 и П4.10), затем повторить эту операцию для последнего горизонта и нажать кнопку «*Расчет*». Программа выполнит расчет промежуточных цветов между выбранными цветами по количеству указанных горизонтов. Например, заполним нижнюю часть шкалы оттенками зеленого, то есть от поверхности до 100 м оставляем стандартную шкалу раскраски глубин, а нижние горизонты сделаем в зеленых тонах. Щелкаем по шкале цветов около цифры «7». В окне «*Текущий цвет*» высвечивается сообщение «Цвет №7. R: 93 G 144 B 189. Глубина моря от 100 до 150 м». Далее нажимаем кнопку «*Выбрать цвет*» и в открывшемся окне устанавливаем нужный цвет (рис. П4.10).



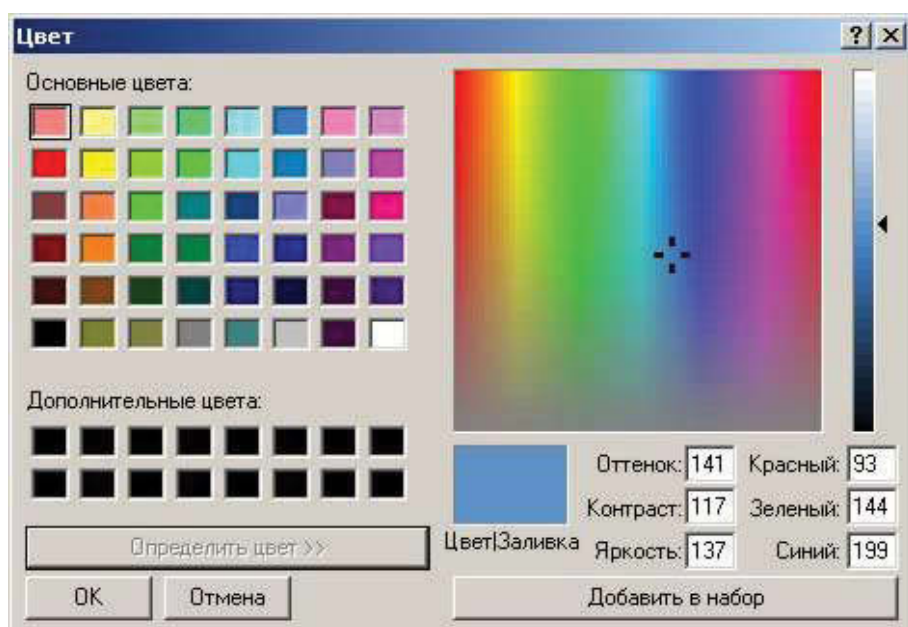
**Рис. П4.9.** Выбор цветов настраиваемой шкалы глубин



**Рис. П4.10.** Окно выбора цвета из набора основных цветов

Данную операцию можно выполнить двумя способами: первый – выбрать цвет из шкалы «*Основные цвета*» (например, третий в верхнем ряду); второй – нажать кнопку «*Определить цвет*» и в новом окне (рис. П4.11) выбрать любой из  $256^3 = 16777216$  оттенков цвета, передвигая крестик по цветовой гамме в правом окне. Так же можно ввести числовые значения номера цвета (красного, зеленого и синего) в диапазоне от 0 до 255. В окне «*Интерполировать между цветом №*» устанавливаем горизонт № 7. Аналогичным образом настраиваем цвет горизонта № 12, например, четвертый сверху в третьем ряду, и нажмем кнопку «*ОК*» (рис. П4.11). Затем в окне «*Персональная шкала глубин*» нажимаем кнопку «*Расчет*». Результаты последовательного выполнения описанных операций приведены на рисунках П4.12 и П4.13.

Далее в окне «*Настройка цвета*» устанавливаем цвета для суши, станций, границ районов и изобат и нажмем кнопку «*ОК*». Пример персональной шкалы приведен на рисунке П4.14.

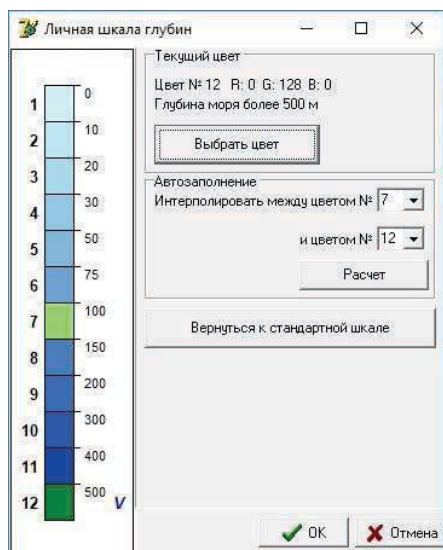


**Рис. П4.11.** Выбор цвета из полной цветовой шкалы

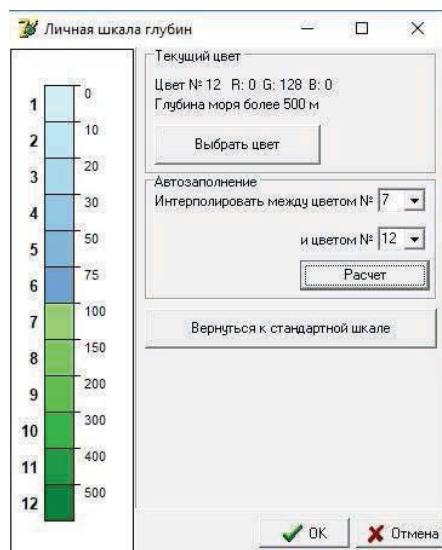
Перейти к стандартной шкале можно путем повторного входа функции «*Вид*» и активации в ниспадающем меню строчки «*Цвет*» строчки «*Стандартная шкала глубин*». При этом созданная шкала глубин будет храниться в памяти и впоследствии ее можно будет снова включить одним щелчком мыши. При нажатии кнопки «*Вернуться к стандартной шкале*» в окне «*Настраиваемая шкала глубин*» (см. рис. П4.9) цвета стандартной шкалы глубин будут восстановлены, а параметры персональной шкалы глубин из памяти будут удалены.

Процедура остальных настроек достаточно проста и стандартна для большинства компьютерных программ (рис. П4.10 и П4.11). Однородная заливка настраивается через диалог настройки цвета, показанный на рисунках П4.12 и П4.13, П4.14. В результате можно изменить цвет суши,

станций, границ районов и изобат. При этом следует помнить, что все эти элементы видны на карте только при одном условии – если они активированы в меню «Вид».



**Рис. П4.12.** Выбор цветов настраиваемой шкалы глубин. Изменены цвета горизонтов № 7 и 12



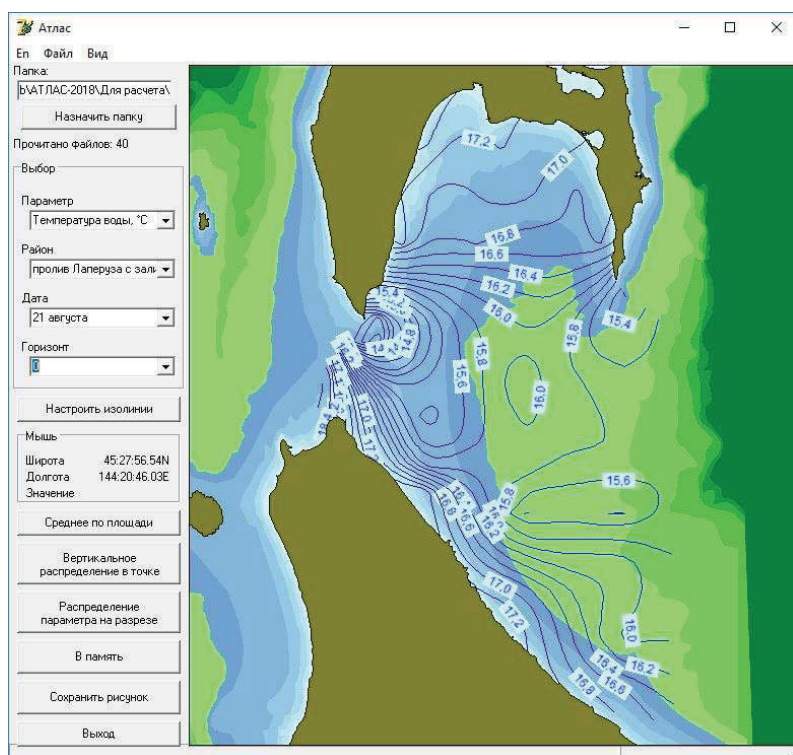
**Рис. П4.13.** Вид окна после выполнения расчета новой цветовой гаммы (нажатия кнопки «Расчет»)

### **Настройка вида представления графических материалов**

После завершения настроек опций «Главное меню» и перехода в основное окно программы все кнопки ее левой панели должны быть активны. Если указатель мыши находится в пределах графического окна, то на виртуальной клавише «Мышь» высвечиваются координаты точки, на которой находится курсор. Кроме того, если указатель находится в границах активного района, то ниже координат появляется значение параметра в соответствующей точке.

Для детального рассмотрения интересующего вас участка можно воспользоваться опцией «Лупа». Для этого поставьте указатель мыши в левый верхний угол исследуемого участка, сделайте двойной щелчок и с нажатой левой кнопкой мыши потяните вниз и вправо. На карте появится выделенный пунктиром прямоугольник, один угол которого привязан к начальной точке, а второй движется вместе с курсором. Выделив нужный участок, сделайте двойной щелчок мышью. Программа растянет очерченный участок на всю ширину графического окна. Эту операцию можно повторять несколько раз. Чтобы вернуться к исходному масштабу, надо в главном меню выбрать опцию «Вид» и далее опцию «Автомасштаб».

Для настройки густоты изолиний, формата надписей, цвета и других атрибутов карты нажмите кнопку «Настройка изолиний». При первом нажатии кнопки высветится поисковое окно в свернутом виде, которое надо растянуть за нижний правый угол до такого размера, пока не появится кнопка «Готово» (рис. П4.15). При повторных запусках программа запомнит нужный размер окна, и в следующий раз эта проблема уже не возникнет.



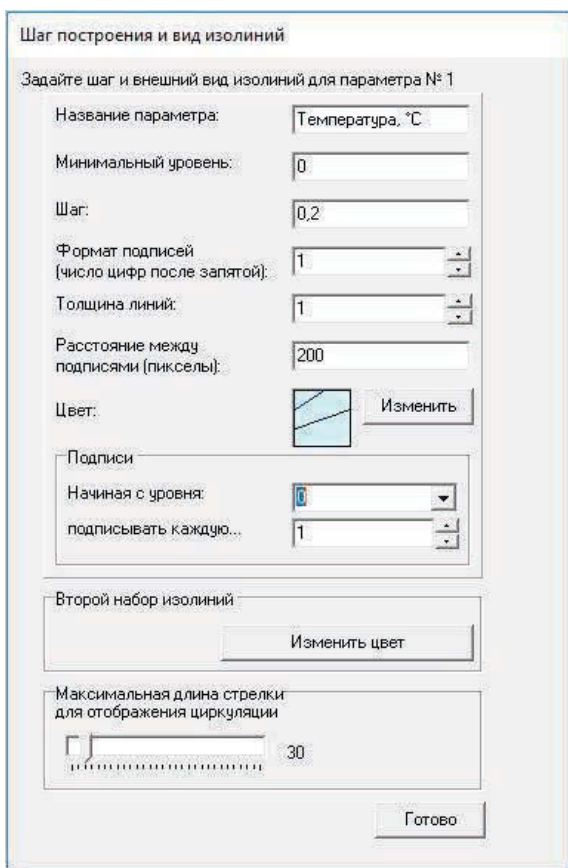
**Рис. П4.14.** Пример карты, построенной на фоне персональной шкалы глубин

Следует заметить, что настройки изолиний относятся только к текущему параметру. Благодаря этому имеется возможность настроить нужные цвета для каждого параметра. Нажмите на кнопку «*Настройка изолиний*» и заполните последовательно все пустые поля в развернутом окне. Например, название параметра: «Температура, °С» (на карте название не отображается, но на разрезах оно будет указано) и т. д. Настройка изолиний происходит по логической схеме, принятой в большинстве графических пакетов стандартных программ.

Поскольку «*Циркуляция вод*» в отличие от всех остальных параметров, представленных в данной программе, величина векторная, то максимальная длина стрелки настраивается с помощью ползунка-указателя. После заполнения всех полей нажмите кнопку «Готово», и выбранные параметры программа запомнит.

#### ***Расчет среднего значения параметра***

В практике исследований задача расчета средних значений параметра на ограниченной площади карты или разреза возникает достаточно часто. Для выполнения таких расчетов нажмите кнопку «*Среднее по площади*»: эта кнопка исчезает, а вместо нее появляются две другие – «*Расчет*» и «*Отмена*». Стандартный курсор-стрелка сменяется на крестик. Если не требуется большая точность выделения, то площадь можно оконтурить мышкой: ставим крестик на первый угол нужного участка, щелкаем левой кнопкой мыши и начинаем по часовой стрелке щелчками описывать контур выделяемой фигуры. После завершения ввода нажимаем кнопку «*Расчет*». За ходом расчета можно следить по строке *Progress bar* в правом нижнем углу окна.



**Рис. П4.15.** Вид окна настройки изолиний °

отменяются все введенные ранее узлы. Исправление уже введенных данных невозможно, поэтому, если вы ошиблись, отменяйте неправильные точки и вводите их заново. Программа автоматически запишет все введенные координаты в системе WGS84 для 54-й зоны.

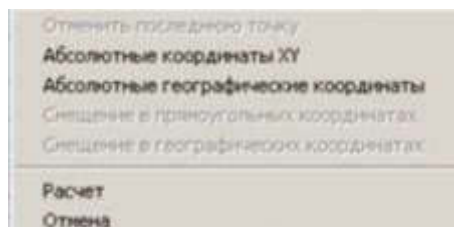
После завершения выделения области расчетного участка нажимаем кнопку «Расчет» или в главном меню активируем соответствующую строку. Если есть ошибки ввода (например, введены только одна или две точки, или площадь очерченной фигуры равна нулю), то программа вернется к нормальному режиму работы (рис. П4.16–П4.19).

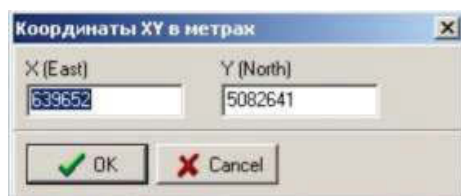
Если кнопка «Расчет» будет нажата в выбранном районе без выделения дополнительного участка для расчета, то в автоматическом режиме производится расчет среднего значения параметра на всей площади района с учетом изобаты и горизонта.

В главном меню опция «Файл» в этом окне дублирует кнопки «Записать результаты», «Записать рисунок» и «Заккрыть». В окне слева показана

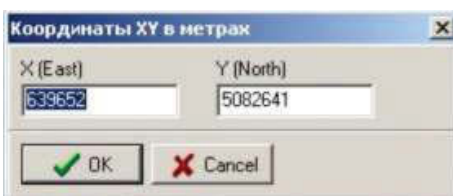
В программе **АТ-ЛАС-2018** также реализована возможность расчета среднего значения параметра в строго фиксированных границах. Для этого указатель мыши (крестик) ставим в произвольном месте на графическом окне и нажимаем правую кнопку мыши. Появляется контекстное меню.

Часть строчек в нем неактивна, поскольку это первая точка. При вводе второй точки они активируются. Выбрав нужную строку, мы можем ввести координаты либо в метрах в системе WGS84 для 54-й зоны, либо географические координаты (градусы-минуты-секунды). Для второй и последующих точек можно также ввести смещение относительно предыдущей – в метрах или в градусах, минутах и секундах. Можно отменить последнюю точку и делать это несколько раз, пока не

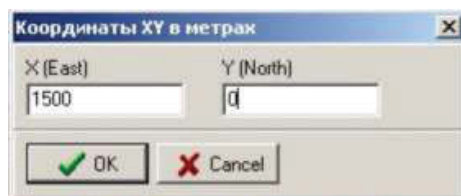




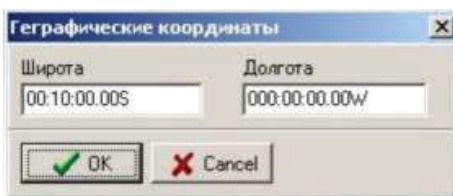
**Рис. П 4.16.** Ввод прямоугольных координат



**Рис. П 4.17.** Ввод географических координат



**Рис. П 4.18.** Ввод смещения в метрах (новая точка находится на 1500 м восточнее предыдущей)



**Рис. П 4.19.** Ввод смещения в градусах (новая точка расположена на 10 минут южнее предыдущей)

информация выполненного расчета: параметр, район, дата и горизонт. Ниже приводится список координат узлов, ограничивающих область. Если в окошке «Географические» стоит галочка, то программа показывает географические координаты, если ее убрать – пересчитает их в метры. Ниже окошка с координатами указаны площадь расчета и среднее значение параметра (рис. П4.20).

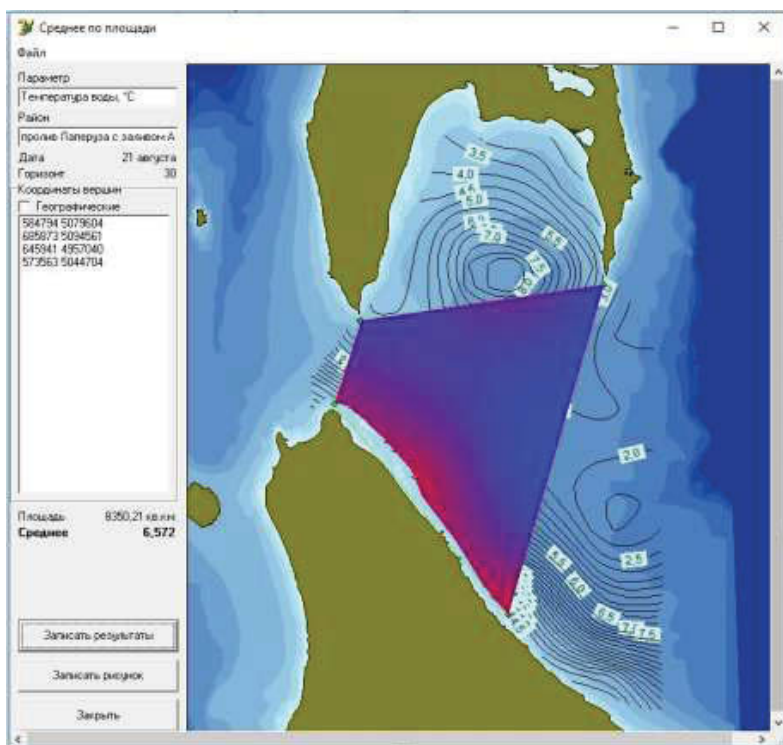
Кнопка «Записать результаты». Открывается диалоговое окно записи текстового файла. Выберите нужную папку (в том числе можно создать новую) и укажите желаемое имя файла. В файл будут записаны все параметры – результаты расчета, включая дату.

Адрес сохранения результатов расчетов программа запоминает и в следующий раз предлагает сохранять результаты в указанной папке. Если необходимо сохранить построенное распределение параметра в цветовой шкале (минимальное значение изображается синим цветом, а максимальное – красным), нажмите кнопку «Записать рисунок». Откроется диалоговое окно. Выберите нужную папку и укажите имя файла, указав при этом формат рисунка: BMP и JPG. Рисунки в формате BMP имеют большой объем, но передают изображение без искажений.

Рисунки в формате JPG более компактны, но качество их ниже. Программа запоминает папку и в следующий раз сразу предложит сохранить рисунки в указанной папке. Сохраняется не все окно программы, а его графическая часть, то есть правое окно с картой. При нажатии кнопки «Закреть» программа возвращается в исходный режим (на выбранную ранее карту).

#### **Построение вертикального распределения параметра в точке**

Нажимаем кнопку «Вертикальное распределение в точке». Кнопка остается в нажатом состоянии, а курсор, если он находится в графическом окне, становится крестиком. На следующем этапе необходимо указать ту самую точку, в которой вы хотите посмотреть вертикальное распределение. Как и в случае с расчетом среднего по площади, можно просто щелкнуть левой кнопкой мыши. При нажатии правой кнопкой появляется возможность



**Рис. П4.20.** Вид окна с результатами расчета среднего значения параметра

ввести точные координаты в географической или прямоугольной системе. Если выбранная точка не находится на суше, то программа построит вертикальное распределение, например, как показано на рисунке П4.21.

Масштаб по горизонтали программа выбирает самостоятельно по величине диапазона изменения выбранного параметра. Вертикальный масштаб постоянный и имеет две шкалы: от 0 до 150 м и от 150 до 500 м. На рисунке они занимают одинаковую площадь. Это стандартный прием представления океанографической информации с целью большей детализации распределения параметра в деятельном слое, где размах его колебаний максимальный.

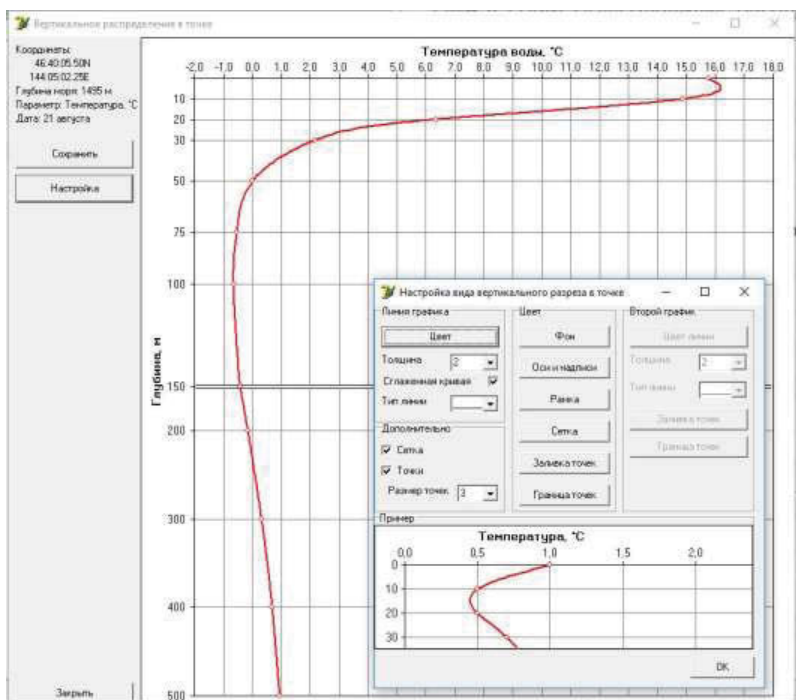
В левой части окна программа показывает координаты точки, к которой относится построенное распределение, глубину моря в точке, а также название параметра и дату.

Кнопка «*Настройка*» позволяет изменить внешний вид графика вертикального распределения параметра. После ее нажатия появляется окно настройки (см. рис. П4.21).

На верхней левой панели сгруппированы параметры линии графика – здесь можно изменить цвет, толщину и тип линии, а также включить или выключить сглаживание. На нижней панели «*Пример*» можно сразу увидеть, как будет выглядеть график после введения изменений.

На панели «*Дополнительно*» можно включить или выключить отображение сетки и точек, по которым строится распределение. Кроме того, там же можно изменить и размер точек.

На панели «*Цвет*» расположены шесть кнопок для изменения цвета



**Рис. П4.21.** Вид окна вертикального распределения параметра в точке с дополнительным окном «Настройка вида вертикального разреза в точке»

фона, осей и надписей, рамки всего графика, сетки, заливки и границ точек. Формат надписей, то есть количество цифр после запятой, здесь изменить нельзя, он берется из настройки изолиний.

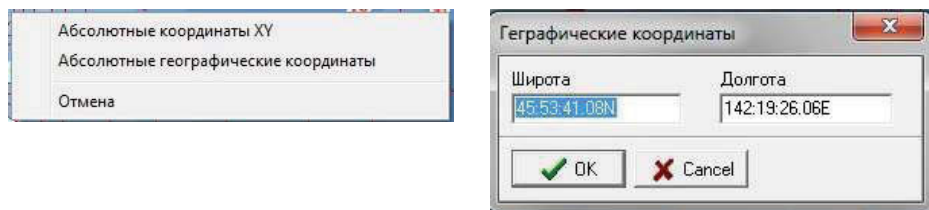
Правая верхняя панель «Второй график» активна только, если вы занесли построенную картинку «В память», выбрали новый параметр и построили второй график, то есть использовали функцию наложения изолиний. Тогда на графике строится две линии, и здесь можно настроить внешний вид дополнительного графика.

Функция кнопки «Сохранить» такая же, как и у кнопки «Записать рисунок» в разделе «Расчет среднего значения параметра на карте». Там есть возможность выбрать формат рисунка – BMP или JPG, выбрать нужную папку и назначить имя файла. Программа запоминает папку и в следующий раз сразу предложит сохранять рисунки там же.

#### **Построение вертикального разреза**

В рабочем окне программы нажмите кнопку «Распределение параметра на разрезе». Курсор превращается в крестик, а все лишние кнопки становятся неактивными. Так же, как и в случае выделения ограниченной области для расчета средних значений, построение разреза можно осуществить двумя способами: 1) произвольный выбор и 2) построение по координатам. В первом случае устанавливаем крестик на начало разреза и выделяем его (один клик). Далее подводим мышкой крестик к окончанию разреза (при этом линия разреза обозначается пунктиром) и делаем второй клик. Для выбора точных координат начала разреза нажимаем правую кнопку мыши. В открывшемся окне выбираем систему координат (рис. П4.22, слева). После выбора системы координат открывается новое окно (рис. П4.22,

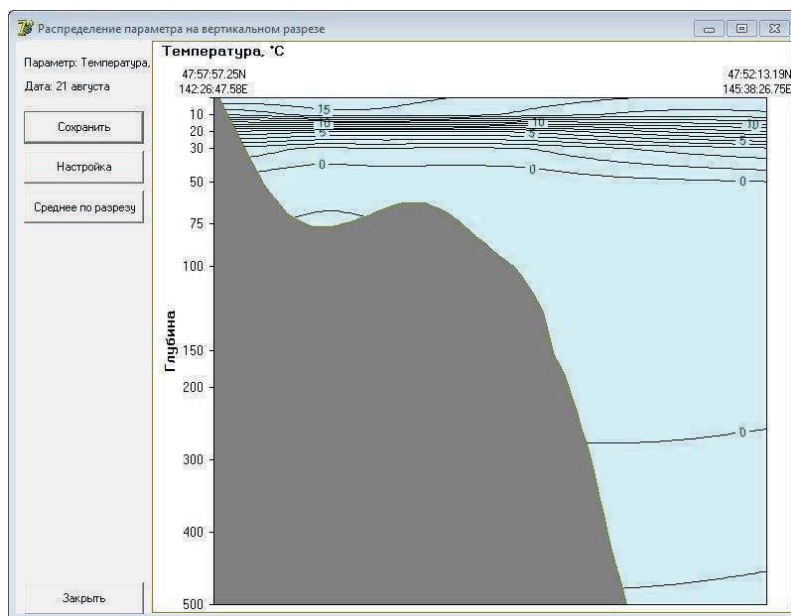
справа), где можно установить точные координаты начала разреза. При повторном нажатии правой кнопки мыши аналогичным образом вводим координаты окончания разреза. Как начало, так и конец разреза могут находиться на суше или за пределами активного района. Операцию ввода можно отменить, нажав повторно кнопку «Распределение параметра на разрезе» или в контекстном меню выбрать опцию «Отмена».



**Рис. П4.22.** Вид всплывающих окон для установки координат вертикального разреза

После выбора местоположения вертикального разреза на экране появляется его графическое отображение (рис. П4.23). В графическом окне приводится наименование параметра (как было указано при настройке изолиний), координаты начала и конца разреза, шкала глубин. Подводное продолжение берегового склона закрашено темным цветом. Изначально густота и внешний вид изолиний соответствуют настройке их на карте, но поскольку максимальная изменчивость характеристик морской воды наблюдается в деятельном слое, то часто появляется необходимость производить дополнительную настройку изолиний графических параметров. Эту процедуру можно выполнить при нажатии кнопки «Настроить» (рис. П4.24).

В левой части открывшегося окна (панель «Цвет») собраны кнопки на-

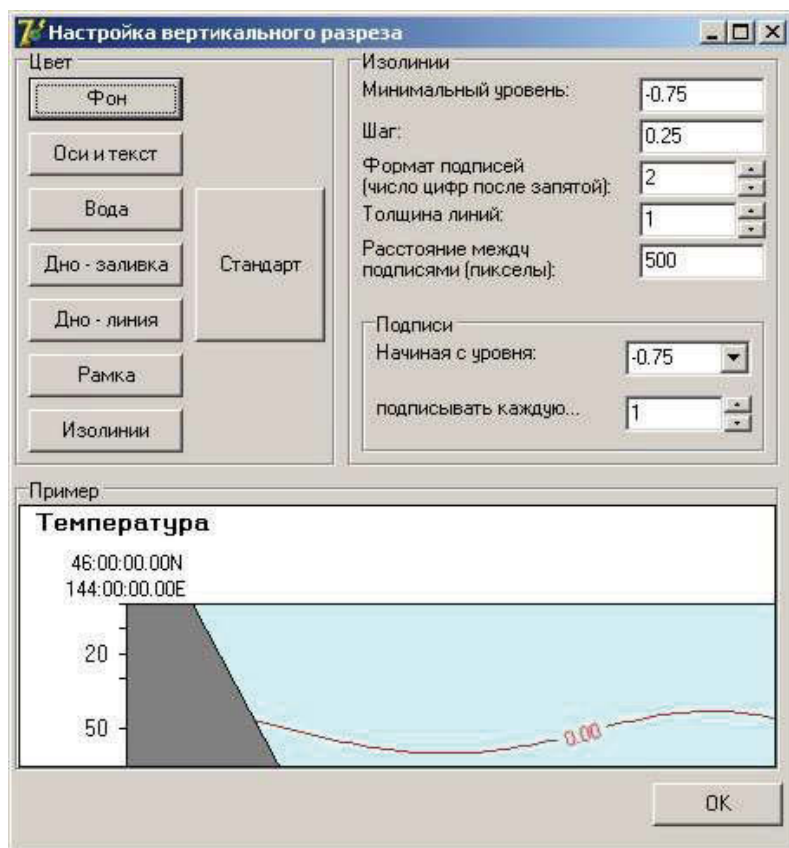


**Рис. П4.23.** Вид окна распределения параметра на вертикальном разрезе

стройки цветовой гаммы – можно изменить цвет фона, осей и текста, воды, дна, рамки и изолиний. Возврат в исходные настройки происходит при нажатии кнопки «Стандарт».

В нижней части окна (панель «Пример») приводится фрагмент картинki разреза после внесения изменений.

В правой части окна (панель «Изолинии») можно настроить густоту изолиний и изменить режим их подписи. Программа запоминает сделанные



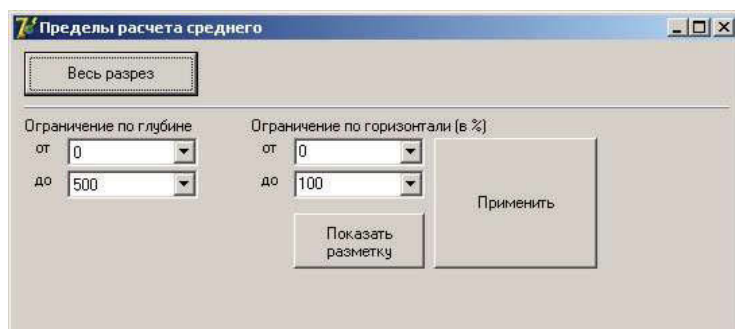
**Рис. П4.24.** Вид окна для настройки графических параметров на вертикальном разрезе

здесь настройки и в дальнейшем использует их при построении карты. Поэтому, если вы не планируете строить серию разрезов, то следует воспользоваться кнопкой «Стандарт», чтобы вернуться в исходные графические настройки карты.

#### **Расчет среднего значения параметра на разрезе**

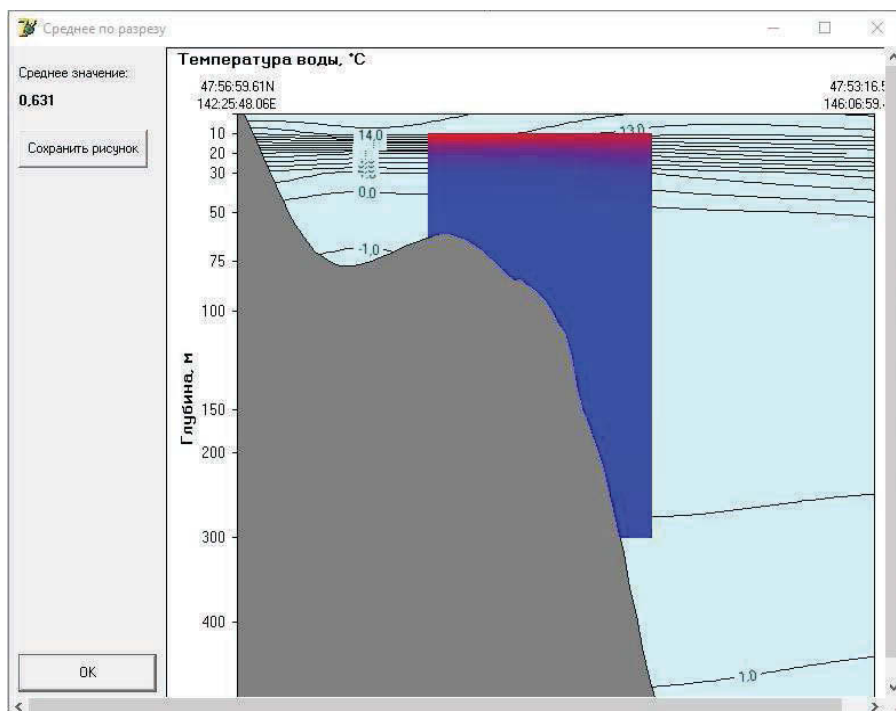
После нажатия кнопки «Среднее по разрезу» всплывает новое окно (рис. П4.25).

При нажатии кнопки «Весь разрез» программа автоматически рассчитает среднее значение параметра от поверхности до дна в активном окне (см. рис. П4.23). Вместе с тем в программе предусмотрена возможность расчета среднего значения в ограниченном интервале глубин или на ограниченном участке разреза. Для этого в окнах выбора «Ограничение по глубине» выбираем интервал глубин путем перебора стандарт-



**Рис. П4.25.** Вид окна для выбора опций расчета среднего значения параметра на разрезе

ных горизонтов в ниспадающих меню при активации кнопок «От» и «До». Ограничение по горизонтали вводится в процентах относительно общей длины разреза. Для точного выбора горизонтального расстояния нажмите кнопку «Показать разметку». Программа перерисует разрез и нанесет на него горизонтальные линии, отмечающие стандартные горизонты и вертикальные линии, разбивающие разрез с интервалом 5 %. При этом окно «Пределы расчета среднего» становится подвижным и его можно переместить в любую часть монитора. В ниспадающих меню окна «Ограничение по горизонтали (в %)» указываются пределы «От» и «До» и нажимается кнопка «Применить». Пример такого расчета показан на рисунке П4.26.

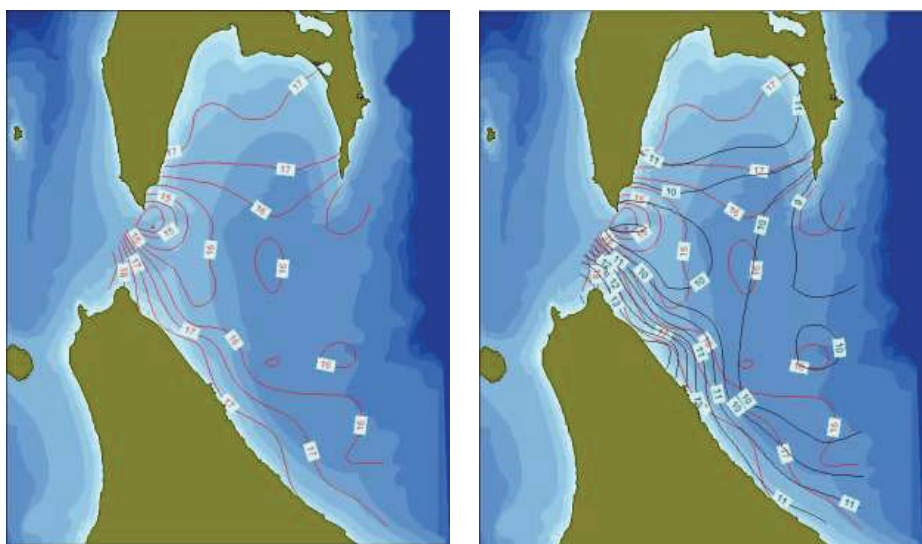


**Рис. П4.26.** Пример расчета среднего значения параметра на разрезе от 10 до 300 м по глубине и от 30 до 65 % по длине

### **Наложение изолиний**

В процессе исследований не редко возникает необходимость сравнительного анализа либо одного параметра за разные даты, либо разных параметров за одну дату. Такие операции можно выполнить, если выбранный параметр запомнить, нажав кнопку «В память». Эта кнопка становится активна, когда на карте закончено построение одного набора изолиний (например, температура на акватории пролива Лаперуза за 21 мая на горизонте 0 м. Изолинии температуры окрашены красным цветом, с шагом через  $0,5^{\circ}$  (рис. П4.27, слева)).

После запоминания первой карты приступаем к построению второй (например, на 21 октября на горизонте 0 м) по описанной выше процедуре. Активируя кнопку «Настроить», подбираем нужный цвет изолиний на второй карте (в данном примере черный). Выход из опции наложения изолиний осуществляется путем нажатия кнопки «Сброс памяти».

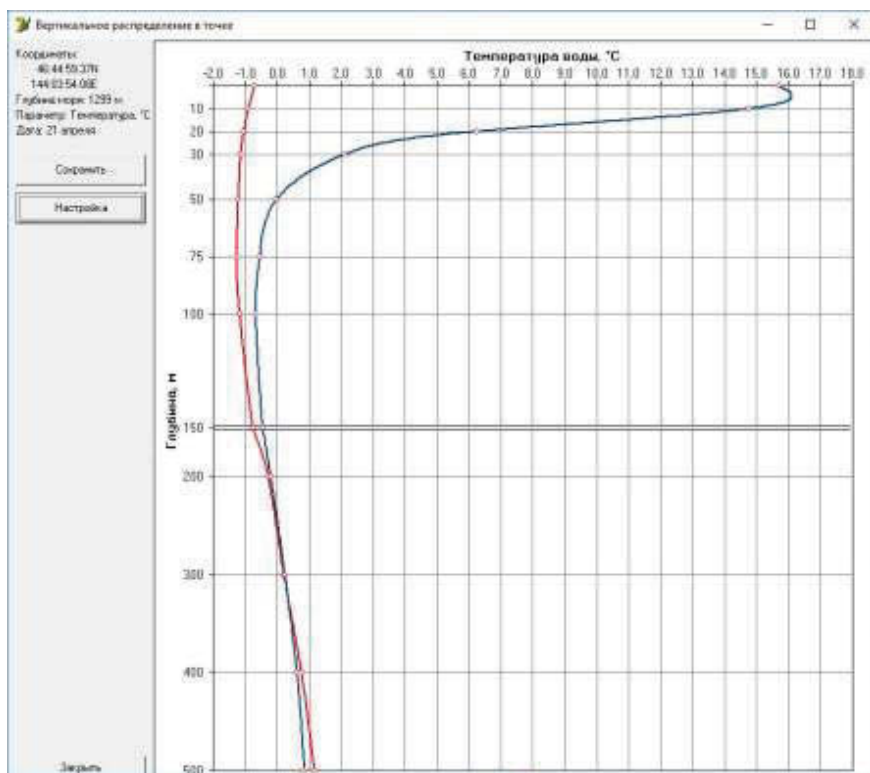


**Рис. П4.27.** Пример наложения изолиний на картах температуры воды за разные даты на фоне стандартной раскраски шкалы глубин

В режиме наложения активны кнопки «Вертикальное распределение в точке» и «Распределение параметра на разрезе». Таким образом, существует возможность построить и проанализировать вертикальное распределение двух выбранных параметров в любой точке и на любом разрезе. Кнопка «Среднее по площади» останется активной, но программа в этом случае будет рассчитывать среднее по текущему набору параметров, игнорируя то, что находится в памяти. При работе функции наложения изолиний на левой панели управления появляется новая кнопка «Просмотр обозначений». При ее нажатии открывается дополнительное окно с легендой карты, и пока это окно открыто, главное окно будет неактивным.

Также следует помнить, что после переноса карты в память набор ее настроек теряет статус главного и после нажатия кнопки «Сброс памяти» набор настроек второго окна сохраняется в качестве основного.

В режиме «Вертикальное распределение в точке» можно построить дополнительный график только для одного параметра на разные даты (рис. П4.28).



**Рис. П4.28.** Вид графика вертикального распределения параметра в точке на разные даты

Изменить внешний вид обоих графиков можно с помощью кнопки «Настройка».

Если будет введен другой район, отличный от того, что хранится в памяти (например, в памяти записаны данные для района пролива Лаперуза, а потом переключились на акваторию юго-восточного шельфа), то программа будет строить вновь введенный текущий набор. Предыдущая картинка будет храниться в памяти, пока вы его не удалите. Чтобы очистить память, надо нажать кнопку «Сброс памяти».

**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ  
ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ**

*Коллективная монография*

**Коллектив авторов:**

Пищальник Владимир Михайлович, Леонов Александр Васильевич,  
Минервин Игорь Георгиевич, Никулина Ирина Владимировна,  
Дорофеева Дарья Васильевна, Романюк Валерий Анатольевич,  
Бобков Алексей Олегович, Архипкин Виктор Семенович,  
Шумилов Илья Валерьевич, Никонова Елизавета Викторовна

**Под редакцией:**

**ПИЩАЛЬНИКА** Владимира Михайловича,  
доктора технических наук,  
**ЛЕОНОВА** Александра Васильевича,  
доктора химических наук, профессора

**Корректор** В. А. Яковлева

**Верстка** О. А. Надточий

Подписано в печать 29.12.2020.

Бумага «Excellent Copy». Гарнитура «Calibri».

Формат 70х108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. 14,4 усл. п. л. Заказ № 618-20.

Тираж 500 экз. (1-й завод 1–100 экз.).

---

Сахалинский государственный университет  
693008, Южно-Сахалинск, ул. Ленина, 290, каб. 32.

Тел./факс (4242) 45-23-16.

E-mail: izdatelstvo@sakhgu.ru,  
polygraph@sakhgu.ru