

***Перспективные методы оценки  
изменений геофизических явлений,  
экосистем и технологических  
процессов при изучении  
и освоении природных ресурсов  
субарктического Охотоморья***

# **МАТЕРИАЛЫ ПЕРВОЙ ОТКРЫТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**5–6 апреля 2011 года (Южно-Сахалинск, Россия)**

ПРАВИТЕЛЬСТВО САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ  
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ САХАЛИНА  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «ДЭКО»

SAKHALIN GOVERNMENT  
ECS Ltd.  
FEEC Ltd.

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ  
ИЗМЕНЕНИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ,  
ЭКОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
ПРИ ИЗУЧЕНИИ И ОСВОЕНИИ ПРИРОДНЫХ  
РЕСУРСОВ СУБАРКТИЧЕСКОГО ОХОТОМОРЬЯ**

**ADVANCED ASSESSMENT METHODS  
OF CHANGING IN GEOPHYSICS, ECOSYSTEMS  
AND TECHNOLOGICAL PROCESSES IN STUDY  
& NATURAL RESOURCES DEVELOPMENT  
OF THE SUBARCTIC OKHOTOMOR'E**

*Материалы Первой открытой  
Международной конференции*  
(г. Южно-Сахалинск, Россия,  
5–6 апреля 2011 года)

*First Open International Conference Proceedings*  
(Yuzhno-Sakhalinsk, Russia,  
April 05–06, 2011)

Южно-Сахалинск • 2011  
Yuzhno-Sakhalinsk • 2011



УДК 550.3/574/658:330.15

**НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР** Кантаков Геннадий Афанасьевич,  
*генеральный директор НПО «ДЭКО», кандидат географических наук*

**Перспективные** методы оценки изменений геофизических явлений, эко-  
**П 278** систем и технологических процессов при изучении и освоении природных  
ресурсов субарктического Охотоморья [Текст] : Материалы Первой откры-  
той Международной конференции (Южно-Сахалинск, Россия, 5–6 апреля  
2011 г.). – Южно-Сахалинск, 2011. – 352 с. – ISBN 978-5-9903113-1-2.

В сборнике представлены статьи, фрагменты презентаций и рефераты, основанные на про-  
звучавших и присланных позже докладах Первой открытой международной конференции «Перспек-  
тивные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов  
при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья», которая проходила в  
г. Южно-Сахалинске 5–6 апреля 2011 года. Собранный материал распределен по трем основным на-  
правлениям работы конференции: 1) Современные проблемы геофизики, океанографии, биологии  
субарктического Охотоморья; 2) Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки из-  
менений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов; 3) Достижения и проблемы  
в моделировании изменений геофизических явлений, систем и технологических процессов.

Предлагаемая авторами сборника информация и обобщения, примеры новых методов наблю-  
дений и подходов к решению научных и производственных задач полезны для развития науки, про-  
мышленности и повышения качества и безопасности жизни населения Сахалинской области и приле-  
гающих к Охотскому морю территорий. Составители сборника редактировали собранные материалы  
конференции, так же, как и присланных докладов, оставляя авторский стиль и стремясь выделить на-  
более ценные выводы и положения, полезные для ведущихся, будущих и перспективных направлений  
развития Сахалинской области. Сборник завершается рекомендациями конференции.

Предназначен для правительственных органов власти и научного сообщества, практикующего в  
вопросах исследований субарктических регионов.

*Услуги переводчика: ИП Тухий Сергей.*

Advanced assessment methods of changing in geophysics, ecosystems and  
technological processes in study & natural resources development of the Subarctic  
Okhotomor'e [Text] : First Open International Conference Proceedings (Yuzhno-  
Sakhalinsk, Russia, April 05–06, 2011). – Yuzhno-Sakhalinsk, 2011. – 352 p.

The Proceedings contain articles, presentations fragments and abstracts based on issued and later sent  
a reports of First Open International Conference "Advanced methods of evaluation of changes geophysical  
phenomena, ecosystems, and technological processes in the study and development of SubArctic natural  
resources of Okhotomor'e", held in Yuzhno-Sakhalinsk 05–06 April 2011. The collected material is distributed  
in three main directions of the Conference: 1) Recent developments in geophysics, oceanography, biology of  
the Subarctic Okhotomor'e; 2) New methods of observations and examples of their application for assessment  
of changes of geophysical phenomena, ecosystems and processes; and 3) Progress and Challenges in  
modeling changes of geophysical phenomena, ecosystems and processes.

Collection and review of information proposed by the authors, examples of new observing techniques  
and approaches for solving scientific and industrial problems are valuable for the development of science,  
industry and improve the quality and safety of the population of Sakhalin region and adjacent to the Sea  
of Okhotsk areas. Editors of the Proceedings are collected materials of the conference, as well as reports,  
however, leaving the author's style and trying to facilitate the most valuable conclusions and propositions that  
are useful for the ongoing, future directions of the Sakhalin Oblast' development. The Proceedings completed  
with recommendations of the conference.

Issued for government authorities and the scientific community is leading the researches in the Sub-  
Arctic regions.

ISBN 978-5-9903113-1-2



© ООО НПО «ДЭКО», 2011  
© ООО ЭКС, 2011



*Добрый день, участники и гости Первой открытой международной конференции «Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья»!*

*Правительство Сахалинской области приветствует специалистов и гостей из России, США, Канады, Франции, Норвегии, Японии и Украины, собравшихся для того, чтобы обсудить новые подходы и методы в разных направлениях геофизики, морских экосистем, технологий наблюдений фауны и окружающего нас мира.*

*Как вам известно, здесь – на Дальнем Востоке России, не становится меньше землетрясений, цунами, извержений вулканов, лесных пожаров, наводнений и тайфунов. В этих условиях жители и власти Сахалинской области ежедневно решают стратегические задачи поддержки и развития нефтедобывающей, строительной, энергетической, рыболовной, транспортной, угольной, лесной и сельскохозяйственной отраслей. Все мы и вся наша деятельность является также частью сухопутных и, конечно же, морских экосистем, которые нужно не только грамотно эксплуатировать, но также беречь и изучать.*

*Как и вся Россия, Сахалинская область постепенно входит в глобальный рынок, и ее жители вправе ожидать наблюдений окружающего нас мира на уровне самых высоких стандартов. Эти стандарты делают и сделают повседневную жизнь предсказуемой и безопасной. Они позволят снизить природные и техногенные риски, в условиях которых область живет и развивается.*

*Идея такого совещания витала в воздухе и созрела примерно год назад. По мере воплощения в жизнь она переросла в полномасштабную международную конференцию. Нет никакого сомнения в том, что мы собрались вовремя и в правильном месте.*

*Последние катастрофы и уроки – Японское и Чилийское землетрясения и последующие цунами, разлив нефти Дип Хурайзон в Мексиканском заливе, наблюдения за извержением вулкана Сарычева и другими вулканами на Курилах, Невельское землетрясение 2007 г., мониторинг параметров природной среды в шельфовых проектах, наблюдения трасс трубопроводов, промышленных объектов, обеспечение ледовых проводок судов, сопровождение лососевых путей, задачи развития дорог, бум промышленного и жилищного строительства, возможное усиление засух и малоснежных зим – заставляют нас все внимательнее рассматривать современные и эффективные методы оценки изменений окружающей среды. На суше, в море и в воздухе.*

*Речь идет как об известных, так и о новых технологиях мониторинга, расчетных методах, моделях, обещающих и ждущих своего дальнейшего применения в Сахалинской области, на Дальнем Востоке и в Российской Федерации.*

*Правительство области всегда поддерживало новые направления, стремится и будет стремиться к инновациям по исследованиям окружающей среды. Сахалинская область – одно из самых интересных и любопытных мест и для ученого, и для инженера любых специализаций.*

*Если вспомнить недавнюю историю, то первые разведочные скважины на шельфе Сахалина были пробурены в 1970-е и 1980-е гг. Это дало мощный толчок новым методам наблюдений окружающей среды, например, радарному мониторингу ледовых полей на севере Сахалина, точному измерению глубин в прибойной зоне.*

*На конференции вашему вниманию представлены доклады ИМГиГа и Росгидромета по цунами. Исследования впервые начали проводиться учеными института около 40 лет назад. Это действительно пионерские работы. Следует вспомнить усилия ИМГиГа, тогда СахКНИИ, и Росгидромета в первых совместных экспедициях с США в 1970-е гг. по изучению цунами в Тихом океане. Вспомним также и отдадим должное великолепной плеяде ученых того времени под руководством академика Сергея Леонидовича Соловьева. Он – создатель и разработчик идеологии «гидрофизического прогноза цунами», инициатор изобретения датчиков уровня открытого океана и экспериментов по их установке и измерениям.*

*У науки нет границ, и заложенные когда-то фундаментальные идеи об измерениях цунами открытого океана превратились в достойное инженерное воплощение. В ноябре 2010 г. Росгидромет установил первый в России океанский буй цунами, и вы услышите здесь результаты, которые не заставили себя долго ждать.*

*Кроме цунами, здесь много нового и интересного из других направлений. Например, новые данные по сейсмике Сахалина, новые результаты и технологии Роскосмоса по предвестникам землетрясений. Это направления, на которые власти Сахалина обращают особое внимание. В ноябре 2008 г. Правительством области утверждена областная целевая программа «Повышение сейсмоустойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в Сахалинской области на 2009–2013 гг. и на период до 2017 г.».*

*Программой предусмотрены НИОКРовские затраты, которые Правительство рассматривает как существенный вклад области в дело поддержки фундаментальных и прикладных исследований по вопросам, волнующим и жителей, и бизнес, и власти. Мы решили вопрос о размещении спутниковой станции для исследований ионосферных сигналов в г. Охе, на севере области. Она станет четвертой и сделает Сахалин экспериментальным полигоном по предвестникам землетрясений. Здесь нам потребуется координация усилий многих научных и практических организаций. Это большая и планомерная работа на годы вперед.*

*Приведенный пример – одно из свежих применений на Сахалине новых технологий. Вашему вниманию также представлены новые данные по высокоточным измерениям подвижек грунта из космоса, дрейфующим буям, наблюдениям морских млекопитающих с помощью спутниковых меток, о применении высокочастотных радаров, о мониторинге углеводородов в морской*

*воде, об исследованиях вулканической активности, прибрежных минеральных ресурсов, моделировании морских экосистем.*

*Стоит отметить, что в ходе конференции с докладами выступили первые лица компаний, разработчики техники, специалисты мирового уровня. Наука добилась весомых практических результатов, которые, безусловно, важны и для будущего нашей области, доказала свою успешность, формируя рынки в новых областях техники и сервисов в сферах, где ранее невозможно было представить развитие бизнеса и научных приложений.*

*Думаю, можно коротко сформулировать главную цель конференции – это школа передового опыта. За этим опытом – многолетний труд, миллионные вложения, инновационные оправдавшиеся риски, широкое признание мощных и эффективных инструментов оценки природных явлений и их изменений.*

*И здесь нам есть чему поучиться и есть что показать, и есть о чем подумать.*

*Спасибо за внимание! Успехов и творческих находок в работе!*

***Сергей Петрович Вильямов,  
заместитель председателя  
Правительства Сахалинской области.***

Б. В. Левин, И. Н. Тихонов (tikhonov@imgg.ru)

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН  
(Южно-Сахалинск, Россия)

## Проблема сейсмической опасности в Сахалинской области: новые подходы к ее решению

Сахалинская область находится в пределах Тихоокеанского сейсмического пояса. Это один из наиболее сейсмоопасных регионов России. Вблизи Курильских островов примерно каждые трое суток происходит землетрясение с магнитудой  $M=4,0$ . Средний период повторяемости событий большей силы составляет: ~1 раз в месяц для  $M=5,0$ , раз в полгода для  $M=6,0$ , раз в 2 года для  $M=7,0$ . В Курильском регионе в среднем каждые 10 лет случаются катастрофические землетрясения с  $M \geq 8,0$ . Сейсмичность в районе Курильских островов сосредоточена в основном в пределах сейсмофокальной зоны. Это хорошо видно на вертикальных разрезах зоны вкрест структур островной дуги.

Сейсмичность Сахалинского региона носит более умеренный характер, поэтому и периоды повторяемости событий различных магнитуд больше: ~1 раз в 2 месяца для  $M=4,0$ , раз в 2 года для  $M=5,0$ , раз в 10 лет для  $M=6,0$  и десятки лет для  $M=7,0$ . Вблизи о. Сахалин самым сильным землетрясением за всю историю инструментальных наблюдений (с 1909 г.) было Монеронское землетрясение 5 сентября 1971 г. с  $M=7,5$ . За последнее два десятка лет степень сейсмического риска на Сахалине значительно возросла. И связано это не только с общим усилением сейсмической активности, но и с сооружением особо ответственных объектов: морских платформ, нефтегазопроводов, завода по сжижению природного газа.

Уровень исходной сейсмической опасности оценивается на основе карт общего сейсмического районирования территории России [ОСР-97: Общее сейсмическое..., 1998; Уломов, Шумилина, 1999]. Они составляются в масштабах 1:8 000 000 – 1:2 500 000. На *рисунках 1, 2* приведены фрагменты карт ОСР-97, являющихся действующим нормативным документом для Сахалинской области. Карта А – для объектов массового строительства, В – для объектов повышенной ответственности, С – для особо ответственных сооружений.

Согласно этим картам, интенсивность сотрясений на Сахалине при средних периодах повторения  $T=500, 1\ 000$  и  $5\ 000$  лет составляет от 8 до 10 баллов. Аналогичные карты для района Курильских островов показывают, что сейсмическая опасность на островах составляет 9–10 баллов.

Прошло уже 10 лет с внедрения этих карт в практику строительства, и пришла пора обновить их. Сейчас ведутся работы по созданию новых карт (ОСР-2012). Рабочую группу сейсмологов возглавляет профессор В. И. Уломов (Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, г. Москва). Один из авторов статьи (И. Н. Тихонов) является участником этих работ по территории Сахалинской области.



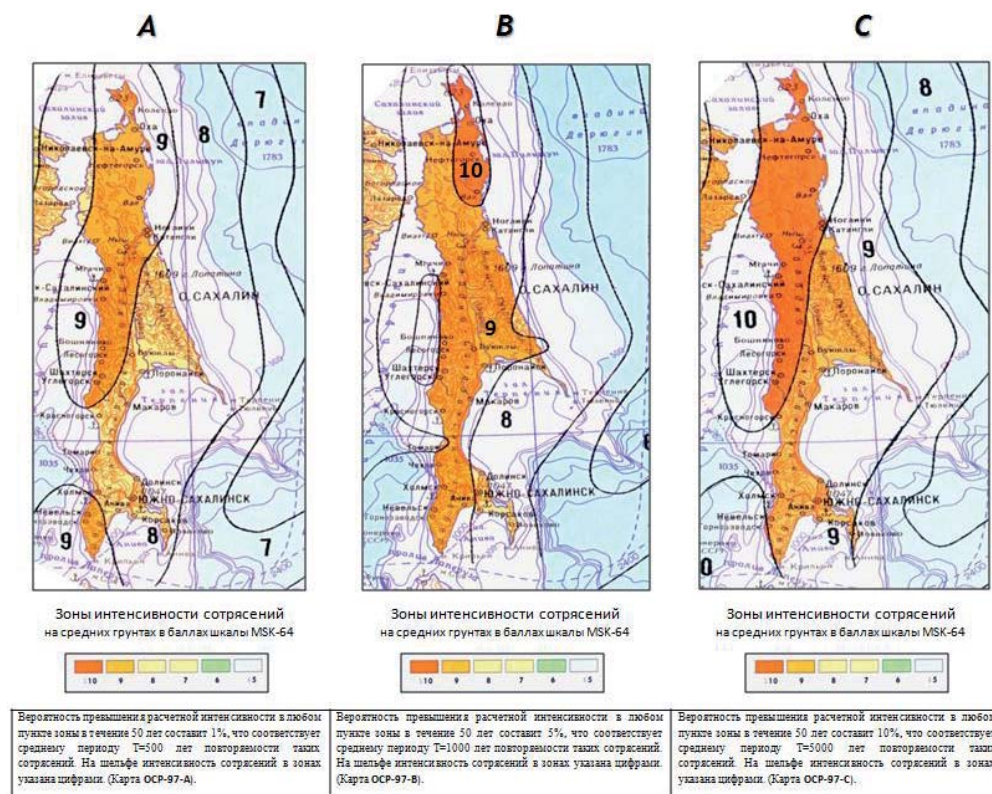


Рис. 1. Фрагмент карт общего сейсмического районирования (ОСР-97) для территории Сахалина при средних периодах повторения  $T=500$ , 1 000 и 5 000 лет

В текущем году должны быть построены макеты новых карт. В их основу положена единая методология. Она базируется на линеаментно-доменно-фокальной модели источников землетрясений. Сейсмолинеаменты представляют собой оси трехмерных разломных или сдвиговых структур. Это каркас модели. Домены охватывают геодинамически квазиоднородные объемы геологической среды, характеризующиеся рассеянной сейсмичностью.

Новые карты будут содержать оценки сейсмической опасности с точностью до половины балла [Уломов, Перетокин, 2010]. Опасность будет дана также в параметрах пиковых ускорений грунта с учетом спектральных характеристик. Будут использоваться региональные модели затухания движений грунта. Все это будет способствовать более реалистичной оценке уровня исходной сейсмической опасности на территории Сахалинской области.

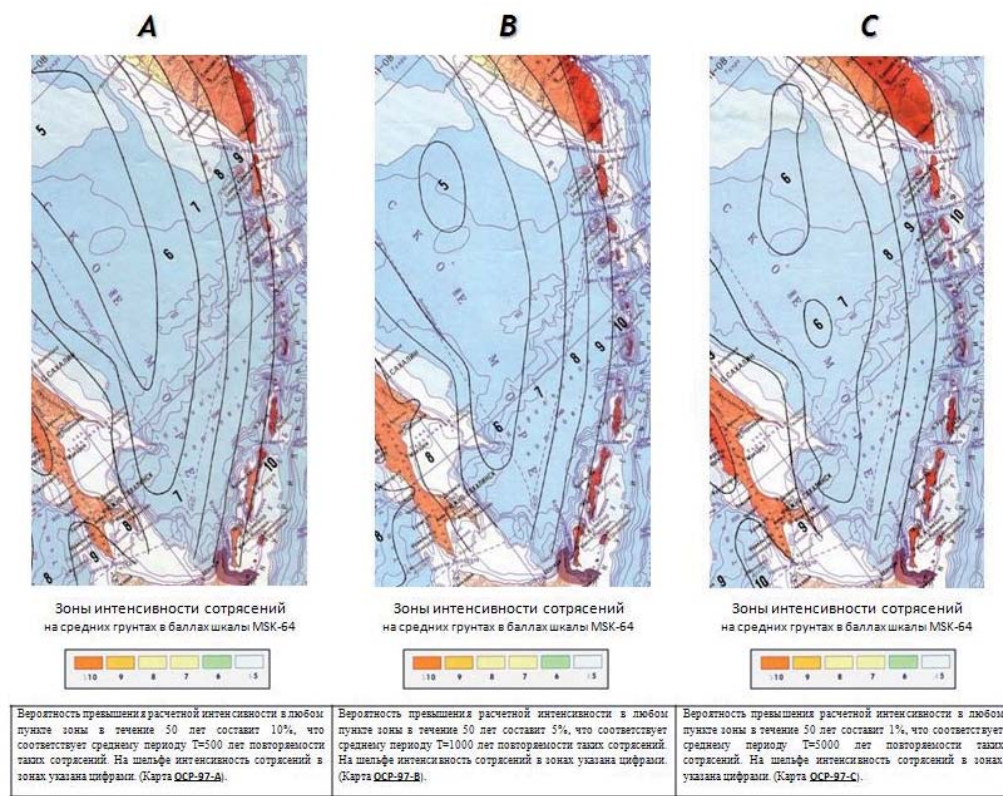


Рис. 2. Фрагмент карт общего сейсмического районирования (ОСР-97) для территории Курильских островов при средних периодах повторения  $T=500$ , 1 000 и 5 000 лет

В Институте морской геологии и геофизики ДВО РАН (ИМГиГ ДВО РАН) разработаны новые подходы в задаче другого уровня – детальному сейсморайонированию (ДСР). Речь идет о масштабах карт 1:500 000 – 1:100 000. Сейсмологами института предложена методология проведения этих работ, основанная на вероятностном анализе сейсмической опасности (ВАСО). Схема ВАСО и модели источников землетрясений для Сахалина описаны в работах [Кофф и др., 2007; Левин и др., 2009]. Аналогичная модель источников для района южных Курильских островов дана в статье [Андреева и др., 2010].

За последние годы ИМГиГ ДВО РАН выполнил ряд контрактов с использованием данной передовой технологии. Эти работы ведутся в рамках федеральной целевой программы «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009–2013 гг.» и областной целевой программы «Повышение сейсмостойчивости основных объектов и систем жизнеобеспечения в Сахалинской области на 2009–2017 гг.», а также заказов операторов шельфовых проектов. Произведено уточнение карт ОСР-97 и построены карты ДСР для территорий 20 городов Сахалинской области и особо ответственных сооружений.

Для примера приведем два комплекта карт ДСР. Первый комплект, дающий оценку сейсмической опасности в параметрах пиковых ускорений грунта для территории г. Южно-Сахалинска для разных периодов повторяемости, по-

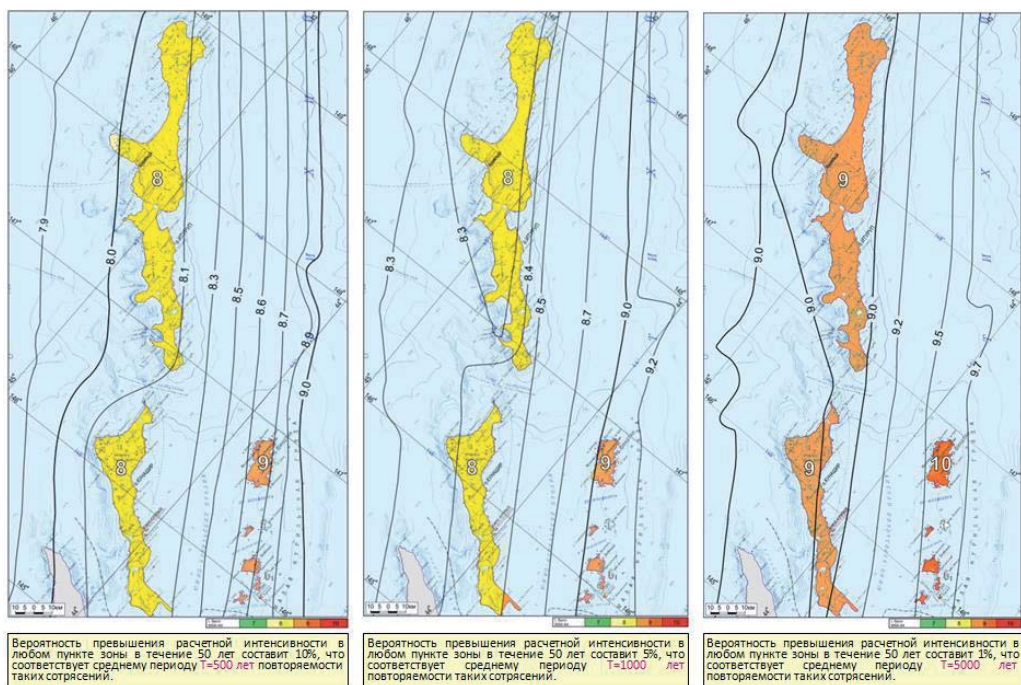


казан на **рисунке 3**. Второй набор карт в параметрах сейсмической интенсивности сотрясения ( $I_{MSK}$ ) создан для территории южных Курильских островов (**рис. 4**).

Приложение 1\_юс



**Рис. 3.** Карты детального сейсмического районирования в параметрах пиковых ускорений грунта (PGA, g) в районе г. Южно-Сахалинска для средних периодов повторяемости  $T=500, 1\ 000$  и  $5\ 000$  лет [Ким и др., 2007; ИМГиГ ДВО РАН: коллектив авторов]



**Рис. 4.** Карты детального сейсмического районирования в параметрах сейсмической интенсивности сотрясения ( $I_{MSK}$ ) для территории южных Курильских островов при средних периодах повторения  $T=500, 1\ 000$  и  $5\ 000$  лет [ИМГиГ ДВО РАН: коллектив авторов]

Ниже, в *таблице* сделано наглядное сопоставление оценок сейсмической опасности для территории городов Сахалинской области по данным карт ОСР-97 и ДСР. Жирным шрифтом в таблице выделены оценки ДСР, более либеральные по сравнению с аналогичными оценками ОСР-97. В большинстве случаев они оказались на 1 балл ниже по сравнению с оценками ОСР-97, что существенно удешевляет строительство различных объектов.

**Таблица. Сопоставление оценок сейсмической опасности (в баллах шкалы MSK-64) для территории городов Сахалинской области по данным карт ОСР-97 и ДСР (ИМГиГ ДВО РАН)**

| № п/п. | Наименование населенного пункта | Карты ОСР-97 |    |    | Карты ДСР (ИМГиГ) |            |            |
|--------|---------------------------------|--------------|----|----|-------------------|------------|------------|
|        |                                 | А            | В  | С  | А                 | В          | С          |
| 1      | Александровск-Сахалинский       | 9            | 9  | 10 | <b>8</b>          | <b>8/9</b> | <b>9</b>   |
| 2      | Анива                           | 8            | 9  | 9  | 8                 | <b>8</b>   | 9          |
| 3      | Долинск                         | 8            | 8  | 9  | 8                 | 8          | 9          |
| 4      | Корсаков                        | 8            | 8  | 9  | <b>7/8</b>        | 8          | 9          |
| 5      | Крабозаводское                  | 10           | 10 | 10 | <b>9</b>          | <b>9</b>   | 10         |
| 6      | Курильск                        | 9            | 10 | 10 | <b>8</b>          | <b>8</b>   | <b>9</b>   |
| 7      | Макаров                         | 8            | 9  | 9  | 8                 | <b>8</b>   | 9          |
| 8      | Малокурильское                  | 10           | 10 | 10 | <b>9</b>          | <b>9</b>   | 10         |
| 9      | Невельск                        | 9            | 9  | 9  | <b>8</b>          | <b>8</b>   | 9          |
| 10     | Ноглики                         | 9            | 9  | 10 | <b>8</b>          | <b>8</b>   | <b>9</b>   |
| 11     | Оха                             | 9            | 10 | 10 | <b>8</b>          | <b>8/9</b> | <b>9</b>   |
| 12     | Поронайск                       | 8            | 9  | 9  | 8                 | <b>8</b>   | 9          |
| 13     | Смирных                         | 8            | 9  | 9  | 8                 | <b>8/9</b> | 9          |
| 14     | Томари                          | 8            | 8  | 9  | 7                 | 7          | <b>8</b>   |
| 15     | Тымовское                       | 9            | 9  | 10 | <b>8</b>          | <b>8</b>   | <b>9</b>   |
| 16     | Углегорск                       | 9            | 9  | 10 | <b>8</b>          | <b>8</b>   | <b>9</b>   |
| 17     | Шахтерск                        | 9            | 9  | 10 | <b>8</b>          | <b>8</b>   | <b>9</b>   |
| 18     | Холмск                          | 8            | 9  | 9  | 8                 | <b>8</b>   | 9          |
| 19     | Южно-Курильск                   | 9            | 10 | 10 | <b>8</b>          | <b>8</b>   | <b>9</b>   |
| 20     | Южно-Сахалинск                  | 8            | 8  | 9  | 8                 | 8          | <b>9/8</b> |

**Примечание.** Жирным шрифтом в таблице выделены оценки балльности согласно картам ДСР, оказавшиеся более либеральными по сравнению с оценками на основе ОСР-97.

Для органов власти и МЧС также важно знать, где и когда на территории Сахалинской области ожидаются сильные землетрясения. Такие оценки можно получить с помощью новой методологии среднесрочного прогноза сильных землетрясений [Тихонов, 2009а]. Чтобы иметь общее представление об этой методологии, перечислим шесть основных способов прогноза, разработанных в течение последних десяти лет:

1) Методика и алгоритм среднесрочного прогноза времени возникновения сильных землетрясений (Q1-метод) [Тихонов, 1999].

2) Способ прогноза времени возникновения сильных землетрясений на основе предвестника типа «сейсмической паузы» [Тихонов, 2010а].

3) Способ оценки вероятности возникновения землетрясения умеренной силы на основе повторяемости интервалов времени между последовательными сейсмическими событиями [Тихонов, 2002].

4) Метод выявления скрытых периодичностей, синхронизирующих появление сильных землетрясений, и прогноза сейсмоопасных интервалов времени в отдельных регионах [Тихонов, 2004, 2010 б].

5) Картирование местоположения очагов прогнозируемых землетрясений с помощью модифицированного ZMAP метода [Wiemer and Wyss, 1994; Тихонов, 2005].

6) Метод саморазвивающихся процессов [Малышев, Тихонов, 1991, 2007].

Перечисленные способы и алгоритмы, реализующие упомянутую методологию, используются в настоящее время при экспертной прогнозной оценке сейсмической обстановки в Курильском и Сахалинском регионах. Следует заметить, что все существующие в мире способы прогноза землетрясений пока не дают возможности надежно решать эту проблему даже на среднесрочной стадии. Тем более, до сих пор нет эффективных методов краткосрочного прогноза. Апробация последних в Сахалинской области сдерживается также из-за отсутствия телеметрической системы сбора и оперативной обработки данных с цифровых сейсмических станций. Посещение пунктов наблюдения для снятия информации осуществляется один-два раза месяц, и с учетом последующей обработки задержка с выходом каталога составляет 2–3 месяца, что неприемлемо при краткосрочном прогнозировании.

В силу нерешенности до конца проблемы прогноза на научном уровне успехи в прогнозировании некоторых сильных сейсмических событий сменяются неудачами (ложными тревогами или пропуском событий). Ограничение объема статьи не позволяет дать описание всех случаев, имевших место в нашей практике. Поэтому приведем лишь три примера успешных реальных среднесрочных прогнозов разрушительных землетрясений, а также ложной тревоги в районе южных Курильских островов.

В первом примере речь идет о среднесрочном прогнозе Такойского роя землетрясений 2001 г. Основу прогноза составляет квазициклическая повторяемость сильных сейсмических толчков ( $M \geq 4,0$ ), установленная в пределах южного сегмента Центрально-Сахалинского разлома [Тихонов, 1997, 2006; Tikhonov, 1997]. Суть ее кратко состоит в следующем. По данным регионального каталога землетрясений за период наблюдений 1910–1996 гг., в окрестности ( $\pm 20$  км) данного сегмента разлома возникло шесть групп землетрясений с  $M \geq 4,0$  со средним периодом повторения  $T = 13,7 \pm 3,0$  года (рис. 5). Максимальная длительность группы не превышала 1,5 лет.

Это явление было обнаружено в феврале 1997 г., и на тот момент времени длительность очередного спокойного интервала, начавшегося в середине ноября 1983 г., составляла 13,2 года. С учетом выявленной закономерности был сделан прогноз появления очередной группы сильных землетрясений [Тихонов, 1997; Tikhonov, 1997] и указан тревожный период, выделенный на рисунке 5 серым цветом. Позднее, в 2001 г. в пределах этого интервала времени на указанном сегменте разлома в Долинском районе произошел интенсивный рой землетрясений. Магнитуда максимального толчка составила  $M = 5,6$ .



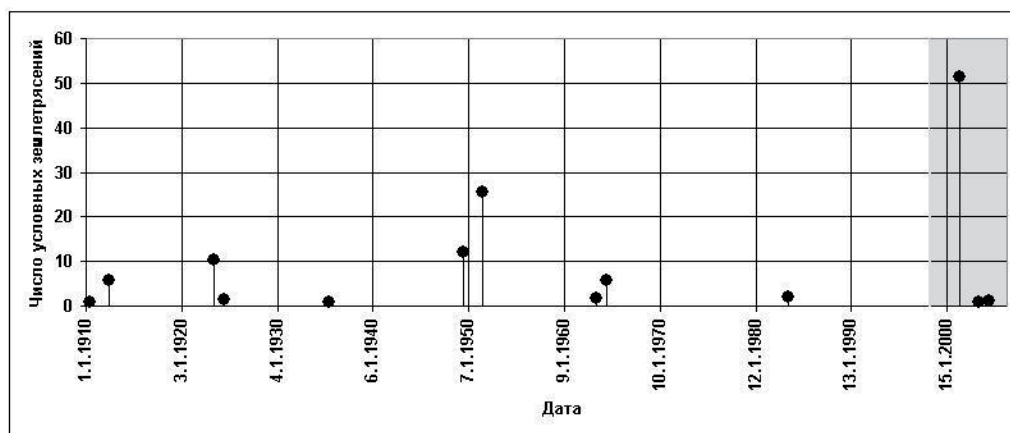


Рис. 5. Квазициклическая повторяемость сильных землетрясений ( $M \geq 4,0$ ) в пределах южного сегмента Центрально-Сахалинского разлома за 1910–2005 гг. По оси ординат отложено погодное число условных землетрясений с  $M \geq 4,0$ , нормированных на  $M=4,0$  [Тихонов, 1997, 2006]

Другой пример успешного прогноза связан с сильнейшим землетрясением 26 сентября 2003 г. ( $M=8,3$ ) вблизи мыса Эримо (о. Хоккайдо). За 1,5 года до этого события при сканировании всей территории Японии с помощью модифицированного ZMAP метода [Wiemer and Wyss, 1994; Тихонов, 2005] нами были выявлены две зоны сейсмического затишья. Одна из них (на юге о. Хоккайдо) протяженностью около 75 км по широте показана на рисунке 6. Она возникла в 1998 г. и характеризовалась сейсмическим затишьем толчков с  $M \geq 3,8$ . Результаты этого исследования были доложены в июле 2003 г. на 23-й Генеральной Ассамблее Международного союза геодезии и геофизики в г. Саппоро (Япония) [Tikhonov, 2003]. А в сентябре 2003 г. на краю этой зоны произошло разрушительное землетрясение с магнитудой  $M=8,3$  (рис. 7).

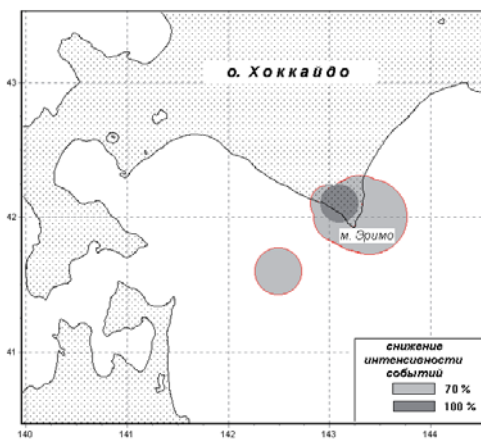


Рис. 6. Карта, показывающая области 70%-ного и 100%-ного снижения с января 1998 г. уровня сейсмической активности событий с  $M \geq 3,8$  в районе мыса Эримо. Данное затишье обнаружено в июле 2002 г.

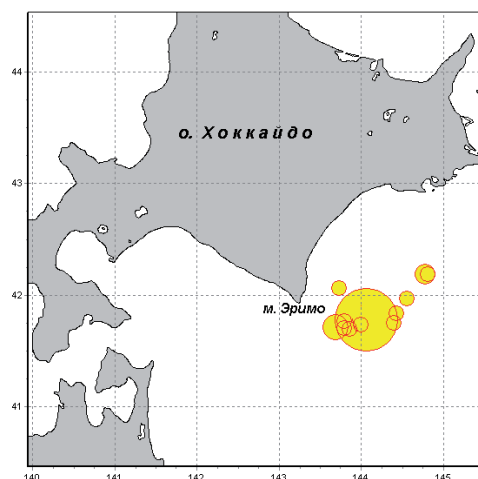


Рис. 7. Карта эпицентров основного землетрясения 25.09.2003 г. ( $M=8,3$ ) (большой кружок) и его афтершоков с  $M \geq 5,0$  в течение первых суток (маленькие кружки)

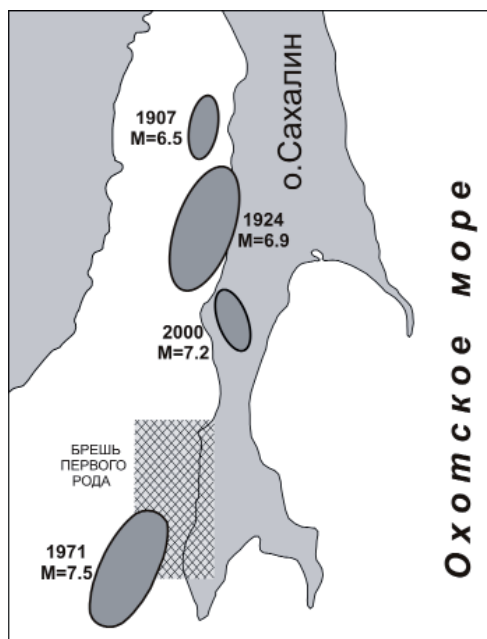


Рис. 8. Очаги известных сильных землетрясений вблизи западного побережья о. Сахалин (овалы серого цвета) и примерное положение сейсмической бреши первого рода (заштрихованная область)

Третий пример касается оправданного прогноза разрушительного Невельского землетрясения 2007 г. Он подробно описан в ряде статей [Тихонов, 2006; 2009 б; Тихонов, Ким, 2008], поэтому здесь ограничимся лишь кратким изложением. Этот опыт опубликован и признан за рубежом [Tikhonov, Kim, 2010]. Прогноз сильного ( $M=6,6\pm0,6$ ) землетрясения вблизи юго-западного побережья Сахалина был составлен в ИМГиГ ДВО РАН в декабре 2005 г., за полтора года до его возникновения. Прогноз подготовлен на основе анализа исторических данных о сильных землетрясениях вблизи западного побережья Сахалина (рис. 8) и детальных данных сети цифровых автономных сейсмических станций, развернутой с 2001 г. на юге Сахалина (рис. 9), а также сведений о различных аномальных явлениях.

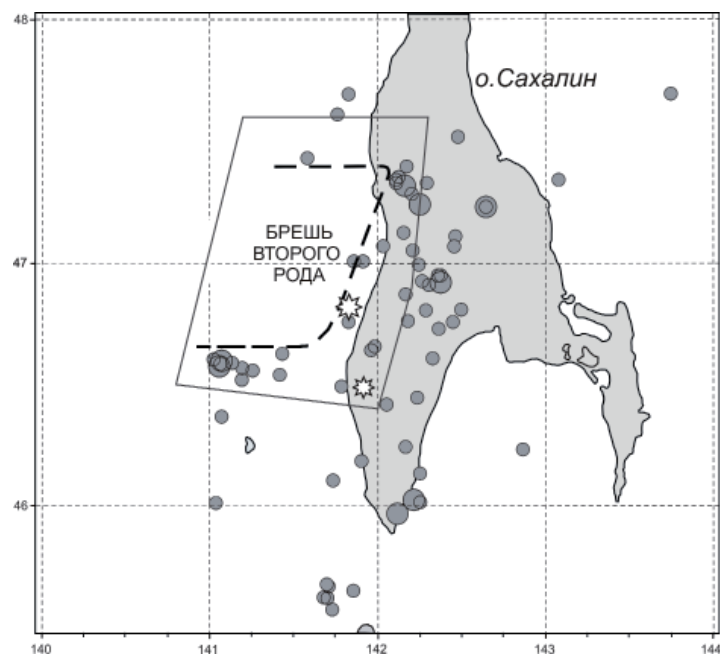


Рис. 9. Эпицентры коровых землетрясений с  $M \geq 3,0$  за 1993–2005 гг. по данным системы «IRIS-2» и сети станций «Datamark», «DAT». Пунктирная кривая – контур сейсмической бреши второго рода. Область внутри полигона – место эпицентра ожидаемого землетрясения. Малая и большая звездочки – фактическое положение эпицентров Горнозаводского 17 (18) августа 2006 г. ( $M=5,6$ ) и Невельского 2 августа 2007 г. ( $M=6,2$ ) землетрясений

Основными фактами, положенными в основу прогноза, послужили два предвестника (сейсмические бреши первого и второго рода). Брешь 1-го рода – это область отсутствия сильных ( $M \sim 6-7$ ) землетрясений в течение  $\sim 100$  и более лет, изображена на рисунке 8 в виде заштрихованного прямоугольника. Брешь 2-го рода (область размером  $90 \times 60$  км, в которой с середины 2003 г. не наблюдались мелкофокусные землетрясения с магнитудой  $M \geq 3,0$ ) показана на рисунке 9. В августе 2006 г. данный прогноз был рассмотрен и утвержден Российским экспертным Советом по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска. Спустя год прогноз успешно реализовался в результате разрушительного Невельского землетрясения 2 августа 2007 г. ( $M=6,2$ ). Ему предшествовало Горнозаводское землетрясение 17 (18) августа 2006 г. ( $M=5,6$ ).

Приведем, наконец, четвертый пример, связанный с ложной тревогой. Он показывает, что вероятностный характер прогнозных заключений может иногда приводить к неудачам (пропуску цели или ложной тревоге). В декабре 2007 г. И. Н. Тихоновым и Ким Ч. У. был подготовлен среднесрочный прогноз землетрясения с магнитудой  $M \geq 7,4$  в районе южных Курильских островов. Главными аргументами для объявления тревожного режима в указанном районе на период до 2010 г. явились предвестники в виде аномального хода четырех функций алгоритма  $QI$  [Тихонов, 1999] и области сейсмического затишья в районе о-вов Уруп и Итуруп для землетрясений с  $M \geq 5,9$ , существующей с мая 1999 г.

Чуть позднее магнитуда прогнозируемого землетрясения была увеличена до значения  $M \sim 8,0$ . Однако в отведенный для тревоги период в районе южных Курильских островов не произошло события даже с  $M \sim 7$ . После этого тревожный режим неоднократно продлевался, он сохраняется и по настоящее время (апрель 2011 г.). Это связано с тем, что разрядки упругих напряжений в области сейсмического затишья не произошло и угроза сильнейшего землетрясения в данном районе продолжает нарастать.

Вместо этого разразилась уникальная сейсмическая катастрофа в Японии. 11 марта 2011 г. восточнее острова Хонсю возникло мегаземлетрясение с  $M=9,0$ . Землетрясение сопровождалось катастрофическим по своим последствиям цунами. Землетрясение и цунами спровоцировали небывалую по своим последствиям техногенную катастрофу на АЭС «Фукусима-1». Однако описание этих событий выходит за рамки данной статьи.

Что же следует ожидать после такой катастрофы вблизи Курильских островов и Камчатки? Здесь также накоплены огромные напряжения, ждущие разрядки. Однако в настоящее время сейсмическая обстановка соответствует пока обычному режиму. Тем не менее статистика за 100 лет наблюдений показывает, что после сильнейшего землетрясения на одном фланге сейсмоактивной зоны примерно в 50% случаев возникает такое же землетрясение на другом фланге с запаздыванием не более 1,5 лет.

## ЛИТЕРАТУРА

Андреева М. Ю., Патрикеев В. Н., Соловьев В. Н. Особенности сейсмической опасности для территорий, расположенных вблизи зон Бенъофа // Проблемы сейсмичности и современной геодинамики Дальнего Востока и Восточной Сибири: докл. науч. симпоз., 1–4 июня 2010, г. Хабаровск / под. ред. В. Г. Быкова, А. Н. Диденко. – Хабаровск: ИТиГ им. Ю. А. Косыгина ДВО РАН, 2010. – С. 122–125.

Ким Чун Ун, Никифоров С. П., Соловьев В. Н. Детальное сейсмическое районирование территории городов Сахалинской области // Проблемы сейсмобезопасности Дальнего Востока и Восточной Сибири : междунар. науч. симп., Южно-Сахалинск, Россия, 27–30 сент. 2007 г. : тез. докл. / отв. ред. И. Н. Тихонов, А. В. Коновалов. – Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 2007. С. 110–111.

Кофф Г. Л., Малаховский А. А., Ким Чун Ун. Роль характера застройки городов острова Сахалин в формировании сейсмического риска и анализ последствий Невельских землетрясений 18 августа 2006 г. и 2 августа 2007 г. – Владивосток: Дальнаука, 2007. – 60 с.

Левин Б. В., Тихонов И. Н., Кайстренко В. М. и др. Невельское землетрясение и цунами 2 августа 2007 года, о. Сахалин / Отв. ред. Б. В. Левин, И. Н. Тихонов. – М.: Янус-К, 2009. – 204 с.

Малышев А. И., Тихонов И. Н. Закономерности динамики форшок-афтершоковых последовательностей землетрясений в районе южных Курильских островов // Доклады АН СССР. – 1991. – Т. 319, № 1. – С. 134–137.

Малышев А. И., Тихонов И. Н. Нелинейные закономерности развития сейсмического процесса во времени // Физика Земли, № 6, 2007. С. 37–51.

ОСР-97: Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации ОСР-97 Комплект карт и другие материалы для Строительных норм и правил – СНиП «Строительство в сейсмических районах». М.: Миннауки РФ, ОИФЗ РАН, 1998.

Тихонов И. Н. Динамика сейсмического режима юга Сахалина // Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона. – Южно-Сахалинск, 1997. – С. 5–20. – (Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией; Т. VI).

Тихонов И. Н. Закон повторяемости отрезков времени между последовательными землетрясениями // Доклады Академии Наук, 2002, том 387, № 2. С. 250–252.

Тихонов И. Н. Методика выявления периодичностей сильных землетрясений и прогноза интервалов времени с повышенной вероятностью их возникновения / Отв. ред. Ким Чун Ун. Препринт. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2004. 33 с.

Тихонов И. Н. Методика среднесрочного прогноза времени возникновения сильнейших ( $M \geq 7,5$ ) землетрясений (на примере района южных Курильских островов) / Отв. ред. А. И. Иващенко. Препринт. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1999. 34 с.

Тихонов И. Н. Методология прогноза сильных землетрясений по потоку сейсмичности на примере северо-западной части Тихоокеанского пояса // Автореф. ... д-ра физико-математических наук по специальности 25.00.10 – геофизика, геофиз. методы поисков полезных ископаемых. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2009а, 42 с.

Тихонов И. Н. Методы и результаты анализа каталогов землетрясений для целей средне- и краткосрочного прогнозов сильных сейсмических событий. – Владивосток, Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. 2006. 214 с.

Тихонов И. Н. Обнаружение и картирование сейсмических затиший перед сильными землетрясениями Японии // Вулканология и сейсмология, № 5, 2005. С. 1–17.

Тихонов И. Н. Паузы молчания – среднесрочный предвестник сильных землетрясений Курило-Камчатской зоны // Проблемы сейсмичности и современной геодинамики Дальнего Востока и Восточной Сибири: докл. науч. симп., 1–4 июня 2010, г. Хабаровск / под ред. В. Г. Быкова, А. Н. Диденко. – Хабаровск: ИТиГ им. Ю. А. Косыгина ДВО РАН, 2010а. С. 279–282.

Тихонов И. Н. Прогноз сильного землетрясения на юго-западном шельфе острова Сахалин и его реализация в результате Невельского землетрясения 2 августа 2007 года // Тихоокеанская геология, том 28, № 5, 2009б. С. 22–29.

Тихонов И. Н. Синодические периоды планет солнечной системы и синхронизация времен возникновения сильных землетрясений // Вулканология и сейсмология, № 3, 2010 б. С. 71–80.



Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья

Тихонов И. Н., Ким Ч. У. Успешный прогноз Невельского землетрясения 2 августа 2007 года ( $M_{LH}=6.2$ ) на юге о-ва Сахалин // Доклады Академии наук, 2008, т. 420, № 4. С. 532–536.

Уломов В. И., Перетокин С. А. О развитии методов общего сейсмического районирования территории Российской Федерации для создания карт ОСР-2012 // Проблемы сейсмичности и современной геодинамики Дальнего Востока и Восточной Сибири: докл. науч. симпоз., 1–4 июня 2010, г. Хабаровск / под ред. В. Г. Быкова, А. Н. Диденко.– Хабаровск: ИТиГ им. Ю. А. Косыгина ДВО РАН, 2010. С. 177–181.

Уломов В. И., Шумилина Л. С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8 000 000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ, 1999. 57 с.

Tikhonov I. N. Some patterns in seismic region dynamics of the Southern Sakhalin region // Bulletin Seismological Association of the Far East. 1997. Vol. 3, No. 3. P. 192–211.

Tikhonov I. N. Seismic quiescence before the strong earthquakes of Japan // XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (June 30 – July 11, 2003), Sapporo, Japan. 2003. Abstracts Week A, P A.479–A.480.

Tikhonov I. N., Kim Ch. U., 2010. Confirmed prediction of the 2 August 2007 MW 6.2 Nevelsk earthquake (Sakhalin Island, Russia) // Tectonophysics. Vol. 485, issues 1–4. P. 85–93.

Wiemer S., Wyss M. Seismic quiescence before the Landers ( $M=7.5$ ) and Big Bear ( $M=6.5$ ) 1992 earthquakes // Bulletin of Seismological Society of America, 1994. V. 84. No 3. P. 900–916.

Макото Кашиваи (kashiwai@mua.biglobe.ne.jp)

Исследовательская рыбохозяйственная студия «Оясио-Я»

## Уникальность Охотского моря, поднимающая серьезные научные вопросы, и необходимость наблюдений

Традиционные взгляды на Охотское море: основываясь на данных, собранных летом, мы полагаем, что оно является спокойным прибрежным морем, как Белое или Балтийское моря. Однако данные WOA05, которые включают материалы второй половины осени и первой половины весны, указывают на то, что Охотское море является интенсивным прибрежным морем с хорошо развитыми циклонными и антициклонными водоворотами, связанными с апвеллинговыми и даунвеллинговыми изопикническими поверхностями, мощным промежуточным слоем и значительным влиянием на северную тихоокеанскую субарктическую воду. Данные показывают, что эти интенсивные особенности вызваны ветрами – зимними муссонами, воздействующими на Охотское море с полюса холода, и прямым взаимодействием с западным граничным течением северного тихоокеанского субарктического водоворота. Эти интенсивные свойства поднимают серьезные научные вопросы и требования новых подходов к наблюдениям и измерениям.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Традиционные взгляды на Охотское море: является спокойным прибрежным морем, изолированным мелководным галоклином, что делает море мелководным бессейном с сезонным замерзанием, отделенным от внешнего океана цепью Курильских сотровов. В основном такая точка зрения сложилась из-за того, что прошлые океанографические наблюдения за Охотским морем проводились в теплое время года, а также по аналогии с Белым и Балтийским морями.

Однако с конца XX века для наблюдения за Охотским морем стали применять автономные буйковые станции и CTD-профилографы, и следовательно, увеличилось количество данных о сезонных циклах океанографической структуры Охотского моря. Например, Mizuta *et al.* (2003) в своем докладе сообщили, что Восточно-Сахалинское течение развилось в ответ на возрастающие зимние муссоны с ноября, достигло своего максимума в январе и к лету быстро ослабело. Ohshima *et al.* (2005), основываясь на данных, собранных профилографами, показали, что мелководный поверхностный галоклин углубляется и исчезает во время осеннего охлаждения, а промежуточный холодный слой воды, оставшийся с прошлой зимы, участвует в развитии зимнего поверхностного слоя перемешивания. Что же касается океанографической структуры Охотского моря, собранные данные были заархивированы и скомпилированы в виде базы данных атласа World Ocean Atlas 2005 (WOA05), который содержит данные в сетке  $1^\circ \times 1^\circ$  о годовых, сезонных и месячных средних значениях солености, температуры, растворенного кислорода, биогенах.

Нижеследующие части доклада описывают результаты анализа данных об Охотском море, содержащихся в WOA05, с использованием ПО Ocean Data View (Schlitzer, 2010) для анализа и просмотра океанографических данных. В результате этого анализа должны быть решены следующие научные вопросы:

1) Какова роль Охотского моря в изменении водных масс вдоль субарктической циркуляции на севере Тихого океана (далее СЦСТО)?

- 2) Каков профиль плотности СЦСТО, независимо от или вместе с Охотским морем?
- 3) Какова разность зимнего/летнего профиля плотности СЦСТО и Охотского моря?
- 4) На что указывает плотностное строение в текущей структуре Охотского моря и в его взаимосвязи с потоком СЦСТО?
- 5) На что указывает изопикнический рельеф поверхности СЦСТО?
- 6) Как связано детальное плотностное строение Охотского моря с распределением и изменением водных масс?

## 2. РОЛЬ ОХОТСКОГО МОРЯ В ИЗМЕНЕНИИ ВОДНЫХ МАСС ВДОЛЬ ТРАЕКТОРИИ СЦСТО

На *рисунке 1* показаны станции, расположенные вдоль динамической изогипсы 1.63, что соответствует 2 000 м и является основной траекторией СЦСТО. Эта изогипса не входит в Охотское море, таким образом, станции в Охотском море взяты для сравнения.

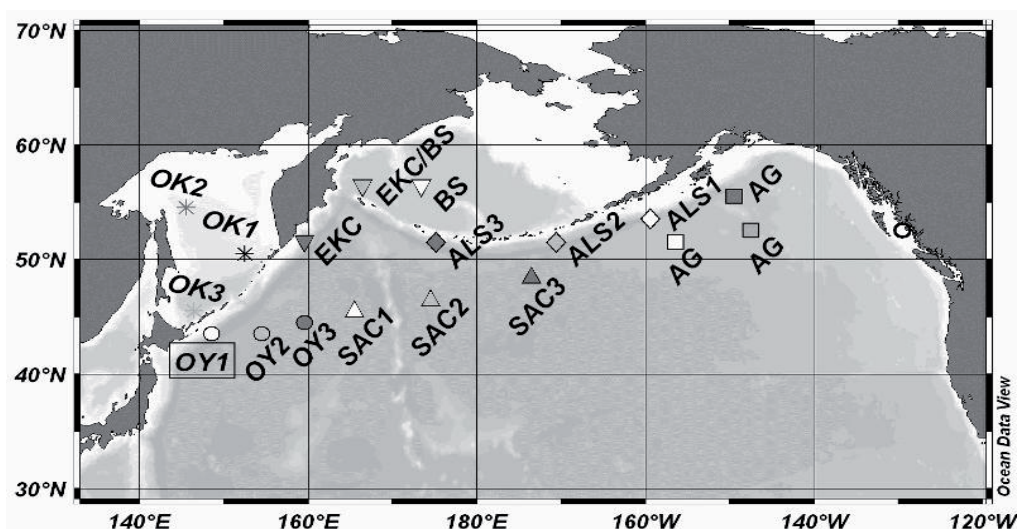


Рис. 1. Станции, расположенные вдоль траектории NPSAC  
(North Pacific SubArctic Circulation, СЦСТО – рус., прим. переводчика)

На **рисунке 2** показана T/S-диаграмма для этих же станций в зимний период (средние значения января, февраля и марта).

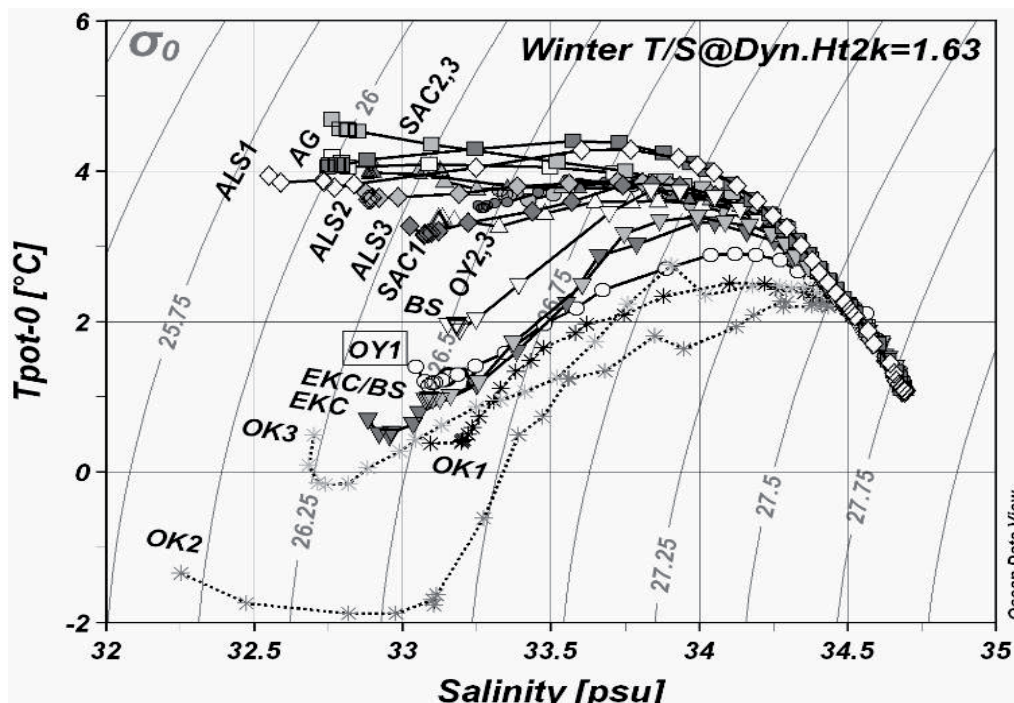


Рис. 2. T/S-диаграмма станций вдоль ЦССТО для анализа условной плотности воды в зимний период

Анализируя станции по очереди против часовой стрелки по отношению к уровню станций, могут быть определены следующие свидетельства изменений водных масс вдоль траектории ЦССТО:

1) Изменение водных масс мало вдоль Транстихоокеанского пути к северо-восточному потоку вдоль фронта Оясио (от станции OY2-3), через Субарктическое течение (SAC1-3), Аляскинский водоворот (AGs), Аляскинское течение (ALS1-3).

2) Основные изменения водных масс по формированию типичной воды Оясио (OY1) происходят на пути от водоворота Берингова моря (BS), через воды Восточно-Камчатского течения (ЕКС/BS, ЕКС) к водам Оясио (OY1).

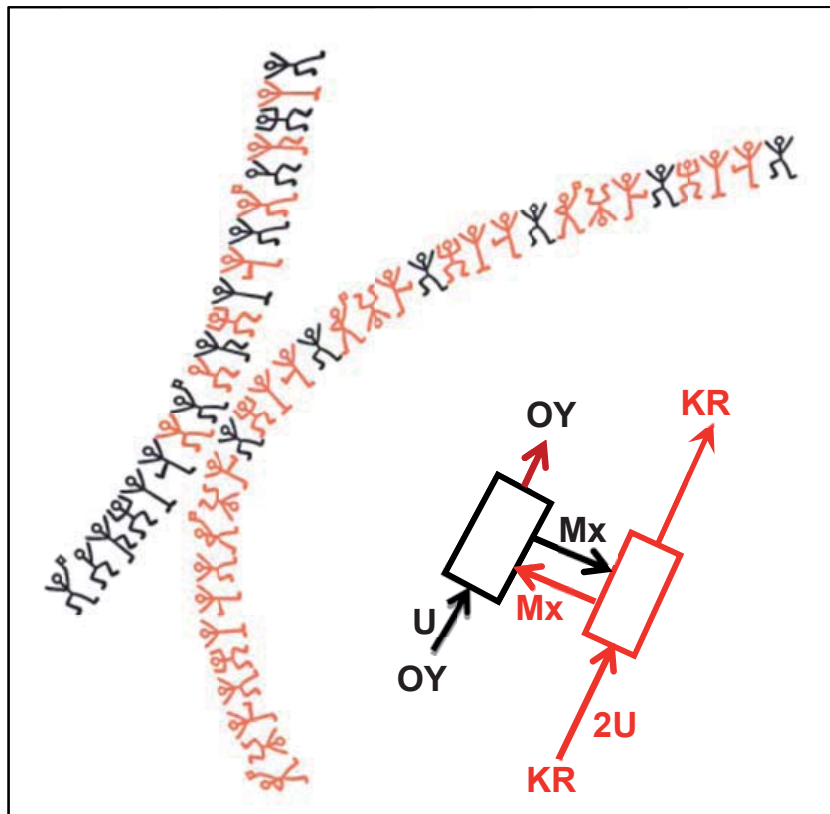
3) Изменение водной массы из типичной воды Оясио (OY1) происходит, когда сигма  $\theta$  находится в пределах от 26,75–27,5, изменение которой соответствует созданию T/S-диаграммы OY1 (O) смешением ЕКС ( $\nabla$ ) и ОК1 (\*) вдоль изопикнических кривых. Другими словами, вода Оясио может быть создана смешением воды ЕКС и охотоморской воды.

4) Наиболее существенным изменением водных масс вдоль пути ЦССТО является изменение воды Оясио (OY) в воды Субарктического течения (SAC1), что можно назвать исчезновением воды Оясио.

Механизм исчезновения вод Оясио, когда они сталкиваются с водами течения Куро-Оясио, может быть объяснен на **рисунке 3**. Два ряда марширующих фигурок встречаются и меняют друг друга. Когда скорость марша различна и



скорость фигурок в красном в два раза выше скорости марша фигурок в черном, состав фигурок, после обмена, становится довольно различным. Ряд в черном подвержен более глубоким изменениям, чем ряд в красном.



**Рис. 3.** Результаты обмена одинакового объема вод между Оясио и Куроисио, имеющих разные мощности потоков. Оясио – черные фигурки, идущие медленно, в то время как Куроисио – красные фигурки, идущие быстро. При встрече происходит обмен одну за одну при постоянной скорости неизменности общего количества фигурок в каждом ряду. Результат обмена различен для красных и черных фигурок (см. текст для объяснения боксовой модели)

Альтернативное объяснение с использованием боксовой модели рисунка 3 дается следующим образом. Для Оясио  $OY_0$  является характерной плотностью до смешения с водами Куроисио, в то время как  $OY_1$  – это плотность после смешения с Куроисио. Значит:

$$U \cdot OY_0 = U \cdot OY_1 + Mx \cdot OY_0.$$

Тогда

$$\Delta OY = OY_0 - OY_1 = (Mx/U) \cdot OY_0.$$

Точно также для Куроисио:

$$\Delta KR = KR_0 - KR_1 = (Mx/2U) \cdot KR_0.$$

Следовательно, Оясио изменяет свои свойства дважды относительно изменений Куроисио, исходя из предположения двойного превосходства объема Куроисио над объемом Оясио.

По отношению к сигма  $\theta$ , в пределах от 27,0 до 27,25, изменение водных масс от ЕКС до  $OY_1$  сравнимо с изменением от  $OY_1$  до  $OY_2$ . Это означает, что

водные массы СЦСТО обмениваются водным объемом с водами Охотского моря, что сравнимо с обменом между Оясио и Курисио.

Таким образом, Охотское море играет весьма значительную роль в процессе формирования водных масс СЦСТО. Это приводит к необходимости детального анализа связи между динамической структурой СЦСТО и Охотским морем.

### 3. РАЗРЕЗ ПЛОТНОСТИ СЦСТО И ОХОТСКОГО МОРЯ

На *рисунке 4* показан разрез плотности через Охотское море и СЦСТО в зимний период. Положение разреза показано в нижней части рисунка 4. Верхняя часть рисунка (топография поверхности) соответствует подповерхностной изопикнической топографии, показанной в центральной части рисунка, и изображена линиями синего цвета.



*Рис. 4. Профиль распределения условной плотности на разрезе через Охотское море зимой (средние значения января, февраля и марта). Данные WOA05*

Из показанного разреза плотности в зимний период можно сделать следующие выводы:

- Основной вертикальный градиент плотности на изопикне  $\sigma_\theta =$  около 26,6, вертикальный градиент плотности на запад ослабевает и практически исчезает в Охотском море, за исключением шельфовых вод. Это означает, что поверхностное перемешивание зимой вызвано сильными муссонами, которые дуют с западных границ, следовательно, на западе они сильнее.

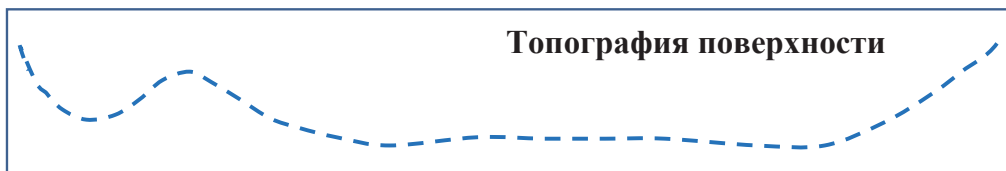
- Изопикническая топография глубже основного вертикального градиента плотности, имеет форму «купола», что компенсирует горизонтальным барическим полем, создаваемым вогнутой топографией поверхности моря (верхняя часть рисунка 4), и ослабевает сверху вниз, сохраняя баланс более медленными глубоководными течениями. СЦСТО является пограничным течением, примыкающим к побережью. Широкая часть купола углубляется к границам береговой черты. На западной границе широкая часть купола спускается до Курильской котловины. Это означает, что динамическая структура СЦСТО входит в Охотское море.

- Основной вертикальный градиент плотности Охотского моря имеет волнообразную природу. В бассейне притока развиваются водовороты антициклонных и циклонных циркуляций.

Затем мы проверим сезонное изменение структуры плотности.

#### 4. РАЗНОСТЬ ЗИМНЕГО/ЛЕТНЕГО РАЗРЕЗА ПЛОТНОСТИ

На *рисунке 5* показан разрез плотности через Охотское море и СЦСТО летом (середина июля, август и сентябрь).



*Рис. 5. Профиль распределения условной плотности на разрезе через Охотское море летом (средние значения июля, августа и сентября). Данные WOA05*

Сравнивая с рисунком 4, можно обнаружить следующие крайние различия сезонного изменения в динамической структуре:

- Выше основного вертикального градиента плотности развивается сильная стратификация, которая становится более мелкой в западной части. Данная стратификация возникает не просто из-за прогрева поверхности, но предшествует стратификации по солености, которая вызывается переносом слабосоленой поверхностной воды, когда та поступает с периферийной береговой черты под действием зимних ветров. Глубина сезонного пикноклина практически постоянна (немного глубже на востоке), а это означает, что сезонный пикноклин практически параллелен поверхности моря и что течения выше основного вертикального градиента плотности практически баротропны.

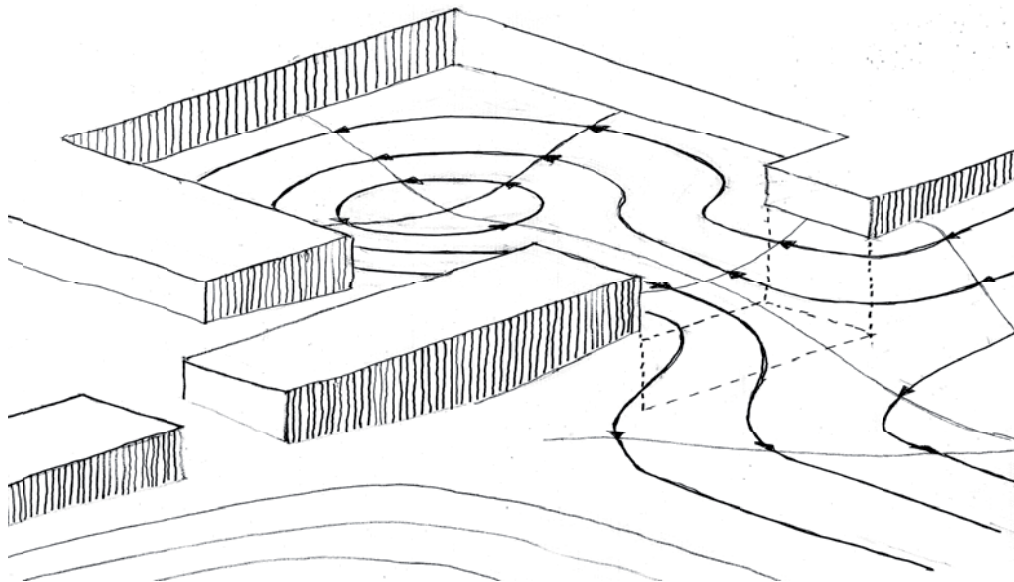
- Топография основного градиента плотностей в основном неизменна на востоке, но далее, к широкой части «купола» все сильнее ослабевает на западе, особенно в Охотском море. Это ослабление структуры плотности указывает на замедление вращения СЦСТО и водоворотов в бассейне Охотского моря. Уменьшение в Охотском море основного градиента плотности вызывается снижением толщины промежуточных вод между сезонными пикноклинами и основным пикноклином, а это означает, что промежуточный слой воды выдвигается из Охотского моря в СЦСТО.

- Топография поверхностной плотности тесно связана со структурой течения. Таким образом, мы рассмотрим поле течения по отношению к структуре плотности, показанной на рисунках 4 и 5.

#### 5. ПОРОГОВЫЙ ЭФФЕКТ НА ЦИРКУЛЯЦИЮ ПРИБРЕЖНОГО МОРЯ

Теория геострофических течений говорит, что океанические течения протекают вдоль изобат, когда течение достигает дна. Структура плотности СЦСТО показывает постоянную стратификацию до глубин 2 000 м и более. Это означает, что течение СЦСТО достигает 2 000 м или более, затем легко достигает континентальный шельф и, таким образом, протекает вдоль изобат шельфа. Теория физической океанографии также говорит, что топография поверхности моря, возникающая под действием ветров, может проникать в прибрежное море в качестве поверхностной гравитационной волны. На этих основаниях мы рассмотрим пороговый эффект на циркуляцию прибрежного моря, сравнивая глубоководный порог с порогом мелководья.

На *рисунке 6* показан случай прибрежного моря с глубоководным порогом, например, Берингово море. Глубокая часть прибрежной границы течения СЦСТО протекает в бассейн, течет вокруг бассейна прибрежного моря и затем вытекает из него.



*Рис. 6. Циркуляция в окраинном море, соединенная с СЦСТО через глубоководный порог*

В случае же прибрежного моря с мелководным порогом (*рис. 7*), например, Охотское море, в мелководную часть прибрежной границы течение втекает и течет вокруг бассейна прибрежного моря, но в глубинной части прибрежной границы течение протекает вдоль входного порога, и поэтому вдоль порогового течения возникает возвышение поверхности моря вдоль границы входного порога. При вогнутой топографии СЦСТО топография в прибрежном море формирует возвышение у входного порога и углубление по центру бассейна, что и показано на рисунке 7.



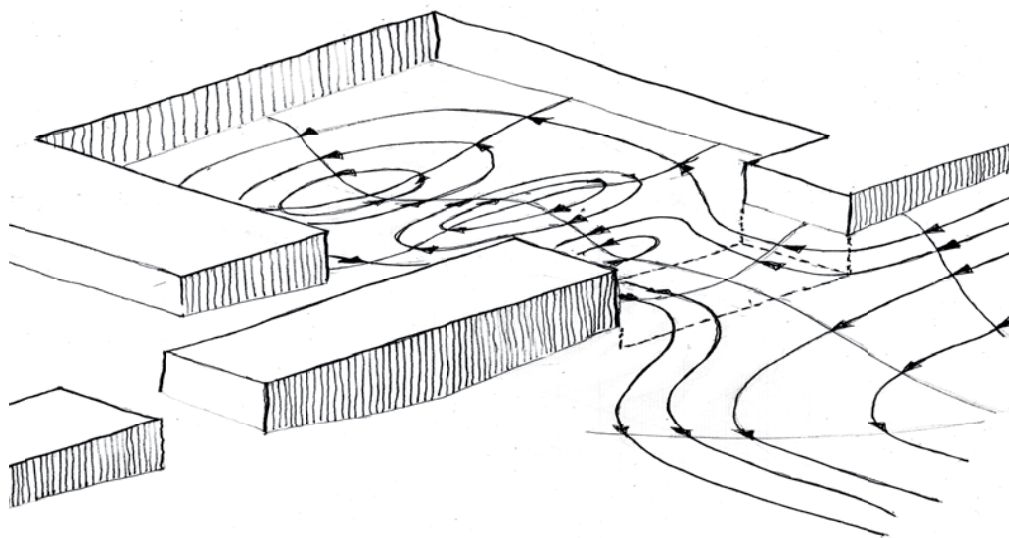


Рис. 7. Циркуляция в окраинном море, соединенная с СЦСТО через мелководный порог

Это объясняет механизм формирования подповерхностной топографии, изображенной свободными линиями на верхней части рисунков 5 и 6 как формирование соответствующих подбассейных водоворотов «пороговый эффект», при взаимодействии с течением СЦСТО. Это дедуктивное объяснение, основанное на теории океанических течений, однако для дальнейшего объяснения определенной топографии Охотского моря необходимо провести ряд экспериментов.

Далее мы рассмотрим существование бассейных водоворотов в Охотском море с помощью горизонтальной карты изопикнической топографии.

## 6. ПОДПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДОВОРОТЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В ИЗОПИКНИЧЕСКОЙ ТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТИ

На *рисунке 8* показана изопикническая топография поверхности западной части СЦСТО в январе и апреле, когда подбассейные водовороты возникают внутри и вне Охотского моря.

Было выбрано две изопикнических поверхности: одна изопикническая поверхность сигма  $\theta=26,7$ , которая соответствует нижней части основного пикноклина СЦСТО, и вторая поверхность сигма  $\theta=27,0$ , которая соответствует верхней части постоянной стратификации под основным пикноклином СЦСТО.

Топография этих поверхностей показана контурами глубины в метрах и цветной шкалой в правой части каждого из изображений. Поднимающаяся часть изопикнической поверхности изображена пурпурно-красным цветом, опускающаяся часть поверхности показана теплыми тонами, переходящими в красный, поднимающаяся часть поверхности показана холодными тонами, переходящими из зеленого в синий. Зона белого цвета является частью поверхности сигма  $\theta$ , пересекающей поверхность моря или морское дно.

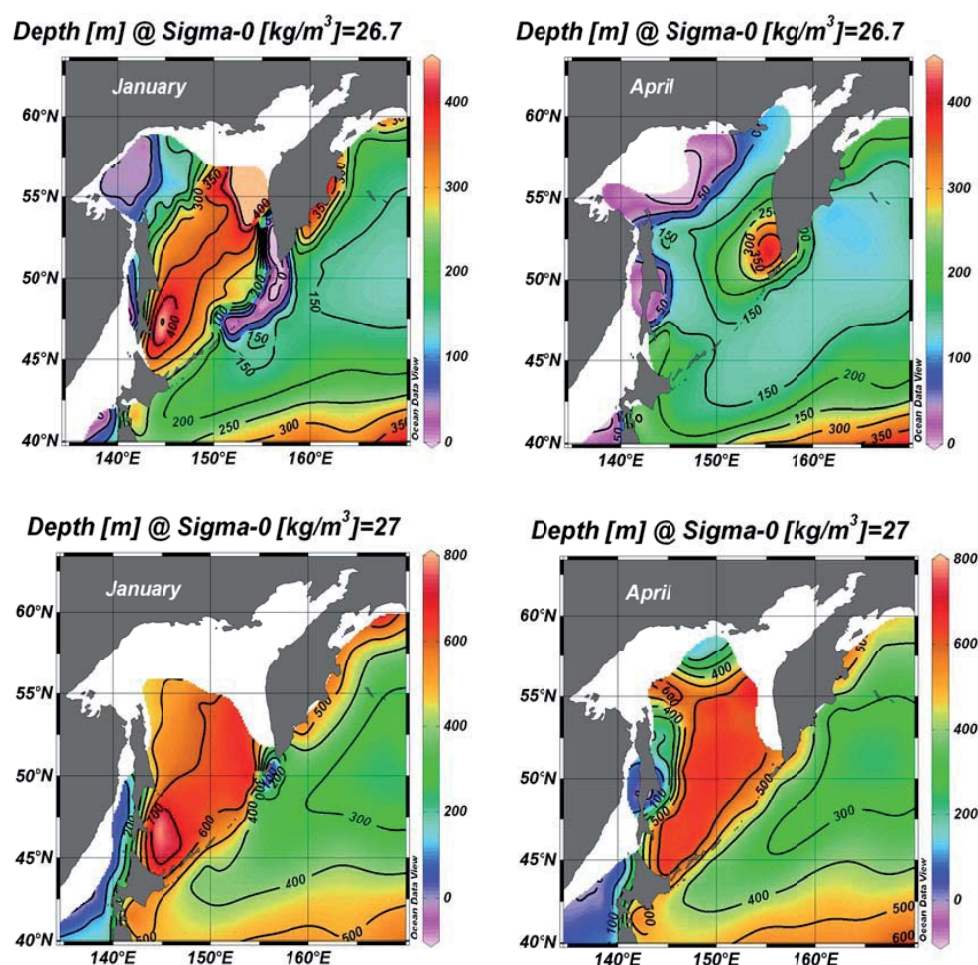


Рис. 8. Карты топографии поверхностей плотности (верхние панели для сигма  $\theta = 26,7$ , нижние панели для сигма  $\theta = 27,0$ ) западной части ЦССТО в январе (слева) и апреле (справа). Данные WOA05

Важные особенности, показанные на рисунке 8:

- 1) *Подъем изопикнической поверхности, соответствующей ЦССТО*: важная особенность, характерная для все изображений, – подъем изопикнической поверхности в западной части ЦССТО, что показывает горизонтальную структуру плотностной структуры ЦССТО в форме купола;
- 2) *Прямая вентиляция промежуточной воды Охотского моря*: в январе подъем ЦССТО превосходит северную часть Курильских Островов и подвержен поверхностному формированию мелководного увеличения, чей центр находится в районе острова Шумшу, а структура мелководья также может находиться на поверхности сигма  $\theta=27,0$ . Это означает, что прямая вентиляция промежуточных вод Охотского моря связана с сильным локальным циклонным водоворотом, возникающим в данном месте. Подобный феномен не наблюдается ни в одной части ЦССТО;
- 3) *Понижение вдоль юго-восточной границы Охотского моря*: обширное снижение плотностной поверхности, что означает формирование антициклон-

ного водоворота, происходит вдоль юго-восточной части Охотского моря. Юго-западное течение этого антициклонного водоворота вдоль Курильских островов формирует часть продолжительного юго-западного течения СЦСТО, указывая на вышеупомянутую динамическую структуру СЦСТО. В апреле этот водоворот возник в районе топографии 26,7 сигма  $\theta$  поверхности, что указывает на верхнюю часть поля течения, сформированную коротким воздействием ветра и отличается от более глубокого поля течения;

4) *Циклонный вихрь, распространяющийся на северо-запад шельфового региона*: другая общая топографическая черта для января и апреля – широкий подъем поверхности 26,7 сигма  $\theta$  над северо-западным шельфовым регионом, что указывает на широкий циклонный водоворот, сформированный над шельфом. В апреле мелководная часть поверхности сигма  $\theta$  выходит к поверхности моря, что указывает на хорошо развитую силу водоворота.

Эти особенности не существуют в других частях СЦСТО, как показано в данных WOA05, и являются уникальными для западной части СЦСТО. Таким образом, нам необходимо детально изучить плотностную структуру этих водоворотов Охотского моря.

## 7. ДЕТАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ПОДБАСЕЙНЫХ ВОДОВОРотов

### 7.1. Северо-западный – юго-восточный разрез плотности Охотского моря в январе

На *рисунке 9* показан январский разрез плотности Охотского моря с северо-западного шельфа на юго-восток, проходящий посередине Центрального бассейна и через северо-восточную вершину Курильского бассейна и доходящий через Курильские острова к СЦСТО.

В середине разреза широкая зона занята снижением изопикн, что соответствует антициклонной циркуляции в юго-восточной части Охотского моря, показанной на рисунке 8. Плотностная структура антициклонической циркуляции в основном формируется водой с почти вертикально однородной плотностью, с сигма  $\theta$  в пределах 26,55 до 26,8. Остаточная поверхностная стратификация распространяется с северо-западного шельфового региона до вершины антициклонической циркуляции.

Юго-восточная граница антициклонического водоворота ограничена резким подъемом изопикн сигма  $\theta$  от 26,7 до 27,1 у Курил. Этот резкий подъем изопикн, с хорошо развитым горизонтальным фронтом, от поверхности до глубины 300 м, показывает на наличие вокруг Курильских островов сильных циклонных локальных водоворотов, что также наблюдается на горизонтальной карте изопикнической топографии рисунка 8. Сильное течение, сконцентрированное в верхних слоях, предполагает наличие эффекта захвата течения прибрежной топографией. Эти изопикны у Курильской гряды понимаются практически вертикально, указывая на формирование вертикально однородной водной массы.

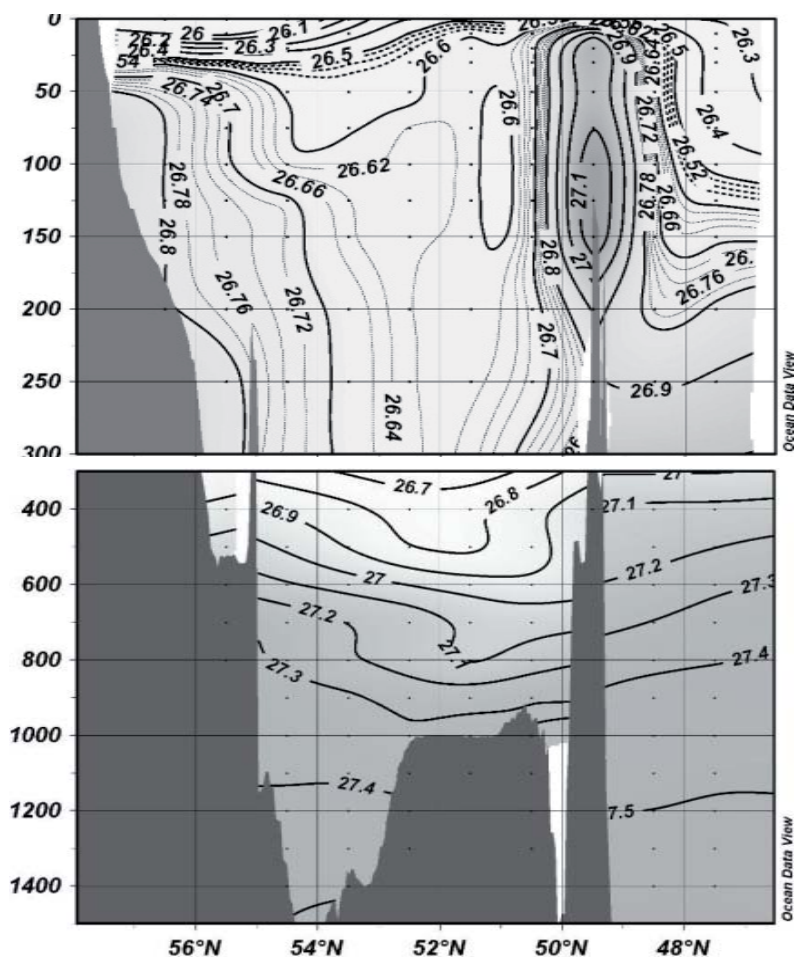


Рис. 9. Вертикальное распределение плотности в Охотском море в январе от северо-запада на юго-восток. Вид с юга. Данные WOA05

## 7.2. Разрез плотности, пересекающий антициклонный водоворот на юго-востоке Охотского моря в январе

На *рисунке 10* показан разрез вдоль юго-восточной границы Охотского моря, от побережья острова Хоккайдо до подножья полуострова Камчатка, которое пересекает середину антициклонического водоворота.



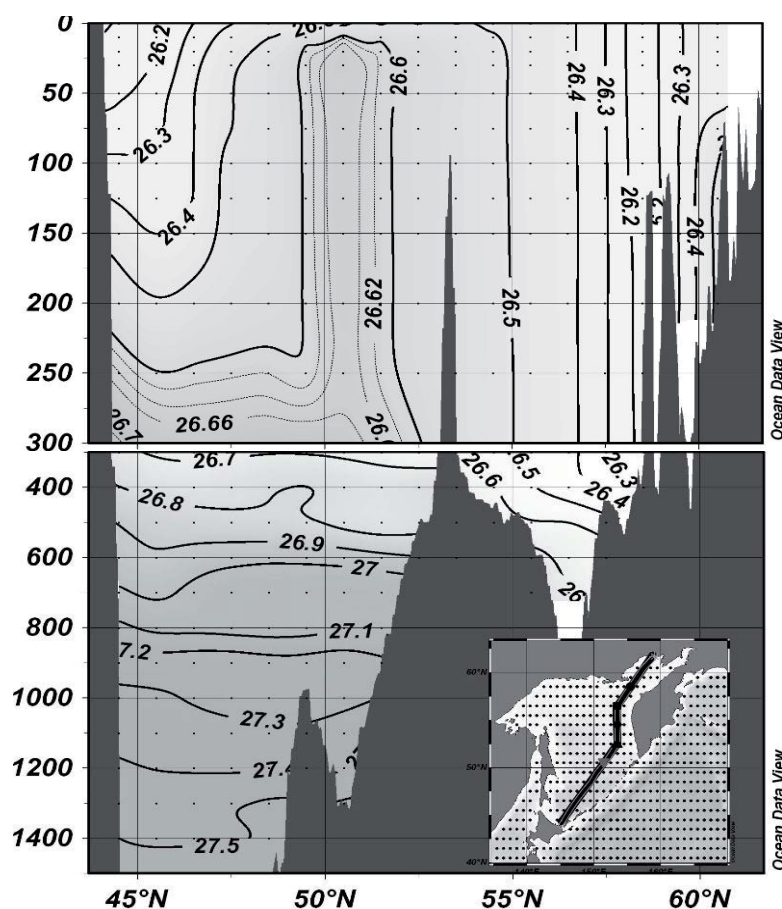


Рис. 10. Вертикальный разрез плотности через антициклоническую циркуляцию в юго-восточной части Охотского моря. Расположение разреза показано на врезке. Вид с юга. Данные WOA05

В середине разреза показано продолжение циклонической циркуляции по плотности, поднимающейся с глубины 250 м и глубже. Вершина поднимающихся изопикн достигает глубин от 10 м до 20 м, что предполагает возможную вентиляцию в этой плотностной структуре.

С правой стороны циклонического водоворота расположены прямые вертикальные изопикны, простирающиеся с поверхности моря до глубины 300 м и более до шельфового региона залива Шелихова. Через весь разрез не наблюдается стратификации. Таким образом, в этой плотностной структуре может происходить глубинная конвекция.

На **рисунке 11** показана T/S-диаграмма станций, соответствующих плотностному сечению на рисунке 10. Эта T/S-диаграмма демонстрирует важный факт, что вертикальные изопикны, т. е. пикностадная вода, не состоят из хорошо перемешанной воды равной температуры/солёности, а состоят из воды той же плотности, с компенсирующей температурой/солёностью. Эта пикностадная вода не может возникнуть в результате смешения, а только процессом под действием плотности, т. е. под действием центробежной силы, созданной сильным водоворотом. Этот процесс возможен под воздействием бассейных

водоворотов в Охотском море и возникает под действием сильных зимних муссонов и взаимодействии с течением СЦСТО и может аккумулировать значительную завихренность благодаря слабой стратификации и меньшей глубины по сравнению с СЦСТО. Этот процесс возникновения T/S-компенсирующих пикностад является уникальным феноменом, не обнаруживаемым ни в одной другой части СЦСТО.

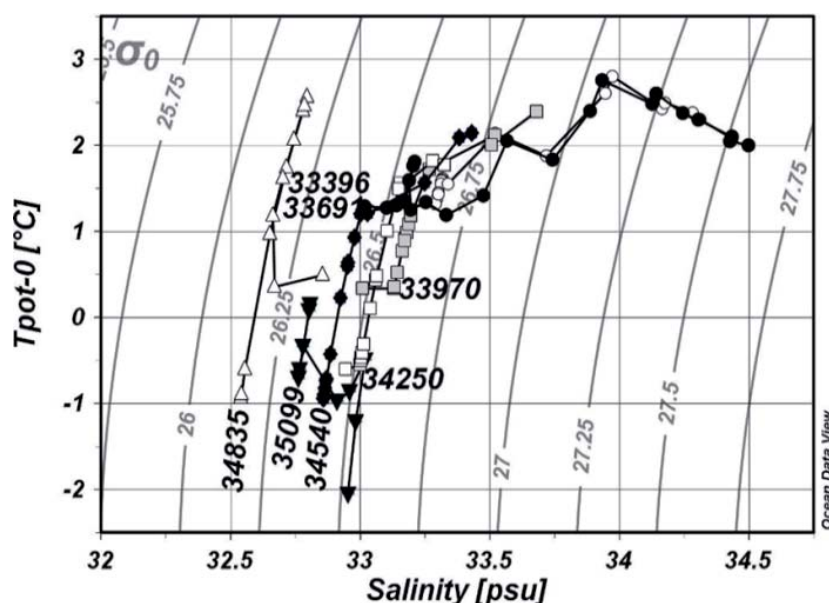


Рис. 11. Январская T/S-диаграмма представленных на рисунке 10 станций разреза плотности в изопикническом поле (сигма  $\theta$ ). Данные WOA05 проанализированы и обработаны через ODV4

### 7.3. NW-SE сечение плотности Охотского моря в апреле

Как было указано в главе 6, подъем изопикнических поверхностей возникает на северо-западе также и в апреле, и он сильнее, чем подъем, возникающий в январе. На **рисунке 12** показано вертикальное сечение плотности Охотского моря в апреле, с северо-запада на юго-восток. Подъем изопикн простирается от северо-западного шельфа Охотского моря до середины разреза.

На **рисунке 13** показаны T/S-диаграммы станций, соответствующих разрезу плотности, а прилегающих станций на северо-западе показаны в нижней левой части рисунка. Изопикны станций, соответствующих плотностному разрезу рисунка T/S-компенсирующих пикностад, подобны рисунку 11.

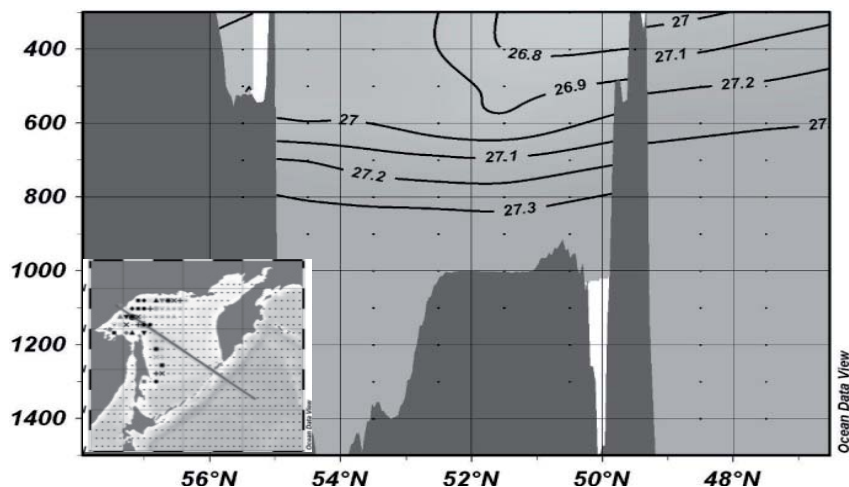


Рис. 12. Вертикальный разрез плотности Охотского моря с северо-запада на юго-восток в апреле. Положение разреза показано на врезке. Данные WOA05

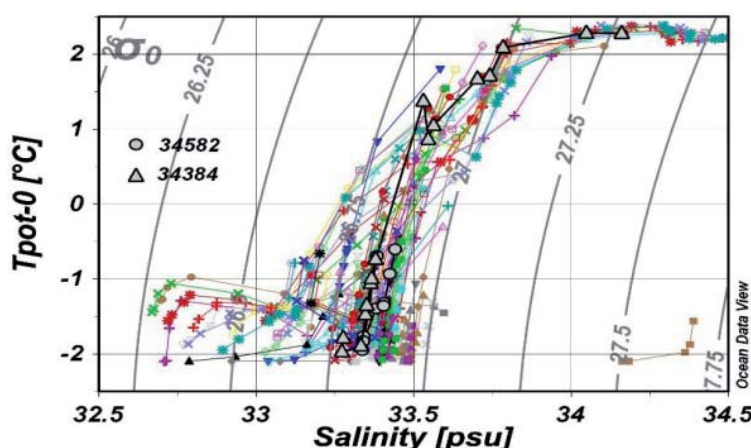


Рис. 13. T/S-диаграмма апрельских станций на разрезе (рис. 12) в изопикническом поле (сигма  $\theta$ ). Данные WOA05 проанализированы и обработаны через ODV4

Заметное различие T/S-диаграмм, показанных на рисунке 13, от показанных на рисунке 11 заключается в том, что изопикническая часть T/S-диаграмм начинается в средней части толщи воды с температурой ниже температуры замерзания, которая также называется «плотная шельфовая вода» (ДШВ), формирующаяся зимой на шельфе осолонением с поверхности воды в результате вытекания рассола из морского льда. На T/S-диаграмме (см. рис. 13) показан процесс возникновения ДШВ на шельфе, ее смешения с охотоморской промежуточной водой под действием ускорения круговорота в апреле.

Ускорение вращения водоворота на северо-западе шельфа в апреле соответствует времени увеличения количества свободной воды в результате таяния морского льда и времени ранних весенних штормов. Интересная последовательность событий – ДШВ формируется зимой и оседает на шельфе и распространяется ранневесенними штормовыми водоворотами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы можем сделать вывод, что *Охотское море является интенсивным прибрежным морем и одним из наиболее важных мест изменения водных масс в Субарктике на Севере Тихого океана.*

Взгляд на Охотское море как на интенсивное прибрежное море подтвержден данными из WOA05, с характерными особенностями, обнаруженными во время исследований:

- Открытая вода в восточной части Охотского моря в первой половине зимы может называться «полынья у кромки льда», сопутствующая глубоководной конвекции.

- Всплытие ОКІW в январе вокруг северных Курильских островов может быть вентилицией ОКІW;

- Смешивание ОКІW с ДШВ в апреле, связанное с вращением циклонных водоворотов на северо-западе шельфа, является важным процессом, связанным с возникновением ДШВ, от осадения солей при формировании морского льда до возникновения ОКІW;

Охотское море не полуизолированное придаточное море, а важный компонент СЦСТО, осуществляющий важные изменения в течениях и свойствах водных масс в середине усиления западного пограничного течения.

Чтобы подготовиться к возможным худшим сценариям природных/техногенных катастроф, нам необходимо более глубокое понимание динамики Охотского моря, основанное на взгляде на него как на интенсивное прибрежное море, что поднимает серьезные научные вопросы, на которые невозможно ответить, определяя его как «спокойное прибрежное море»:

- Как происходит взаимодействие между циркуляцией прибрежного моря и открытого океана под действием сезонного изменения силы ветров?

- Какова роль бассейных водоворотов в изменении водной массы, ее транспортировке и глубоководной конвекции?

- Каков вклад волновых завихрений в формирование бассейных водоворотов?

- Какой пороговый эффект влияет на глубокие воды Охотского моря, с точки зрения флуктуаций северного Тихоокеанского субарктического водоворота?

Чтобы объяснить вышеприведенные научные вопросы, необходимо будет провести измерения, моделирование и анализ данных о новых элементах, включая:

- Интенсивные наблюдения в зимний период: подледной и/или прибрежной ледовой зоны.

- Изучение процессов атмосферного воздействия.

- Включение в моделирование приливов негидростатической динамики, допущение конвекции.

- Измерение поля скоростей водоворотов в Охотском море: измерение завихренности, дивергенции, апвеллинга/даунвеллинга дрейфтерами.

- Оценка потока: в переходном, гетерогенном и прерывистом поле.

Данные важны не только для определения изменений, но и для понятия причины и следствия. По океанам мы имеем архив данных, собранных нашими предшественниками и скомпилированных в базы данных, например, WOA05. Мы должны поблагодарить предыдущие поколения за их усилия и передать их устремления будущим поколениям.



## ЛИТЕРАТУРА

Mizuta, *et al.* (2003): Mizuta, G., Y. Fukamachi, K. I. Ohshima, M. Wakatsuchi, J. Phys. Oceanogr. 33 (2003) p. 2430.

Ohshima *et al.* (2005): K. I. Ohshima, S. C. Riser and M. Wakatsuchi, Geophys. Res. Lett. 32 (2005) L06607, doi: 10.1029/2004GL021823.

Schlitzer, R. (2010): Ocean Data View, <http://odv.awi.de>.

А. Г. Андреев (andreev@poi.dvo.ru)

Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН  
(Россия, Владивосток)

## Пространственно-временная изменчивость концентраций химических параметров и хлорофилла в водах Охотского моря

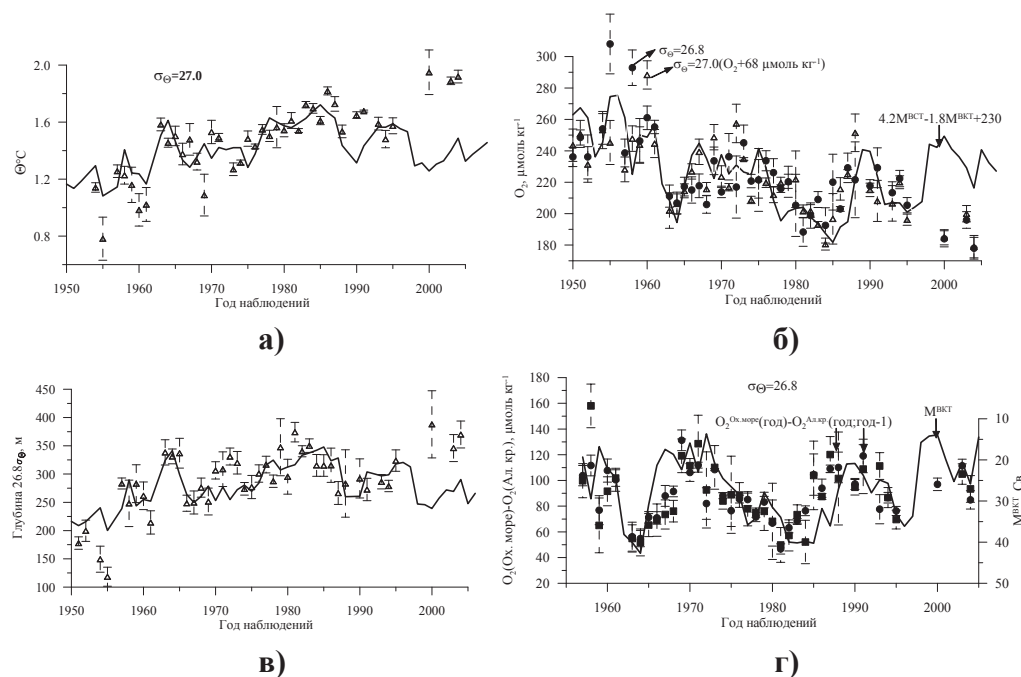
Рост концентрации углекислого газа в атмосфере и изменение климата оказывают влияние на физические и химические параметры морской воды. Наши исследования направлены на оценку изменений химических параметров и концентрации хлорофилла в водах Охотского моря, вызываемых природными и антропогенными факторами. Установлено, что с 1950 по 2005 г. здесь наблюдались тенденции к понижению солёности поверхностных вод, понижению содержания растворённого кислорода и повышению температуры вод в промежуточном слое вод. Показано, что основной вклад в межгодовые изменения химических параметров и температуры/солёности в Охотском море вносят вариации в переносе вод Аляскинского круговорота в северо-западную часть Тихого океана. Увеличение температуры вод может привести к понижению биомассы кремнистого планктона и снижению роли Охотского моря, как стока для атмосферного  $\text{CO}_2$ . Для северной части Охотского моря влияние изменений климата на биомассу фитопланктона и концентрацию хлорофилла будет определяться интенсивностью ФАР (фотосинтетической активной радиацией). Из-за низкого содержания карбонатного материала в донных осадках, Охотское море не может нейтрализовать подкисление морской воды (понижение pH), инициированное ростом содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере.

Формирование химических параметров вод Охотского моря определяется смещением плотных шельфовых вод, вод течения Соя и тихоокеанских вод, поступающих через Курильские проливы. Плотные шельфовые воды Охотского моря, формирующиеся на северном материковом шельфе и на восточном шельфе о. Сахалин в результате охлаждения и осолонения при льдообразовании, – один из источников вод с высоким содержанием растворённого кислорода и низкими концентрациями биогенных элементов для промежуточного слоя Охотского моря. Воды Соя, трансформированные субтропические воды, поступающие в Охотское море из Японского моря, – источник высоких концентраций растворённого кислорода и низких величин биогенных элементов. На основе балансовых расчётов (Andreev, Pavlova, 2010) установлено, что основной источник биогенных элементов для Охотского моря – это промежуточные воды западной части тихоокеанской субарктики. Ежегодно из Тихого океана в Охотское море поступает  $\sim 0.04 \cdot 10^{12}$  моль фосфатов,  $1 \cdot 10^{12}$  моль нитратов и  $4 \cdot 10^{12}$  моль растворённого неорганического углерода. Приблизительно  $0.4 \cdot 10^{12}$  моль нитратов потребляется в процессе денитрификации, что приводит к значительному понижению концентраций нитратов на северном шельфе в Охотском море.

## МЕЖГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА

Анализ исторических данных показал, что в период с 1950 по 2005 г. наблюдалась значительная межгодовая изменчивость концентраций растворённого кислорода и температуры/солёности на изопикнах в промежуточном слое вод Охотского моря (район Курильской котловины) (Andreev, Kusakabe, 2001; Andreev, Baturina, 2005; Andreev, 2009) (*рис. 1*). Межгодовые вариации кон-

центраций растворенного кислорода на изопикнических поверхностях  $26,8\sigma_\theta$  (глубины 250–350 м) и  $27,0\sigma_\theta$  (глубины 400–600 м) достигали  $60 \mu\text{моль кг}^{-1}$  (30–60% от концентрации растворенного кислорода). В зоне Курильской котловины Охотского моря наблюдалось снижение концентрации растворенного кислорода ( $-1,2 \pm 0,4 \mu\text{моль кг}^{-1} \text{год}^{-1}$ ) на изопикнах  $\sigma_\theta = 26,8$  и  $\sigma_\theta = 27,0$  и повышение температуры вод ( $0,015 \pm 0,004^\circ\text{C} \text{год}^{-1}$ ) на изопикне  $\sigma_\theta = 27,0$ . Понижение содержания растворенного кислорода сопровождалось увеличением глубины залегания изопикнических поверхностей ( $2,4 \pm 0,9 \text{ м год}^{-1}$ ,  $\sigma_\theta = 26,8$  и  $1,3 \pm 1,0 \text{ м год}^{-1}$ ,  $\sigma_\theta = 27,0$ ) (Andreev, Baturina, 2005; Андреев, Батурина, 2007; Andreev, 2009).



**Рис. 1.** Межгодовые изменения измеренных и рассчитанных по уравнениям (1)–(4) (сплошные линии) потенциальной температуры на изопикне  $27,0\sigma_\theta$  (а), концентраций растворенного кислорода на изопикнах  $26,8\sigma_\theta$  и  $27,0\sigma_\theta$  в районе Курильской котловины Охотского моря (б), глубин залегания изопикны  $26,8\sigma_\theta$  (в), разности в концентрациях растворенного кислорода между промежуточными водами Аляскинского круговорота и Охотского моря и межгодовые вариации в переносе вод ВКТ/Оясио, сглаженные трехлетним средним (МВКТ) (г)

Восточно-Камчатское течение (ВКТ)/течение Оясио и Восточно-Сахалинское течение (ВСТ) – западные пограничные течения тихоокеанской субарктики и Охотского моря. Усиление/ослабление субарктического циклонического круговорота (СбЦКр) увеличивает/уменьшает приток промежуточных вод Аляскинского круговорота (АлКр), характеризующихся повышенной температурой и низкими концентрациями растворенного кислорода, в западную часть тихоокеанской субарктики. Возрастание скоростей течений приводит к сокращению времени нахождения вод АлКр на северной и западной периферии СбЦКр и, следовательно, к снижению их трансформации за счет перемешивания и зимней конвекции в зоне Алеутских и Курильских проливов и вблизи Камчатки (Andreev, Baturina, 2006). Усиление СбЦКр должно приводить к уве-

личению температуры и понижению содержания растворенного кислорода в Курильской котловине Охотского моря. Наблюдается статистически значимая связь между расходом вод ВКТ/Оясио, рассчитанным по уравнению баланса Свердруп и сглаженным 3-летним скользящим средним, и межгодовой изменчивостью концентрации растворенного кислорода в промежуточном слое Охотского моря (1950–1995 гг.,  $r = -0,54$  ( $26,8\sigma_\theta$ ) —  $-0,66$  ( $27,0\sigma_\theta$ )) (Андреев, Батурина, 2007; Андреев, Шевченко, 2008; Andreev, 2009). Увеличение/уменьшение расхода вод ВКТ/течением Оясио повышает/понижает температуру вод на изопикне  $27,0\sigma_\theta$  (1950–1995 гг.,  $r = 0,65$ ) и увеличивает/уменьшает глубину залегания изопикнической поверхности  $26,8\sigma_\theta$  (1950–1995 гг.,  $r = 0,74$ ) в зоне Курильской котловины Охотского моря. Заглубление изопикнических поверхностей  $26,8\sigma_\theta$  и  $27,0\sigma_\theta$  в зоне течения Оясио и Курильской котловине Охотского моря при интенсификации СбЦКр, по-видимому, результат увеличения притока в западную субарктику и Охотское море поверхностных вод АлКр с относительной плотностью ( $\sigma_t$ ) равной  $\sim 25,5$ – $26,0$ . Усиление циклонической циркуляции и увеличение расхода вод ВСТ, вызванное вихрем напряжения ветра в Охотском море, должны приводить к возрастанию концентрации растворенного кислорода и понижению температуры в промежуточном слое вод зоны Курильской котловины Охотского моря за счет притока из северной части Охотского моря плотных шельфовых вод с низкими температурами ( $\leq 0^\circ\text{C}$ ) и высокой концентрацией кислорода ( $\sim 240 \mu\text{моль кг}^{-1}$ ). Усиление ветров северных румбов может приводить к увеличению размеров полыньи и продукции плотных шельфовых вод с высокой концентрацией кислорода в северо-западной части Охотского моря в зимний период.

Межгодовая изменчивость концентрации растворенного кислорода ( $\text{O}_2$ ), потенциальной температуры ( $\Theta$ ) и глубины залегания изопикн ( $H$ ) в промежуточном слое Курильской котловины (1950–1995 гг.) хорошо аппроксимируется разностью в расходах вод ВКТ/Оясио ( $M^{\text{ВКТ}}$ ) и ВСТ ( $M^{\text{ВСТ}}$ ) и сглаженными 3-летним скользящим средним (см. рис. 1):

$$\Theta (^{\circ}\text{C}, \sigma_\theta = 27,0) = 0,012 \cdot M^{\text{ВКТ}} - 0,034 \cdot M^{\text{ВСТ}} + 1,46, \quad (1)$$

$$\text{O}_2 (\mu\text{моль кг}^{-1}, \sigma_\theta = 26,8) = 4,2 \cdot M^{\text{ВСТ}} - 1,8 \cdot M^{\text{ВКТ}} + 230, \quad (2)$$

$$H (\text{м}, \sigma_\theta = 26,8) = 3,5 \cdot M^{\text{ВКТ}} - 3,7 \cdot M^{\text{ВСТ}} + 230. \quad (3)$$

$$\text{O}_2 (\mu\text{моль кг}^{-1}, \sigma_\theta = 27,0) = 4,2 \cdot M^{\text{ВСТ}} - 1,8 \cdot M^{\text{ВКТ}} + 162, \quad (4)$$

Коэффициенты корреляции между рассчитанными по уравнениям (1)–(4) и наблюдаемыми концентрацией растворенного кислорода, температурой и глубинной залегания изопикнических поверхностей в промежуточном слое вод Курильской котловины для временного интервала с 1950 по 1995 гг. равны, соответственно,  $0,64$  ( $\text{O}_2$ ,  $\sigma_\theta = 26,8$ ),  $0,68$  ( $\text{O}_2$ ,  $\sigma_\theta = 27,0$ ),  $0,75$  ( $\Theta$ ,  $\sigma_\theta = 26,8$ ) и  $0,74$  ( $H$ ,  $\sigma_\theta = 26,8$ ).

Увеличение переноса вод ВКТ/Оясио понижает концентрацию растворенного кислорода (и увеличивает температуру), тогда как возрастание расхода вод ВСТ, вызванное вихрем напряжения ветра в Охотском море, увеличивает концентрацию растворенного кислорода (и понижает температуру) в промежуточных водах Курильской котловины Охотского моря.

Наблюдаются значительные расхождения между рассчитанными по уравнениям (1)–(4) и измеренными концентрациями растворенного кислорода, по-



тенциальной температурой и глубиной залегания изопикн в промежуточном слое Курильской котловины в 2000, 2003 и 2004 гг. Эти расхождения связаны с межгодовыми изменениями температуры/солёности и концентрации растворенного кислорода в промежуточных водах АлКр (Andreev, 2009). На рисунке 1г показаны межгодовые изменения разности растворенного кислорода на изопикне  $26.8\sigma_\theta$  между водами Охотского моря и водами Аляскинского круговорота. Увеличение/уменьшение переноса вод ВКТ/Оясио понижает/повышает разницу в содержании растворенного кислорода между восточной и западной частями тихоокеанской субарктики (1957–1995 гг.,  $r = -0,56$ ).

Наряду с циркуляцией, вызванной ветром, вклад в межгодовую изменчивость концентрации растворенного кислорода в промежуточном слое вод и солёности поверхностных вод западной части тихоокеанской Субарктики и Охотского моря вносит 18,6-летняя цикличность в скоростях приливных течений (Andreev, Baturina, 2006; Osafune, Yasuda, 2006). Усиление перемешивания вод в зоне Алеутских и Курильских проливов за счет возрастания скоростей приливных течений приводит к значительному снижению стратификации (и увеличению солёности) в поверхностном слое и увеличению концентраций растворенного кислорода в промежуточном слое. За счет увеличения скорости реверсивных приливных течений больший объем вод подвергается трансформации в районах Алеутских и Курильских проливов.

## ОБМЕН $\text{CO}_2$ МЕЖДУ МОРСКОЙ ВОДОЙ И АТМОСФЕРОЙ

Поток углекислого газа между морской водой и атмосферой ( $F$ ) может быть рассчитан по следующему уравнению (Etcheto, Merlivat, 1988):

$$F = K(k \cdot s) \times \Delta p\text{CO}_2^{\text{МВ-АТМ}}, \quad (5)$$

где  $\Delta p\text{CO}_2^{\text{МВ-АТМ}}$  – разность парциальных давлений углекислого морской воды и воздуха,  $K$  – коэффициент обмена  $\text{CO}_2$ , определяемый произведением растворимости  $\text{CO}_2$  в морской воде ( $s$ ) и коэффициентом переноса  $\text{CO}_2$  ( $k$ ) через поверхность раздела морская вода – атмосфера.

Пространственно-временная изменчивость  $p\text{CO}_2^{\text{МВ}}$  в Охотском море наиболее слабо изучена по сравнению с другими районами Мирового океана. Используя данные, полученные в разные сезоны, нами оценен среднегодовой поток  $\text{CO}_2$  между морской водой и атмосферой для Охотского моря (Andreev, Pavlova, 2010). Летом величина  $\Delta p\text{CO}_2^{\text{МВ-АТМ}}$  изменялась от  $-190$   $\mu\text{атм}$  до  $50$   $\mu\text{атм}$ ; на большей части Охотского моря отмечались величины  $\Delta p\text{CO}_2^{\text{МВ-АТМ}}$ , равные  $-20$ — $-90$   $\mu\text{атм}$ . Наименьшие величины  $\Delta p\text{CO}_2^{\text{МВ-АТМ}}$  ( $-190$   $\mu\text{атм}$ ) наблюдались вдоль восточного побережья о-ва Сахалин и на северном шельфе Охотского моря и были обусловлены фотосинтетической активностью планктона. Высокие величины  $\Delta p\text{CO}_2^{\text{МВ-АТМ}}$  ( $80$ – $100$   $\mu\text{атм}$ ) характеризовали район Курильских проливов (Крузенштерна и Буссоль) и подводных поднятий (банка Кашеварова), где за счет приливного перемешивания в поверхностный слой вод поступают глубинные воды с высокими величинами  $p\text{CO}_2^{\text{МВ}}$ . Увеличение/понижение содержания кремнекислоты в морской воде сопровождалось возрастанием/уменьшением  $p\text{CO}_2^{\text{МВ}}$ . Наши результаты (Andreev, Pavlova, 2010) показывают, что основной вклад в изменение  $p\text{CO}_2^{\text{МВ}}$  поверхностных вод Охотского моря в летний период вносит кремнистый планктон. В зимние месяцы

(февраль–март) в районе Курильской котловины, свободной ото льда, наблюдались отрицательные величины  $\Delta p\text{CO}_2^{\text{мв-атм}}$  (–10— –40 матм), по-видимому, вызванные понижением  $p\text{CO}_2^{\text{мв}}$  за счет охлаждения вод в условиях значительной солёностной стратификации и фотосинтетической активностью (визуально наблюдалась высокая концентрация хлорофилла на кромках ледовых полей). Используя кубическую зависимость между коэффициентом обмена  $\text{CO}_2$  и скоростью ветра (Wanninkhof, McGillis, 1999), установлено, что средний поток  $\text{CO}_2$  из атмосферы в морскую воду в Охотском море за период с мая по сентябрь был равен 17–23 ммоль С м<sup>–2</sup> день<sup>–1</sup>. В годовом балансе Охотское море является стоком для атмосферного  $\text{CO}_2$ .

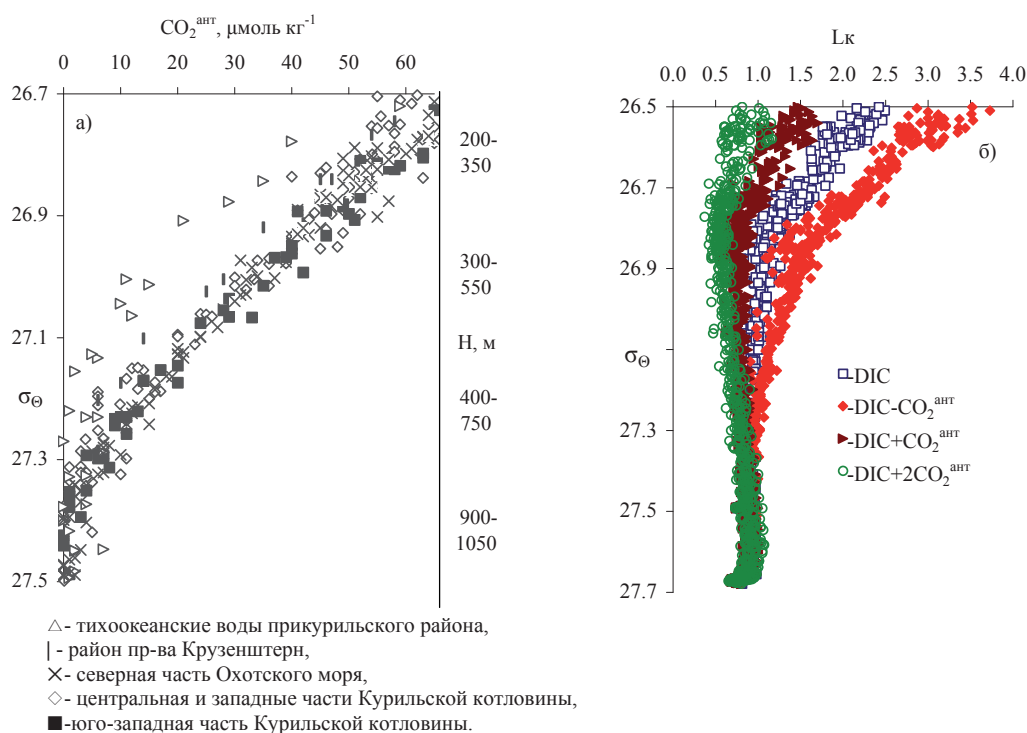
### АНТРОПОГЕННЫЙ $\text{CO}_2$ В ОХОТСКОМ МОРЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СТЕПЕНЬ НАСЫЩЕНИЯ МОРСКОЙ ВОДЫ КАРБОНАТОМ КАЛЬЦИЯ

Рост содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере увеличивает концентрацию общего неорганического углерода (антропогенный или избыточный  $\text{CO}_2$ ) (Brewer, 1978; Chen, Millero, 1979) и понижает pH ( $-\log[\text{H}^+]$ ) (антропогенное или избыточное изменение pH) (Andreev et al., 2001; Андреев, 2009) морской воды. Распределение антропогенного  $\text{CO}_2$  ( $\text{CO}_2^{\text{ант}}$ ) на изопикнах в Охотском море и северо-западной части Тихого океана показано на *рисунке 2а*. Для нахождения содержания антропогенного  $\text{CO}_2$  в водах Охотского моря применялся метод обратного расчета (Andreev et al., 1999; Андреев, 2009). В Охотском море концентрации  $\text{CO}_2^{\text{ант}}$  на изопикнах в пределах промежуточного слоя выше, чем в тихоокеанских водах. Распределение  $\text{CO}_2^{\text{ант}}$  согласуется с существующими взглядами на формирование и трансформацию промежуточных вод в Охотском море. Основной вклад в обогащение промежуточных вод Охотского моря растворенным кислородом и газами антропогенного происхождения вносят два процесса – формирование придонных шельфовых вод высокой плотности в результате охлаждения и осолонения при льдообразовании (Talley, Nagata, 1995; Wong et al., 1998) и поступление вод с высокой солёностью из Японского моря через пролив Лаперуза (Andreev et al., 1999; Андреев, Жабин, 2000). В северной глубоководной части Охотского моря, которая находится под влиянием теплых вод тихоокеанского происхождения, наблюдались относительно низкие концентрации  $\text{CO}_2^{\text{ант}}$  (см. рис. 2а). В центральной части Курильской котловины распределение на  $\text{CO}_2^{\text{ант}}$  изопикнах было однородно, что может быть связано с активным изопикническим смешением вод, вызванным антициклоническими вихрями.

Карбонат кальция, играющий важную роль в химических и биологических процессах в морской воде, рассматривается как основной фактор, способный нейтрализовать рост концентрации углекислого газа в атмосфере и морской воде. На примере Охотского моря было рассмотрено, как изменяется степень насыщенности вод карбонатом кальция с ростом концентрации антропогенного углекислого газа в морской воде (Андреев и др., 1998). Для количественной оценки насыщенности морских вод карбонатом кальция применяют степень насыщения (Li), определяемую как отношение произведения ионов кальция и карбоната в морской воде к произведению растворимости кальцита или арагонита в условиях *in situ*. Выполненные расчеты показали, что в настоящее

время в Охотском море глубина насыщения ( $Li=1$ ) для арагонита совпадает с изопикнической поверхностью  $26.7\sigma_\theta$  (глубины 100–250 м), а для кальцита – с изопикнической поверхностью  $26.8\sigma_\theta$  (глубины 200–400 м). Для шельфовых вод северо-западной и северной частей Охотского моря на глубинах 300–400 м наблюдается минимум в величинах степени насыщения вод карбонатом кальция ( $La\approx 0,5$ ,  $Lk\approx 0,75$ ). В центральной и юго-западной частях Охотского моря, в слое 700–1 900 м, воды были слегка недосыщены кальцитом ( $Lk\approx 0,9$ ) и значительно арагонитом ( $La\approx 0,7$ ) (максимум на вертикальных профилях  $Li$ ). Для района Курильской котловины, с глубины 2 000 м и до дна (3 400 м), степень насыщенности вод кальцитом понижалась от 0.9 до 0.7, а степень насыщенности вод арагонитом от 0.7 до 0.45. В районе котловины Дерюгина наблюдалось уменьшение  $Lk$  от 0.9 на глубине 500 метров до 0.7 на глубине 1 700 м (изопикническая поверхность  $27.5\sigma_\theta$ ). Наименьшая концентрация карбоната кальция в осадках Охотского моря ( $<2\%$ ) наблюдалась в тех областях (шельф северо-западной и северной частей Охотского моря, котловина Дерюгина, Курильская котловина) (Безруков, 1960), где отмечается наименьшая степень насыщения придонных вод кальцитом ( $Lk=0,7-0,75$ ). Наибольшие концентрации  $CaCO_3$  ( $>5\%$ ) в поверхностном слое осадков Охотского моря были найдены в центральной части моря (глубины 1000–2000 м), где придонная вода близка к состоянию насыщения по отношению к кальциту ( $Lk\approx 0,9$ ).

Глубина, начиная с которой осадки практически не содержат  $CaCO_3$  носит название компенсационной (или критической глубиной карбонатакопления. Berger and Winterer (1974) на обширном материале показали, что компенсационная глубина, найденная по результатам определения содержания  $CaCO_3$  в осадках, совпадает с горизонтом, где степень насыщения по отношению к кальциту составляет 0.65. На *рисунке 2 б* показана зависимость между потенциальной плотностью и степенью насыщения вод карбонатом кальция в морской воде Охотского моря в отсутствии антропогенного  $CO_2$  ( $DIC-CO_2^{ант}$ ); при содержании антропогенного  $CO_2$  равном современному ( $DIC$ ); при увеличении концентрации  $CO_2^{ант}$  в поверхностном слое в два раза ( $DIC+CO_2^{ант}$ ) и в три раза ( $DIC+2CO_2^{ант}$ ) раза, где  $DIC$  – концентрация растворенного неорганического углерода. Как следует из результатов расчетов, при возрастании антропогенного  $CO_2$  в два раза, относительно современного, величина  $Lk$  в 100–600-метровом слое (изопикнические поверхности  $26,7-27,1\sigma_\theta$ ) Охотского моря станет меньше критического значения, равного 0,65. При сохранении современных темпов роста содержания  $CO_2$  в атмосфере утроение концентрации  $CO_2^{ант}$  в воде произойдет за период чуть более 100 лет.



**Рис. 2.** Распределение антропогенного  $\text{CO}_2$  на изопикнах в Охотском море и северо-западной части Тихого океана (а) и (б) распределение степени насыщения карбонатом кальция относительно кальцита ( $L_k$ ) в Охотском море в зависимости от концентрации антропогенного  $\text{CO}_2$  в морской воде.  $\text{DIC}-\text{CO}_2^{\text{ант}}$ ,  $\text{DIC}$ ,  $\text{DIC}+\text{CO}_2^{\text{ант}}$  и  $\text{DIC}+2\text{CO}_2^{\text{ант}}$  показывают степень насыщения карбонатом кальция в морской воде, не содержащей  $\text{CO}_2^{\text{ант}}$ , с современным содержанием  $\text{CO}_2^{\text{ант}}$  и при увеличении в два и три раза концентрации  $\text{CO}_2^{\text{ант}}$  в поверхностном слое вод

## БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ВОД И КОНЦЕНТРАЦИЯ ХЛОРОФИЛЛА

Биологическая продуктивность морской воды определяется наличием макро (P, N, Si) и микроэлементов (Fe, Zn), фотосинтетической активной радиацией (ФАР), температурой, стратификацией и т. д. В летний период верхний слой вод Охотского моря обеднен биогенными элементами. Зоны с высокой биологической продуктивностью – это динамически активные районы (залив Шелихова, Пенжинская губа и Удская губа, район Курильских островов, банка Кашеварова) и зоны влияния р. Амур (Сахалинский залив), где наблюдается поступление вод богатых биогенами в верхний фотический слой (Arzhanova and Naletova, 1999; Arzhanova et al., 2002). Согласно Аржановой и Зубаревич (Arzhanova, Zubarevich, 1997), за счет потребления биогенных элементов, продуктивность вод в районе банки Кашеварова и Ямских островов может достигать  $\sim 1,8 \cdot 10^{14}$  г С год<sup>-1</sup> ( $\sim 30\%$  от всей продуктивности Охотского моря).

В районе банки Кашеварова амплитуды и скорости приливов подвержены значительной двухнедельной изменчивости (рис. 3а) (Kowalik, Polyakov, 1998). Двухнедельная периодичность в приливном перемешивании опреде-



ляет временную изменчивость концентраций химических параметров и хлорофилла в поверхностном слое вод (рис. 3 б–г). В период максимальных амплитуд прилива и интенсивного перемешивания вод возрастает концентрация биогенных элементов (P, N, Si) и понижается концентрация растворенного кислорода, но снижается активность фитопланктона (и концентрация хлорофилла) за счет его выноса за пределы фотического слоя (0–50 м). Уменьшение приливного перемешивания способствует значительному увеличению биомассы фитопланктона, повышению концентраций хлорофилла и растворенного кислорода и снижению содержания биогенных элементов. Спутниковые данные (SeaWiFS) показывают, что в осенний период изменения в величинах ФАР оказывают влияние на концентрацию хлорофилла-а в северной части Охотского моря (рис. 3д, е).

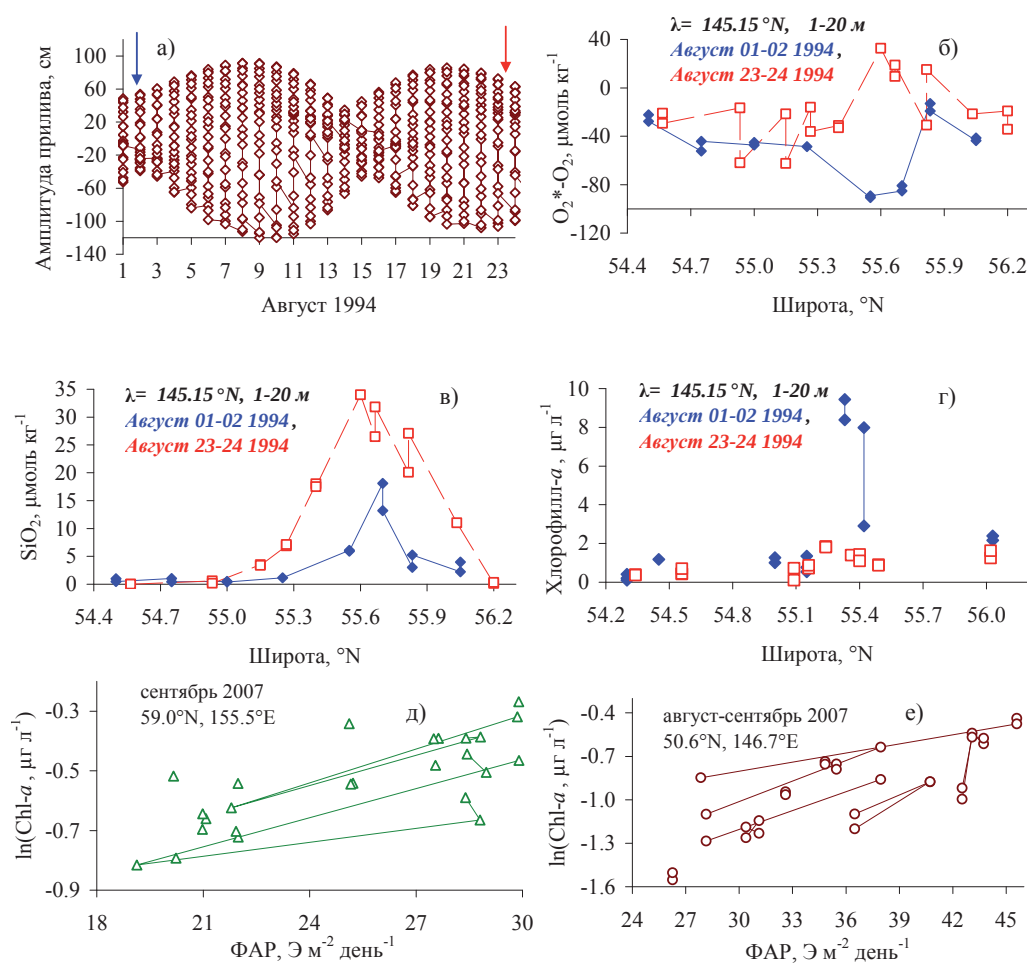


Рис. 3. Временная изменчивость амплитуды приливов (а); распределения на разрезе (б) ( $O_2^* - O_2$ ), где  $O_2^*$  – равновесная концентрация кислорода, (в) растворенного кремния и (г) концентрации хлорофилла-а; (д) и (е) – соотношения между фотосинтетической активной радиацией (ФАР) и концентрацией хлорофилла-а (данные SeaWiFS). Район банки Кашеварова, Охотское море

На основании модельных расчетов показано, что увеличение  $\text{CO}_2$  и других «парниковых» газов должно сопровождаться возрастанием температуры в воздухе и изменением климата. Для вод тихоокеанской Субарктики, Берингова и Охотского морей прогнозируется понижение солёности и увеличение стратификации вод за счет увеличения количества осадков, уменьшения ледяного покрова и снижения поступления вод с повышенной солёностью из низких широт (Manabe, Stouffer, 1993, 2000; Sarmiento et al., 2004). Увеличение стратификации и, следовательно, замедление вентиляции подповерхностных вод должно приводить к понижению содержания биогенных элементов в поверхностном слое вод и, как следствие, снижению биомассы фитопланктона (Sarmiento et al., 2004). Основным недостатком вышеупомянутых моделей, на наш взгляд, является не учет роли приливов на биологическую продуктивность вод Охотского моря. Повышение стратификации вод не должно сказаться на динамически активных районах с высокой продуктивностью вод. Для северной части Охотского моря изменения в продуктивности вод будут определяться влиянием изменения климата на облачность и величину ФАР.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев А. Г. Методика расчета и распределение антропогенного изменения рН // Океанология. 2009. Т. 49. С. 453–463.
2. Андреев А. Г., Батурина В. И. Межгодовая изменчивость растворенного кислорода в промежуточном слое вод западной части тихоокеанской субарктики // Дальневосточные моря России. Кн. 2: Исследования морских экосистем и биоресурсов. М., Наука, 2007. С. 237–247.
3. Андреев А. Г., Жабин И. А. Распределение фреонов и растворенного кислорода в промежуточных водах Охотского моря // Метеорология и гидрология. 2000. № 1. С. 61.
4. Андреев А. Г., Павлова Г. Ю., Тищенко П. Я.. Избыточный  $\text{CO}_2$  в Охотском море и его влияние на растворимость карбонатов в морской воде // Труды Арктического регионального центра. Т. 1. Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та. 1998. С. 88–93.
5. Андреев А. Г., Шевченко Г. В. Межгодовая изменчивость переноса вод Восточно-Камчатским и Восточно-Сахалинским течениями и их влияние на концентрацию растворенного кислорода в Охотском море и тихоокеанской субарктике // Метеорология и гидрология. 2008. № 10. С. 70–79.
6. Безруков П. Л. Донные отложения Охотского моря // Тр. ИО АН СССР. 1960. Т. 32. С. 15–95.
7. Andreev A.G. Interannual variations of the East-Kamchatka and East-Sakhalin Currents transport and its impact on the temperature and chemical parameters in the Okhotsk Sea // PICES Scientific Report. 2009. Vol. 36. P. 37–43.
8. Andreev A. G., Baturina V. I. Interannual variability of the dissolved oxygen and inorganic carbon in the Kuril Basin of the Okhotsk Sea // Proc. of the 20<sup>th</sup> international symposium on Okhotsk Sea and Sea Ice. – Mombetsu, Japan, 2005. P. 85–90.
9. Andreev A. G., Baturina V. I. Impacts of the tides and atmospheric forcing variability on dissolved oxygen in the subarctic North Pacific // J. of Geophysical Research. 2006. Vol. 111. C05007. doi: 10.1029/2005JC003277.
10. Andreev, A. G., Bychkov A. S., Zhabin I. Excess  $\text{CO}_2$  penetration in the Okhotsk Sea // Extended abstracts of 2nd International Symposium on  $\text{CO}_2$  in the Oceans. Tsukuba, Japan, 1999. P. 279–287.
11. Andreev A., Honda M., Kumamoto Y. et al. Excess  $\text{CO}_2$  and  $\text{pH}_{\text{excess}}$  in the intermediate water-layer of the Northwestern Pacific // J. Oceanography. 2001. Vol. 57. P. 177–188.
12. Andreev A., Kusakabe M. Interdecadal variability in DO in the intermediate water layer of the Western Subarctic Gyre and Kuril Basin (Okhotsk Sea) // Geophys. Res. Lett. 2001. Vol. 28. P. 2453–2456.

**Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья**

13. Andreev A.G., Pavlova G. Yu. Okhotsk Sea //Carbon and Nutrient Fluxes in Continental Margins: A Global Synthesis. N.-Y.: Springer-Verlag, 2010. P. 394–406.
14. Arzanova N. V., Naletova I. A. Hydrochemical Structure, Mesoscale Eddies, and Primary Production in the Northern Part of the Sea of Okhotsk //Okeanology. 1999. V. 39. P. 675– 682.
15. Arzanova N. V., Naletova I. A., Sapozhnikov V. V. et al. Phytoplankton Provision with Nutrient Stocks in the Northern Part of the Okhotsk Sea // Okeanology. V. 42. 2002. P. 198–209.
16. Arzhanova N. V., Zubarevich V. L. Chemical Basis of the productivity of the Sea of Okhotsk. In: Multidisciplinary Studies of the Ecosystem of the Sea of the Okhotsk. VNIRO, Moscow. 1997. P. 86–92.
17. Berger W. H., Winterer E. L. Plate stratigraphy and the fluctuating carbonate line // Pelagic sediments on land and in the ocean: Intern. Assoc. Sediment. Spec. Publ. Oxford, 1974. 34 p.
18. Brewer P. G. Direct observation of oceanic CO<sub>2</sub> increase // Geophys. Res. Lett. 1978. Vol. 23. P. 997–1000.
19. Chen C.-T. A., Millero F. J. Gradual increase of oceanic CO<sub>2</sub> // Nature. 1979. Vol. 277. P. 205–206.
20. Etcheto J., Merlivat L. Satellite determination of the carbon dioxide exchange coefficient at the ocean-atmosphere interface. A first step // J Geophys. Res. 1988. Vol. 93. P. 669–678.
21. Kowalik Z., Polyakov I. Tides in the Sea of Okhotsk//J. of Phys. Ocean. 1998. Vol. 28. P. 1389–1409.
22. Manabe S., R.J. Stouffer. Century– scale effects of increased atmospheric CO<sub>2</sub> on the ocean – atmospheric system // Nature. 1993. Vol. 364. P. 215–218.
23. Manabe S., Stouffer R. E. J. Study of abrupt climate change by a coupled ocean atmosphere model //Quaternary Science Reviews. 2000. Vol. 19. P. 285–299.
24. Osafune S., Yasuda I. Bidecadal variability in the intermediate waters of the northwestern subarctic Pacific and the Okhotsk Sea in relation to 18.6-year period nodal tidal cycle // J. of Geophysical Research. 2006. V. 111. doi:10.1029/2005JC003277.
25. Sarmiento J. L., R. Slater, R. Barber et al. Response of ocean ecosystems to climate warming// Global Biogeochemical cycles. 2004. Vol. 18. GB3003, doi:10.1029/2003GB002134.
26. Talley L. D., Nagata Y. (Eds.) The Okhotsk Sea and Oyashio region // PICES Sci. Rep. 1995. Vol. 2. 227 p.
27. Wanninkhof R., McGillis W. R. A cubic relationship between air-sea CO<sub>2</sub> exchange and wind speed // Geophys. Res. Let. 1999. Vol. 26. P. 1889–1892.
28. Wong C. S., Matear R. J., Freeland H. J. et al. WOCE line P1W in the Sea of Okhotsk, 2, CFC's and the formation rate of intermediate water // J. Geophys. Res. 1998. Vol. 103. P. 15625–15642.

И. А. Немировская<sup>1</sup> (nemir@ocean.ru),  
С. К. Шельтинг<sup>2</sup> (scheltinga@mail.ru), В. В. Сивков<sup>1</sup>,  
З. И. Верховская<sup>1</sup>, В. А. Артемьев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (Москва, Россия)

<sup>2</sup> ООО «Сварог» (Москва, Россия)

## Происхождение углеводородов в нефтегазоносных акваториях (на примере Охотского, Баренцева и Балтийского морей)

При разведке, обустройстве и эксплуатации нефтегазовых месторождений обычно проводятся мониторинговые исследования состояния окружающей среды, в том числе определение загрязнения этих районов нефтью. Основную массу (до 95%) нефти и нефтепродуктов составляют углеводороды (УВ). Современная система экологического мониторинга из-за сложности анализа основана на определении содержания УВ, которые называют нефтяными (НУ). Поэтому понятие «нефтяное загрязнение» подменяется понятием «углеводородное загрязнение», а роль нерастворимых компонентов нефти, а также полярных веществ в ее составе игнорируется.

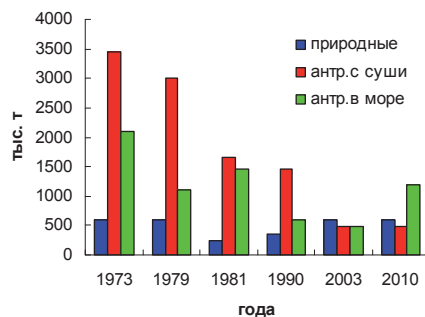
### ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ

Анализ опубликованных экспертных оценок показал, что количество антропогенных УВ, поступающих из всех источников в Мировой океан, уменьшается (*рис. 1*). При этом их количество в последние годы сопоставимо (при отсутствии крупных аварий) с ежегодным потоком, поступающим со дна (*табл. 1*). Поэтому природный углеводородный фон в районах месторождений оказался в отдельных случаях выше, чем в других акваториях [Немировская и др., 2011].

В 2003 г. количество просачивающихся нефтяных УВ оценивалось в 600 тыс. т и составляло 46% от суммы (1 300 тыс. т) [NRC, 2003], а в 2010 г. (из-за аварии в Мексиканском заливе) – 37% (см. *рис. 1*). Считалось, что вклад от аварийных утечек при бурении и эксплуатации скважин минимален (менее 0,2%) [Патин, 2009]. Потери при авариях в процессе работ на береговых терминалах и при перекачке нефти по подводным трубопроводам составляли соответственно 5 и 10% от добычи (*табл. 2*). Однако аварийный разлив в Мексиканском заливе в апреле 2010 г., когда в морскую среду ежедневно попадало до 800 т нефти, внес некоторые корректировки в эти расчеты [Беленицкая, 2011] (*табл. 3*).



(а)



(б)

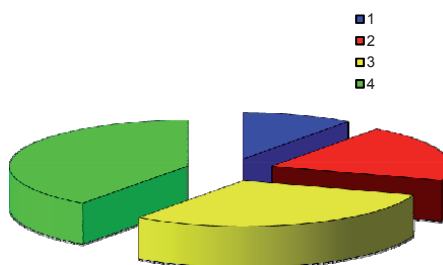


Рис. 1. Динамика поступления УВ в разные годы (а) и соотношение основных источников в последние годы (б): 1 – от природных высачиваний со дна, 2 – при добыче, 3 – при транспортировке, 4 – при потреблении [NRC, 2003; Немировская, 2004; GESAMP, 2007]

Таблица 1. Источники и объемы поступления нефти в морскую среду из различных источников (NRC, 2003)

| Источники поступления                   | Наиболее вероятный средний объем поступления, тыс. т/год | Доля среднего годового объема, % |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Поступление нефти с морского дна (сипы) | 600 (200–2 000)*                                         | 46                               |
| Добыча нефти в море:                    | 38 (20–62)*                                              | 5                                |
| платформы (бурение, аварии, утечки)     | 0,9                                                      |                                  |
| атмосферные выбросы и выпадения         | 1,3                                                      |                                  |
| сброс пластовых вод                     | 36                                                       |                                  |
| Транспортировка нефти:                  | 150 (120–260)*                                           | 12                               |
| аварии танкеров                         | 100                                                      |                                  |
| штатные танкерные операции              | 36                                                       |                                  |
| аварии на трубопроводах                 | 12                                                       |                                  |
| аварии на береговых терминалах          | 4,9                                                      |                                  |
| атмосферные выбросы и выпадения         | 0,4                                                      |                                  |
| Потребление нефти:                      | 480 (130–6 000)*                                         | 37                               |
| береговые источники (речной сток и др.) | 140                                                      |                                  |
| аварии судов (не танкеров)              | 7,1                                                      |                                  |
| штатные операции и сбросы с судов**     | 270                                                      |                                  |
| атмосферные выбросы и выпадения         | 52                                                       |                                  |
| выбросы авиационного топлива            | 7,5                                                      |                                  |
| Всего                                   | 1 300 (470–8 300)*                                       | 100                              |

\* В скобках указан разброс известных оценок.

\*\* Для судов более 100 регистрационных тонн.

**Таблица 2. Сводные данные об источниках и объемах поступления нефти в морскую среду в результате всех видов деятельности в море [NRC, 2003]**

| Источники поступления нефти в морскую среду | Мощность источника поступления, т/год |                   |
|---------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
|                                             | общее поступление                     | аварийные разливы |
| Суда всех типов, включая танкеры            | 457 000                               | 163 000           |
| Разведка и добыча нефти в море              | 20 000                                | 6 000             |
| Подводные трубопроводы                      | 2 800                                 | 2 800             |
| Береговые объекты*                          | 115 000                               | 2 400             |
| Маломерные суда прибрежного плавания        | 53 000                                | —**               |
| Природные потоки с морского дна             | 600 000                               | —                 |
| Неизвестные источники                       | 200                                   | —                 |
| Всего                                       | 1 245 200                             | 169 000           |

\* Нефтяные терминалы, порты, нефтеперерабатывающие предприятия, хранилища нефти и др.

\*\* Нет данных.

До последнего времени основные потери нефти связывали с аварийными разливами при их перевозке танкерами (около 85% от общих объемов). В то же время количество нефти, поступившей из этого источника, в последние годы значительно уменьшилось (см. рис. 1).

При разведке и добыче углеводородного сырья основными видами загрязнения являются аварийные выбросы буровых и тампонажных растворов, самого углеводородного сырья, несанкционированный сброс пластовых вод, шламов и случайные мелкие утечки. Взмучивание донного осадка и замутнение воды при бурении скважин также являются загрязнением среды, но носят кратковременный характер. Потенциальными источниками в данных ситуациях будут системы приготовления и циркуляции буровых растворов и жидких химических реагентов; блоки хранения сыпучих и горюче-смазочных материалов. При авариях с образованием фонтанов и грифонов неизбежно загрязнение больших акваторий нефтяными УВ. Загрязнение вод может произойти при испытании эксплуатационной колонны на герметичность, оборудования устья скважины, при демонтаже оборудования и пр. [Научно-методические подходы..., 1997]. На акваториях с ледовым режимом, к которым относятся многие месторождения в Арктике и дальневосточных морях, возникает риск разрушения платформы ледовым полем.

Таблица 3. Крупнейшие техногенные разливы нефти  
[Беленицкая, 2011]

| Авария                                             | Год       | Место                                                  | Вытекло,<br>тыс. т |
|----------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------|--------------------|
| <b>АКВАТОРИИ</b>                                   |           |                                                        |                    |
| <b>Аварии скважин на нефтяных платформах</b>       |           |                                                        |                    |
| Месторождение Экофиск, 1 скв. (8 суток)            | 1977      | Северное море, Норвежский сектор                       | 120                |
| Месторождение Иксток-1, оценоч. скв. (10 мес.)     | 1979      | Мексиканский зал., ЮЗ (Кампече), шельф                 | 400–460            |
| Скважина Deepwater Horizon                         | 2010      | Мексиканский зал., СВ, шт. Луизиана, континент. склон  | 600–780            |
| <b>Аварии танкеров</b>                             |           |                                                        |                    |
| Torrey Canyon                                      | 1967      | О-ва Сцилли, Англия                                    | 119                |
| Urquiola                                           | 1976      | Ла Коруня, Испания                                     | 100                |
| Amoco Cadiz                                        | 1978      | Вблизи Бретани, Франция                                | 223                |
| Atlantic Empress и Aegean Captain (столкновение)   | 1979      | В Карибском море                                       | 290                |
| Castillo de Bellver                                | 1983      | Индийский океан, 100 км от Кейптауна                   | 252                |
| Odyssey                                            | 1988      | 700 миль от Нова Скотия, Канада                        | 132                |
| ABT Summer                                         | 1991      | 700 миль от Анголы                                     | 260                |
| Haven                                              | 1991      | Генуя, Италия                                          | 144                |
| <b>СУША</b>                                        |           |                                                        |                    |
| <b>Аварии скважин (фонтаны, пожары)</b>            |           |                                                        |                    |
| Скважина Сан-Диего-39 (Дос-Бокас)                  | 1908      | Галф-Кост, Мексика, пров. Фаха-де-Оро, прибрежная суша | ~1 500             |
| Скважина Потреро-дель-Льяно-4                      | 1909      | —«—                                                    | ~14 000            |
| Скважина Касиано-7                                 | 1910      | —«—                                                    | ~2 600             |
| Lakeview Gusher                                    | 1910–1911 | Калифорния, США                                        | ~1 300?            |
| Месторождение Минбулак, скв.                       | 1992      | Ферганская долина                                      | ~300               |
| <b>Аварии на трубопроводах</b>                     |           |                                                        |                    |
| Нефтепровод Харьяга-Уса                            | 1994      | Усинский р-н, Тимано-Печорская пров., респ. Коми       | 100?               |
| <b>АКВАТОРИИ И СУША</b>                            |           |                                                        |                    |
| <b>Война, открыты задвижки нефтяных терминалов</b> | 1990      | Персидский залив, Кувейт                               | 1 500              |

Какие-либо абсолютные величины, соотношения и тем более балансовые оценки поступления нефти из разных источников в моря российской Арктики до сих пор отсутствуют. Вместе с тем если учесть распределения «горячих точек» и импактных зон в Арктике, то основные каналы нефтяного загрязнения арктических морей становятся вполне очевидными. Их можно разделить в первом приближении на три основные группы [Патин, 2009]:

1. Прямое поступление нефти и нефтепродуктов в морскую среду в составе промышленных, городских, судовых и других сточных вод и отходов с береговых источников (портовые города, терминалы, гавани, поселки и др.).
2. Вынос в море с речным стоком загрязняющих веществ (включая нефть и нефтепродукты), аккумулированных на обширных водосборных бассейнах Западной Арктики и Сибири.
3. Атмосферный перенос и выпадение на морскую поверхность пирогенных АУВ и ПАУ, присутствующих в аэрозолях, в результате неполного сгорания нефти, нефтепродуктов, угля и других видов ископаемого топлива.

### МЕТОДОЛОГИЯ ИЗУЧЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ В МОРСКИХ СРЕДАХ

Методологические основы при изучении углеводородного загрязнения включают:

1. Физический мониторинг (аппаратурный), поведение нефтяных пятен с помощью аппаратных средств (дистанционное зондирование и др.).
2. Химический мониторинг (химико-аналитические методы контроля качества морской среды).
3. Биологический мониторинг (антропогенное нарушение в морских экосистемах).

При химическом мониторинге идентификация источников УВ основана на определении:

- нефтяных УВ (судоходство, прибрежная промышленность);
- петрогенных УВ (просачивание из донных осадков, потери при добыче и транспортировке), которые имеют сложный состав; для них характерно много низкомолекулярных соединений;
- пирогенных УВ (неполное сгорание топлива), характерны высокомолекулярные УВ, особенно полициклические ароматические углеводороды – ПАУ;
- биогенных УВ (биосинтез организмами), олефиновые, и преобладание молекул с нечетным числом УВ.

При анализе УВ нами было использовано сочетание интегральных и дифференциальных методов определения УВ [Немировская, 2004]. При этом исследовали различные миграционные формы УВ: в растворенном состоянии, сорбированных взвесями, аккумулированных в сестоном и донными осадками. В качестве примера ниже приведена схема анализа УВ из донных осадков (рис. 2).

Для идентификации УВ использованы молекулярные маркеры, обладающие индикаторными функциями, в сопоставлении с концентрациями взвеси,  $C_{орг}$  и хлорофилла. Соотношение индивидуальных УВ дает возможность установить динамику УВ под влиянием природных (физических, химических и биологических) процессов и антропогенных факторов (внешних источников загрязнения среды).

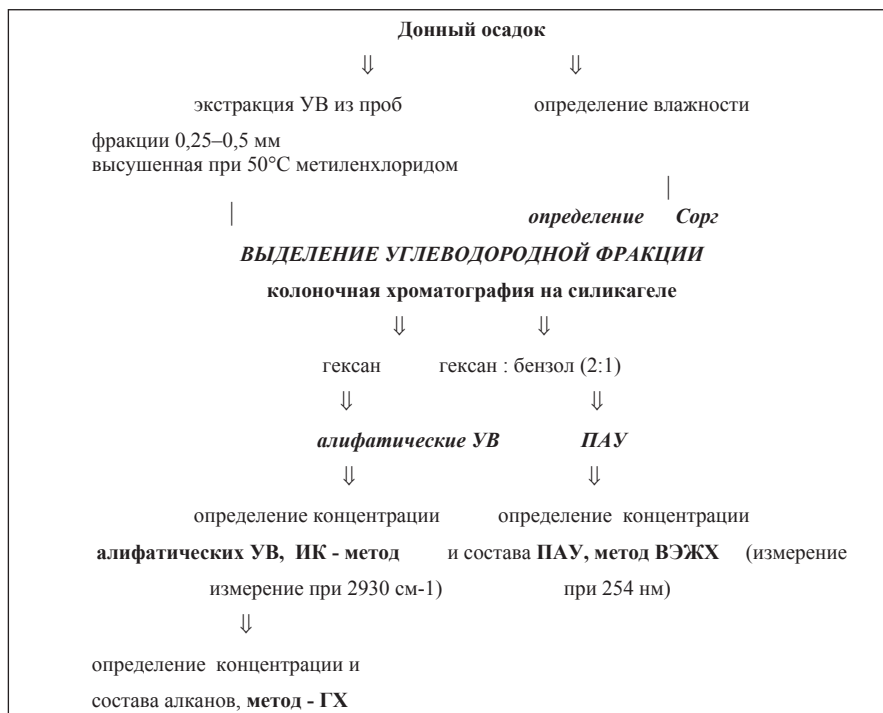


Рис. 2. Схема анализа УВ в донных осадках в районе Сахалина в 2002 г.

## ОХОТСКОЕ МОРЕ (ШЕЛЬФ САХАЛИНА)

В настоящее время шельф о. Сахалин стал основным нефтегазоносным районом Дальнего Востока России [Айбулатов, 2005; Патин, 2009]. Экосистема Охотского моря наиболее уязвима к загрязнению из-за малой толщины фотического слоя, определяющего высокую его продуктивность. Донные осадки различных районов Охотского моря и сахалинского шельфа характеризовались довольно низким содержанием АУВ, по сравнению с менее продуктивными акваториями [Немировская, 2004]. Это обусловлено сравнительно низким содержанием органического вещества (ОВ) в осадках. Последнее может быть связано с коротким вегетационным периодом диатомовых водорослей и, соответственно, низкими среднегодовыми величинами биомассы. Доля АУВ в составе  $C_{орг}$  (0,07–0,62%) также была довольно низкой. В 2002 г. исследования проводили на шельфе Сахалина (рис. 3).

Среднее содержание изучаемых органических соединений изменилось, по сравнению с предыдущими исследованиями (табл. 4). Это может быть обусловлено несколькими причинами. Во-первых, были проанализированы осадки различных гранулометрических типов, а этот фактор является основным, контролирующим распределение органических соединений. Поэтому среднее содержание  $C_{орг}$ , АУВ и ПАУ в пелитовых осадках (2002 г.) было соответственно в 8,9, 1,8 и 2,6 раза выше, чем в грубодисперсных. Алевритовые осадки с примесью мелкозернистых песков обладают большей сорбционной емкостью, по сравнению с песками, что, в свою очередь, повышает содержание  $C_{орг}$  и УВ. Увеличение доли мелких фракций в донных осадках может быть обусловлено выемкой грунта в месте установки платформы и засыпки основания мелким



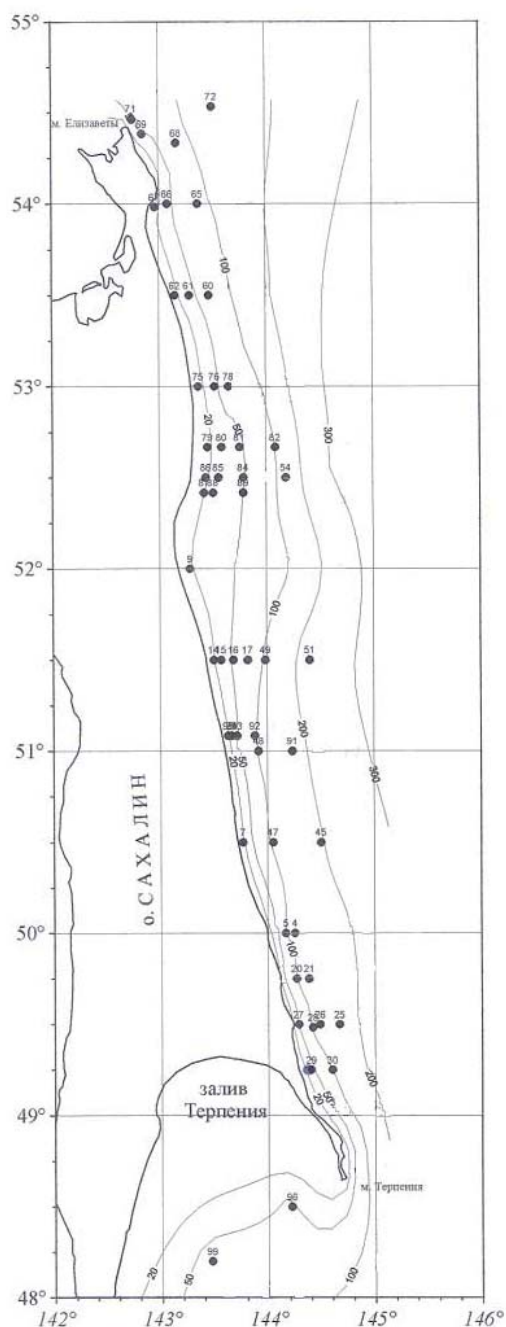


Рис. 3. Схема отбора проб донных осадков в районе о. Сахалин (2002 г.)

Содержание алканов в донных осадках (0,20–1,72 мкг/г) практически не изменилось, по сравнению с 1994 г. (0,02–1,11 мкг/г). В составе АУВ их доля колебалась от 2,0 до 22,3%, и также, как ранее [Немировская, 2004], зависимость между распределением их концентраций отсутствует: ( $r_{\text{АУВ-алканы}} = 0,17$ ). Конфигурация спектров алканов и молекулярные маркеры указывают на преимущественно аллохтонный (терригенный) генезис АУВ (рис. 4).

песком [Ткалин и др., 1999]. В неактивных в сорбционном отношении осадках (гравий, песок) в большинстве случаев, также как в осадках, исследованных ранее, концентрации АУВ не превышали 3–4 мкг/г, а ПАУ – 3–12 нг/г. Вместе с тем ОВ песчаных осадков обогащено УВ, по сравнению с илстыми.

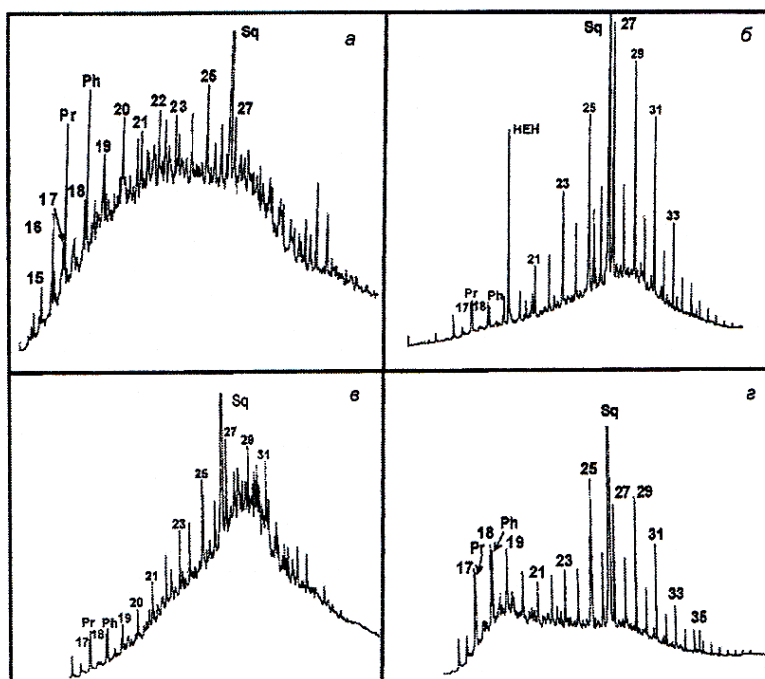
Однако кроме гранулометрического фактора на распределение изучаемых органических соединений влияют и другие процессы, так как их концентрации отличаются большой вариабельностью (значения  $\sigma$  сопоставимы со средними величинами; см. табл. 4). В некоторых случаях станции находились на небольшом расстоянии одна от другой, и среда современного осадконакопления практически не менялась. В частности, в районе месторождений при близком содержании  $C_{\text{орг}}$  (0,08–0,12%) концентрации АУВ изменялись от 4,6 до 61,3 мкг/г, а в составе  $C_{\text{орг}}$  – от 0,49 до 14,3% (средняя доля АУВ – 2,04%; см. табл. 4). Последнее может указывать на их поступление в донные осадки, генетически не связанные с биологическими источниками (в частности с нефтяным загрязнением). Поэтому флуктуации концентраций АУВ не могут быть обусловлены только литологическими изменениями донных отложений, а определяются различиями в массе или составе поступающего на дно ОВ и процессами на границе вода–дно. Увеличение концентраций антропогенных соединений обычно приводит к изменению интенсивности сорбционных процессов и объемам накопления АУВ на дне [Немировская, 2004].

СЕКЦИЯ А1. Современные проблемы геофизики, океанографии, биологии субарктического Охотоморья и прилегающих вод, методы их решений

**Таблица 4. Содержание и состав углеводородов в поверхностном слое донных осадков шельфа о. Сахалин**

| Район работ                                  | n  | C <sub>орг</sub> , % |           |      | Алифатические УВ |                     |           |      |                       | ПАУ                |          |           |      |      |
|----------------------------------------------|----|----------------------|-----------|------|------------------|---------------------|-----------|------|-----------------------|--------------------|----------|-----------|------|------|
|                                              |    | Концентрация, %      |           |      | n                | Концентрация, мкг/г |           |      | % от C <sub>орг</sub> | Концентрация, нг/г |          |           |      |      |
|                                              |    | x                    | интервал  | σ    |                  | x                   | интервал  | σ    |                       | x                  | интервал | σ         |      |      |
|                                              |    |                      |           |      |                  |                     |           |      |                       |                    |          |           |      |      |
| 2002 г.                                      |    |                      |           |      |                  |                     |           |      |                       |                    |          |           |      |      |
| Все пробы<br>Илы                             | 51 | 0,39                 | 0,03–1,85 | 0,36 | 52               | 19,5                | 3,4–89,9  | 19,2 | 1,41                  | 22                 | 15,8     | 3,1–58,7  | 13,1 | 3,1  |
|                                              | 10 | 1,07                 | 0,9–1,90  | 0,47 | 10               | 29,5                | 11,9–89,9 | 20,6 | 0,75                  | 3                  | 34,7     | 15,9–58,7 | 31,3 | 3,2  |
|                                              | 41 | 0,12                 | 0,03–0,32 | 0,10 | 43               | 16,4                | 3,4–54,4  | 14,8 | 1,37                  | 19                 | 13,1     | 3,1–33,4  | 9,1  | 10,9 |
| Район месторождений                          | 22 | 0,19                 | 0,04–1,85 | 0,38 | 22               | 23,6                | 4,6–89,9  | 22,2 | 2,37                  | 11                 | 19,3     | 5,9–58,7  | 16,4 | 10,1 |
| 1993 г.                                      |    |                      |           |      |                  |                     |           |      |                       |                    |          |           |      |      |
| Сахалинский залив, пески                     | 9  | 0,14                 | 0,07–0,29 | 0,06 | 9                | 3,8                 | 1,2–7,6   | 2,4  | 0,27                  | 6                  | 2,1      | 0,9–4,1   | 1,2  | 1,5  |
| Восточный шельф                              |    |                      |           |      |                  |                     |           |      |                       |                    |          |           |      |      |
| Илистые                                      | 2  | 1,3                  | 1,15–1,40 | –    | 2                | 19,6                | 15,4–23,7 | –    | 0,15                  | 2                  | 4,1      | 3,9–4,3   | –    | 0,3  |
| Песчаные                                     | 10 | 0,18                 | 0,06–0,27 | 0,09 | 10               | 11,1                | 6,2–16,5  | 3,6  | 0,62                  | 9                  | 2,2      | 0,9–3,5   | 1,1  | 1,2  |
| 1994                                         |    |                      |           |      |                  |                     |           |      |                       |                    |          |           |      |      |
| Сахалинский залив                            | 28 | 0,25,                | 0,09–1,56 | 0,37 | 25               | 7,5                 | 3,5–20,5  | 3,8  | 0,3                   | 25                 | 2,1      | 0,5–10,3  | 2,2  | 0,9  |
| Месторождения на восточном шельфе о. Сахалин |    |                      |           |      |                  |                     |           |      |                       |                    |          |           |      |      |
| Лозин                                        | 25 | 0,06                 | 0,03–0,12 | 0,02 | 25               | 3,0                 | 1,0–7,6   | 1,5  | 0,5                   | 25                 | 1,8      | 1,5–3,9   | 0,6  | 3,2  |
| Баутин                                       | 23 | 0,10                 | 0,06–0,14 | 0,03 | 24               | 3,4                 | 2,0–6,2   | 1,1  | 0,3                   | 24                 | 2,1      | 1,6–3,1   | 0,6  | 2,1  |
| Аркутун-Даги                                 | 25 | 0,03                 | 0,00–0,09 | 0,03 | 25               | 4,5                 | 2,3–9,9   | 1,9  | 1,6                   | 25                 | 1,3      | 0,4–3,6   | 0,9  | 0,9  |

\* n – количество проанализированных проб; х – средняя концентрация; σ – стандартное отклонение.



**Рис. 4.** Хроматограммы алканов поверхностного слоя донных осадков сахалинского шельфа: а – выделенные из нефти Пильтун-Астохского месторождения; б–г – выделенные из поверхностного слоя донных осадков шельфа о. Сахалина в районе Пильтун-Астохского месторождения: б – трансформированные аллохтонные; в – трансформированные нефтяные; г – смешанные аллохтонно-автохтонные

Во всех пробах преобладали высокомолекулярные нечетные соединения: отношение низкомолекулярных к высокомолекулярным гомологам изменялось в интервале 0,14–0,62, максимальная доля гомологов ( $C_{23}$ – $C_{40}$ ) – 88%. Значения СРІ (отношение нечетных к четным алканам в высокомолекулярной области) колебались от 1,07 до 4,74, а отношение между изо- и н-алканами – от 0,87 до 1,59. Содержание пристана лишь в отдельных случаях превышало содержание фитана, что нетипично для биогенных АУВ.

По составу алканов изученные осадки можно разделить на три группы. Преобладают ОВ с аллохтонным составом алканов:  $СРІ > 2$ ,  $\Sigma(C_{15}–C_{22})/(C_{23}–C_{40}) = 0,14–0,32$ ; горб незначителен. Максимум в области  $C_{25}–C_{29}$  типичен как для прибрежных макрофитов и травянистых растений, так и для восков высших растений (см. рис. 4 б). Для смешанного аллохтонно-автохтонного состава алканов характерно бимодальное распределение гомологов (см. рис. 4 г): в низкомолекулярной области максимум в области  $C_{17}–C_{19}$  характеризует планктоногенное ОВ, в высокомолекулярной области преобладают нечетные терригенные алканы  $C_{25}–C_{31}$ , при этом  $СРІ > 2$ . К наименее распространенному типу относятся осадки с трансформированным нефтяным составом АУВ (ст. 80): низкие величины СРІ (1,02–1,07) и горб в высокомолекулярной области (см. рис. 4 в). Зафиксированный состав алканов является типичным для рассеянных нефтяных антропогенных УВ, прошедших трансформационные процессы, а низкотемпературная часть хроматограммы иллюстрирует роль испарения и биодегра-

дании нефтяных алканов в процессе седиментации. Петрогенные нефтяные алканы (высачивающиеся со дна) отличаются от антропогенных практически полным отсутствием гомологов до ( $n-C_{23}$ ) и нафтоароматического горба [Гурвич, Немировская, 2009]. Исключение представляют две станции в районе месторождений, где в составе ПАУ доминирует нафталин, что может указывать на загрязнение этих осадков нефтяными УВ (рис. 5).

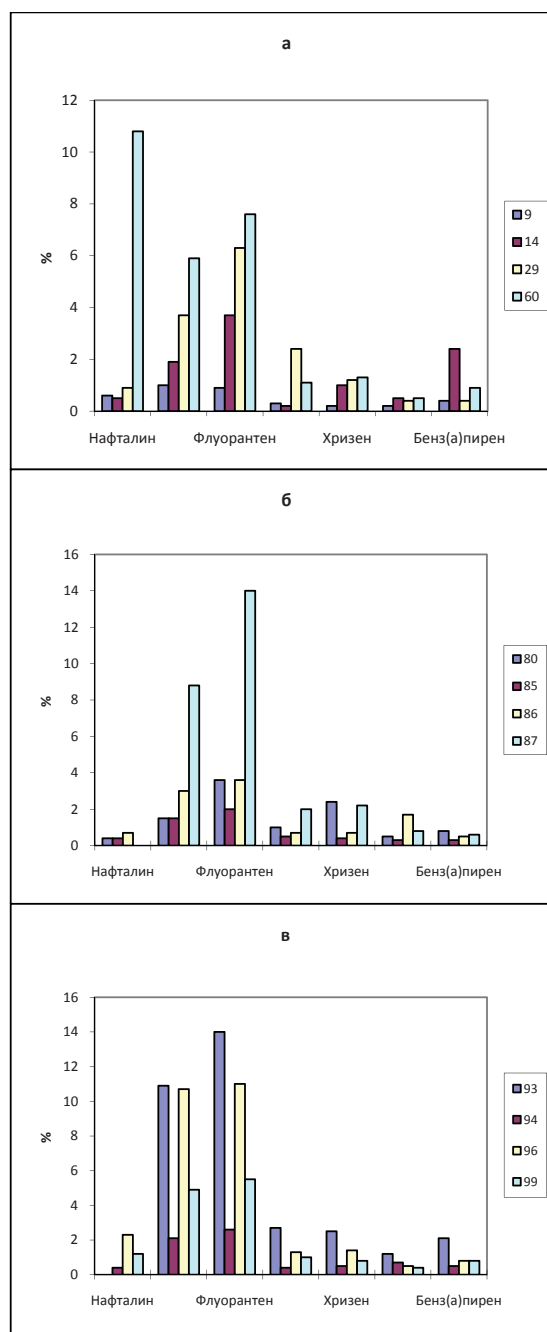


Рис. 5. Состав ПАУ донных осадков сахалинского шельфа (расположение станций приведено на рисунке 3)

Таким образом, некоторое увеличение концентраций АУВ и ПАУ в 2002 г., по сравнению с 1994 г., в осадках сахалинского шельфа не носило катастрофического характера. Рост содержания УВ, скорее всего, обусловлен разным литологическим типом проанализированных осадков, так как синхронно с УВ (в среднем в 5,4 раза) произошло изменение содержания  $C_{орг}$  (в среднем в 6,5 раз). Биогенные источники в основном формируют уровень АУВ в 50 мкг/г в илистых осадках и 3–7 мкг/г в грубодисперсных. Полученные нами концентрации не превышали эти фоновые значения. В составе УВ преобладают аллохтонные природные компоненты, которые обладают наибольшей стабильностью в составе АУВ. В то же время наличие трансформированных антропогенных нефтяных алканов, не обнаруженных ранее, может свидетельствовать о возрастающем загрязнении, связанном с интенсификацией хозяйственной деятельности в этом районе. Даже при очень строгом соблюдении режима эксплуатации морских сооружений небольших аварий избежать трудно. Примером может служить аварийный разлив нефти на комплексе «Витязь» (проект «Сахалин-2») в сентябре 1999 г. [Айбулатов, 2005]. Утечка нефти произошла в результате разрыва трубопровода в районе якорного причала. На современных морских нефтепромыслах при извлечении 1 тонны нефти потери за счет разливов составляют в среднем 1–10 г нефти [Патин, 2009].

Подобные оценки при добыче нефти на шельфе России дают гораздо более пессимистичную картину. Например, в результате аварий количество теряемой нефти в Западной Сибири и в некоторых других районах России [Яблоков, 1995] составляет 1–2% от объемов добычи, т. е. более 10 кг на каждую тонну добываемой нефти. Имеются данные о потерях до 3,5% (около 16 млн. т в год) добываемой в России сырой нефти. Основное количество УВ попадает в море не при добыче нефти (~50 тыс. т), а при ее транспортировке (~400 тыс. т) и авариях танкеров (~100 тыс. т) [Патин, 2009]. Региональные оценки могут естественно варьироваться в зависимости от местных условий. В частности, расчетная оценка утечек при возможных авариях на нефтепроводах дает величину  $1 \times 10^{-3}$  утечек/км/год. По имеющимся данным [Леонов, Пищальник, 2005], на песчаном берегу восточного Сахалина в результате небольшой утечки на стыке нефтепровода под действием приливных течений нефть в течение длительного времени перемещалась вдоль берега. В результате образовались асфальтоподобные полосы на верхней границе прилива, сформированные из тяжелой фракции нефти, перемешанной с песком.

### БАРЕНЦЕВО МОРЕ

Повышенные уровни нефтяного загрязнения характерны для мелководной прибрежной зоны вблизи городов портов гаваней. Мозаичность распределения УВ обусловлена в большей степени гидрологическими процессами – перераспределением на акватории атлантических вод, а у берега – влиянием вод прибрежного течения, загрязненного промышленными стоками. Результаты определения концентраций ПАУ в донных осадках Баренцева моря в 2001–2005 гг. приведены на *рисунке 6* [АМАР, 2007].



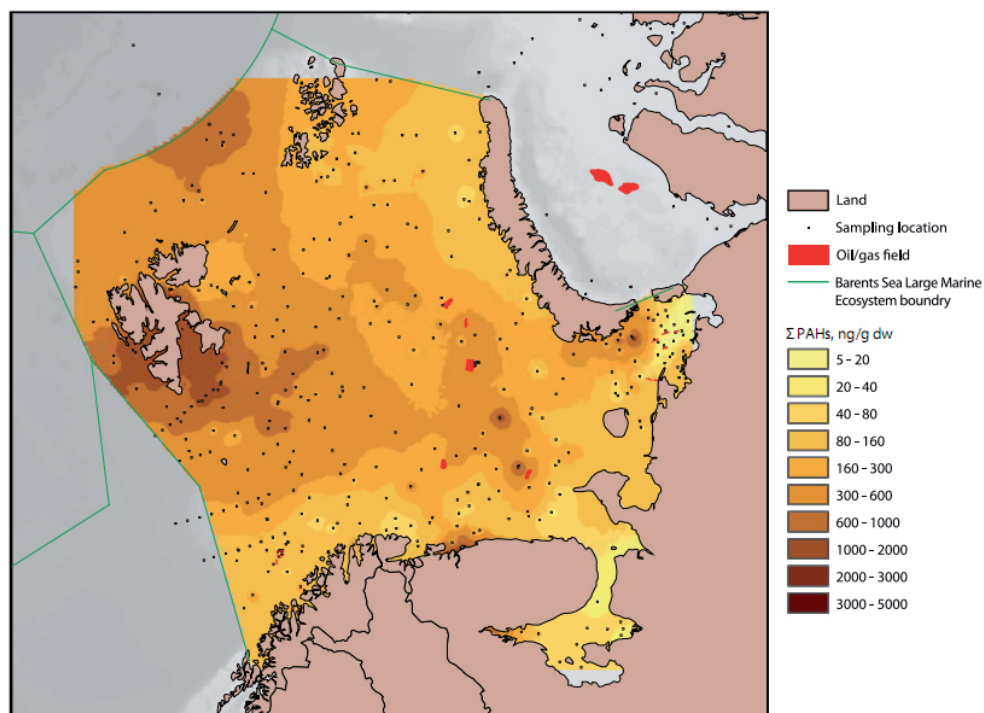


Рис. 6. Содержание ПАУ (нг/г) в поверхностном слое донных осадков Баренцева моря [АМАР, 2007]

Эти данные оказались близки к результатам анализа ПАУ в 1990 г. В осадках прибрежного района Свальбарда в составе ПАУ доминировали алкилированные гомологи нафталина и фенантрена. Сравнительные исследования отложений этой области предполагают в качестве источника полиаренов эрозию углистых отложений западной части о. Шпицберген [Dahle et al., 2006]. Высокие концентрации пирогенных ПАУ обусловлены их естественным образованием в низкотемпературных процессах. Статистически значимые различия в концентрациях и составе ПАУ в осадках, отобранных в 1991–1998 и 2001–2005 гг., отсутствовали [АМАР, 2007].

В глубоководной части района о. Медвежий (400–500 м), находящейся под влиянием вод Атлантического течения, содержание ПАУ в 2001–2003 гг. составило 900–2 200 нг/г. Столь высокие концентрации ПАУ и их состав (преобладание 3-кольчатых гомологов) могут указывать на генетическую связь с угленосными отложениями Свальбарда. Однако отложения желоба о. Медвежий содержат более высокие концентрации пирогенных полиаренов.

В юго-западной части Баренцева моря концентрации ПАУ изменялись в интервале 27–467 нг/г. В их составе преобладали пирогенные соединения: бензфлуорантен, индо(1,2,3—cd)пирен и бенз(ghi)перилен, что указывало на высокотемпературные процессы образования полиаренов. По сравнению с 1991–1998 гг., в осадках, отобранных в 2001–2005 гг., увеличилось количество 2-, 3-кольчатых ПАУ, имеющих нефтяной генезис. Последнее может быть обусловлено поступлением загрязнений из Атлантики и ростом транспортировки нефти в этих водах.

В юго-восточной части Баренцева моря в 2003 г. концентрации ПАУ изменялись в диапазоне 137–861 нг/г. Количество пирогенных соединений здесь было выше, чем в осадках других районов моря, и их количество возросло в 2003 г., по сравнению с 1991–1998 гг. (см. рис. 6).

Проведенный нами анализ донных осадков, отобранных летом 2010 г. в районе Штокмановского газоконденсатного месторождения (ШГКМ), показал, что суммарные концентрации ПАУ изменялись в интервале 4,9–150 нг/г, т. е. были значительно ниже, чем в предыдущие годы. Концентрации индивидуальных полиаренов в донных осадках исследуемого района оказались довольно постоянными, так как значения  $\sigma$  в среднем составили 7,2% от содержания гомолога. Доминируют легкие незамещенные полиарены – нафталин, флуорен, фенантрен (рис. 7).

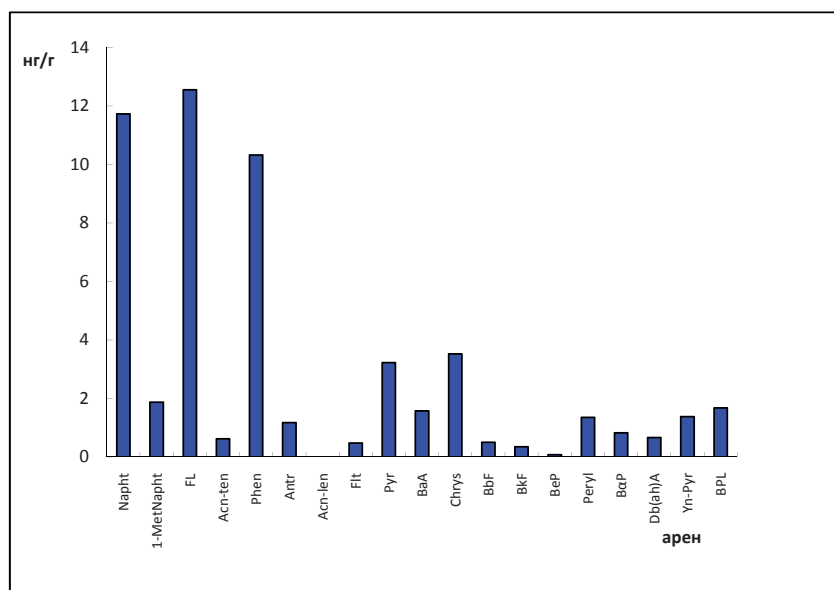


Рис. 7. Усредненный состав ПАУ в донных осадках Баренцева моря в районе ШГКМ летом 2010 г.

Высокие концентрации нафталина оказались неожиданными, так как нафталин – наиболее летучий арен, который легко разлагается в воде и в составе ПАУ донных осадков обычно относится к минорным компонентам. Отношение нафталин/метилнафталин  $>1$  (в среднем 6,2) может указывать на незначительное поступление арен с нефтяным загрязнением, так как в нефтях содержание метилированных гомологов повышено. Возможно, что содержание нафталина формирует его поступление с флюидными потоками из толщи осадков. В связи с тем, что Штокмановское месторождение газовое, здесь просачиваются в основном низкомолекулярные УВ.

Доминирование фенантрена (антрацен/фенантрен  $<1$ , в среднем 0,12) также указывает на незначительное влияние на состав ПАУ донных осадков нефтяных поступлений. Фенантрен в основном имеет природное происхождение и в относительно чистых районах образуется при трансформации ОВ в процессах диагенеза в осадках, богатых гумусом (репер гумусоаккумулятивного процесса), или при дегидрировании стероидов микроорганизмами.

К минорным компонентам в составе ПАУ относится наиболее канцерогенный из идентифицированных полиаренов – бенз(а)пирен (БП), что, возможно, обусловлено его низким содержанием, по сравнению с пиреном, в продуктах горения [Ровинский и др., 1988]. Кроме того, БП довольно легко разлагается в морской воде. Модельные эксперименты показали, что деструкция БП происходит, главным образом, в поверхностном слое вод (53% от исходного количества в час) [Израэль, Цыбань, 1989]. Микробное разрушение БП в поверхностных морских водах составляет ~400 т/год, т. е. 8% от общего его поступления из природных и антропогенных источников. Более высокие концентрации ПАУ в подповерхностном слое донных осадков могут быть обусловлены также повышенной их эмиссией в 50-е гг. XX в.

Наши результаты по содержанию ПАУ в донных осадках оказались ниже данных, полученных ФГУ НПП «Севморгео»: в районе ШГКМ в среднем – 1 610 нг/г, а в других районах Баренцева моря – в среднем 110 нг/г [Иванов, 2002]. Считается, что увеличение содержания ПАУ в районе ШГКМ обусловлено подтоком газовой-жидких флюидов из нижележащих толщ.

Содержание АУВ в донных осадках ШГКМ летом 2010 г. изменялось в слое 0–1 см в интервале 6–51, в среднем 15,2 ( $\sigma=7$ ) мкг/г, в слое 1–4 см – в интервале 4–81, в среднем 20,8 ( $\sigma=14,7$ ) мкг/г, а в слое 19–23 см – в интервале 12–83, в среднем 44 ( $\sigma=27$ ) мкг/г. Следовательно, с глубиной захоронения концентрации АУВ, также, как разброс данных, увеличивались. Напротив, содержание  $C_{орг}$  с глубиной захоронения либо не изменялось, либо уменьшалось, поэтому в составе  $C_{орг}$  доля АУВ возрастала. Распределение  $C_{орг}$  в осадках определяется их гранулометрическим составом, так как наблюдается связь между концентрациями  $C_{орг}$  и влажностью осадков:  $r(C_{орг}-Вл)=0,89$ . Напротив, между распределением АУВ,  $C_{орг}$  и влажностью связи отсутствуют  $r(C_{орг}-УВ)=-0,48$ . Состав алканов указывал смешанный генезис УВ. В низкомолекулярной области доминировали алканы, имеющие микробиальное происхождение, а в высокомолекулярной – нефтяное, так как гомологи имели плавное распределение [Немировская, 2004].

Аналогично району ШГКМ распределялись УВ и  $C_{орг}$  в Баренцевом море на участках, где были исследованы воронкообразные углубления морского дна, образование которых может быть связано либо с процессами вытаявания погребенного льда (“potholes”), либо с разгрузкой на поверхность морского дна газа (“rockmarks”) (табл. 5).

Между распределением  $C_{орг}$  и влажностью осадков наблюдается зависимость с высоким коэффициентом корреляции:  $r(Вл.-C_{орг})=0,89$  и полностью отсутствовала связь между распределением АУВ, Вл. и  $C_{орг}$ :  $r(Вл.-АУВ)=-0,30$ ,  $r(C_{орг}-АУВ)=-0,09$ . Средняя концентрация  $C_{орг}$  в поверхностном слое составила 1,135%, а в нижнем – 0,845%, т. е. практически на всех станциях их содержание так же, как и влажность осадков, традиционно уменьшалось с глубиной захоронения. Напротив, концентрации АУВ с глубиной захоронения увеличивались. В поверхностном горизонте их содержание в среднем составило 11,2, при стандартном отклонении ( $\sigma$ ) 7,4 мкг/г, а в нижнем – 34,1,  $\sigma=25,6$  мкг/г. На отдельных станциях (в частности РМ-01 и РМ-05) их концентрации различались почти в 9 раз. В составе  $C_{орг}$  в нижнем горизонте доля АУВ в составе  $C_{орг}$  была выше в среднем в 4,4 раза, чем в верхнем (0,1 и 0,44% соответственно), с максимумом на ст. ВМ-03 – 1,62%. В этом осадке наблюдалось появление каверн, из которых предположительно выходил газ.

**Таблица 5. Содержание органических соединений в донных осадках**

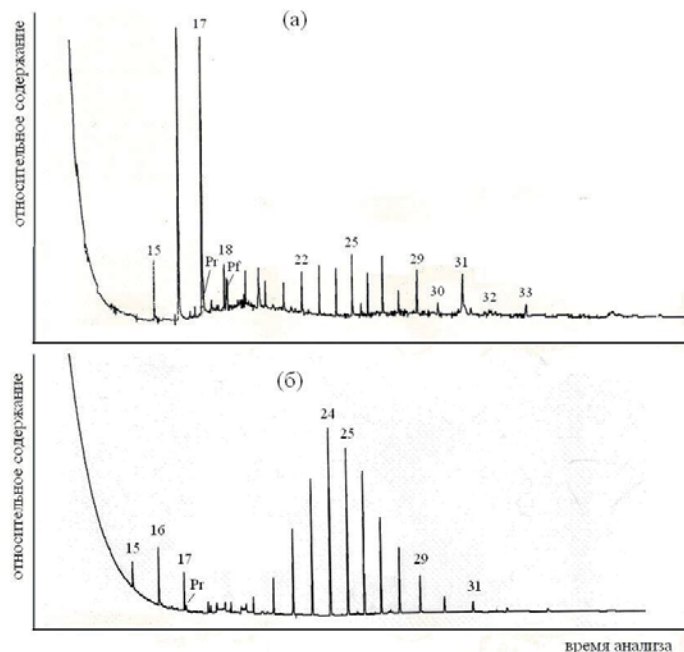
| Станция       | Горизонт, см | Влажность, % | C <sub>орг</sub> , % | УВ, мкг/кг | УВ, % от C <sub>орг</sub> |
|---------------|--------------|--------------|----------------------|------------|---------------------------|
| BC-PM-01      | 0–5          | 49,92        | 1,938                | 7,14       | 0,03                      |
|               | 12–17        | 45,22        | 1,748                | 63,53      | 0,31                      |
| BC-PM-02      | 0–5          | 43,14        | 1,524                | 17,87      | 0,10                      |
|               | 12–17        | 43,40        | 1,749                | 32,86      | 0,16                      |
| BC-PM-03*     | 0–5          | 45,44        | 1,404                | 9,10       | 0,05                      |
|               | 20–25        | 27,17        | 0,544                | 58,83      | 0,93                      |
| BC-PM-03      | 0–5          | 33,80        | 1,357                | 32,84      | 0,20                      |
|               | 20–25        | 25,01        | 0,453                | 79,76      | 1,62                      |
| BC-PM-04      | 0–5          | 35,98        | 1,165                | 8,41       | 0,06                      |
|               | 15–20        | 32,82        | 0,843                | 22,94      | 0,24                      |
| BC-PM-04*     | 0–5          | 43,52        | 1,182                | 10,85      | 0,08                      |
|               | 15–20        | 34,45        | 0,953                | 16,60      | 0,14                      |
| BC-PM-05      | 0–5          | 41,02        | 1,259                | 9,47       | 0,06                      |
|               | 14–19        | 30,87        | 0,807                | 84,62      | 0,90                      |
| BC-PM-05*     | 0–5          | 38,35        | 1,221                | 13,17      | 0,09                      |
|               | 15–20        | 31,15        | 0,849                | 24,59      | 0,24                      |
| BC-PM-06      | 0–5          | 43,55        | 1,195                | 4,56       | 0,06                      |
|               | 14–19        | 32,50        | 0,880                | 7,78       | 0,04                      |
| BC-PM-06*     | 0–5          | 41,13        | 1,105                | 7,58       | 0,06                      |
|               | 14–19        | 35,79        | 1,006                | 8,91       | 0,08                      |
| BC-PM-07      | 0–5          | 30,09        | 0,548                | 18,58      | 0,25                      |
|               | 9–14         | 31,45        | 0,389                | 11,51      | 0,28                      |
| BC-PM-07* bgr | 9–14         | 23,58        | 0,654                | 21,12      | 0,30                      |
| BC-PM-08      | 0–5          | 34,33        | 0,544                | 4,44       | 0,07                      |
|               | 10–15        | 24,01        | 0,415                | 25,92      | 0,52                      |
| BC-PM-08*     | 0–5          | 31,12        | 0,456                | 5,55       | 0,10                      |
|               | 5–8          | 24,56        | 0,380                | 14,78      | 0,32                      |

\* Станция, расположенная рядом со станцией под этим номером.

Распределение гомологов в нижних и верхнем слоях донных осадков исследуемого района имеет небольшие различия (**рис. 8**).

Общим для всех изученных проб является отсутствие в составе алканов «горба» нафтоароматических соединений, т. е. УВ (особенно высокомолекулярные) трансформированы незначительно. Об этом также свидетельствуют высокие концентрации н-алканов относительно изо-алканов, так как отношения  $n-C_{17}/Pr$ ,  $n-C_{18}/Pf$  в большинстве случаев  $>1$ , пристан доминирует над фитаном  $Pr/Pf > 1$ , значения  $CPI_{C_{13}-C_{24}}$  меньше или незначительно превышают 1. Отсутствие явной взаимосвязи между дисперсностью осадков и содержанием в них УВ, а также между  $C_{орг}$  и АУВ можно рассматривать как существование их источника эндогенной природы (генетически не связанного с взвесью и седиментационными процессами). На локальный характер этих процессов может указывать изменчивость концентраций по площади полигона. Видимо, поэтому на близко расположенных станциях (номера со звездочками и без

звездочек) в отдельных случаях концентрации АУВ практически совпадали (станции ВС-РМ-04 и ВС-РМ-06), на других – сильно различались.



**Рис. 8.** Типичные хроматограммы алканов, выделенных из донных осадков в районе Баренцева моря, где были обнаружены покмарки на станциях (а) ВС-РМ-01, верх и (б) ВС-РМ-07, низ колонок (лето 2010 г.)

В частности, на станциях ВС-РМ-05 и ВС-РМ-05\* в поверхностном слое их концентрации были близкими, а в нижнем горизонте – различались в 3,4 раза (см. табл. 5). Последнее также может свидетельствовать в пользу поступления УВ эндогенной природы. Однако, по данным акустического профилирования, в районах распространения воронок признаков газонасыщения осадков (следов миграции газонасыщенных флюидов в толще осадков) не наблюдалось. Не были установлены макроскопические признаки газонасыщенности и в разрезах современных осадков со дна воронок. Только в одном случае на срезе колонки осадков было отмечено образование каверны, возможно, связанное с высвобождением газа. Поэтому полученные результаты по содержанию и составу УВ требуют дополнительного осмысливания.

## БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ

Наиболее масштабная добыча нефти в восточной части Балтийского моря происходит с 2004 г. на месторождении Кравцовское (платформа Д-6), геологические запасы которого оцениваются в 22 млн. т. Срок эксплуатации месторождения должен составить 30–35 лет при планируемой добыче нефти до 700 тыс. т/год [Патин, 2009]. Этот комплекс состоит из ледостойкой стационарной платформы в 23 км от Куршской косы, морского подводного трубопровода (38 км) для транспортировки добываемой нефти, нефтеотборного пункта (в 5 км от Куршской косы) и системы наземных трубопроводов до нефтяного терминала на побережье.



Исследование АУВ показало, что во взвеси их содержание составило в среднем 67 мкг/л, стандартное отклонение ( $\sigma$ ) 60 мкг/л, для поверхностных вод – 101,8 мкг/л,  $\sigma=67$  мкг/л. Более высокие концентрации наблюдались в прибрежном районе. Характер распределения АУВ совпадал с распределением взвеси и  $C_{\text{орг}}$  во взвеси:  $\text{г(УВ–взвесь)}=0,62$ ,  $\text{г(АУВ–}C_{\text{орг}})=0,66$ . В то же время концентрации УВ изменялись более резко по сравнению с взвесью (*табл. 6*).

**Таблица 6. Результаты анализа органических соединений и взвеси в воде в районе месторождения Кравцовское в Балтийском море**

| Станция                | Глубина, м | Горизонт, м | Объем, л | ВОУ*   | Липиды | АУВ   | Процент от ВОУ |       | АУВ, %  | $\epsilon_{325}^{**}$ , м <sup>-1</sup> | Взвесь, мг/л | АУВ мкг/мг вз. |
|------------------------|------------|-------------|----------|--------|--------|-------|----------------|-------|---------|-----------------------------------------|--------------|----------------|
|                        |            |             |          | мкг/л  | мкг/л  | мкг/л | липидов        | УВ    | липидов |                                         |              |                |
| 15                     | 50         | 0           | 1,5      | 469,3  | 410,3  | 159,3 | 43,71          | 37,59 | 38,82   | 4,2                                     | 1,8          | 88,48          |
|                        |            | 48          | 1,5      | 477,3  | 460,9  | 46,2  | 48,28          | 41,52 | 10,03   | 0,5                                     | 0,3          | 154,12         |
| 1                      | 18         | 0           | 1,4      | 1100   | 589,8  | 245,3 | 26,81          | 23,06 | 41,60   | 4,9                                     | 4,3          | 57,06          |
|                        |            | 16          | 3,5      | 98,3   | 83,0   | 42,1  | 42,22          | 36,31 | 50,76   | 1,8                                     | 1,5          | 28,10          |
| 3                      | 15         | 0           | 1,1      | 552,7  | 304,2  | 139,1 | 27,52          | 23,67 | 45,72   | 1,6                                     | 3,8          | 36,61          |
| 4                      | 10         | 0           | 2,0      | 412,0  | 296,1  | 158,5 | 35,93          | 30,90 | 53,53   | 3,9                                     | 2,4          | 66,05          |
| 5                      | 10         | 0           | 1,3      | 489,2  | 193,1  | 41,5  | 19,74          | 16,97 | 21,49   | 3,2                                     | 2,0          | 20,75          |
| 6                      | 10         | 0           | 1,3      | 775,4  | 249,0  | 88,1  | 16,06          | 13,81 | 35,37   | 4,2                                     | 0,7          | 118,30         |
| 7                      | 9          | 0           | 1,1      | 727,3  | 495,4  | 234,2 | 34,06          | 29,29 | 47,27   | 3,2                                     | 1,2          | 195,16         |
|                        |            | 7           | 2        | 516,0  | 254,3  | 99,1  | 24,64          | 21,19 | 38,96   | 3,6                                     | 1,7          | 59,45          |
| 9                      | 26,5       | 0           | 2        | 376,0  | 137,6  | 40,7  | 18,30          | 15,74 | 29,60   | 1,9                                     | 0,6          | 63,76          |
|                        |            | 26          | 2,5      | 187,2  | 165,6  | 34,8  | 44,23          | 38,04 | 21,01   | 1,2                                     | 1,5          | 23,19          |
| 17                     | 29         | 0           | 1,4      | 800,0  | 197,4  | 55,8  | 12,34          | 10,61 | 28,29   | 3,2                                     | 1,0          | 55,04          |
|                        |            | 27          | 2,5      | 92,8   | 68,7   | 34,8  | 37,02          | 31,83 | 50,64   | 0,8                                     | 0,6          | 61,84          |
| 18                     | 30         | 0           | 1,5      | 1075,0 | 358,2  | 118,2 | 16,66          | 14,33 | 32,99   | 3,8                                     | 0,7          | 168,80         |
|                        |            | 28          | 4        | 88,1   | 71,6   | 15,1  | 40,68          | 34,99 | 21,15   | 0,5                                     | 0,8          | 18,92          |
| 23                     | 48         | 0           | 2        | 788,0  | 150,3  | 34,7  | 9,54           | 8,20  | 23,08   | 2,6                                     | 2,4          | 14,45          |
|                        |            | 46          | 4,2      | 171,4  | 115,6  | 10,5  | 33,72          | 29,00 | 9,07    | 0,5                                     | 0,3          | 34,95          |
| 22                     | 108        | 0           | 3,4      | 310,6  | 157,7  | 57,6  | 25,39          | 21,83 | 36,55   | 1,7                                     | 0,8          | 72,04          |
|                        |            | 30          | 9,8      | 104,1  | 95,7   | 20,6  | 45,97          | 39,53 | 21,48   | 0,3                                     | 0,2          | 137,05         |
|                        |            | 50          | 9,8      | 84,9   | 72,9   | 15,5  | 42,93          | 36,92 | 21,26   | 0,2                                     | 0,2          | 102,37         |
|                        |            | 107         | 5,25     | 41,1   | 37,3   | 19,5  | 45,33          | 38,99 | 52,25   | 0,9                                     | 0,4          | 51,59          |
| 16                     | 48         | 0           | 2        | 580,1  | 320,9  | 99,1  | 27,66          | 23,79 | 30,87   | 2,5                                     | 1,3          | 74,31          |
|                        |            | 30          | 5        | 67,2   | 53,9   | 7,7   | 40,10          | 34,49 | 14,29   | 0,4                                     | 1,3          | 6,08           |
|                        |            | 46          | 5,1      | 88,6   | 74,0   | 6,9   | 41,75          | 35,90 | 9,33    | 0,4                                     | 0,4          | 17,27          |
| 9л                     | 30         | 0           | 1,5      | 1059,1 | 356,7  | 128,4 | 16,84          | 14,48 | 36,01   | 4,2                                     | 1,9          | 68,50          |
|                        |            | 10          | 3        | 568,0  | 69,0   | 25,0  | 6,07           | 5,22  | 36,17   | 2,2                                     | 1,3          | 19,57          |
|                        |            | 29          | 6,3      | 125,7  | 79,0   | 27,1  | 31,42          | 27,02 | 34,29   | 0,8                                     | 0,5          | 54,17          |
| 10                     | 34         | 0           | 1,4      | 500    | 200,5  | 46,4  | 20,05          | 17,24 | 23,14   | —**                                     | 1,8          | 25,77          |
|                        |            | 32          | 5        | 170,4  | 125,5  | 48,9  | 36,83          | 31,67 | 38,95   | —                                       | 0,5          | 97,76          |
| 11                     | 47         | 0           | 2        | 476    | 90,8   | 33,0  | 9,54           | 8,20  | 36,36   | —                                       | 1,6          | 20,64          |
|                        |            | 20          | 4,9      | 143,7  | 90,5   | 44,7  | 31,49          | 27,08 | 49,38   | —                                       | 1,8          | 24,39          |
|                        |            | 46          | 6        | 114    | 83,5   | 26,8  | 36,62          | 31,50 | 32,09   | —                                       | 0,4          | 71,43          |
| По ходу движения судна |            | 0           | 2,4      | 475    | 193,6  | 66,1  | 20,38          | 17,53 | 34,12   | —                                       | —            | —              |
|                        |            | 0           | 2        | 958    | 262,6  | 85,9  | 13,71          | 11,79 | 32,70   | —                                       | —            | —              |

\* Взвешенный органический углерод.

\*\* Показатель ослабления света, измеренный с помощью прозрачномера ПУМ-А.

СЕКЦИЯ А1. Современные проблемы геофизики, океанологии, биологии субарктического Охотоморья и прилегающих вод, методы их решения

Это связано с релаксационными процессами, приводящими к деградации АУВ. Согласно хроматографическому анализу, состав АУВ взвеси формируют как природные (автохтонные – синтез фитопланктоном в море и аллохтонные – поступление с суши восков высших растений) источники, так и антропогенные (поступление с нефтяным загрязнением и от прибрежной промышленности). Снижение концентрации УВ во взвеси с глубиной обусловлено их разложением в процессе седиментации, а также отсутствием нефелоидного слоя, образование которого нехарактерно для грубодисперсных осадков при штилевой погоде.

Фоновые концентрации для илистых осадков (50 мкг/г, 0,1% от  $C_{орг}$ ) и для песчаных осадков (9 мкг/г, 0,5% от  $C_{орг}$ ) приурочены к западной части исследуемого района (табл. 7).

**Таблица 7. Результаты анализа АУВ в донных осадках Балтийского моря в районе платформы Д-6**

| Состав осадка                  | Кол-во проб | Интервал | Средняя | Стандартное отклонение (σ) | УВ, % от C <sub>орг</sub> |
|--------------------------------|-------------|----------|---------|----------------------------|---------------------------|
|                                |             | мкг/г    |         |                            |                           |
| 2010 г. Готландская котловина  |             |          |         |                            |                           |
| Песчанистые                    | 10          | 4–21     | 9       | 5                          | 0,2–0,8                   |
| Илистые                        | 8           | 22–90    | 50      | 25                         | 0,1–0,2                   |
| 2010 г.                        |             |          |         |                            |                           |
| Песчанистые<br>На полигоне Д-6 | 11          | 6–55     | 22      | 15                         | 6,0–53,4                  |
| Вне полигона Д-6               | 9           | 12–101   | 37      | 29                         | 7,2–42,4                  |
| Илистые                        | 2           | 87–183   | –       | –                          | 0,2–0,4                   |
| 2008 г.                        |             |          |         |                            |                           |
| Песчанистые<br>На полигоне Д-6 | 12          | 3–480    | 62,4    | 70,9                       | 3,3–82,6                  |
| Вблизи платформы               | 4           | 24–480   | 128     | 168                        | 20,3–82,6                 |
| В удалении от платформы        | 8           | 3–61     | 16      | 8                          | 4,9–60,6                  |
| Прибрежные песчанистые         | 5           | 15–240   | 76      | 68                         | 12,7–44,2                 |
| Все осадки вне полигона Д-6    | 11          | 9–240    | 65      | 65                         | 7,4–44,2                  |
| Илистые                        | 4           | 286–870  | 547     | 252                        | 0,57–1,62                 |
| 2009 г.                        |             |          |         |                            |                           |
| Песчанистые<br>На полигоне Д-6 | 13          | 3–56     | 16      | 12                         | 2,7–50,0                  |
| Вне полигона Д-6               | 16          | 2–100    | 22      | 18                         | 0,5–19,5                  |
| Илистые                        | 5           | 92–326   | 177     | 88,3                       | 0,19–0,70                 |

При этом состав АУВ, согласно хроматограммам алканов, формируют природные источники – фитопланктон и терригенные соединения. Осадки в районе Самбийского п-ова и платформы Д-6 отличались более высокими концентрациями УВ (рис. 9) как в пересчете на сухую массу (в среднем в песчаных осадках полигона Д-6 – 22 мкг/г, в прибрежных осадках – 37 мкг/г), так и в составе  $C_{орг}$  (в среднем 18 и 19% соответственно). Состав алканов указывал на преимущественно нефтяной генезис УВ [Немировская и др., 2011].

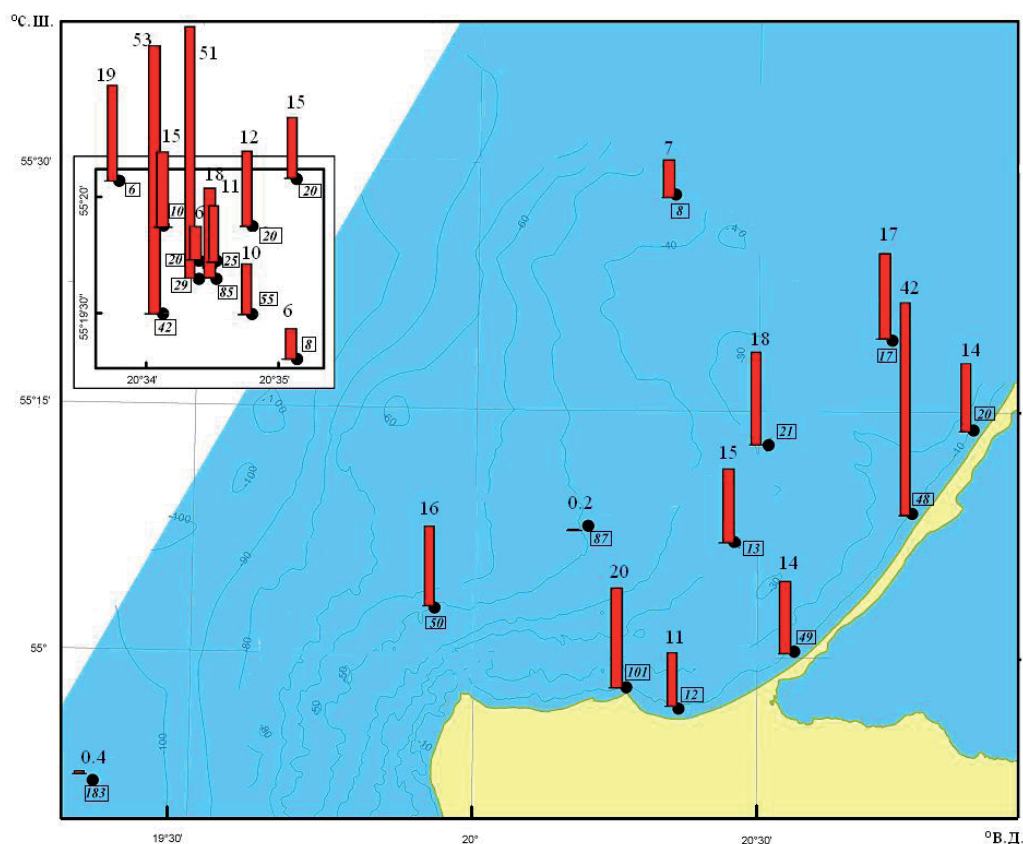


Рис. 9. Содержание АУВ, мг/г сухого осадка (в квадрате) и в составе  $C_{org}$  % (столбцы) в поверхностном слое донных осадков в районе Крайцовского месторождения в Балтийском море летом 2010 г.

Ранее в качестве источников нефтяного загрязнения осадков кроме судоходства рассматривалось природное просачивание УВ с флюидными потоками из осадочной толщи [Немировская, 2004], которое обычно происходит в нефтегазоносных районах. В акватории Самбийского полуострова были зафиксированы зоны активизации геодинамических процессов, которые могут приводить к просачиванию УВ. Скорее всего, поэтому в осадках были видны черные линзы. Результаты прямых наблюдений за подводными выходами нефти и газа показывают, что скорость их просачивания на дне сильно меняется во времени и пространстве. В зависимости от условий в нефтегазоносных горизонтах и геологических структурах под морским дном сипы могут активизироваться, на время прекращать свою активность либо вовсе исчезать, а затем появляться вновь. Вероятно, с этим связана изменчивость концентраций АУВ в осадках в этом районе Балтийского моря в разные годы исследования (см. табл. 7). Помимо динамичности характерным для таких районов становится развитие на поверхности осадков нефтеокисляющих микроорганизмов. Нефть в зоне сипов представляет собой сильно восстановленный источник энергии, легко подвергается микробному окислению и в результате способствует увеличению биомассы нефтеокисляющих бактерий. Возможно, поэтому в 2009 г. трофический статус прибрежной зоны Самбийского полуострова,

Куршской косы и района расположения платформы Д-6 по численности и биомассе бактерий оценивали как эвтрофный, а в отдельных случаях даже гиперэвтрофный [Обзор результатов..., 2009], а воды исследованной акватории относились к загрязненным или грязным. Выявленные аномалии микробиологических показателей подтверждают предположение об участии флюидных потоков из осадочной толщи в формировании повышенных концентраций УВ в донных осадках района платформы Д-6.

## ВЫВОДЫ

Надежная идентификация источников происхождения УВ в морских регионах до сих пор остается трудной химико-аналитической задачей.

В районах, где возможны потоки нефти со дна, скорость их просачивания сильно меняется во времени и пространстве. Поэтому уменьшение или увеличение концентраций УВ в ДО в районе месторождений могут быть обусловлены природными геохимическими процессами, а не результатом эксплуатации месторождений.

Аварийные прорывы из недр происходят не только через скважины, но возникают и при активизации сейсмостектонических или иных природных сил. В таких условиях выбросы флюидов не только вполне закономерны, но порой и неизбежны, а скважины лишь ускоряют их высвобождение.

*Работа выполнена при финансовой поддержке ООО «ЛУКОЙЛ-КМН», ООО «Сварог» и Программы № 21 Президиума РАН.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Айбулатов Н. А. Деятельность России в прибрежной зоне моря и проблемы экологии. М.: Наука. 2005. 364 с.
2. Беленицкая Г. А. Мексиканский соляно-нефтяной реактор // Природа. 2011. № 3. С.18–31.
3. Гурвич Л. М., Немировская И. А. Роль неуглеводородных компонентов нефти в загрязнении гидросферы // Океанология. 2009. Т. 49. № 4. С. 473–479.
4. Иванов Г. И. Методология и результаты экогеохимических исследований Баренцева моря. СПб.: Ротапринт ВНИИ Океангеология. 2002. 153 с.
5. Израэль Ю. А., Цыбань А. В. Антропогенная экология океана. Л.: Гидрометеиздат. 1989. 528 с.
6. Леонов А. В., Пищальник В. М. Анализ условий трансформации нефтяных углеводородов в морских водах и моделирование процесса в заливе Анива // Водные ресурсы. 2005. Т. 32. № 6. С. 712–726.
7. Научно-методические подходы к оценке воздействия газонефтедобычи на экосистемы морей Арктики (на примере Штокмановского проекта) / Под ред. Г. Г. Матишова, Б. А. Никитина. Апатиты: КНЦ РАН, 1997. 393 с.
8. Немировская И. А. Углеводороды в океане (снег–лед–вода–взвесь–донные осадки). М.: Научный мир. 2004. 328 с.
9. Немировская И. А., Сивков В. В., Булычева Е. В. Содержание и состав углеводородов в районе месторождения Кравцовское Балтийского моря // ДАН. 2011. Т. 436. С. 224–229.
10. Обзор результатов мониторинга морского нефтяного месторождения «Кравцовское» (Д-6) Калининград: ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть». 2009. 51 с.
11. Патин С. А. Нефтяные разливы и их воздействие на морскую среду и биоресурсы. М.: ВНИРО. 2009. 507 с.

МАТЕРИАЛЫ ПЕРВОЙ ОТКРЫТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
(Южно-Сахалинск, Россия, 5–6 апреля 2011 г.)

12. Ровинский Ф. Я., Теплицкая Т. А., Алексеева Т. А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. Л.: Гидрометеиздат. 1988. 224 с.
13. Ткалин А. В., Ройл Д. Дж., Сепгушева О. О. Гидрометеорологические и экологические условия дальневосточных морей: оценка воздействия на морскую среду. Владивосток: Дальнаука. 1999. С. 145–160.
14. Яблоков А. Н. Авария под Усинском // Экологический мониторинг. 1995. № 1. С. 8–10.
15. AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). AMAP Assessment 2002: Persistent organic pollution in the Arctic. Oslo: AMAP, 2007. Chapter 4. 87 p.
16. Dahle S., Matishov G., Savinov V. Sources of PAH contamination of bottom sediments from selected Barents Sea harbors. Arctic Shelf Conference, Murmansk 15–17 November 2006.
17. GESAMP (UN Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution). A Sea of trouble // GESAMP Reports and Studies. 2007. No. 75. 95 p.
18. NRC (National Research Council): Oil in the sea. Inputs, Fates and Effects. NAS, Washington DC. 2003. 265 p.



Джеффри Вейн Шорт (jwsosc@gmail.com)

ДВС Консалтинг (Гласиер Хайвэй, Джуно, Аляска, США)

## Мониторинг нефти после взрыва нефтяной платформы Deepwater Horizon с помощью мембранных фильтров из полиэтилена

Взрыв нефтяной платформы Deepwater Horizon вызвал крупнейшую утечку нефти в Мексиканский залив в истории, на глубине 1 500 м в океан вытекло примерно 700 000 м<sup>3</sup> нефти. Нефть с метаном и другие углеводороды с низкой молекулярной массой, вытекающие при температуре около 160°C и давлении, превышающем 100 атм., сталкивалась с окружающей холодной морской водой при гораздо более низком давлении, это привело к перемешиванию и распылению нефти на спектр нефтяных капель различных размеров, которые начали всплывать на поверхности моря. Скорость подъема зависит от размера капли и ограничена равновесной скоростью. Кроме того, химические диспергаторы нефти рядом с местом выброса увеличили процентное соотношение капель нефти более мелких размеров на неопределенную величину. Равновесная скорость капель размером менее 100 мкм достаточно мала для их последующего переноса доминирующими среднеглубинными течениями, переносящими часть вылитой нефти среднеглубинными «нефтяными шлейфами». Эти шлейфы двигались вдоль изоплет плотности в основном параллельно батиметрии на северо-восток и юго-запад под действием изобатных течений. Очевидно, что часть нефти связана также с опусканием органического и неорганического материала на дно моря.

Методы по определению подповерхностных нефтяных шлейфов в основном основывались на измерениях размеров частиц, их флюоресценции и масс-спектрометрии легких углеводородов, поддержанных взятыми образцами и визуальными фотографиями. Хотя эти методы позволяют обнаруживать низкое содержание нефти в дискретной водной массе при мгновенном заборе пробы, более чувствительные пассивные методы забора проб обеспечивают получение значений загрязнений внутри гораздо большего эффективного объема проб в зависимости от времени. Заложенная чувствительность этих методов указывает на соответствие их применения для оценки долговременной сохранности нефти на дне моря, после того как разлив нефти был прекращен 15 июля 2010 г.

Для оценки сохранности следов нефти в толще воды на юго-западе от устья скважины мы развернули массив мембранных фильтров из полиэтилена (МФП) в конце августа – начале сентября 2010 г. МФП, которые мы использовали, состояли из полиэтиленовых пластиковых лент 0,5 м × 5 см × 0,1 мм и могли определить содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в окружающей воде с коэффициентом от 10<sup>4</sup> до 10<sup>6</sup>, что позволило обнаружить отдельные ПАУ с концентрацией ниже 1 нг/л и нефти ниже 1 мкг/л. МФП были развернуты с интервалами в 100 м от поверхности воды до дна моря на станциях, расположенных в форме сетки на расстоянии в 16–60 км от устья скважины. После извлечения МФП их проанализировали на содержание дибензотиофенов, поскольку эти составляющие находятся в большей части

сырой нефти, включая МС-252, и В США в основном удаляются из продуктов переработки нефти.

Наши результаты показали, что в зоне, где проводился забор образцов, осталось малое количество нефти. Наибольшее содержание нефти было обнаружено на поверхности и на дне моря, где эквивалент концентрации нефти возможно достиг 10 мкг/л, в то время, как в промежуточной толще воды концентрация, скорее всего, была менее 1 мкг/л. Такая низкая концентрация нефти отражает комбинированный эффект микробиологического разложения, переноса и разбавления по средствам дисперсии подповерхностного шлейфа, который прошел, через проверяемую зону. МФП обеспечили, практический, чувствительный и не дорогой способ мониторинга следов уровня загрязнения углеводородами, подтверждая результаты исследований в Проливе Принца Вильгельма, после выброса нефти из танкера Эксон Вальдез в 1989 г., и водосборном бассейне реки Атабаска, после начала развития промышленной добычи битумных песков Атабаски.

Взрыв нефтяной платформы Deepwater Horizon вызвал крупнейшую утечку нефти в Мексиканский Залив в истории, что привело к массовым попыткам оценить последствия данной катастрофы. За более чем 89 дней с момента катастрофы, на глубине 1 500 м в мировой океан вытекло примерно 700 000 м<sup>3</sup> нефти. Нефть, вытекающая при температуре около 160°C и давлении, превышающем 100 атм., сталкивалась с окружающей морской водой при температуре 4°C и давлении 50 атм., это привело к перемешиванию и распылению нефти на спектр нефтяных капель различных размеров. Это перемешивание так же было усилено быстрым газообразным расширением алканов, от метана до пропана, с низкой молекулярной массой, которые находились в жидком состоянии, до взаимодействия с окружающей морской водой. Периодическое добавление 6 800 м<sup>3</sup> диспергаторов (Corexit 9500), во время выливания, снизило средний размер капель нефти, тем самым увеличив процент мелких капель, захватываемых вязкостью в толще воды. При начальной плотности 0,82 г/см<sup>3</sup>, каплям нефти диаметром менее 100 мкм для достижения поверхности морского дна требуются недели и, следовательно они могут переноситься океаническими течениями на значительные расстояния.

Нефть в капле размером более 1 мм достигает поверхности менее чем за 1 день, формируя нефтяную пленку длиной почти 50 км и шириной 10 км за 3 дня. Подверженная температуре примерно 30°C пленка быстро теряет летучие компоненты, что увеличивает концентрацию асфальтеновых фракций оставшейся нефти и ускоряет эмульгирование. Эмульгирование приводит к включению в нефть мелких капель морской воды, тем самым значительно увеличивая вязкость и вызывая застывание нефти в комки, которые продолжают распространяться на большие площади.

Первоначальное быстрое распространение пленки превысило доступные мощности по механической очистке, что привело к необходимости применения диспергаторов на поверхности пленки в попытке снизить количество нефти, которое может загрязнить побережье, особенно прибрежный марш возле дельты реки Миссисипи. Мониторинг показал, что поверхностное применение диспергаторов в лучшем случае было лишь немного эффективно. Большая часть эмульгированной поверхностной нефти была отнесена в сторону под действием ветров и поверхностных течений.

К счастью, доминирующие береговые ветры в летний и весенний периоды, совместно с необычной фазой Конвейера задержали большую часть поверхностной нефти на севере шельфа Мексиканского залива. Береговые ветры усиленные преднамеренным отклонением потока пресной воды из реки Миссисипи отклонили большую часть нефти от береговой линии. Далее на юг Конвейер вливается в большой водоворот, который называется Водоворот Франклина, который формирует ряд более мелких водоворотов по своему периметру. Эти водовороты действовали как частичная ловушка, задерживая поверхностную воду (и нефть) в северо-центральной части Залива. Это дало достаточно времени, чтобы летучие и растворимые компоненты нефти испарились и растворились.

Хотя применение диспергаторов на поверхности воды в основном было не эффективно, эффективность их применения у подповерхностных источников вытекания нефти не известна. Несмотря на это нефть, в более мелких каплях, возможно связанная с гидратами метана, могла быть вынесена на верх начальным импульсом и затем расслоиться, формируя слои из капель нефти одинаковых размеров, которые потом могут быть перенесены на значительные расстояния. Метан, выливающийся из разорванной трубы, мог конденсироваться вокруг капель нефти в качестве гидратов, увеличивая их плавучесть и, следовательно, скорость их подъема на поверхность. Эти гидраты становятся не стабильными при низком давлении и теплых температурах в более мелких водах, а когда они снова растворяются в морской воде, оставшиеся капли нефти могут «оседать» на глубинах дестабилизации гидратов. Этим и другими механизмами сформировались слои (или «шлейфы») нефтяных капель в основном на глубинах от 800 до 1 300 м, наибольшее их количество сформировалось на глубине 1 300 м. Затем, в основном под действием приливно-отливных баротропных течений, эти шлейфы начали дрейфовать вдоль северо-восточных и юго-западных изогнутых осей, вдоль изобат. По мере дрейфа растворимые компоненты продолжили растворяться из капель нефти.

Наиболее важным фактором, определяющим скорость растворения труднорастворимых компонентов, является соотношение площади поверхности к объему капель нефти. Скорость растворения непосредственно связана с этим соотношением, т.е. скорость растворения из поверхностной пленки толщиной 10 мкм, или из нефтяной капли диаметром 2 мкм примерно в 1 000 раз быстрее, чем из капли диаметром 2 см. Или наоборот, растворение, которое займет 1 год из капли диаметром 2 см произойдет за 9 ч из пленки толщиной 10 мкм, или капли диаметром 20 мкм. Следовательно, растворение полурасстворимых компонентов возникает, в основном, в трех случаях: во время подъема капель нефти на поверхность, когда почти треть полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) испарилось из нефти; с начала формирования поверхностной нефтяной пленки, перед началом эмульгирования, когда ПАУ могут раствориться в верхнем перемешанном слое толщи воды (в основном >20 м от поверхности воды); и из подповерхностных шлейфов микроскопических нефтяных капель, загрязняющих связанные с ними слои воды.

ПАУ содержат множество наиболее токсичных компонентов нефти, и в основном состоят из 2 до 4 циклических алкизамещенных гомологов. Нафталины наиболее многочисленные и растворимые, и следовательно растворяются наиболее быстро. Большинство из оставшихся ПАУ являются гомологи

флюорена, фенантрена/антрацена, флуорантена/пирена, и бензантрацена/хризена. В зависимости от содержания серы в нефти, бензотиофены (в особенности дибензотиофен) могут быть так же важными в качестве полициклического ароматического гетероцикла. Все из этих полициклических ароматических составляющих гомологов в качестве второстепенного компонента содержат незамещенное исходное соединение, с прогрессивно увеличивающимся процентным содержанием метил-, этил- и пропил-замещенные гомологи, и со снижающимся процентным содержанием гомологов содержащих четыре и более алкильных радикалов атомов углерода. Эти следы распространенности среди и между гомологиями характеризуют источник нефти, а так же состояние выветривания нефти. В частности, дибензотиофены являются отличным маркером выливания сырой нефти, поскольку эти составляющие практически полностью удаляются из переработанных продуктов, которые могут вызвать аналитическую интерференцию. Следовательно, я сфокусировался на дибензотиофенах для отслеживания остаточных следов вытекшей нефти, после прекращения утечки в середине июля.

Методы по определению подповерхностных нефтяных шлейфов, спонсируемые государством, в основном основывались на измерениях размеров частиц, их флюоресценции, и масс-спектрометрии легких углеводородов, подержанных взятыми образцами и визуальными фотографиями. Некоторые из данных подходов были внедрены с помощью автоматических глубоководных аппаратов (АГА), запрограммированных на поиск нефтяных шлейфов. Данные АГА успешно обнаруживали подповерхностные нефтяные шлейфы в то время, пока еще происходила фаза выливания, но обнаружение следов нефти, когда фаза выливания уже закончилась, требует более чувствительных методов. Хотя методы, спонсируемые государством, позволяют обнаруживать низкое содержание нефти в дискретной водной массе при мгновенном заборе пробы, более чувствительные пассивные методы забора проб обеспечивают получение значений загрязнений внутри гораздо большего эффективного объема проб в зависимости от времени. Заложенная чувствительность этих методов указывает на соответствие их применения для оценки долговременной сохранности нефти на дне моря, после того как разлив нефти был прекращен 15 июля 2010 г.

Я вел проект, спонсируемый организацией по охране водных ресурсов Oceania, по определению остаточной концентрации растворившейся нефти, через 6 недель после перекрытия утечки нефти, вдоль траектории наибольшего подповерхностного шлейфа, обнаруженного АГА. В качестве не дорогих, но весьма чувствительных интегрированных устройств пассивного забора проб мы использовали мембранные фильтры из полиэтилена (МФП). Наши МФП состояли из полиэтиленовых пластиковых лент  $0,5 \text{ м} \times 5 \text{ см} \times 0,1 \text{ мм}$ , произведенных без пластификаторов. Тепловое движение полиэтиленовых цепей создает на поверхности материала временные поры, через которые могут пройти полициклические ароматические составляющие менее 1 нм, или размером с 5-циклические ПАУ. Как только эти составляющие проникли внутрь, они могут быть эффективно заперты, как только от продолжительного теплового движения поры закроются. При разворачивании на достаточный период времени (обычно от четырех дней), концентрация ПАУ внутри МФП достигает равновесия с окружающей анализируемой средой (в данном случае мор-

ской водой). При достижении равновесия МФП могут содержать ПАУ с коэффициентом примерно от  $\sim 10^3$  (для нафталинов) до  $10^6$  (для алкил-хризенов), в соответствии с коэффициентом разделения октанол/вода ( $K_{ow}$ ) для данных составляющих. Такая чувствительность позволяет определить дибензотиофены концентрацией порядка 0,1 нг/л, что эквивалентно концентрации нефти в целом, порядка 0,1 мкг/л (предполагается, что нефть рассеяна на пленки, или микрокапли).

Для мониторинга толщи воды на наличие дибензотиофенов, растворившихся из нефти, мы развернули массив буйковых станций, закрепленных на дне моря и соединенных между собой полипропиленовой веревкой, чтобы оградить поверхность, МФП были прикреплены каждые 100 м от поверхности воды до морского дна. Самая нижняя часть МФП была расположена на дне моря, абсорбируя пробы из морской воды, связанной с эпибентными осадками. Первоначально кабели были развернуты вокруг устья скважины нефтяной платформы Deerpwater Horizon, на расстоянии 16 км и вдоль юго-западной траектории предварительно обнаруженного нефтяного шлейфа, на расстоянии 30 км и 60 км от устья скважины (рис.). МФП были развернуты на период от 4 до 6 дней, с 30 августа по 3 сентября 2010 г., они достаточно длинны для установления квазиравновесного состояния со средней во времени концентрацией растворенных в морской воде дибензотиофенов. После развертывания МФП были извлечены и незамедлительно помещены в полиэтиленовые мешки внутри стеклянных банок и хранились замороженными при температуре 20°C до тех пор, пока не были проведены анализы газовой хроматографией/масс-спектрометрией, после извлечения и определения концентрации дибензотиофенов в пентане.

Мы провели оценку эквивалентного содержания нефти, предполагая, что дибензотиофены были полностью извлечены морской водой из капель нефти до того, как мы развернули систему. Чтобы оценить эквивалент концентрации всей нефти после аварии мы использовали соотношение измеренной суммы гомологов дибензотиофенов (которые включали гомологи алкилов, вплоть до четырех алкильных радикалов атомов углерода) и нефти в целом.

Наши результаты показали, что в зоне, где проводился забор образцов, осталось малое количество нефти. Наибольшее содержание нефти было обнаружено на поверхности и на дне моря, где эквивалент концентрации нефти возможно достиг 10 мкг/л, в то время, как в промежуточной толще воды концентрация, скорее всего, была менее 1 мкг/л (см. рис.). Такая низкая концентрация нефти отражает комбинированный эффект микробиологического разложения, переноса и разбавление по средствам дисперсии подповерхностного шлейфа, который прошел через проверяемую зону. В частности, концентрация нефти в  $\sim 10$  мкг/л на дне моря у одной из станций, указывает, что затонувшая нефть не многочисленная в месте, где проводились исследования. Едва повышенная концентрация у поверхности, скорее всего, отображает дибензотиофены растворившиеся из поверхностной нефтяной пленки и оставшиеся в поверхностном перемешивающемся слое (см. рис.), хотя остатки нефти на дне моря могли возникнуть либо после того, как затонула платформа Deerpwater Horizon, либо в результате естественного просачивания нефти вблизи места катастрофы.





**Рис.** Места размещения станций забора проб рядом с платформой Deepwater Horizon, концентрация нефтяного эквивалента, определенная на основании измерений дибензотиофенов в ПМФ на указанных глубинах размещения станций, и поперечный разрез толщи морской воды, указывающий на наличие пикноклина в 100 м от водной поверхности

Обнаруженные уровни концентрации оказались значительно ниже ожидаемых, вызывающих большинство биологических эффектов, хотя некоторые виды, питающиеся пелагической пищей, могут накапливать 1 мкг/г при длительном воздействии концентрации в 1 мкг/л нефти в микрокаплях.

МФП обеспечили практический, чувствительный и недорогой способ мониторинга следов уровня загрязнения углеводородами, подтверждая результаты исследований в проливе Принца Вильгельма после выброса нефти из танкера Эксон Вальдез в 1989 г. и водосборном бассейне реки Атабаска после начала развития промышленной добычи битумных песков.

СЕКЦИЯ А1. Современные проблемы геофизики, океанографии, биологии субарктического Охотоморья и прилегающих вод, методы их решений

**В. И. Радченко** (radchenko@tinro.ru)

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр  
(Владивосток)

## **Модель Экопас – перспективный инструмент для сравнительного исследования функционирования экосистем Охотского и Берингова морей**

Становление экосистемных исследований дальневосточных морей России пришлось на начало 1980-х гг. Несмотря на то, что в популярной литературе понятие «экосистема» в основном использовалось в статьях на природоохранную, так называемую «экологическую» тематику, в Советском Союзе и далее в России морские экосистемные исследования развивались как часть рыбохозяйственной науки. В последние годы и в зарубежной рыбохозяйственной науке принято считать, что рыболовство «тесно впRESSовано» в функционирование морских экосистем (Squires, 2009), и что для поддержания здорового и устойчивого состояния экосистемы необходимо учитывать воздействие промысла на трофическую структуру в целом и отдельные значимые экологические связи, как биотической, так и абиотической природы.

В настоящее время происходит дальнейшее совершенствование методологии экосистемных исследований. Проведенные в 1980–2000-х гг. комплексные морские экспедиции обеспечили синхронный сбор больших массивов многоплановой информации, характеризующей различные аспекты состава, структуры и функционирования экосистем. Анализ этой информации, сравнимой как в географическом, так и во временном аспекте, позволил получить впечатляющие результаты (Шунтов, 2001; Шунтов и др., 2007; Шунтов, Темных, 2008). Важным этапом явилось завершение серии атласов и таблиц, содержащих в систематизированном виде накопленную за годы исследований верифицированную информацию о распределении и обилии всех встреченных в пелагиали дальневосточных морей и прилегающих вод Тихого океана видов рыб и nekтонных беспозвоночных (для Охотского моря – см. Атлас, 2003; Нектон, 2005). Близка к завершению подготовка подобных изданий с информацией о планктонных сообществах и сообществах демерсальных рыб.

В связи с быстрым развитием освоения ресурсов нефтяных и газовых месторождений на северо-восточном шельфе Сахалина (Григоренко и др., 2007) этот район Охотского моря, особенно воды, прилегающие к острову Сахалин, испытывают риски существенного антропогенного загрязнения, прежде всего нефтепродуктами, являющимися сильнейшими токсикантами для большинства видов морских гидробионтов. В этом районе производится не только добыча из морских скважин, но и осуществление интенсивных танкерных перевозок сырой нефти и сжиженного природного газа в порты Японии, Кореи и других азиатских стран. Это обуславливает повышенную вероятность аварийных разливов нефти и их негативных последствий для морских гидробионтов, а значит, и для морских экосистем в целом. Между тем разведочные работы по поиску новых месторождений нефти и газа на шельфе ведутся в настоящее время и у берегов Западной Камчатки, и в се-

верной части охотоморского шельфа. Исследование экосистемы на основе данных, в основном собранных до интенсивного развития нефте- и газодобычи на шельфе, представляет несомненный интерес для получения реперных значений экосистемных параметров.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Модель Экопас получила широкое признание за рубежом в составе методологии для обобщения и обработки данных о трофических связях в морских экосистемах (Polovina, 1985; Christensen and Pauly, 1992; Pauly et al., 2000). На электронном сайте по адресу [www.ecopath.org](http://www.ecopath.org) в сети Интернет можно ознакомиться с руководствами, списком более трехсот опубликованных региональных моделей, получить последние версии программы. В 2009 г. научное сообщество отметило 25-летие разработки модели масштабной научной конференцией, которая прошла в Университете Британской Колумбии с 26 августа по 3 сентября 2009 г. Экопас, по сути, – балансовая модель трофической структуры, в которой построение результирующих связей основано на решении системы простых линейных уравнений. В уравнение для каждого элемента исследуемой трофической цепи вводится и затем рассчитывается количество материала (измеренное через биомассу, энергию, или вспомогательные остаточные параметры, например, углерод). Комплекс параметров базового уравнения включает: биомассу, P/B-коэффициент (отношение продукции к биомассе), Q/B-коэффициент (отношение потребления к биомассе), количественную характеристику пищевого спектра, величины иммиграции и эмиграции, вылов и непроедованные выбросы при рыболовстве.

Прообразом модели Экопас явилась блоковая модель, применявшаяся и ранее, в том числе в до-компьютерную эпоху, для визуализации результатов расчета переноса вещества и энергии между элементами трофической структуры экосистемы. Преимущество модели Экопас состоит в ее возможности использовать все данные, собранные и проанализированные в самых различных рыбохозяйственных исследованиях, особенно связанных с оценкой запасов и изучением питания гидробионтов. Более того, использование модели оказывается тем более успешным, чем больший массив данных удастся использовать для оценки закладываемых в нее базовых параметров. Другое преимущество заключается в возможности ассимилировать данные в единую логически выстроенную схему. На основе массива используемых данных, результирующая модель высвечивает доминирующие трофические связи и помогает сконцентрировать внимание на доминирующих путях переноса, а также основных пробелах в обеспечении информацией, при этом сортируя их по важности для оценки функционирования экосистемы в целом. Несравнимо более прогрессивны возможности модели в визуализации результатов, скорости проведения расчетов и их подготовки для сравнений и интерпретации.

После введения данных, при помощи модели может быть оценен седьмой параметр, а именно – «трофическая эффективность» (ЕЕ), т. е. доля производимой элементом продукции, утилизируемая другими компонентами системы. Оценивание ЕЕ – первоочередной инструмент тестирования данных в модели Экопас. Независимые оценки потребления и продукции различных видов часто приводят к начальным выводам, что какой-либо из видов продуцирует

меньше, чем составляет его суммарная потребляемая в экосистеме биомасса ( $EE > 1.0$ ), что невозможно, исходя из требований балансовой модели. Поэтому, используя  $EE > 1.0$  в качестве показателя ошибки, следует оценить полноту и качество каждого фрагмента данных, вводимых в модель, скорректировать, и таким образом настроить согласованный ввод информации в целом. Этот процесс называется «балансировкой» модели. Конечно, нельзя утверждать, что реальная экосистема за любой выбранный период времени находится в совершенном равновесии. Тем не менее, для имеющейся степени приближенности вводимых данных можно оценить уровень неопределенности, содержащейся в оценках количества вещества, как требуемого, так и реально поступающего к каждому элементу трофической структуры экосистемы.

Разработанная модель Экопас охватывает в Охотском море только акваторию российской экономической зоны и нейтральных вод, 1520,4 тыс. км<sup>2</sup>. Единицы биомассы, используемые в представленной модели, – это единицы сырого веса в отношении к площади поверхности моря (в т/км<sup>2</sup> или, что одно и то же, в г/м<sup>2</sup>). Единицей времени, используемой в данных моделях, является год. Поэтому для получения осредненных данных использовались данные за возможно большее количество месяцев, чтобы исключить возможное воздействие сезонных изменений. Для большинства параметров зимние оценки оказались недоступны, соответственно в модель вводились летние оценки, скорректированные с поправкой на крайне низкую продукцию и (или) биомассу в течение зимних месяцев.

Для разработки модели экосистемы Охотского моря использованы данные экосистемных исследований о численности и трофических связях гидробионтов, собранные в комплексных морских экспедициях ТИНРО-центра и к настоящему времени в основном опубликованные (Борец, 1997; Дудник, Долганов, 1992; Дулепова, 2002; Дулепова, Борец, 1990; Дулепова и др., 2008; Ильинский, 1998, 2007; Кобликов и др., 1990; Лапко, 1996; Надточий и др., 2007; Нектон, 2005; Шунтов, 1985, 1995, 2001; Шунтов, Дулепова, 1997; Шунтов и др., 1990, 1997, 2007; Radchenko et al., 2010). Оценки потребления для видов nektona и nektonbentosa приняты на основе результатов трофологических исследований, недавно обобщенных В. И. Чучукало (2006).

Разработка модели экосистемы Охотского моря произведена согласно списку видов и групп, идентичному таковому модели западной части Берингова моря (Aydin et al., 2002). Это сделано для сохранения преемственности и обеспечения сравнимости моделей. Всего выделено 36 функциональных групп, в основном представленных группами видов или, особенно для организмов нижних трофических уровней, таксонов более высокого ранга. В некоторых случаях функциональные группы представлены одним видом (важные промысловые рыбы), а в одном – даже двумя онтогенетическими группировками одного вида (минтай). Разбиение биомассы минтая на две группы произведено в связи с исключительным значением данного вида в пелагиали и существенными различиями в продукционных характеристиках, рационах и трофических связях взрослых и неполовозрелых рыб. Дополнительно в Охотском море в отдельную группу выделена сардина-иваси, игравшая здесь в 1970–1980-е гг. заметную роль и в трофических цепях, и в вылове.

Три функциональных группы – пелагический детрит, донный детрит и общий детритный пул – описывают рециклинг мертвого органического вещества.

Биомасса детрита оценивалась только для одной его составляющей, твердых частиц. Роль растворенного органического вещества, например, азотистых соединений, в данной модели не рассматривается. Пелагические частицы детрита, входящие в состав сестона, могут заново включаться в трофическую цепь несколькими путями. Они могут поедаться напрямую или оседать на дно и поедаться бентическими детритофагами, или «перерабатываться» микрозоопланктоном, простейшими и бактериями. В различных районах распределение потока детрита между тремя упомянутыми путями может существенно варьироваться. Чтобы уменьшить ошибки, возникающие вследствие невозможности точной оценки роли РОВ, бактерий, других микрогетеротрофов, при выборе функциональных групп для низших трофических уровней прибежали к низкой степени детализации.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Экосистема Охотского моря, анализируемая в настоящей работе, обеспечивала основу продукции отечественного рыболовства и в период последовательного нарастания уловов в конце 1980-х гг. и, особенно, в последние годы. Начиная с 2001 г., доля Охотского моря в общем валовом объеме отечественного вылова на Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне (в пределах исключительной экономической зоны России) стабилизировалась на уровне 50–65%. В 2008 г. она составила 50,8%, в 2009 г. – 59,4%, в 2010 г. – 61,9%. Несомненно, значение акватории Охотского моря для отечественного рыболовства будет еще более возрастать по мере наблюдаемых в последние годы стабилизации и роста запасов минтая, поскольку доля минтая в общем вылове варьируется в пределах 48,3–62,0% (*рис. 1*).

Что касается оценок основных параметров, полученных после ввода данных и симуляций модели, общая биомасса (без учета детрита) в моделируемой экосистеме Охотского моря оказалась распределена с плотностью 590,1 г/м<sup>2</sup> (*табл. 1*). Это несколько выше, чем в ранее разработанных моделях западной части Берингова моря – 568 г/м<sup>2</sup> для шельфа и свала глубин и 402,8 г/м<sup>2</sup> для всей акватории, включающей глубоководные котловины (Aydin et al., 2002). Для двух первых из указанных моделей биомасса без учета фитопланктона характеризуется практически одинаковыми величинами – 563,1 и 553 г/м<sup>2</sup>.



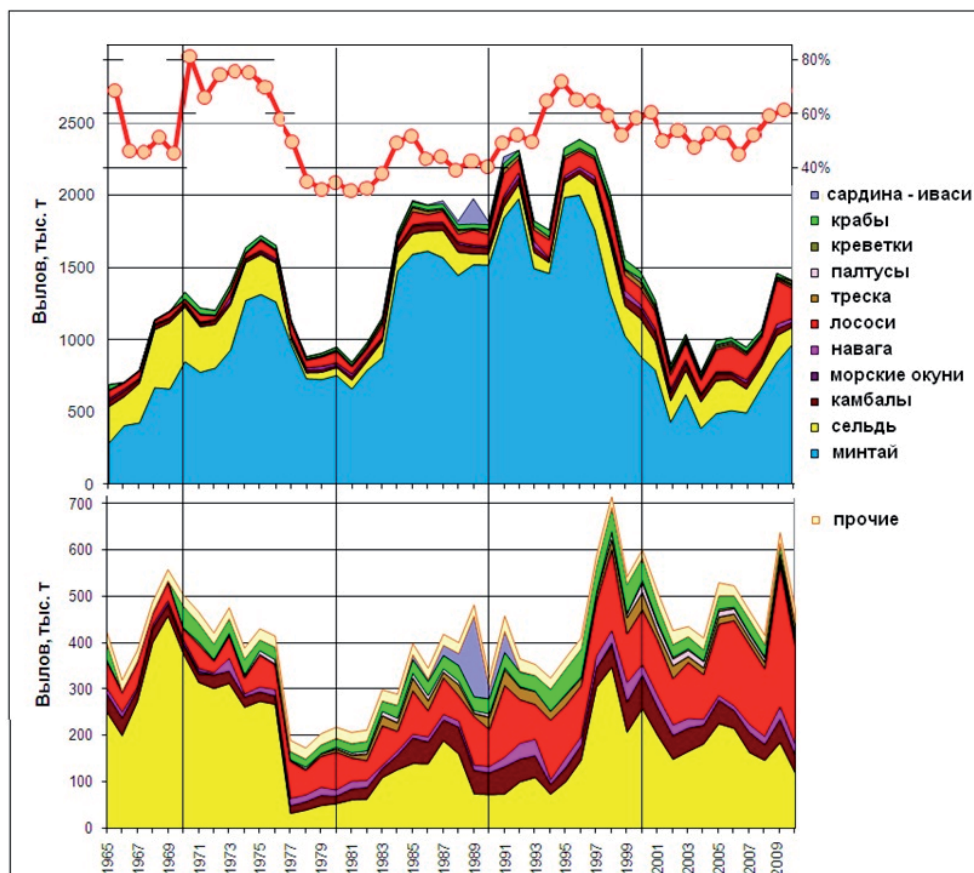


Рис. 1. Состав общего улова российского рыболовства в Охотском море, 1965–2010 гг. Ломаной линией в верхней части рисунка показана доля бассейна Охотского моря в общем вылове отечественного морского рыболовства на Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне. Нижняя панель – без учета минтая

Обращает на себя внимание очень большая величина суммарной продукции экосистемы Охотского моря – 12,19 тыс. т/км<sup>2</sup> в год. Подобная оценка для экосистемы западной части Берингова моря ниже более чем вдвое – 5,16 (с учетом глубоких котловин) и 5,68 (только шельф и свал глубин) тыс. т/км<sup>2</sup> в год. Существенный вклад в эту разницу вносят оценки первичной продукции – соответственно 9,59; 3,51 и 2,57 тыс. т/км<sup>2</sup> в год. Различия в оценках первичной продукции отражают более высокий продукционный потенциал фитоценозов Охотского моря. Столь же существенно отличается в двух экосистемах оценка потока продукции в детрит: 8,54 тыс. т для Охотского моря, 3,47 и 4,52 тыс. т для моделей западной части Берингова моря. Фитопланктон обеспечивает основную массу потока вещества в детрит в Охотском море – более двух третей (69,0%), что существенно отличается от оценок, полученных на моделях берингоморской экосистемы (26–37%). Вклад второй группы, крупного зоопланктона – 14,7%, копепоид – 8,3%. Еще две группы (эпифауна и инфауна), поставляют в детрит, соответственно, 4,4% и 2,9% вещества. Суммарная доля ювенильного и взрослого минтая – 0,32%, донных амфипод – 0,18%. На долю остальных 27 групп в Охотском море приходится 0,3% потока.

**Таблица 1. Основные параметры экосистемы Охотского моря, полученные после ввода данных и симуляций модели Экопас**

|                                                                    | Охотское море | Западная часть Берингова моря |
|--------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------|
| Сумма потребления (т/км <sup>2</sup> в год)                        | 8 441,40      | 7 640,03                      |
| Сумма экспорта вещества (т/км <sup>2</sup> в год)                  | 3 869,88      | 28,11                         |
| Сумма расходов на метаболизм (т/км <sup>2</sup> в год)             | 3 919,64      | 3 482,43                      |
| Сумма потоков в детрит (т/км <sup>2</sup> в год)                   | 8 495,42      | 3 465,95                      |
| Общая пропускная способность экосистемы (т/км <sup>2</sup> в год)  | 24 726,33     | 14 616,52                     |
| Суммарная продукция (т/км <sup>2</sup> в год)                      | 12 193,10     | 5 682,31                      |
| Средний трофический уровень вылова                                 | 3,53          | 3,58                          |
| Общая эффективность (отношение вылова к общей первичной продукции) | 0,000114      | 0,000473                      |
| Расчетная общая первичная продукция (т/км <sup>2</sup> в год)      | 9 593,40      | 3 510,00                      |
| Отношение общей первичной продукции к общим расходам на метаболизм | 2,45          | 1,01                          |
| Чистая продукция системы (т/км <sup>2</sup> в год)                 | 5673,76       | 27,57                         |
| Отношение общей первичной продукции к общей биомассе               | 16,25         | 6,17                          |
| Отношение общей биомассы к общей пропускной способности            | 0,023874      | 0,038893                      |
| Общая биомасса (исключая детрит, т/км <sup>2</sup> в год)          | 590,30        | 568,48                        |
| Общий вылов (т/км <sup>2</sup> в год)                              | 1,096         | 1,659                         |

Напротив, сумма расходов на метаболизм для Охотского моря и западной части Берингова моря отличается несильно: 3,91 и 3,48–2,45 тыс. т/км<sup>2</sup> в год. Это еще раз подтверждает тот факт, что показатели обилия и продуктивности фауны рассматриваемых акваторий в целом близки. Сходен состав и эксплуатируемой рыболовством части биоты. Так, средний трофический уровень вылова в Охотском море составляет 3,5, а в западной части Берингова – 3,6 по данным обеих моделей. Это соответствует расчетным трофическим уровням, занимаемым массовыми промысловыми объектами (*табл. 2*): минтаем – 3,55 (3,40–3,42 в Беринговом море), сельдью – 3,31 (3,34–3,50), тихоокеанскими лососями – 3,61 (3,68–3,8).

Биомасса потребителей в экосистеме Охотского моря поддерживается потоком органического вещества с первого трофического уровня, интенсивность которого оценивается в 6567,70 г/м<sup>2</sup>. Из них 56,4% обеспечиваются первичной продукцией, 26,1% – пелагическим и 17,5% – донным детритом. В модели шельфа и свала глубин западной части Берингова моря поток органического вещества оценивается в 6031 г/м<sup>2</sup>, с долей перечисленных составляющих 43,0%, 20,3% и 36,7%. Интересным показателем является соотношение между общей биомассой и интенсивностью потока органического вещества с первого трофического уровня, обеспечивающего потребности всех видов – потребителей, которое в экосистеме Охотского моря равно 11,1, западной части Берингова – 10,6. Даже в восточной части Берингова моря, где, по мнению американских исследователей (Aydin et al., 2002), оценки биомассы и переноса вещества примерно вдвое меньше, данное соотношение равняется 10,7. По-видимому, эту величину можно считать характерной для окраинных морей северной части Тихого океана.

**Таблица 2. Характеристики функциональных групп экосистемы Охотского и западной части Берингова морей по данным моделей Экопас**

| R                                                           |                     | Охотское море    |          |           | Берингово море   |          |          |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|------------------|----------|-----------|------------------|----------|----------|
|                                                             |                     | Троф.<br>уровень | Биомасса |           | Троф.<br>уровень | Биомасса |          |
|                                                             |                     |                  | т/км²    | тыс. т    |                  | т/км²    | тыс. т   |
| А. Группы, индексы обилия которых различаются существенно   |                     |                  |          |           |                  |          |          |
| ∞                                                           | Иваси               | 3,02             | 0,148    | 225,02    | –                | 0        | 0        |
| 6,45                                                        | Черный палтус       | 4,36             | 0,374    | 568,64    | 4,46             | 0,058    | 15,25    |
| 5,05                                                        | Лососи              | 3,61             | 0,197    | 299,52    | 3,68             | 0,039    | 10,26    |
| 3,04                                                        | Крабоиды            | 3,23             | 0,362    | 550,40    | 2,99             | 0,119    | 31,30    |
| 2,95                                                        | Медузы              | 3,33             | 4,130    | 6279,38   | 3,15             | 1,400    | 368,20   |
| 0,42                                                        | Кашалот             | 4,66             | 0,008    | 12,77     | 4,70             | 0,020    | 5,26     |
| 0,37                                                        | Бельдюговые         | 4,06             | 0,332    | 504,78    | 4,12             | 0,900    | 236,70   |
| 0,33                                                        | Зубатые киты        | 4,57             | 0,014    | 21,29     | 4,58             | 0,042    | 11,05    |
| 0,18                                                        | Треска и навага     | 3,90             | 0,586    | 890,97    | 4,03             | 3,187    | 838,18   |
| 0,16                                                        | Донные амфиподы     | 2,01             | 2,250    | 3420,97   | 2,01             | 13,812   | 3632,56  |
| 0,11                                                        | Белокорый палтус    | 4,30             | 0,009    | 13,68     | 4,55             | 0,083    | 21,83    |
| 0,06                                                        | Стрелозубый палтус  | 4,37             | 0,003    | 4,56      | 4,27             | 0,052    | 13,68    |
| 0,06                                                        | Сивуч               | 4,51             | 0,002    | 3,04      | 4,51             | 0,035    | 9,21     |
| 0                                                           | Морж и лахтак       | –                | 0        | 0         | 3,15             | 0,262    | 68,91    |
| Б. Группы, индексы обилия которых различаются несущественно |                     |                  |          |           |                  |          |          |
| 2,00                                                        | Макрозоопланктон    | 2,47             | 242,056  | 368029,20 | 2,64             | 120,740  | 31754,62 |
| 1,81                                                        | Фитопланктон        | 1,00             | 27,100   | 41203,65  | 1,00             | 15,000   | 3945,00  |
| 1,64                                                        | Сельдь              | 3,31             | 1,289    | 1959,83   | 3,34             | 0,787    | 206,98   |
| 1,59                                                        | Крабы шельфа        | 3,01             | 0,395    | 600,57    | 2,99             | 0,249    | 65,49    |
| 1,20                                                        | Морские птицы       | 3,93             | 0,012    | 18,25     | 3,98             | 0,010    | 2,63     |
| 1,09                                                        | Копеподы            | 2,05             | 133,200  | 202521,28 | 2,05             | 122,620  | 32249,06 |
| 1,07                                                        | Крабы глубоководные | 3,31             | 0,089    | 135,32    | 2,99             | 0,083    | 21,83    |
| 1,03                                                        | Фуражные рыбы       | 3,46             | 19,600   | 29800,43  | 3,39             | 19,076   | 5016,93  |
| 0,86                                                        | Скаты               | 4,08             | 0,234    | 355,78    | 4,36             | 0,271    | 71,27    |
| 0,86                                                        | Макрурусы           | 4,33             | 0,998    | 1517,39   | 3,92             | 1,156    | 304,03   |
| 0,83                                                        | Юв. минтай          | 3,35             | 3,128    | 4755,91   | 3,35             | 3,757    | 988,09   |
| 0,70                                                        | Эпифауна            | 2,15             | 80,400   | 122242,57 | 2,15             | 114,962  | 30235,01 |
| 0,70                                                        | Камбалы             | 3,23             | 0,690    | 1049,10   | 3,21             | 0,992    | 260,90   |
| 0,68                                                        | Тюлени              | 4,15             | 0,066    | 100,35    | 4,49             | 0,097    | 25,51    |
| 0,61                                                        | Усатые киты         | 3,74             | 0,240    | 364,90    | 3,79             | 0,391    | 102,83   |
| 0,55                                                        | Бычки и окуни       | 3,71             | 0,372    | 565,60    | 3,76             | 0,677    | 178,05   |
| 0,53                                                        | Взр. минтай         | 3,55             | 7,896    | 12005,32  | 3,42             | 15,000   | 3945,00  |
| 0,48                                                        | Креветки            | 3,13             | 1,013    | 1540,20   | 2,41             | 2,091    | 549,82   |
| 0,48                                                        | Инфауна             | 2,00             | 60,700   | 92290,10  | 2,00             | 125,687  | 33055,68 |
| 0,48                                                        | Головоногие         | 3,59             | 2,300    | 3496,99   | 3,67             | 4,830    | 1270,29  |

**Примечание:** R – соотношение плотности распределения биомасс в Охотском море (площадь 1520,43 тыс. км<sup>2</sup>) и в западной части Берингова моря (площадь 263 тыс. км<sup>2</sup>).

В ходе сравнительного анализа представляется интересным выделить группы, количественные показатели которых в двух экосистемах отличаются незначительно, и те, для которых эти показатели принципиально различны. Первая группа представляет часть фауны, характерной для субарктических окраинных морей в целом, вторая – характерной для специфических условий Охотского моря. Из таблицы 2 видно, что структурообразующие функциональные группы характеризуются сходными относительными индексами обилия. В их числе – фитопланктон, копеподы, макрозоопланктон, минтай, сельдь, камбалы, фуражные рыбы, головоногие моллюски, инфауна и эпифауна, креветки, тюлени, усатые киты. Среди рыб, плотность которых выше в западной части Берингова моря, преобладают хищные виды: треска, бельдюговые, белокорый и стрелозубый палтусы, а также зубатые киты и сивуч. В Охотском море более обильны черный палтус, медузы, крабоиды, а также лососи, поскольку в данной модели западной части Берингова моря глубоководная часть акватории не рассматривается. С учетом глубоководных котловин средняя плотность распределения лососей повышается до 0,14 т/км<sup>2</sup>.

Трофическая структура, смоделированная при помощи Экопас, подчеркивает высокую степень сходства исследуемых экосистем (рис. 2). В то же время ресурсы макрозоопланктона (без копепод) в Охотском море для пелагических рыб и беспозвоночных – минтая, лососей, сельди, фуражных рыб, кальмаров, медуз – более значимы. В рационах этих функциональных групп крупный зоопланктон составляет более 60%. В Беринговом же море большее значение в рационах гидробионтов, занимающих третий трофический уровень, имеют копеподы.

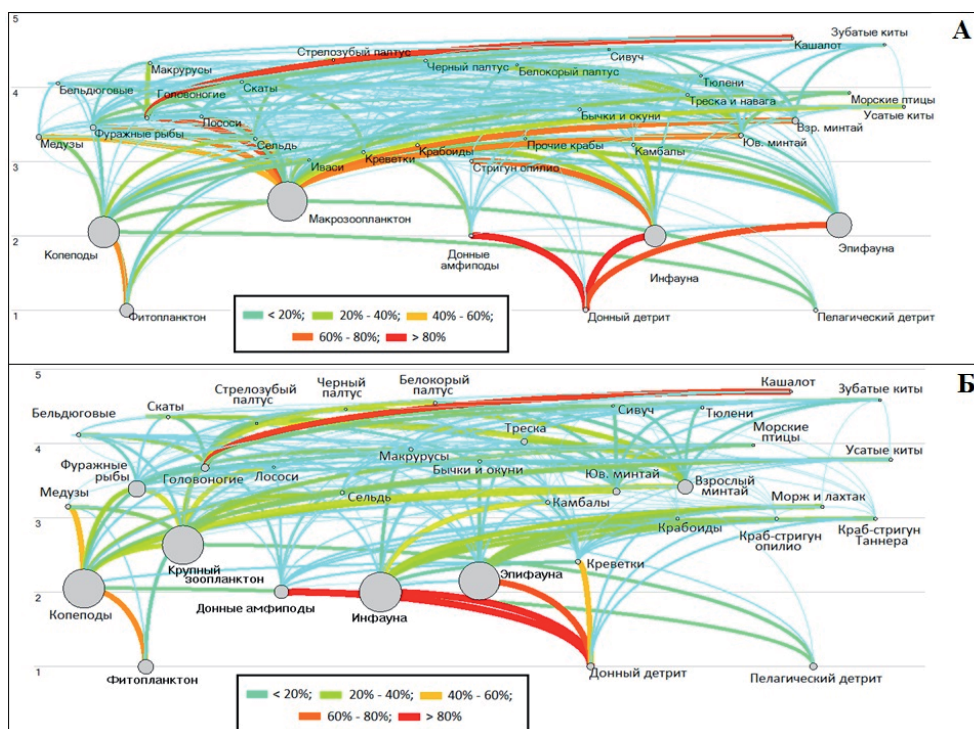


Рис. 2. Трофическая структура экосистемы Охотского (А) и западной части Берингова моря (Б) по данным моделей Экопас, цифры слева – шкала трофических уровней, занимаемых видами и группами гидробионтов



Среди основных потоков вещества, можно выделить три отдельных пути переноса через трофические уровни 3–3,5: 1) фуражные рыбы; 2) головоногие; 3) минтай (взрослый и молодь). Менее значимые траектории – через сельдь, а также – через креветок. Молодь крабов и мелкие камбаловые играют меньшую роль в Охотском море по сравнению с Беринговым из-за меньшей значимости в трофической структуре трески. Головоногие моллюски представляют собой наиболее важный из «нерыбных» путей переноса в связи с их высокой значимостью в качестве кормовых организмов. Несмотря на занимаемый ими высокий трофический уровень (3,6), подавляющую часть потребляемой ими продукции составляет макрозоопланктон (84,7%). На повышении среднего значения занимаемого трофического уровня сказался высокий уровень внутрigrуппового каннибализма.

Результаты оценки попарного сравнения степени трофического воздействия функциональных групп друг на друга, а также промысла представлены на **рисунке 3**. Представленная матрица характеризует влияние воздействующих групп (приведены в верхней части рисунка) на группы, находящиеся под их эффектом (перечислены в колонке слева). Темные кружки указывают на преобладание положительного воздействия (когда повышение обилия воздействующих функциональных групп приводит к росту численности организмов «под воздействием»). В то время как светлые кружки указывают на преобладание отрицательного влияния (наблюдается обратный эффект). Сила воздействия условно пропорциональна площади кружка. Наибольшие из них указывают на эффект воздействия, равный  $\pm 1,0$ , тире означает наименьшие эффекты (близкие к нулю). Диагональная линия на матрице, состоящая из светлых кругов, демонстрирует эффект зависящего от плотности популяции самоограничения каждой из групп. Группы выше этой диагонали, как правило, занимающие более высокие трофические уровни, демонстрируют большее количество светлых кругов, что свидетельствует о наличии «контроля сверху». Промысел оказывает заметный отрицательный эффект на несколько функциональных групп – взрослого минтая, черного и белокорого палтусов, лососей.

Гистограммы вдоль правого края матрицы отражают сумму абсолютных значений (по модулю) каждого воздействия, разделенную на количество групп в системе. Это позволяет оценить, насколько группа воздействует на все другие группы в каждой из систем (первая гистограмма) и насколько все другие группы воздействуют на нее (вторая гистограмма). Суммируя эти относительные величины, можно выявить наиболее «влиятельные» функциональные группы для Охотского моря. Наиболее влиятельной группой, как и ожидалось, оказался макрозоопланктон. Среди прочих, заметное место занимают зубатые киты, взрослый минтай, фитопланктон, донный детрит, инфауна, головоногие моллюски, копеподы.

Охотское море в первой половине 2000-х гг. переживало период потепления (Radchenko et al., 2010). В этот период оно характеризовалось минимальным и постоянно снижающимся уровнем ледовитости. На этом фоне получили развитие тенденции в биоте, сохраняющиеся до настоящего времени: рост запасов минтая, достижение максимального уровня подходов лососей, стабилизация донных сообществ. Нами оценена изменчивость величины вторичного и первичного продуцирования в условно благоприятные и условно неблагоприятные годы. Выяснено, что объем первичной продукции в неблагоприятные



годы уменьшается незначительно, что не влечет выраженных последствий. Амплитуда колебаний «реальной» продукции зоопланктона в пределах охотоморского бассейна составила  $\pm 17,4\%$ , что означает разницу в 1,54 млрд. т. Среди потребителей зоопланктона, более 75% рациона на копепод и крупный зоопланктон приходится у сельди (99%), взрослого и молоди минтая (94,8%), «фуражных», т. е. мелких пелагических рыб (89,1%), желтелого планктона (81,7%), тихоокеанских лососей (80,2%), сардины-иваси (79,3%).

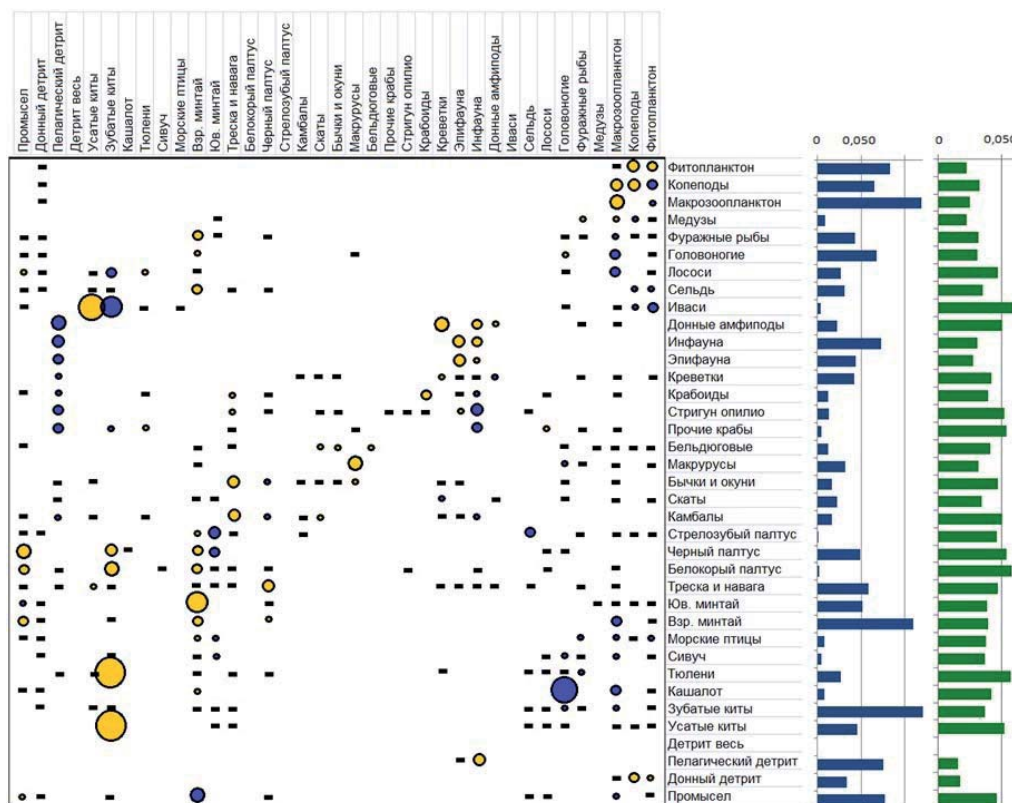


Рис. 3. Матрица трофических связей и параметров оказываемого/ощущаемого воздействия для 36 функциональных групп и фактора промысла в Охотском море

Именно поэтому циклические колебания численности, в периодичности которых обнаружены корреляции с изменениями климатического и океанологического режима, прослеживаются у перечисленных групп живых организмов. Общая величина потребления продукции зоопланктона указанными группами гидробионтов составляет 347 млн. т. В условно неблагоприятные годы эта величина достигает 12% величины вторичной продукции, в условно благоприятные – около 6%. Таким образом, даже без учета географического распределения запасов основных потребителей планктона кормовая обеспеченность в Охотском море в неблагоприятные годы ухудшается вдвое по сравнению с более теплыми. Особенно значительно изменения климато-океанологического режима могут сказаться на уловах лососей (горбуши и кеты), которые в настоящее время достигли своего исторического максимума.

СЕКЦИЯ А1. Современные проблемы геофизики, океанографии, биологии субарктического Охотоморья и прилегающих вод, методы их решений

В донных сообществах, в случае наступления периода относительно неблагоприятного климато-океанологического режима в Охотском море, воздействие уменьшения объема «реальной» продукции зоопланктона отрицательно скажется на воспроизводстве групп, в составе рационов которых крупный зоопланктон составляет 20% и более: рогатковых и морских окуней, камбаловых, зоарцид и прочих. Воздействие будет в первую очередь направлено на младшие возрастные группы рыб, в чьих рационах зоопланктон преобладает. Из приведенных результатов анализа можно заключить, что для экосистемы Охотского моря, более замкнутой, чем экосистема западной части Берингова моря, вариации валовой величины собственной вторичной продукции значительно более важны.

## ЛИТЕРАТУРА

- Атлас количественного распределения nekтона в Охотском море. В. П. Шунтов и Л. Н. Бочаров (ред.). 2003. М.: Нац. рыб. ресурсы. 1040 с.
- Борец Л. А. 1997. Донные ихтиоценозы российского шельфа дальневосточных морей: состав, структура, элементы функционирования и промысловое значение. Владивосток: ТИНРО-центр. 216 с.
- Григоренко Ю. Н., Маргулис Е. А., Новиков Ю. Н., Соболев В. С. 2007. Морская база углеводородного сырья России и перспективы ее развития // Нефтегазовая геология. Теория и практика (электронное науч. изд.). Вып. 2. 33 с. <http://www.ngtp.ru/rub/5/003.pdf>
- Дудник Ю. И., Долганов В. Н. 1992. Распределение и запасы рыб на материковом склоне Охотского моря и Курильских островов летом 1989 года // Вопр. ихтиологии. Т. 32, вып. 4. С. 83–98.
- Дулепова Е. П. 2002. Сравнительная биопродуктивность макроэкосистем дальневосточных морей. Владивосток: ТИНРО-центр. 273 с.
- Дулепова Е. П., Борец Л. А. 1990. Состав, трофическая структура и продуктивность донных сообществ на шельфе Охотского моря // Известия ТИНРО. Т. 111. С. 39–48.
- Дулепова Е. П., Надточий В. А., Будникова Л. Л. 2008. Динамика продукционных показателей макрозообентоса на шельфе дальневосточных морей в 2000-х гг. // Известия ТИНРО. Т. 154. С. 90–102.
- Ильинский Е. Н. 1998. Состав и структура nekтонного сообщества мезопелагиали Охотского моря // Известия ТИНРО. 1998. Т. 124. С. 55–107.
- Ильинский Е. Н. 2007. Динамика состава и структуры донного ихтиоценоза западнокамчатского шельфа // Известия ТИНРО. Т. 150. С. 48–55.
- Кобликов В. Н., Павлючков В. А., Надточий В. А. 1990. Бентос континентального шельфа Охотского моря: состав, распределение, запасы // Известия ТИНРО. Т. 111. С. 24–38.
- Лапко В. В. 1996. Состав, структура и динамика nekтона эпипелагиали Охотского моря. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток: ТИНРО. 23 с.
- Надточий В. А., Будникова Л. Л., Безруков Р. Г. 2007. Некоторые результаты бонитировки бентоса в российских водах дальневосточных морей: состав и количественное распределение (Охотское море) // Известия ТИНРО. Т. 149. С. 310–337.
- Нектон Охотского моря. Таблицы численности, биомассы и соотношения видов. 2005. В. П. Шунтов и Л. Н. Бочаров (ред.). Владивосток: ТИНРО-Центр. 643 с.
- Чучукало В. И. 2006. Питание и пищевые отношения nekтона и nekтобентоса в дальневосточных морях. Владивосток: ТИНРО-Центр. 484 с.
- Шунтов В. П. 1985. Биологические ресурсы Охотского моря. М.: Агропромиздат. 224 с.
- Шунтов В. П. 1995. Летнее население морских птиц и его межгодовая динамика в Охотском море // Зоол. журн. Т. 74. Вып. 2. С. 93–103.
- Шунтов В. П. 2001. Биология дальневосточных морей России. Том 1. Владивосток: ТИНРО-Центр. 580 с.

Шунтов В. П., Дулепова Е. П. 1996. Современный статус и межгодовая динамика донных и пелагических сообществ экосистемы Охотского моря // Известия ТИНРО. Т. 119. С. 3–32.

Шунтов В.П., Дулепова Е.П. 1997. Современный статус, био- и рыбопродуктивность экосистемы Охотского моря // Комплексные исслед. экосистемы Охотского моря. М.: ВНИРО. С. 248–261.

Шунтов В. П., Темных О. С. 2008. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Владивосток: ТИНРО-Центр. Т. 1. 481 с.

Шунтов В. П., Борец Л. А., Дулепова Е. П. 1990. Некоторые результаты экосистемных исследований биологических ресурсов дальневосточных морей // Известия ТИНРО. Т. 111. С. 3–26.

Шунтов В. П., Радченко В. И., Дулепова Е. П., Темных О. С. 1997. Биологические ресурсы дальневосточной российской экономической зоны: структура пелагических и донных сообществ, современный статус, тенденции многолетней динамики // Известия ТИНРО. Т. 122. С. 3–15.

Шунтов В. П., Дулепова Е. П., Темных О. С., Волков А. Ф., Найдено С. В., Чучукало В. И., Волвенко И. В. 2007. Состояние биологических ресурсов в связи с динамикой макроэкосистем в дальневосточной российской экономической зоне. Глава 2. Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России. Владивосток: ИБМ ДВО РАН. С. 75–176.

Aydin K. Y., Lapko V. V., Radchenko V. I., and Livingston P. A. 2002. A comparison of the Eastern Bering and Western Bering Sea Shelf and Slope Ecosystems Through the Use of Mass-Balance Food Web Models. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-130. 78 pp.

Christensen, V. and D. Pauly. 1992. ECOPATH II – a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. Ecol. Modelling 61: 169–185.

Pauly D., V. Christensen, and C. J. Walters. 2000. Ecopath, Ecosim and Ecospace as tools for evaluating ecosystem impact of fisheries // ICES J. of Marine Science 57: 697–706

Polovina J. J. 1985. An approach to estimating an ecosystem box model // U. S. Fish Bull. 83(3): 457–460.

Radchenko V. I., Dulepova E. P., Figurkin A. L., Katugin O. N., Ohshima K., Nishioka J., McKinnell S. M., Tsoy A. T. 2010. Status and trends of the Sea of Okhotsk region, 2003–2008. In: S. M. McKinnell and M. J. Dagg (Eds.). Marine Ecosystems of the North Pacific Ocean, 2003–2008. PICES Special Publication 4, 393 p.

Squires D. 2009. Opportunities in social science research. In: R. J. Beamish and B. J. Rothschild (eds.), The Future of Fisheries Science in North America. Fish & Fisheries Series, Springer Science + Business Media B.V. P. 637–696.

**В. Ю. Ильяшенко** (valpero53@gmail.com)

Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН (Москва, Россия)

## **Перспективы изучения миграций западной популяции серых китов методом спутниковой телеметрии**

В результате коммерческого промысла серый кит был истреблен в XVII в. в Атлантике, а в XIX веке его запасы были подорваны и в северной Пацифике, где обычно выделяют три популяции – «японскую» (истреблена), «западную», или «охотско-корейскую» (предпромысловый запас – естественная численность, составляла около 2 тыс.), и «восточную», или «чукотско-калифорнийскую» (предпромысловый запас – около 16–18 тыс. особей).

К началу XX века численность восточной популяции сократилась до 2 тыс., после введения запрета на коммерческий промысел она увеличилась к 1988 г. до 21,5 тыс., к 1998 г. – до 22–32 тыс., что, по-видимому, превысило емкость среды обитания, и в настоящее время она стабилизировалась на уровне 14–21 тыс. особей. Западная популяция, по-видимому, тоже была истреблена, хотя единичные встречи отмечали до середины XX века у побережья Китая, Кореи, Японии, а также летом, в период нагула, у Курильских островов. Именно в период достижения максимальной численности восточной популяции 20 серых китов вновь обнаружили в 1983 г. у берегов Сахалина. Тем не менее, с этого времени подавляющее большинство исследователей считают, что началось восстановление реликтовой западной популяции. К настоящему времени ее численность оценивают в 120–150 особей, при этом регулярно отмечают новых взрослых особей. Некоторых китов встречают не ежегодно, часть особей перестали встречать. Пути миграций и места зимовок неизвестны.

Современные методы исследований: генетические, фотоидентификация, а также прямые наблюдения показали, что полная изоляция между этими популяциями отсутствует. Более того, есть основания полагать, что восстановление охотоморской части ареала происходит не за счет (или не только) возможно сохранившихся особей реликтовой популяции, а в результате расселения восточной популяции в исторические места обитания. Примером дальних миграций особей восточной популяции могут служить и встречи серого кита у берегов Израиля и Испании в мае 2010 г., т. е. в пределах ареала исчезнувшей атлантической популяции.

Поиск мест нагула, выявление путей миграций и мест зимовок необходимо осуществлять объективными методами. Мечение в октябре 2010 г. 13-летнего самца у Сахалина позволило проследить его миграцию к берегам Северной Америки – в пределы ареала восточной популяции ([www.sevin.ru/ExpeditionsRAS/Gray\\_whale/Gray\\_whale.html](http://www.sevin.ru/ExpeditionsRAS/Gray_whale/Gray_whale.html)). Этот факт лишь подтверждает отсутствие изоляции между участками ареала серого кита в северной Пацифике и наличие общих мест зимовок. Однако нельзя исключать, что часть особей продолжает либо начинает использовать исторические места зимовок южнее Охотского моря. Учитывая интенсивность эксплуатации мелководий – рыболовство и аквакультура в Японии, Кореи и Китае, добыча нефти и газа в Охотском море, выявление ключевых мест обитания в ареале западной популяции серого кита с использованием спутниковой телеметрии имеет приоритетное значение и будет способствовать принятию мер по ее восстановлению на национальном уровне в странах ареала и международной кооперации.

А. В. Рыбин (rybin@imgg.ru), М. В. Чибисова

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН (Южно-Сахалинск, Россия)

## Проблемы мониторинга вулканической активности на Курильских островах

На Курильских островах выделяется более 68 четвертичных вулканических построек, среди которых 36 являются действующими и потенциально опасными. За исторический период (около 300 лет для Курильских островов) документально зафиксировано 29 сильных и катастрофических извержений. В XX в. наиболее активными и продуктивными по объему изверженного материала были вулканы средних и северных Курильских островов (рис. 1). Эти же тенденции продолжились и в текущем столетии. Эксплозивные извержения неоднократно происходили на влк. Чикурачки [2, 3]. Фреатические и фреатомагматические взрывы были зафиксированы на вулканах Эбеко, Берга, Чиринкотан, Севергина. В июне 2009 г. произошло одно из сильнейших извержение в исторический период – вулкана Пик Сарычева на острове Матуа.

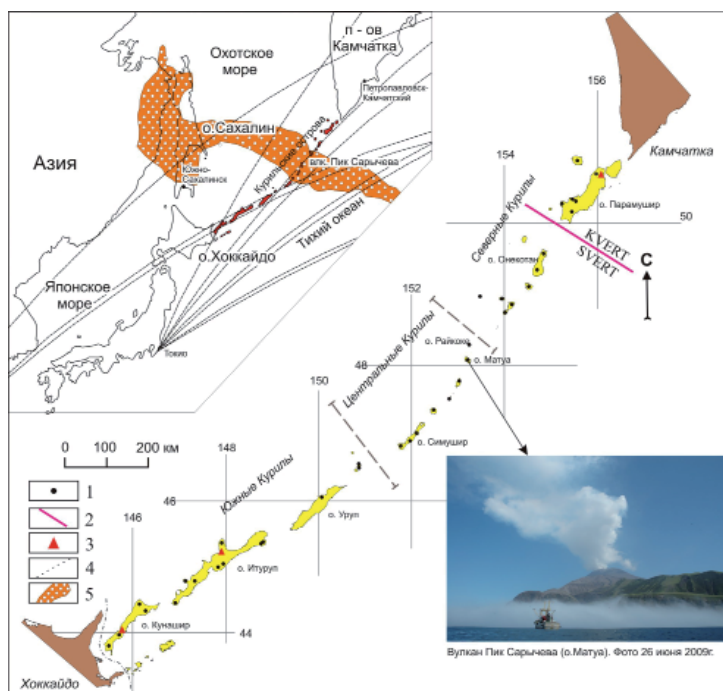


Рис. 1. Активные вулканы Курильских островов и зоны ответственности мониторинга вулканической активности SVERT (Сахалинская группа реагирования на вулканические извержения) и KVERT (Камчатская группа). 1 – активные вулканы, 2 – граница мониторинга групп SVERT и KVERT, 3 – сейсмостанции СФ ГС РАН; на врезке: 4 – основные маршруты авиалиний, проходящих вдоль Курильских островов, 5 – облако аэрозоля от вулкана Пик Сарычева 11–17 июня 2009 г.



## ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ НА КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВАХ

Благодаря слабой заселенности Курильских островов ущерб от извержений был не столь значителен, как на густонаселенных островных территориях (Индонезия, Япония и др.). Документально зафиксирован ряд случаев, когда усиление активности курильских вулканов сопровождалось материальными потерями и человеческими жертвами.

В 1778 г. на влк. Райкоке под градом вулканических бомб погибли 15 российских промышленников. Имеются исторические сведения об уничтожении айнских поселений на о. Шиадокотан при сходе раскаленных пирокластических лавин с влк. Синарка. В 1933 г. на о. Харимкотан было разрушено японское поселение, цунами, вызванные извержением, привели к гибели нескольких человек на соседних островах Онекотан и Парамушир [5, 8]. На о. Матуа в 1946 и 1976 гг. из-за сильных эксплозий влк. Пик Сарычева проводилась эвакуация воинских частей. При извержении влк. Тятя в 1973 г. разрушена пограничная застава на п-ове Ловцова (юг о. Кунашир). В пос. Южно-Курильск, расположенном в 60 км от вулкана, выпадал вулканический пепел и была сильная паника среди населения. Таковую же реакцию вызвало небольшая активизация влк. Иван Грозный на о. Итуруп в 1989 г. [1].

В настоящее время постоянное население на Курильских островах проживает только на южных (Кунашир, Итуруп, Шикотан) и северных (Парамушир и Шумшу) островах, практически все жилые поселки (за исключением расположенных на о. Шикотан) находятся в зонах вулканической опасности.

В последние десятилетия в связи с расширением объема и географии авиоперевозок участились случаи попадания авиалайнеров в облака вулканических пеплов. Вдоль Курильских островов проходит наибольшее количество авиатрасс (см. рис. 1), соединяющих Аляску с Восточно-Азиатским регионом. Только на Аляске за последние 40 лет произошло четыре серьезных случая попадания самолетов в пепловые облака при извержениях вулканов Алеутских островов. Авиакомпании стараются не афишировать эти проблемы, и лишь в последнее время, благодаря средствам массовой информации, этому вопросу стало уделяться больше внимания. По оценке иностранных экспертов [12], на авиатрассах, проходящих вдоль Курильских островов, с 12 по 17 июня 2009 г. при извержении вулкана Пик Сарычева было проведено 65 изменений маршрутов, шесть отклонений от курса, два возвращения в аэропорт отправления и 12 незапланированных посадок для дозаправки. Дополнительные затраты для авиаперевозчиков от извержения вулкана Пик Сарычева были оценены в \$1,8 миллиона.

## МОНИТОРИНГ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

В мировой практике для прогнозов вулканических извержений используются дистанционные комплексные геофизические и геохимические методы, которые дают довольно обширную информацию о динамике недр под вулканами и позволяют с большой долей вероятности прогнозировать извержения. В России подобная система организована на Камчатке в рамках структурных подразделений Российской академии наук. Радиотелеметрическая сеть позволяет проводить сейсмический мониторинг вулканов Камчатки с различной

степенью детальности. В комплексе с наземными геофизическими методами для предсказания вулканических извержений используются материалы космического дистанционного зондирования [4, 9, 11].

Для территории Курильских островов подобной системы для предсказания извержений и уменьшения ущерба от них пока не существует. Имеющиеся сейсмостанции на островах Кунашир, Итуруп и Парамушир (см. рис. 1) из-за слабой оснащенности и удаленности от активных вулканов не могут быть использованы для контроля вулканической активности.

Для более детальных наблюдений и прогноза извержений необходимо переоснащение базовых станций аппаратурой нового поколения с цифровой регистрацией и создание на этой основе телеметрических систем наблюдения в первую очередь для вулканов Тятя, Менделеева, Иван Грозный, Баранский, Чирип и Богдан Хмельницкий, Эбеко, Чикурачки и Алаид как наиболее опасных для населения Курильских островов. Развитие сейсмических методов требует больших капиталовложений и в ближайшие годы экономически целесообразно только для перечисленных выше объектов, которые составляют около 20% от общего числа активных вулканов Курильских островов. Большая же часть действующих вулканов расположена на значительном удалении от населенных пунктов, морских транспортных путей, и в ближайшие десятилетия они вряд ли будут охвачены постоянными наземными наблюдениями.

В 2003 г. для организации мониторинга активных вулканов Курильских островов на базе ИМГиГ совместно с Сахалинским филиалом геофизической службы РАН и ФГУ НПП «Росгеолфонд» при поддержке Аляскинской вулканологической обсерватории (AVO, University of Alaska, Fairbanks) была создана SVERT (Sakhalin volcanic eruptions response team) – группа оперативного реагирования на вулканические извержения (рис. 2). Ее зона ответственности включает территорию от о-ва Кунашир до о-ва Онекотан. Наблюдения за вулканами северной группы островов (Парамушир и Атласова) по взаимной договоренности проводит камчатская группа оперативного реагирования на вулканические извержения (KVERT) (см. рис. 1). Основные направления деятельности группы SVERT связаны со сбором и анализом всей доступной информации по активным вулканам и созданию на этой основе ежедневных информационных отчетов. Основой для ежедневного мониторинга служат данные высокоорбитальных метеорологических спутников TERRA (спектрорадиометр MODIS) и NOAA (спектрорадиометр AVHRR). Материалы, полученные за этот период, показывают, на основе методов дистанционного спутникового зондирования (ДСЗ) возможна фиксация даже незначительных изменений в состоянии вулканов Курильских островов [11].



Рис. 2. Схема взаимодействия группы SVERT

В 2009 г. ИМГиГ ДВО РАН начал создавать систему видеонаблюдений за активными вулканами Южных Курил. На первом этапе IP-видеокамера Trendnet TV-IP201W установлена на сейсмостанции пос. Южно-Курильск на расстоянии 11 км от влк. Менделеева. Для передачи по сети Интернет используется стандартное оборудование провайдера с настроенной маршрутизацией. Материалы наблюдений в настоящее время доступны на серверах:

<http://www.imgg.ru>

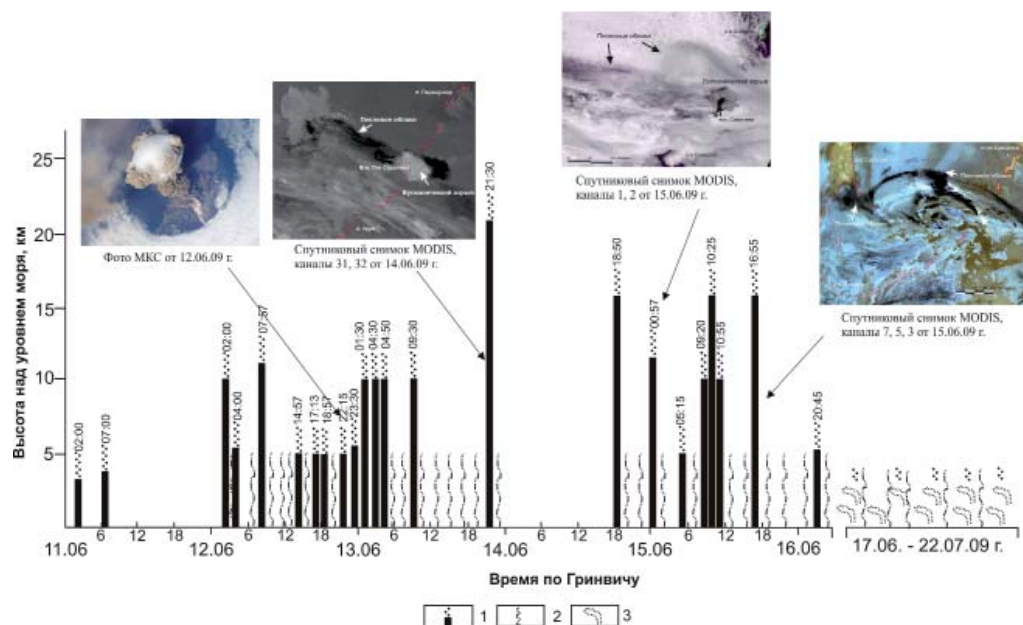
<http://webcam.sakh.com/?webcam=mendeleev&lang=ru>

В 2010 г. планируется установить вебкамеры для наблюдений за вулканами Тятя (о. Кунашир), Иван Грозный и Баранского (о. Итуруп).

### ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА ПИК САРЫЧЕВА

Последнее извержение на Курильских островах произошло в июне 2009 г. на влк. Пик Сарычева. Оперативные результаты наблюдений приведены в работах [7, 10]. В последнее время данные уточнены за счет привлечения информации геостационарного спутника MTSAT и группы озонового мониторинга NASA.

11 июня в 00:30 (здесь и далее время по Гринвичу) группой SVERT с помощью спектрорадиометра MODIS на влк. Пик Сарычева зафиксированы первые признаки вулканической активности в виде сильной термальной аномалии и двух слабых пепловых выбросов в 02:00 и 07:00 (рис. 3).



**Рис. 3.** Хронология извержения влк. Пик Сарычева в июне 2009 г. по данным дистанционного зондирования: 1 – вулканические взрывы; 2 – непрерывное поступление вулканического материала; 3 – парогазовые выбросы

12 июня активность вулкана усилилась, произошло 8 вулканических взрывов, высота пепловой колонны над кромкой кратера составляла 5–12 км. Наиболее сильное событие за эти сутки отмечено в 07:57, на высоте около 12 км образовалось плотное пепловое облако диаметром 35 км. Через 3,5 ч облако, не меняя формы, сместилось на 30 км восточнее вулкана. В 14:57 пепловые шлейфы увеличивались в размерах, протянулись в юго-восточном направлении на более чем 500 км, на юго-запад – более 150 км. Извержение сопровождалось сходом горячих пирокластических потоков по северному и северо-западному склонам вулкана.

13 июня с 01:30 до 04:50 произошла серия взрывов, максимальная высота пепловых колонн над кромкой кратера достигала 10 км. В 01:30 на спутниковых снимках наблюдалось пепловое облако диаметром более 50 км, за 2 ч оно сместилось на 80 км от о-ва Матуа в юго-восточном направлении. В 04:50 на космических снимках отмечено пепловое облако изометрической формы диаметром 18 км, в течение часа облако увеличилось в размерах до 60 км, затем его плотная часть сдвинулась на восток, образуя шлейф протяженностью более 500 км в юго-восточном направлении. В 09:30 произошел выброс высотой около 10 км, через 5 ч пепловое облако имело диаметр 120 км, оно перемещалось в юго-восточном направлении, ширина пеплового шлейфа достигала 200 км. В 21:30 зафиксирован самый сильный взрыв за весь период извержения, в течение 4 ч диаметр плотной части пеплового облака увеличился в диаметре с 65 до 140 км. Пепловые шлейфы распространялись в двух направлениях: более плотная часть – на юго-восток, с пониженным содержанием пепла – на северо-запад. После этого вулканическая активность прервалась на 14 ч.



14 июня в 18:57 эруптивная деятельность вулкана продолжилась. Пепловое облако от наиболее сильной эксплозии имело диаметр около 20 км и за 3 ч его размер увеличился до 120 км, в 21:30 оно начало терять округлую форму, растягиваясь в западном и восточном направлениях.

15 июня отмечалось семь взрывов, пепловые шлейфы от них перемещались в северо-западном и юго-восточном направлениях. В период между извержениями происходила непрерывная эмиссия пепла.

16–19 июня отмечалось непрерывное поступление вулканического материала, которое сопровождалось слабыми вулканическими выбросами.

В период извержения, наряду с большим объемом резургентной и ювенильной пирокластики произошло излияние дух лавовых потоков [6].

С 20 июня вулкан перешел в стадию сильной парогазовой активности, которая сопровождалась редкими взрывами с небольшим количеством пепла. С этой даты по октябрь на спутниковых снимках часто отмечается термальная аномалия, связанная с раскаленными пирокластическими потоками на склонах вулкана.

Выпадение пепла в период извержения (сборы материала и свидетельства очевидцев) отмечалось на островах Райкоке, Расшуа, Ушишир, Кетой, Симушир, в северной части о. Уруп, на всей территории Сахалина и в Хабаровском крае (см. рис. 1, врезка).

По данным группы озонового мониторинга NASA, суммарная концентрация диоксида серы в аэрозоле с 11 по 17 июня была максимальной для тихоокеанского региона в 2009 г., аэрозольные облака инструментальными методами (спутник AURA) зафиксированы вплоть до западного побережья Аляски. Данные спутника CALIPSO подтверждают выброс пеплового материала на высоту до 15 км и, возможно, до 21 км [10].

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Для обеспечения безопасности населения Курильских островов от вулканических извержений необходимо создание комплексной системы мониторинга, позволяющей осуществлять оперативный прогноз и возможные сценарии вулканических извержений, включающий в себя следующие позиции.

1. Радиотелеметрические системы сбора и обработки сейсмической информации в режиме реального времени для мониторинга активности вулканов Головнина, Менделеева, Тятя, Иван Грозный, Баранский, Чирип – Богдан Хмельницкий, Эбеко как наиболее опасных для населения Курильских островов.

2. Увеличение количества принимаемых сцен Курильских островов со спутников TERRA, NOAA, и для выявления термальных аномалий как предвестников вулканических извержений и идентификации пепловых выбросов для всех вулканов Курильских островов.

3. Геохимический мониторинг активных вулканов южных Курильских островов. Разработка и внедрение имеющихся методик по геохимическим предвестникам вулканических извержений.

4. Полевые работы по изучению современного состояния активных вулканов и хронологии вулканических извержений; вулканическое районирование территорий расположенных в непосредственной близости от действующих вулканов.



Радителеметрические сейсмические станции могут быть использованы не только для прогноза вулканических извержений, но и для расширения сейсмологических наблюдений на данной территории.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума ДВО РАН, Правительства Сахалинской области, грантов РФФИ 09-05-151-к и ДВО РАН 10-III-Д-08-043, 09-III-A-08-440.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абдурахманов А. И., Злобин Т. К., Мархинин Е. К. и др. Извержение вулкана Иван Грозный в 1989 г. // Вулканология и сейсмология. 1990. № 4. С. 3–9.
2. Гирина О. А., Малик Н. А., Котенко Л. В. Активность вулкана Чикурачки (о. Парамушир, Северные Курилы) в 2002–2007 гг. по данным KVERT // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 1, вып. 11. С. 67–73.
3. Гирина О. А., Ушаков С. В., Малик Н. А. и др. Действующие вулканы Камчатки и острова Парамушир Северных Курил в 2007 году // Вулканология и сейсмология. 2008. № 6. С. 1–18.
4. Гордеев Е. И. Сейсмичность вулканов и контроль вулканической активности // Вестн. ДВО РАН. 2007. № 2. С. 38–45.
5. Горшков Г. С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 287 с.
6. Гришин С. Ю., Гирина О. А., Верещага Е. М. и др. Мощное извержение вулкана Пик Сарычева (Курильские острова, 2009 г.) и его воздействие на растительный покров // Вестн. ДВО РАН, 2010. № 3. С. 40–50.
7. Левин Б. В., Рыбин А. В., Разжигаева Н. Г. и др. Комплексная экспедиция «Вулкан Сарычева-2009» (Курильские острова) // Вестн. ДВО РАН. 2009. № 6. С. 98–104.
8. Мияката К. Об извержение вулкана на острове Харумукотан (Центральные Курильские острова) 8 января 1933 г. // Бюл. вулканол. о-ва Японии. 1934. Т. 3, № 1. Яп. яз.
9. Сениюков С. Л. Мониторинг активности вулканов Камчатки дистанционными средствами наблюдений // Материалы конф. «Комплексные сейсмологические и геофизические наблюдения на Камчатке». Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2004. С. 279–291.
10. Levin B. W., Rybin A. V., Chibisova M. V. et al. Sarychev Peak (Russia) widespread plumes from large 11–16 June 2009 eruption // Smithsonian Nat. Mus. Nat. Hist. Bul. of the Global Volcanism Network. 2009. Vol. 34, N 6. P. 2–7.
11. Rybin A. V., Karagusov Yu. V., Izbekov P. E. et al. Monitoring of active volcanoes of the Kurile Islands: Present and future // The 2<sup>nd</sup> Int conf. on volcanic ash and aviation safety. June 21–24, 2004, Washington, USA. Alexandria, Virginia. USA, 2004. P. 46–47.
12. Salinas, L. J., 2010. United Airlines Flight Dispatch, Congressional Hazards Caucus (<http://www.agiweb.org>)

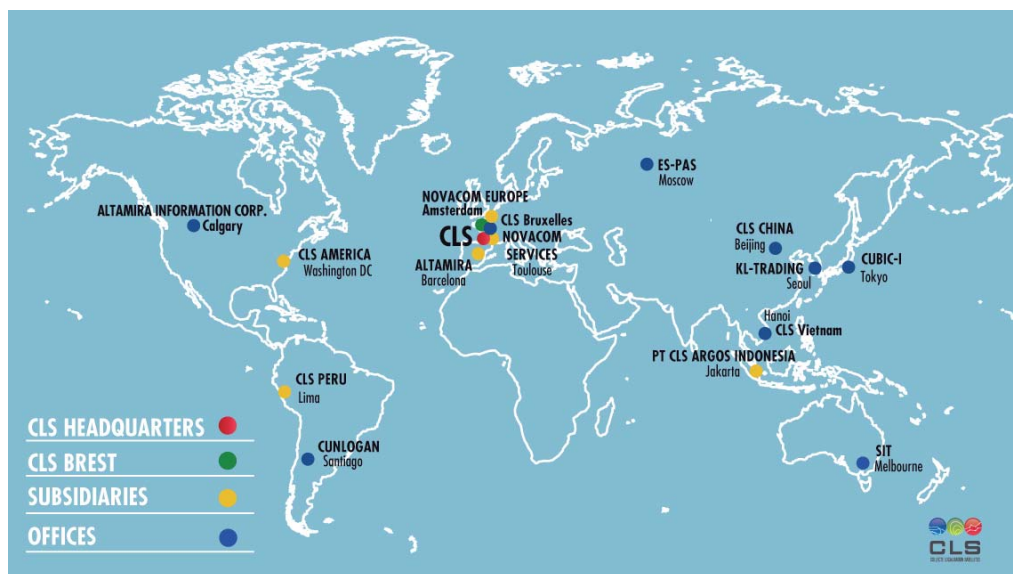
Ф. Лефевр<sup>1</sup>, А. Л. Сальман<sup>2</sup> (a.salman@es-pas.com)

<sup>1</sup> Компания CLS (Франция); <sup>2</sup> ЗАО «ЭС-ПАС» (Москва, Россия)

## Интегрированные услуги компании CLS, базирующиеся на спутниковой системе Argos, океанографической информации и радиолокационной спутниковой съемке

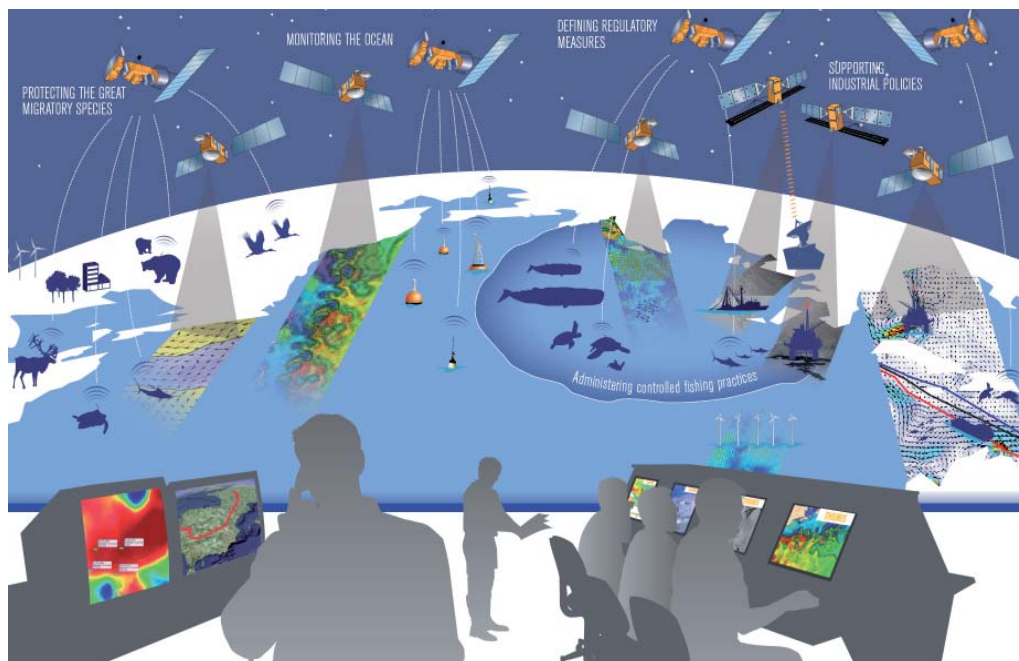
Французская компания CLS была создана 21 апреля 1986 г. для предоставления услуг спутниковой системы определения местоположения и сбора данных Argos. Основными акционерами CLS являются французский Национальный центр космических исследований (CNES) и Французский исследовательский институт освоения моря (IFREMER). В штат CLS входят 400 сотрудников. Годовой оборот компании в 2010 г. составил 60 миллионов евро.

Штаб-квартира CLS расположена в Тулузе (Франция). 15 филиалов и иностранных офисов компании обеспечивают распространение ее продукции и услуг по всему миру. На территории Российской Федерации интересы CLS представляет расположенное в Москве ЗАО «ЭС-ПАС».

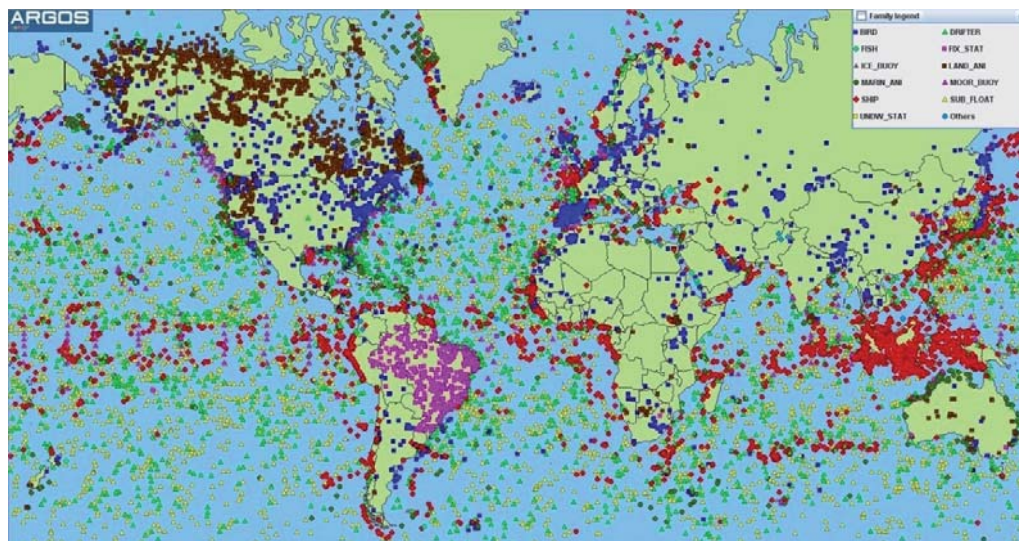


Компания CLS обеспечивает прием, обработку, верификацию, архивирование и распространение данных, получаемых от 80 полезных нагрузок, установленных на 40 космических аппаратах. На базе этой спутниковой информации CLS предоставляет услуги в области мониторинга окружающей среды, управления морскими биоресурсами и обеспечения морской безопасности, а также осуществляет поддержку деятельности нефтяных и газовых компаний.

В целях изучения и охраны окружающей среды службы CLS используют целый ряд спутниковых систем.



Прежде всего активно эксплуатируется система определения местоположения и сбора данных Argos. На сегодняшний день в составе этой созданной 30 лет назад международной системы непрерывно функционирует более 21000 радиомаяков, позволяющих наблюдать за перемещениями промысловых судов и контейнеров с опасными грузами, изучать движение льдин и айсбергов, следить за морскими течениями и собирать метеорологическую информацию.



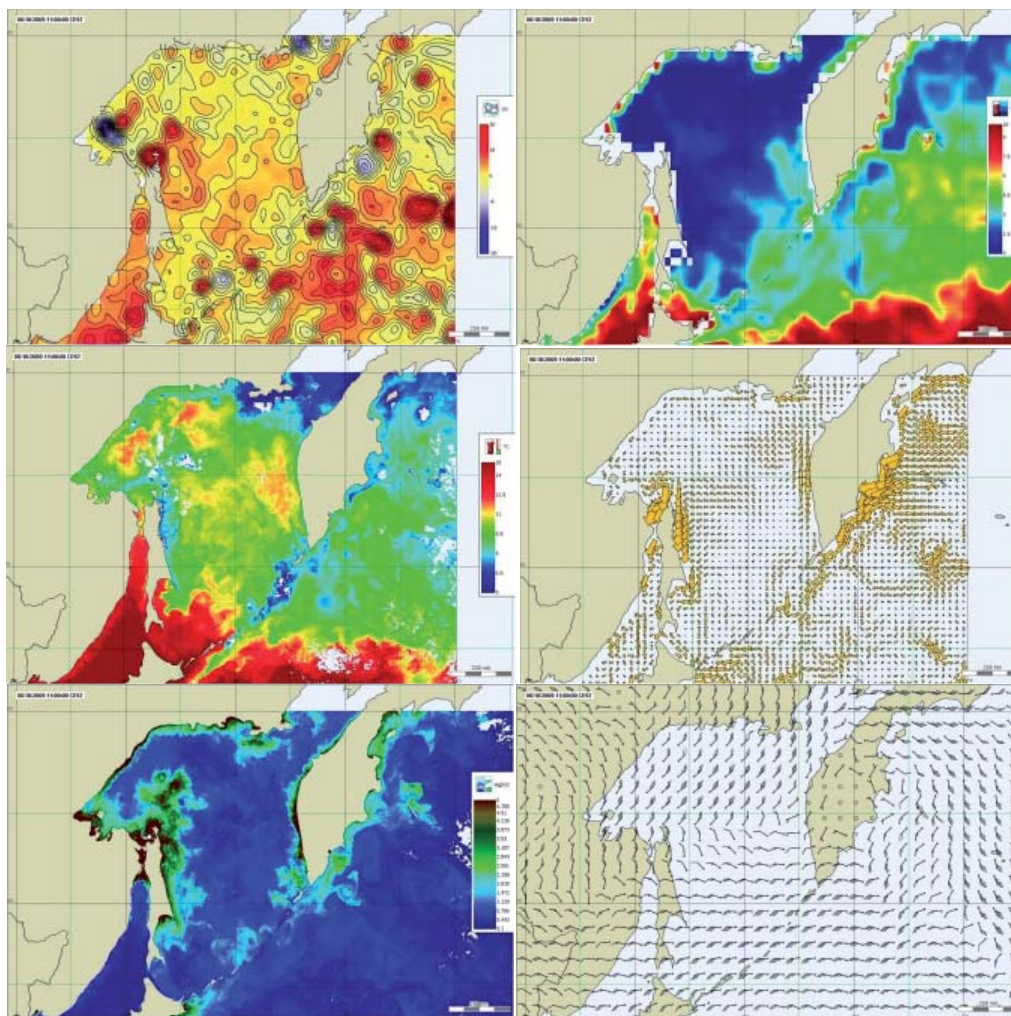


Одной из важнейших областей применения системы Argos является наблюдение за миграциями животных. Около 8000 особей на всех континентах оснащены спутниковыми радиомаяками, позволяющими ученым отслеживать их перемещения. Активно реализуются такие проекты и в России. За последние годы проведены работы по изучению миграций белух и серых китов, тюленей и нерп, тигров и ирбисов, волков и оленей, белых и бурых медведей.



При изучении миграций морских животных большой интерес вызывает возможность сравнения траекторий движения особей, оснащенных радиомаяками Argos, с данными о состоянии морской среды в исследуемом регионе. Для этого используются океанографические спутниковые данные и результаты математического моделирования (карты аномалий высоты морской поверхности, температуры воды, солёности, поверхностных течений, концентрации планктона, а также метеорологическая информация).

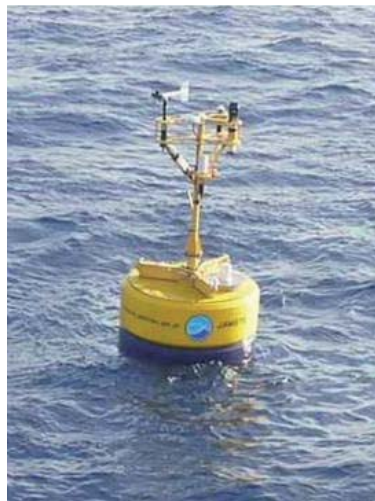




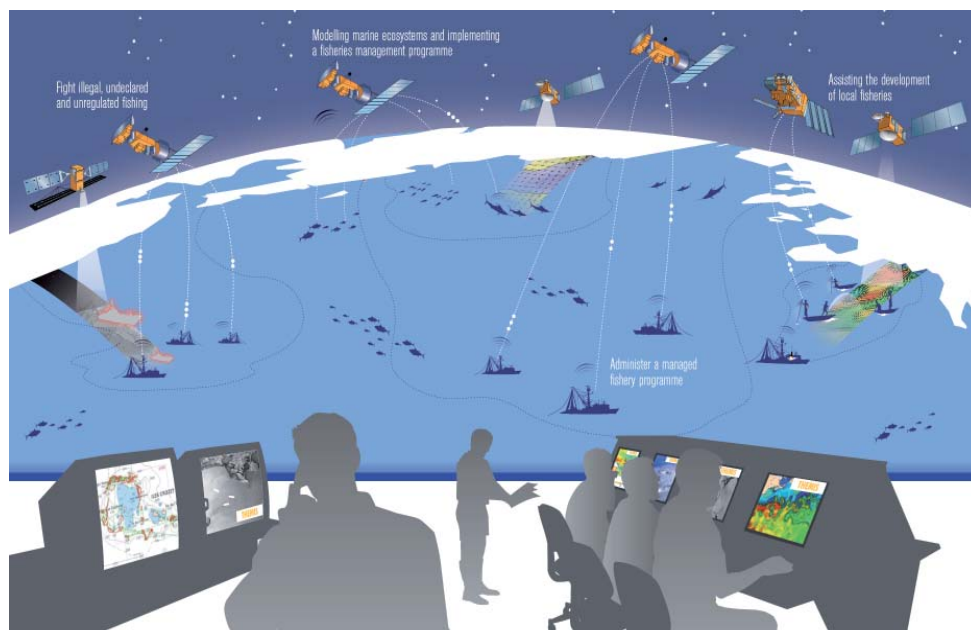
Кроме того, траектории животных сравниваются с ледовой обстановкой в регионе, информация о которой становится доступной благодаря радиолокационным спутниковым изображениям. Таким образом, ученые оценивают весь комплекс данных о животных и среде их обитания, что дает возможность моделировать протекающие в океане физические процессы, особенности развития фитопланктона, миграции мелкой рыбы и, наконец, динамику развития популяций крупных хищных рыб и морских животных.

Следует заметить, что при обработке океанографической спутниковой информации и моделировании параметров морской среды важную роль играют данные, поступающие через систему Argos от морских буев, предназначенных для измерения всевозможных параметров в самых разных частях мирового океана. В настоящее время в рамках различных международных программ эксплуатируется несколько тысяч океанографических и метеорологических буев.





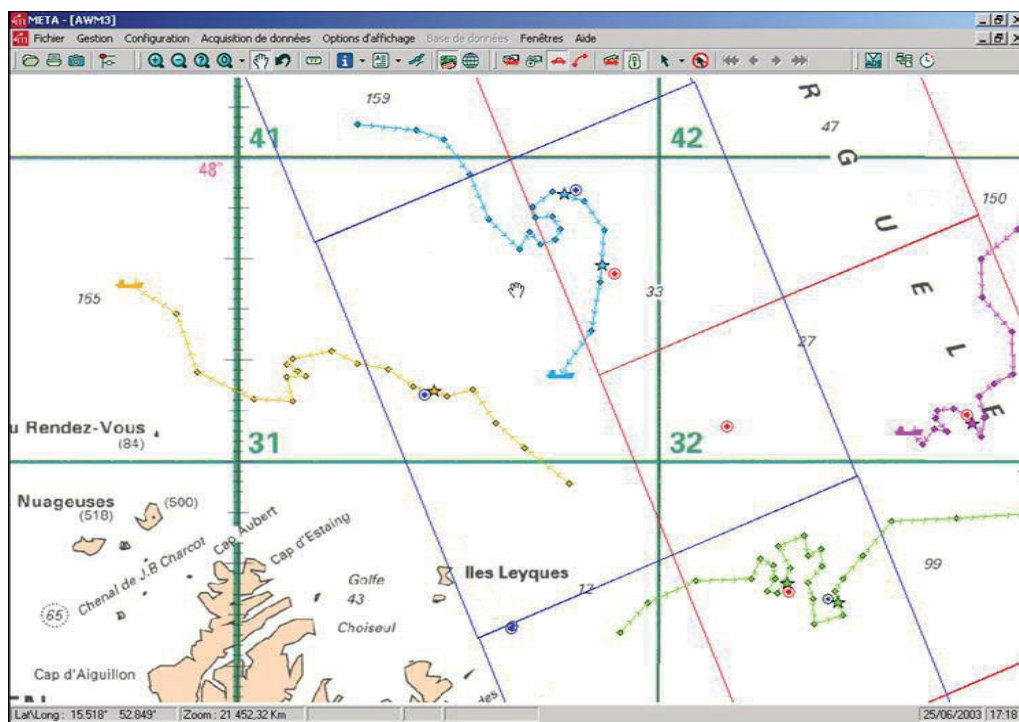
В области управления морскими биоресурсами компания CLS работает в тесном сотрудничестве с национальными агентствами по рыболовству.



Прежде всего с помощью систем Argos и Iridium ведется постоянный мониторинг деятельности промысловых судов. В настоящее время компания CLS обеспечивает сбор информации о перемещениях 5700 судов во всех океанах.

Другой важной услугой является выявление нелегальной промысловой деятельности. Для этого выполняется спутниковая радиолокационная съемка исследуемой морской акватории, на получаемых изображениях обнаруживаются все присутствующие суда, а затем эта информация сравнивается с данными системы мониторинга промыслового флота. Таким образом выявляются все суда, сведения о которых не представлены в системе мониторинга, то есть все суда, ведущие нелегальную промысловую деятельность.

МАТЕРИАЛЫ ПЕРВОЙ ОТКРЫТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
(Южно-Сахалинск, Россия, 5–6 апреля 2011 г.)



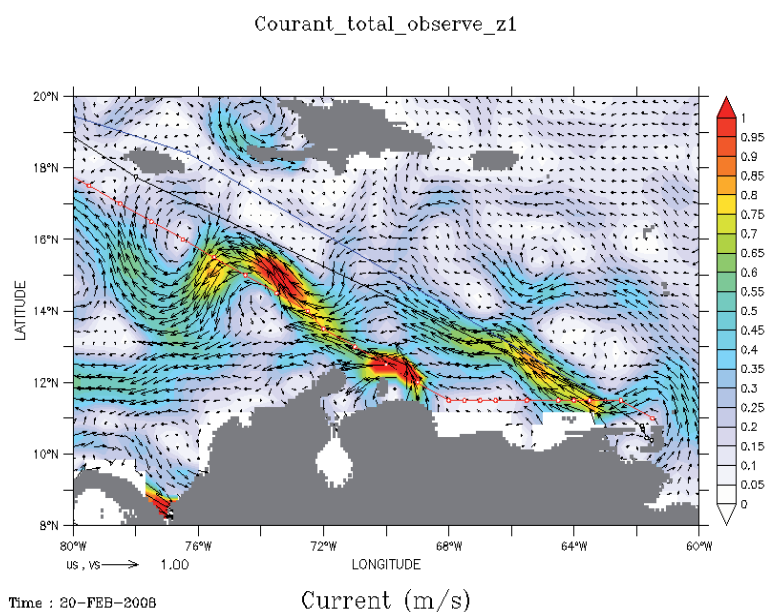
В области обеспечения морской безопасности компания CLS предоставляет целый ряд различных услуг.



СЕКЦИЯ А1. Современные проблемы геофизики, океанографии, биологии субарктического Охотоморья и прилегающих вод, методы их решений

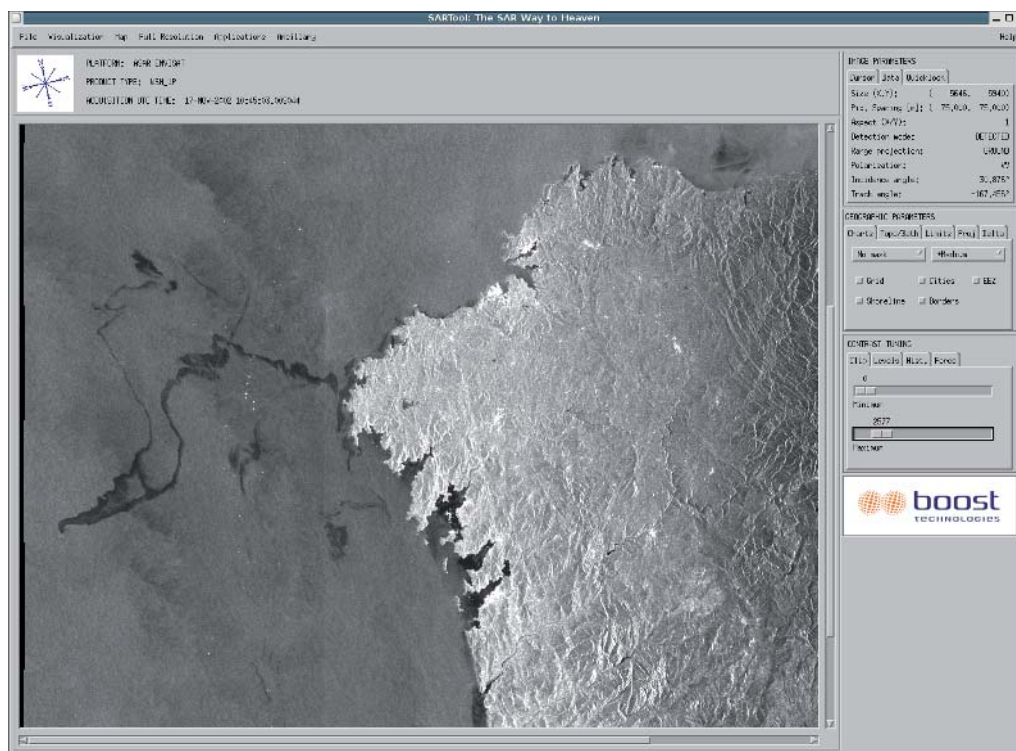
В рамках международной системы мониторинга морских судов LRIT компания CLS обеспечивает наблюдение за четвертью всего мирового торгового флота, обрабатывая информацию о местоположении судов, поступающую через различные спутниковые системы. Кроме того, в составе системы Argos функционируют радиомаяки Shiploc, устанавливаемые на суда для их отслеживания в случае захвата пиратами.

Базируясь на океанографической информации, CLS обеспечивает также расчет оптимальных маршрутов для крупных морских судов, прокладывая траекторию таким образом, чтобы она проходила преимущественно вдоль благоприятных поверхностных течений. Тем самым удается добиться значительной экономии топлива.



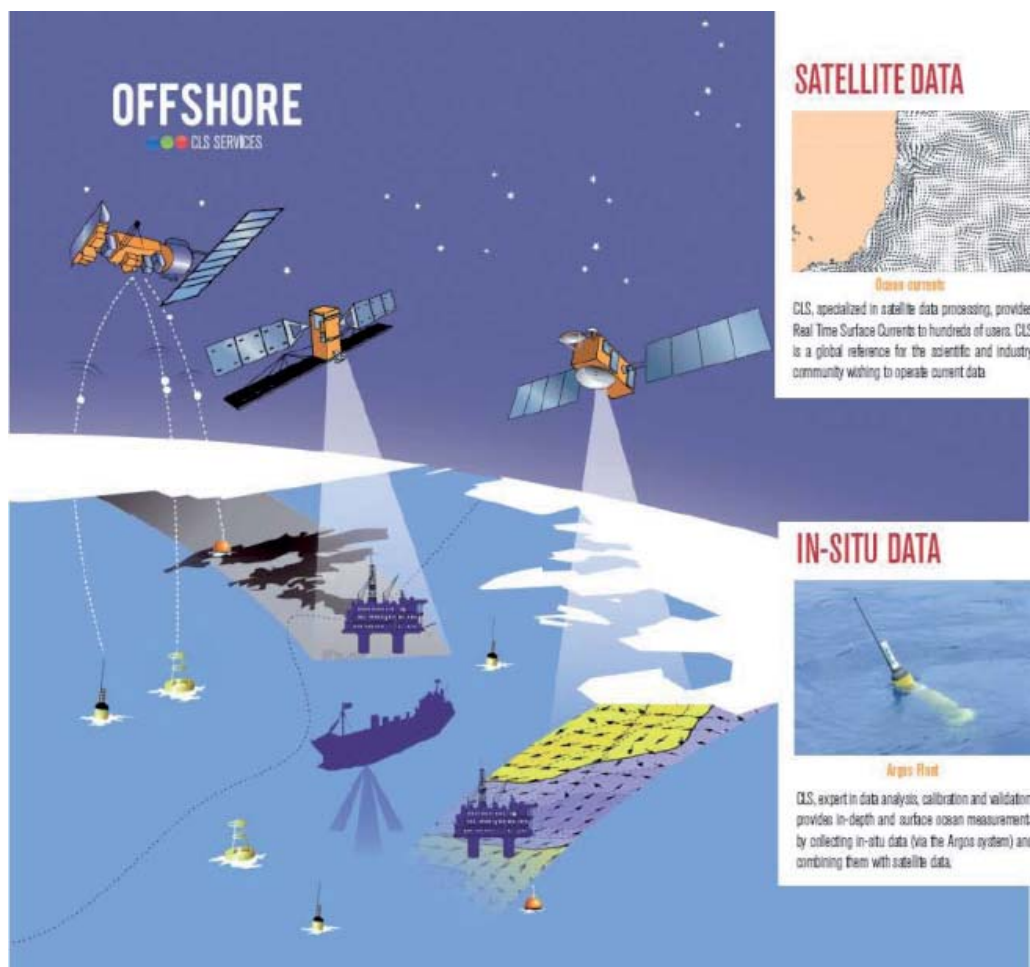
Радиолокационные спутниковые изображения используются компанией CLS для анализа ледовой обстановки, а применение моделей дрейфа позволяет рассчитывать направление и скорость движения айсбергов и, таким образом, предсказывать их опасные сближения с морскими судами или нефтяными платформами.

На базе радиолокационных данных удастся также выявлять всевозможные загрязнения на поверхности океана, а наложение модели дрейфа позволяет определить источник загрязнения и спрогнозировать его последствия.



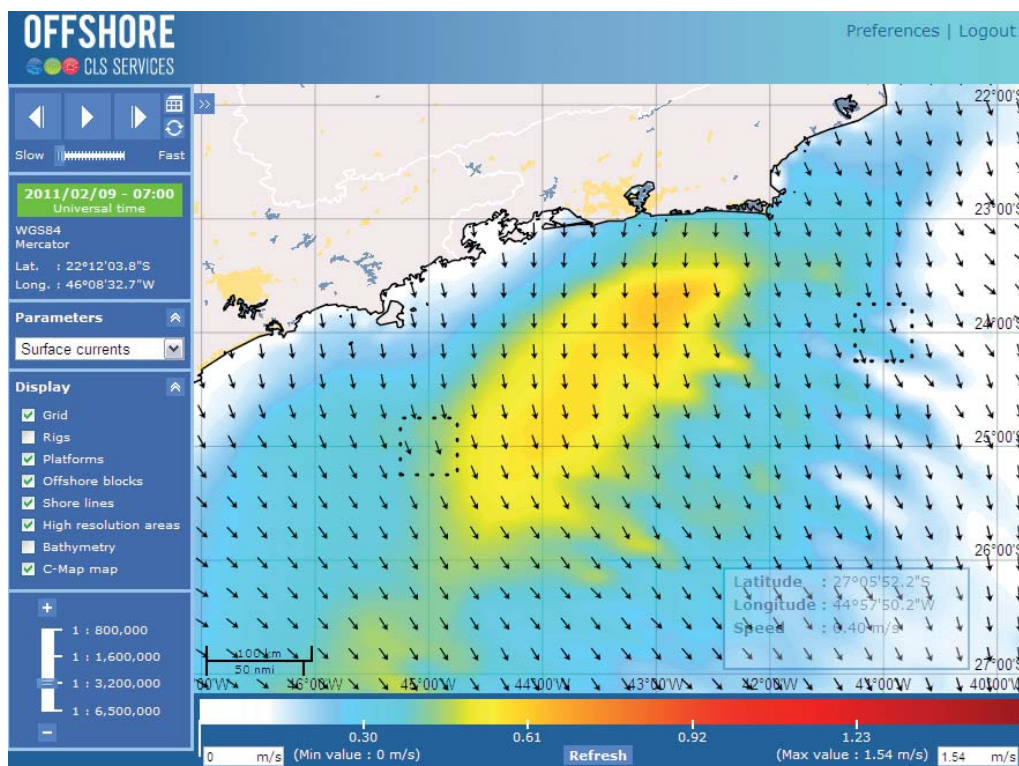
В интересах нефтегазовой промышленности службы CLS обеспечивают наблюдение за морской обстановкой вблизи расположенных на морском шельфе крупных инфраструктур.





При этом используются различные типы спутниковых данных, измерения параметров морской среды, передаваемые автономными буями через систему Argos, а также результаты функционирования математических моделей. Компания CLS помогает своим клиентам обеспечивать безопасность их деятельности на море, предпринимать необходимые меры по охране окружающей среды, оптимизировать конструкцию морской инфраструктуры. Для этого в распоряжение нефтяных и газовых компаний предоставляются данные метеорологических прогнозов, а также подробная информация о морских течениях и ледовой обстановке.





СЕКЦИЯ А1. Современные проблемы геофизики, океанографии, биологии субарктического Охотоморья и прилегающих вод, методы их решений

В случае разлива нефти компания CLS предоставляет в распоряжение своих клиентов целый ряд технических возможностей, позволяющих организовать работу по устранению последствий чрезвычайной ситуации. В нефтяное пятно запускаются буи системы Argos, способные долгое время дрейфовать вместе с пятном и передавать через спутники свои координаты, позволяя обеспечивать постоянный контроль за перемещениями загрязнения. Одновременно с помощью радиолокационной спутниковой съемки обеспечивается мониторинг изменений размеров и формы пятна. Океанографическая спутниковая информация и модель дрейфа позволяют спрогнозировать дальнейшее движение нефтяного пятна и выявить те зоны, где последствия чрезвычайной ситуации будут особенно серьезными.

Кроме того, в интересах нефтегазовой промышленности компания CLS активно применяет технологию радиолокационной спутниковой интерферометрии, позволяющую выявлять вертикальные перемещения крупных объектов (наземной инфраструктуры, нефтяных платформ, трубопроводов) с миллиметровым разрешением.

Таким образом, компания CLS является одним из крупнейших в мире поставщиков спутниковой информации и готова к дальнейшему развитию сотрудничества с российскими организациями.



Алексей А. Романов<sup>1</sup> (romanov@spacecorp.ru),  
Александр А. Романов<sup>1</sup>, Ю. М. Урличич<sup>1</sup>,  
Г. А. Кантаков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Российские космические системы» (Москва, Россия); <sup>2</sup>ООО «НПО ДЭКО» (Южно-Сахалинск, Россия)

## Результаты исследований и перспективы развития систем мониторинга ионосферы Земли

В статье предложены концептуальные методические подходы к созданию перспективной спутниковой системы радиотомографии ионосферы на базе малоразмерных космических аппаратов (МКА) нано класса.

Проведено численное моделирование орбитальной группировки – кластера МКА, обеспечивающего проведение мониторинга состояния ионосферы в квазиреальном масштабе времени. Для восстановления вертикальных распределений электронной концентрации ионосферы разрабатывается специализированная автоматизированная информационная технология обработки данных низкоорбитальных космических аппаратов, а также специальные методы обработки данных ГЛОНАСС/GPS для осуществления трехмерных реконструкций полезных сигналов.

Применение данных технологий позволит выйти на качественно новый уровень в задаче исследования ионосферной плазмы, что в комбинации с использованием многодиапазонного приемника непосредственно в космическом пространстве позволит потенциально отказаться от размещения большого количества приемных комплексов на поверхности Земли.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Известно, что ионосфера является хорошим индикатором процессов, происходящих на Земле. Поэтому свойство ионосферы изменять характеристики радиоволн позволяет проводить изучение и контроль ее состояния становится важным как для исследовательских целей, так и для практического прикладного использования. Значительная изменчивость параметров ионосферы и возникающие при этом многочисленные задачи прикладного использования в различных сферах деятельности обуславливают необходимость получения текущей информации о параметрах ионосферы в реальном масштабе времени специальными средствами, обладающими повышенной чувствительностью и информативностью, с высоким пространственным и временным разрешением.

Существует множество задач, решение которых напрямую зависит от знания состояния ионосферы в каждый момент времени [1]. Например, необходимость оценки возможных потерь в работе транспортных систем (авиационно-космических систем, железнодорожного и автомобильного транспорта), связанных с ухудшением качества функционирования спутниковых навигационных систем второго поколения GPS-ГЛОНАСС в условиях гелио-геомагнитных возмущений. Навигационные системы GPS-ГЛОНАСС стали в настоящее время мощным фактором мирового научно-технического прогресса и широко используется в различных направлениях человеческой деятельности, в том числе в решении ряда прикладных задач.

Одним из наиболее перспективных направлений использования спутниковых навигационных сигналов является разработка радиотомографических методов. Без существенных финансовых затрат (не считая стоимости спут-

ников, которые разрабатывались для решения других задач) томографическое радиопросвечивание ионосферы позволяет решать ряд научных и прикладных задач:

- исследование глобальной изменчивости пространственного распределения и временной динамики электронной концентрации в ионосфере;
- определение региональных особенностей вариации поля электронной концентрации в ионосфере для уточнения существующих ионосферных моделей;
- изучение эволюции и определение механизмов формирования неоднородностей электронной концентрации в ионосфере в связи с солнечной, сейсмической и антропогенной активностью.

Кроме того, возможно эффективное комплексное использование радиотомографических и других измерительных методов, использующих прием и обработку сигналов различных спутниковых систем вследствие того, что аппаратура наземных наблюдательных пунктов во всех случаях будет одинаковой и может быть параллельно использована в различных методах и алгоритмах.

Целью данной работы является исследование концептуальных подходов по разработке и развертыванию перспективной спутниковой системы на основе малоразмерных космических аппаратов, а также сети наземных станций радиотомографии ионосферы.

## 2. СПУТНИКОВАЯ ТОМОГРАФИЯ ИОНОСФЕРЫ

Теоретическое описание метода фазоразностной реконструкции вертикального распределения электронной концентрации представлено в работе [2]. Однако для эффективного использования данного метода необходимо получить ответ на вопрос о достоверности его применения.

Для верификации абсолютных значений электронной концентрации, получаемых в процессе реконструкции радиотомографическими методами, в основном используются данные наземных ионозондов, хотя в некоторых случаях могут быть использованы и альтернативные источники данных [3].

В нашей работе предлагается использовать данные ионозонда Вакканай (Wakkanai), расположенного на о. Хоккайдо (Япония), в 150 км к югу от наиболее южной приемной установки томографической цепочки расположенной на о. Сахалин. При этом реконструкции вертикальных распределений электронной концентрации по спутниковым данным осуществлялись с использованием специализированной технологии в автоматизированном режиме [3].

Из полученных реконструкций структуры ионосферы вычислялись максимальные значения электронной концентрации для широты, на которой расположен ионозонд (*рис. 1*).

Проиллюстрируем картину соответствия данных ионозонда Вакканай и критических частот, рассчитанных из томографических реконструкций, более наглядно (*рис. 2*). Средняя невязка (среднее разности) составила 15%,  $\delta_2=0,13$  [2]. Коэффициент корреляции между двумя рядами данных  $R=0,84$ . То есть результаты определения  $foF2$  двумя различными способами, непосредственными измерениями и решением обратной задачи, хорошо соответствуют друг другу.

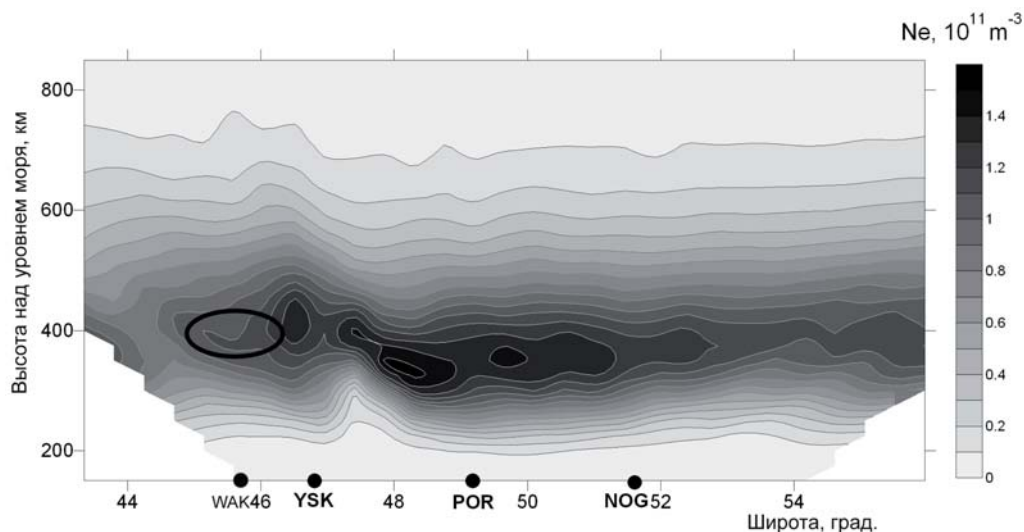


Рис. 1. Расположение области получения данных ионозондом на томограмме, выделено овалом (WAK – ионозонд; YSK, POR, NOG – томографические приемные установки, по оси абсцисс – расстояние вдоль меридиана 142°)

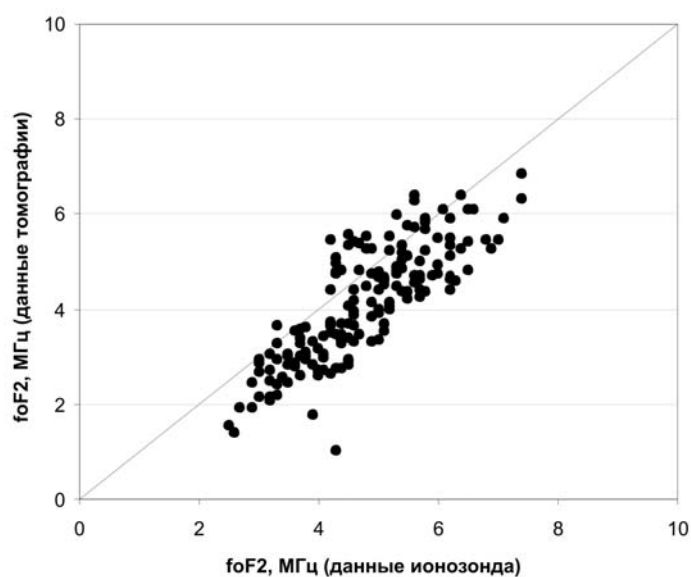


Рис. 2. График сравнения критических частот в МГц, полученных над г. Вакканай по данным ионозонда и томографическим реконструкциям электронной концентрации ионосферы

Из рисунка 2 видно, что значения критической частоты  $foF2$ , полученные на основе томографических реконструкций, лежат в области более низких критических частот, чем данные ионозонда. Следует отметить, что сравниваемые данные могут изначально несколько отличаться друг от друга в силу следующих причин. Во-первых, далеко не всегда время сеанса радиопросвечивания совпадает со временем измерения ионозондом, поэтому почасовые данные  $foF2$ , получаемые ионозондом были предварительно интерполированы.



Во-вторых, ИСЗ редко проходит над приемными установками точно в зените. В большинстве случаев проекция его орбиты и, соответственно, область просвечивания слоя максимума электронной концентрации в ионосфере, лежит в нескольких десятках или сотнях километров к западу или востоку приемных установок, в то время как ионозонд измеряет значения критической частоты в зените. Не следует забывать также о погрешностях измерения ионозонда, поскольку значения критической частоты и высоты максимума ионосферы могут быть измерены с существенной ошибкой в силу рефракции сигнала ионозонда на неоднородностях слоя максимума.

### 3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В ИОНОСФЕРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИЗКО- И СРЕДНЕОРБИТАЛЬНЫХ ИСЗ

Бесспорно, перспективными в рамках спутниковой томографии ионосферы являются исследования по разработке специализированной системы мониторинга на базе низкоорбитальных космических аппаратов, на которых установлены как приемники, так и передатчики когерентного радиоизлучения.

На первом этапе подобных исследований была проанализирована возможность томографической реконструкции поля электронной концентрации ионосферы в плоскости орбиты КА системы FORMOSAT-3/COSMIC (F3C). В данном случае источником когерентных сигналов являются среднеорбитальные КА системы GPS, а приемники установлены на низкоорбитальных КА системы F3C. Для томографической реконструкции использовались кодовые измерения характеристик прошедших через ионосферу сигналов КА GPS, находящихся в плоскости, максимально приближенной к плоскости орбиты КА F3C.

Результаты обработки данных с нескольких десятков витков КА F3C показали, что недостаток проекций не позволяет восстановить распределение с достаточной точностью, а недостаток измерений (малое количество источников сигнала) является причиной существования областей, для которых отсутствуют измерения. Площадь этих областей занимает около 50% площади ионосферы, находящейся в плоскости орбиты низкоорбитального КА.

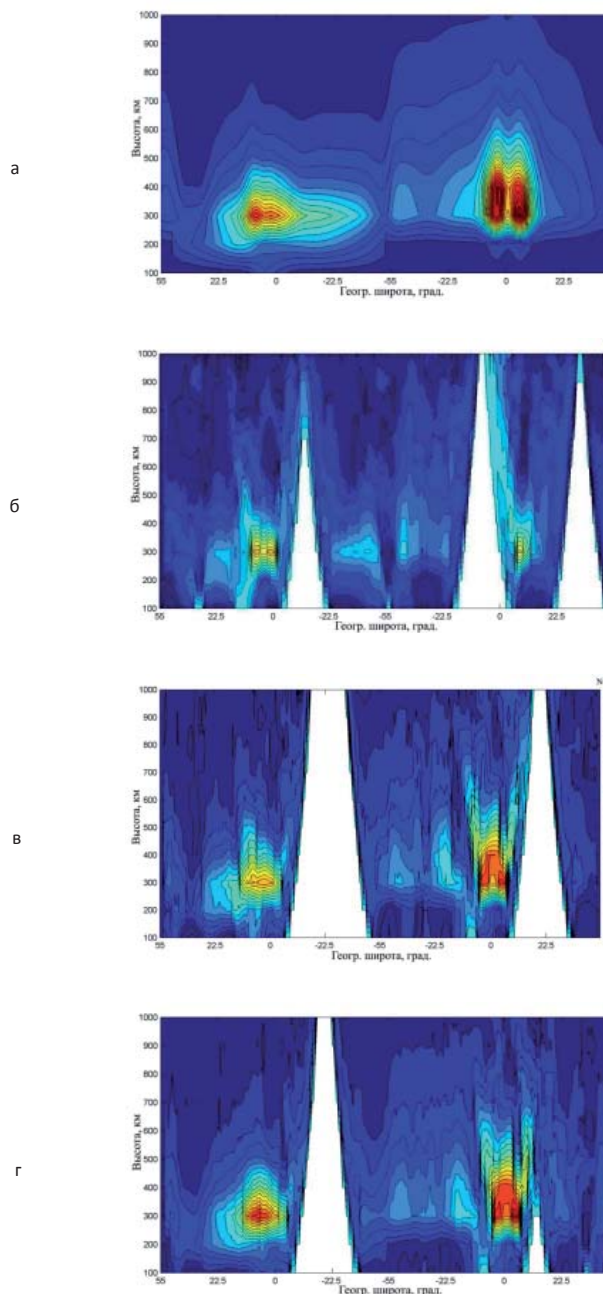
Второй этап работы состоял в определении облика орбитальной группировки способной предоставлять данные ПЭС ионосферы для восстановления распределения электронного содержания с помощью двумерной томографии. При этом измерения за один виток должны собираться в течение 15 минут. Были рассмотрены два типа конфигурации группировки. Первая аналогична F3C-GPS, однако, с большим количеством приемников на низкой орбите и использованием сигналов не только GPS, но и ГЛОНАСС. Вторая – с размещением, как приемников, так и передатчиков на низкоорбитальных КА.

Рассматривались варианты с максимальным в настоящее время заполнением орбитальных плоскостей – 5 КА GPS и 6 КА ГЛОНАСС, а также их совместное использование. В качестве схемы регистрации ПЭС использованы следующие конфигурации источника радиосигнала:

- 5 КА GPS;
- 6 КА ГЛОНАСС;
- 5 КА GPS + 6 КА ГЛОНАСС.



В каждом случае использовалось 60 низкоорбитальных КА, равномерно размещенных по орбите с высотой 1 000 км. Частота регистрации данных составляла 1 Гц. Распределение электронной концентрации (*рис. 3а*) задавалось с помощью модели ионосферы NeQuick, размер элемента изображения 100×100 км.



**Рис. 3.** Распределение электронной концентрации в ионосфере в плоскости орбиты ГНСС в координатах широта – высота над уровнем моря, цветом кодированы значения электронной концентрации ( $10^{11}$  эл·м<sup>-3</sup>); а – модельное распределение, б – реконструкции, полученные при использовании 5 КА GPS (б), 6 КА ГЛОНАСС (в), 5 КА GPS и 6 КА ГЛОНАСС (г)

На *рисунке 3 (б, в, г)* приведены результаты восстановления распределения электронной концентрации с помощью алгоритма ART. В качестве начального приближения использовалось постоянное значение  $4 \cdot 10^{11}$  эл·м<sup>-3</sup>.

Как видно из реконструкций, ни один из вариантов, возможных при существующей конфигурации КА ГНСС, не позволяет восстановить распределение электронной концентрации в ионосфере за время 15 минут и основной причиной этого является недостаточное количество получаемых при такой схеме регистрации данных. Ошибки реконструкции в соответствии с [2] представлены в *таблице 1*.

**Таблица 1. Ошибки реконструкции при различных вариантах использования ГНСС**

| Ошибка/ОГ  | 5 КА GPS | 6 КА ГЛОНАСС | 5 КА GPS+6 КА ГЛОНАСС |
|------------|----------|--------------|-----------------------|
| $\delta_2$ | 0,44     | 0,34         | 0,34                  |
| $\delta_m$ | 0,71     | 0,67         | 0,59                  |

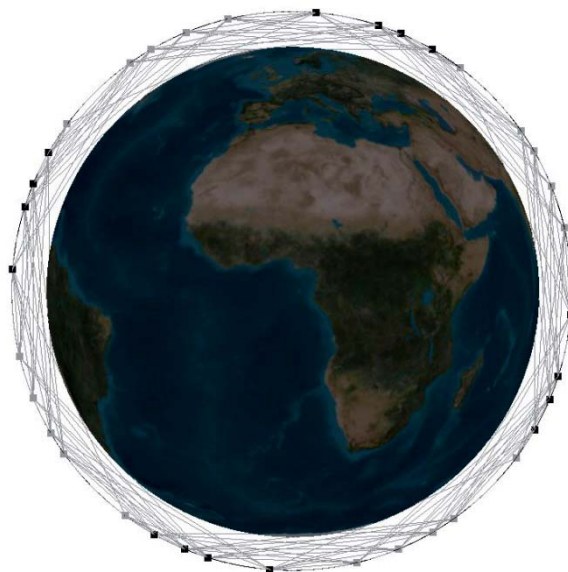
Они показывают, что при использовании рассмотренных схем регистрации с 60 приемниками на низкой орбите в случае 5 КА GPS или 6 КА ГЛОНАСС, а также при их совместном применении средняя ошибка будет составлять не менее 34% ( $\delta_2=0,34$ ).

Результаты расчета времени, необходимого для достижения необходимого для гарантированной реконструкции количества проекций при использовании передатчиков ГНСС (для варианта 5 КА GPS+6 КА ГЛОНАСС) дают величину экспозиции не менее 130 минут при количестве НО КА не менее 50.

#### **4. ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В ИОНОСФЕРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОЛЬКО НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ ИСЗ**

Для оценки качества реконструкции распределения электронного содержания в ионосфере по данным низкоорбитальных группировок, было проведено томографическое восстановление модельного распределения электронной концентрации. В качестве схемы регистрации ПЭС использовались следующие конфигурации размещения КА на низкой орбите (*рис. 4*):

- 72 КА (40 передатчиков, 32 приемника);
- 56 КА (32 передатчика, 24 приемника);
- 36 КА (20 передатчиков, 16 приемников).



*Рис. 4. Расположение 36 КА в плоскости орбиты перспективной группировки; черными значками обозначены КА-передатчики, серыми – КА-приемники*

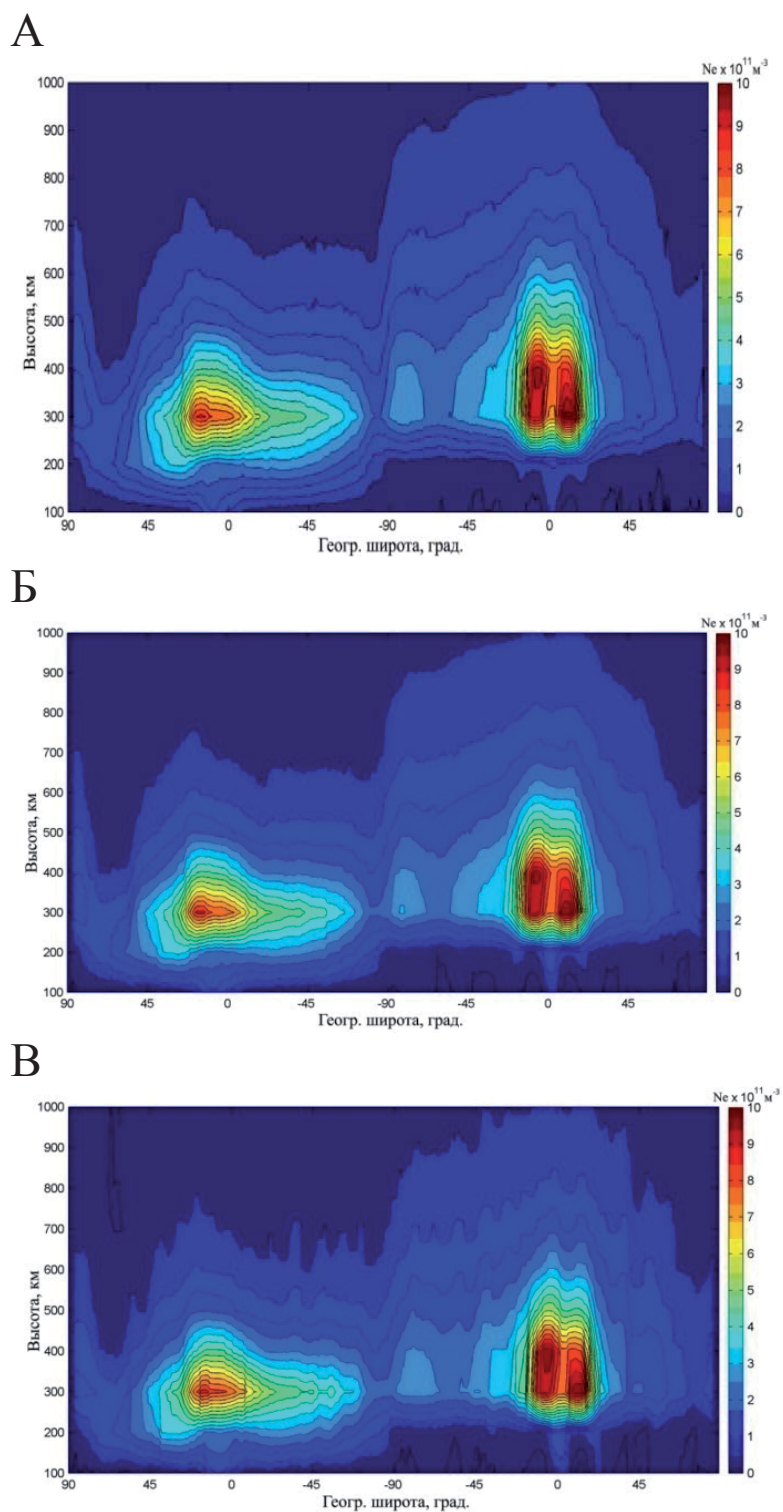
Распределение электронной концентрации задавалось с помощью модели ионосферы NeQuick аналогично предыдущему случаю (рис. 6а), размер элемента изображения  $100 \times 100$  км. Частота регистрации данных составляла 0,1 Гц.

На *рисунке 5 (а, б, в)* приведены результаты восстановления распределения электронной концентрации с помощью алгоритма ART за 20 итераций. В качестве начального приближения использовалось постоянное значение  $4 \cdot 10^{11}$  эл·м<sup>-3</sup>. Ошибки реконструкции  $\delta_2$  и  $\delta_m$  для соответствующих ОГ приведены в *таблице 2*.

**Таблица 2. Ошибки реконструкции [2] для различных вариантов ОГ**

| Ошибка/ОГ  | 72 КА | 56 КА | 36 КА |
|------------|-------|-------|-------|
| $\delta_2$ | 0,05  | 0,06  | 0,09  |
| $\delta_m$ | 0,09  | 0,09  | 0,13  |

Результаты реконструкции модельного распределения электронной концентрации в ионосфере для рассмотренных вариантов низкоорбитальных ОГ демонстрируют хорошее качество восстановления и достаточно низкие значения ошибок. Наилучший результат получен для группировки из 72 КА (см. рис. 5а), реконструкция практически идентична модельному распределению, средняя ошибка восстановления 5% ( $\delta_2=0,05$ ), максимальная ( $\delta_m$ ) 9%. Подобными характеристиками обладает и реконструкция, полученная при помощи ОГ из 56 КА (см. рис. 5б). Томографическая реконструкция, полученная с помощью схемы регистрации (см. рис. 4) на основе 36 КА (см. рис. 5в), характеризуется средней ошибкой 9% и максимальной 13%.



**Рис. 5.** Распределение электронной концентрации в ионосфере в плоскости полярной орбиты в координатах широта–высота: а – реконструкция 72 КА, б – реконструкция 56 КА, в – реконструкция 36 КА, цветом показана концентрация электронов в  $\text{эл} \cdot \text{м}^{-3}$

СЕКЦИЯ А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики

## 5. ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В ИОНОСФЕРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛАСТЕРА НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ ИСЗ

К сожалению, разработка, изготовление и запуск 36, а тем более большего количества космических аппаратов являются крайне затратными. Поэтому необходимо предложить такую конфигурацию орбитальной группировки мониторинга ионосферы, которая обеспечила бы требуемый уровень ошибок реконструкции при существенно меньшем количестве космических аппаратов. В этом случае необходимо отказаться от требования получать реконструкцию вертикального распределения электронной концентрации ионосферы во всей плоскости орбиты спутников за 15 минут.

Для поиска оптимальной конфигурации кластера, прежде всего, следует определить диапазон высот ионосферы распределения электронной концентрации, в котором будет гарантированно восстанавливаться. Поскольку настоящее исследование направлено преимущественно на диагностику нерегулярных явлений в ионосфере, которые представляют собой естественные или искусственные неоднородности, и располагаются в районе слоя максимальной ионизации, то область восстановления по высоте следует ограничить диапазоном высот слоя-максимума. Высота его центра, а также нижняя и верхняя границы варьируют в зависимости от сезона, времени суток, а также магнитной широты, и солнечной активности, однако в подавляющем большинстве случаев слой с максимальной концентрацией располагается в диапазоне высот 200–500 км [4]. Поэтому определим гарантированно восстанавливаемый диапазон высот ионосферы 200–500 км. Выше этого диапазона реконструкция также будет производиться, но с меньшей точностью, из-за недостатка проекций. Ниже диапазона реконструкция не будет возможна в принципе, из-за полного отсутствия данных для этих высот.

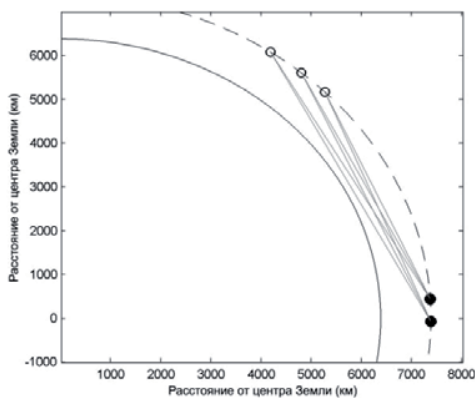
Еще одним параметром, который будет определять количество КА в кластере, это пространственное разрешение реконструкции, и в большей степени является размер элемента по высоте. Так, при шаге 50 км, в восстанавливаемый диапазон попадает 6 дискретов по высоте  $((500-200)/50)$ , и для уверенного восстановления электронной концентрации необходимо минимум 6 радиотрасс различного направления. Такое количество радиотрасс может быть обеспечено использованием, как минимум, 5 КА (2 приемника, 3 передатчика), как показано на *рисунке 6а*.

При вертикальном размере элемента реконструкции 100 км восстанавливаемый диапазон представлен 3 дискретами. Для уверенной реконструкции на высотах 200–500 км необходимо только 3 радиотрассы различного направления, что достигается использованием 4 КА, которые в зависимости от соотношения приемников и передатчиков могут обеспечивать либо 3 радиотрассы (*рис. 6 б*), либо 4 (*рис. 6в*). В последнем случае получается избыточная радиотрасса и ее можно использовать либо для расширения диапазон реконструируемой области до 200–600 км, либо для уменьшения вертикального размера элемента реконструкции до 75 км  $((500-200)/4)$ .

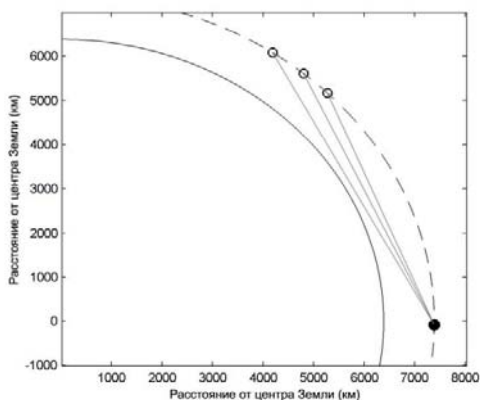
Для рассматриваемых вариантов необходимо подобрать такое взаимное расположение приемников и передатчиков, при котором будет достигаться наименьшая ошибка реконструкции для рассматриваемого диапазона высот.



А



Б



В

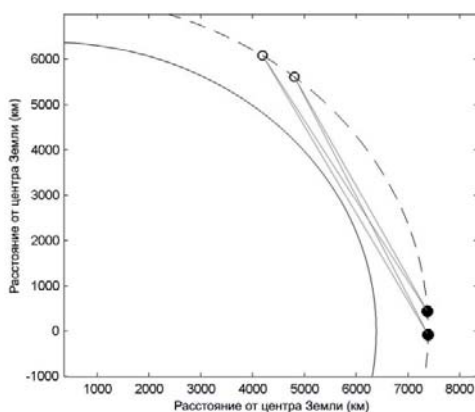


Рис. 6. Расположение радиотрасс при различных соотношениях КА-приемников и КА-передатчиков в кластере: а – 2:3, б – 1:3, в – 2:2

Моделирование регистрации данных и последующей реконструкции распределения электронной концентрации будет производиться путем последовательного решения прямой и обратной задач томографии.

Исходя и изложенного выше, целесообразно рассмотреть три варианта использования кластера, которые перечислены в *таблице 3*.

**Таблица 3. Соотношение количества КА в кластере, диапазона высот исследуемой области и разрешения реконструкции**

|   | Вертикальный размер элемента реконструкции, км | Диапазон высот восстанавливаемой области, км | Количество КА |
|---|------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------|
| 1 | 50                                             | 200–500                                      | 5             |
| 2 | 75                                             | 200–500                                      | 4             |

Прямая задача состоит в получении интегральных характеристик среды, в случае полного электронного содержания (ПЭС), для заданного распределения электронной концентрации и имеющегося набора путей распространения зондирующих сигналов (лучей) в этой области. При использовании физической модели распределения электронной концентрации, ПЭС получают путем интегрирования функции электронной концентрации вдоль пути сигнала. При наличии дискретной картины распределения электронной концентрации, то есть заданной значениями в узлах регулярной сетки, для получения значений ПЭС используют проекционный оператор, построенный для этой регулярной сетки. Для решения прямой задачи используется модель ионосферы IRI-2007.

Обратная задача состоит в реконструкции распределения электронной концентрации в узлах регулярной сетки на основе имеющегося набора интегральных значений и проекционного оператора. Математическая постановка задачи подразумевает решение системы линейных уравнений (СЛУ)  $Ax=b$ , где  $A$  – матрица проекционного оператора,  $b$  – вектор измеренных значений и  $x$  – вектор восстанавливаемых значений электронной концентрации. Начальное приближение рассчитывается для узлов сетки, на которой впоследствии будет проводиться реконструкция, и используется в качестве стартовых значений электронной концентрации в узлах сетки реконструкции. При итеративных методах решения системы линейных уравнений начальное приближение помещается в вектор  $x$ , который в процессе решения системы корректируется в соответствии с алгоритмом решения задачи. Для решения СЛУ применяется метод алгебраической реконструкции ART [2].

Реконструкция с использованием начального приближения для кластера из 5 КА с 5% несоответствием базовому распределению (а с учетом наложенных неоднородностей 10%), показала среднюю ошибку 6%, максимальную 20% (*рис. 7*). Не восстановилась лишь одна неоднородность на высоте 200, размером 50×50 км. Остальные неоднородности, в том числе провал, восстановились, и хорошо различимы на реконструкции. В случае использования начального приближения с 30% несоответствием (*рис. 8*), средняя ошибка составила 11%, максимальная осталась на прежнем уровне.

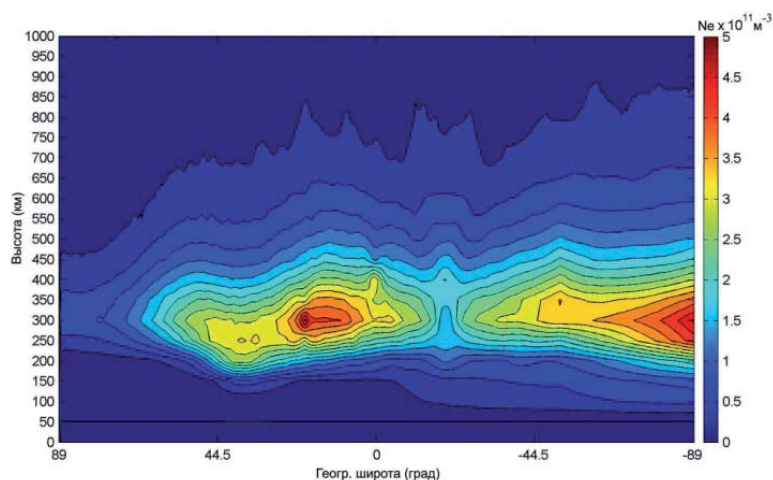


Рис. 7. Реконструкция модельного распределения с использованием начального приближения с 5%-ной ошибкой

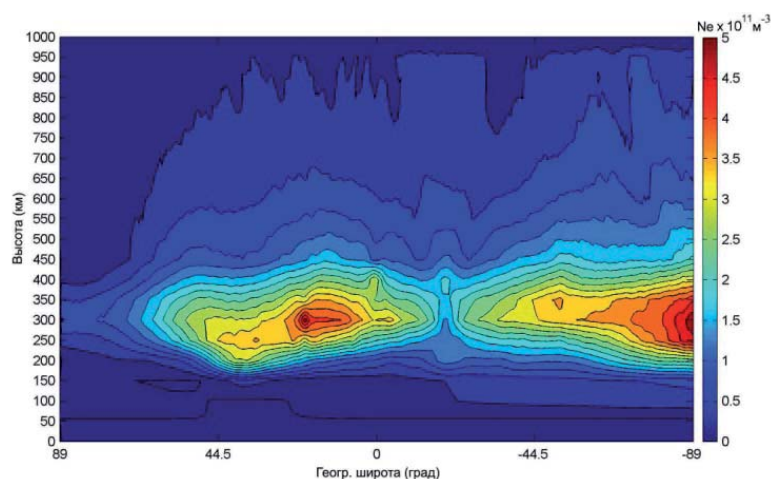


Рис. 8. Реконструкция модельного распределения с использованием начального приближения с 30%-ной ошибкой

Оценки ошибок для всех вариантов использованного начального приближения представлены в **таблице 4**.

**Таблица 4. Ошибки реконструкции при использовании различного начального приближения и размере элемента реконструкции 50×50 км**

| Несоответствие начального приближения, % | $\delta_2$ | $\delta_m$ |
|------------------------------------------|------------|------------|
| 5                                        | 0,059      | 0,206      |
| 10                                       | 0,065      | 0,207      |
| 20                                       | 0,082      | 0,207      |
| 30                                       | 0,108      | 0,209      |

Модельные распределения для случая с 4 КА и размера элемента реконструкции  $50 \times 75$  км с неоднородностями, подобными (с учетом другого разрешения) показанным на рисунке 7, представлены на рисунке 8. Реконструкция данного распределения с различными вариантами начального приближения показала результаты, аналогичные предыдущей рассмотренной конфигурации.

Анализ реконструкции модельных неоднородностей электронной концентрации с использованием определенных оптимальных конфигураций КА в кластере показал принципиальную возможность восстановления небольших как по размеру, так и по концентрации неоднородностей.

Целесообразно использовать 4 или 5 малоразмерных космических аппаратов в качестве базовых элементов кластера космической группировки перспективной системы мониторинга ионосферы. Оптимальные углы расстановки приемных и передающих КА в орбитальной плоскости несколько различаются в зависимости от количества КА в кластере. Для кластера из 5 КА они составили – передающие: 0, 1,5, 2,5; принимающие: 48, 53,5, для 4 КА – передающие: 0, 3,5; принимающие: 45,5, 52,5 соответственно.

Минимальный горизонтальный размер восстанавливаемых неоднородностей составил 150 км и вертикальный, равный вертикальному размеру элемента реконструкции, который в разных случаях составлял 50, 75 и 100 км. Величина реконструируемых неоднородностей в терминах электронной концентрации составляла 30% и более от уровня фона, на который накладывалась неоднородность.

Небольшие неоднородности практически невозможно восстановить без использования априорной информации, так как их величина находится в пределах ошибки реконструкции (около 30%). При использовании начального приближения качество восстановления, как общей картины, так и небольших неоднородностей резко улучшается; средняя ошибка реконструкции в этом случае составляет 5–10%.

## 6. КОМПЛЕКСНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

В ряде работ [5, 6] показана возможность возникновения и диагностирования электромагнитных предвестников различных катаклизмов природного характера, например, землетрясений.

Для проведения мониторинговых работ в некоторых географических регионах, особенно расположенных в зонах повышенной сейсмичности [6], устанавливаются комплексы наземных станций приема когерентных радиосигналов, излучаемых с низкоорбитальных ИСЗ, обеспечивающих реализацию метода лучевой радиотомографии ионосферы.

Минимальные требования к наземной сети приемников, обеспечивающие непрерывный мониторинг ионосферы и получение распределений электронной концентрации со временем получения реконструкции не более суток и с пространственным разрешением не хуже  $4^\circ$  имеют следующий вид:

– на территории России необходимо разместить не менее 100 приемников GNSS. Оптимальным представляется размещение этих приемников на существующих метеопостах всемирной метеорологической организации, так как они уже снабжены линиями коммуникации и связи

– канал связи должен обеспечивать передачу данных с приемников в центр обработки и хранения данных не реже чем раз в сутки. Типичный объем передаваемых данных 2Mb. При этом приемники должны хранить и передавать данные в едином формате (RINEX 2.0 и выше).

– в связи с вводом в эксплуатацию систем ГЛОНАСС и Galileo для увеличения объема входных данных для осуществления высокоорбитальной радиотомографии ионосферы желательно, чтобы устанавливаемые приемники могли работать со всеми тремя высокоорбитальными навигационными системами (GPS, ГЛОНАСС и Galileo).

В настоящее время на территории Российской Федерации осуществляется развертывание наземной сети станций спутниковой томографии ионосферы, использующие как низкоорбитальные ИСЗ (рис. 9), так и среднеорбитальные навигационные спутники систем ГЛОНАСС/GPS.

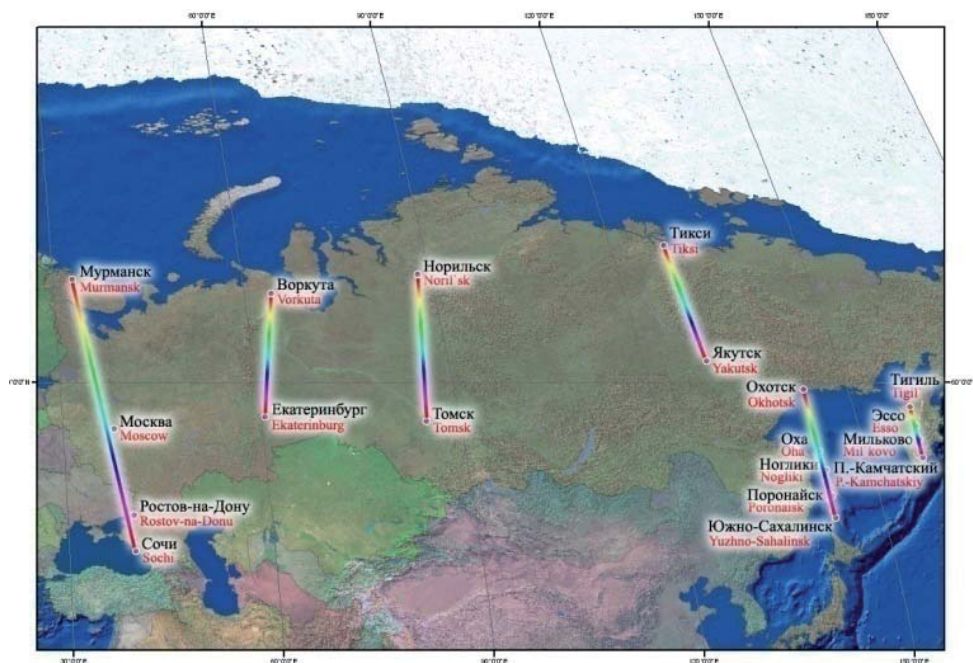


Рис. 9. Предполагаемая схема размещения наземных станций на втором этапе развертывания томографической сети

К сожалению, предлагаемый подход позволяет обеспечить мониторинг ограниченной территории земной поверхности в пределах радиовидимости набора – линейки наземных станций, размещаемых в меридиональных направлениях. Исходя из опыта эксплуатации действующих средств низкоорбитальной радиотомографии, следует, что приемники следует располагать на расстояниях в 200–400 км друг от друга. Расстояния более 500 км будут приводить к заметной потере информации. Расстояния между линейками приемников могут находиться в пределах 1 000–2 000 км. Расположение линейки приемников для низкоорбитальной радиотомографии зависит от наклона действующих низкоорбитальных навигационных спутников. Оптимальными для рассматриваемых целей являются полярные орбиты.

СЕКЦИЯ А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики



Очевидно, что главное ограничение подобного подхода состоит в возможности размещения сети наземных приемных станций на всей земной поверхности. Соответственно, максимальные трудности возникают при размещении приемных станций на морских акваториях.

При этом понятно, что томографический метод позволяет восстановить только вертикальное распределение концентрации электронной плазмы в ионосфере, в то время как в соответствии с моделью [5] электромагнитных предвестников в атмосфере несколько (рис. 10).

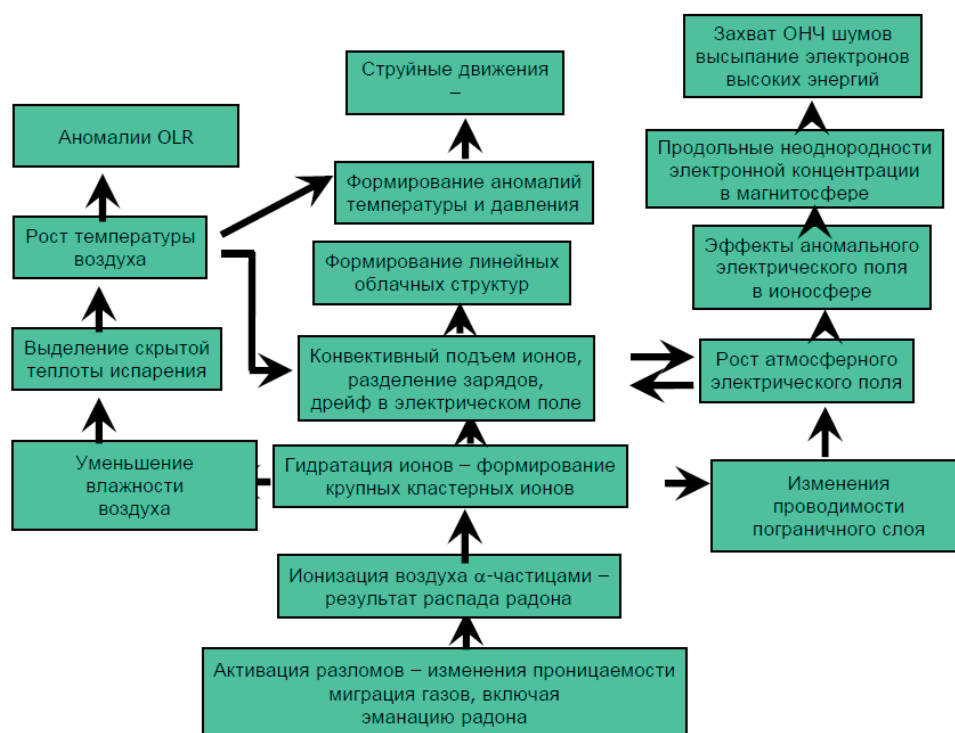


Рис. 10. Модель «литосферно-атмосферно-ионосферного» взаимодействия

Соответственно, максимально эффективным будет диагностирование одновременно всех значимых предвестников.

С целью выявления наиболее информативных предвестников землетрясений, определяемых методами дистанционного зондирования с ИСЗ в 2007 г. на территории Сахалинской области был проведен комплексный подспутниковый эксперимент – пилотный проект по комплексному автоматизированному диагностированию предвестников землетрясений с низкоорбитальных искусственных спутников Земли. Первые результаты пилотного проекта представлены в работе [6].

Развернутая цепочка наземных станций позволила зарегистрировать ионосферные и другие предвестники Невельского землетрясения 2007 г. (рис. 11).

**МАТЕРИАЛЫ ПЕРВОЙ ОТКРЫТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**  
(Южно-Сахалинск, Россия, 5–6 апреля 2011 г.)

|                                          | 22.07.2007  | 30.07.2007 |
|------------------------------------------|-------------|------------|
| Аномалии температуры воздуха             | не выявлены | выявлены   |
| Аномалии относительной влажности воздуха | не выявлены | выявлены   |
| Аномалии температуры поверхности воды    | выявлены    | выявлены   |
| Аномалии температуры напорного льда      | выявлены    | выявлены   |
| Аномалии полной электронной концентрации | не выявлены | выявлены   |
| Аномалии электронной концентрации        | выявлены    | выявлены   |

*Рис. 11. Результаты регистрации аномалий исследуемых параметров перед Невельским землетрясением 2007 г.*

Следует отметить, что размещенная на о. Сахалин наземная цепочка приемных станций позволяет получать уникальный набор экспериментальных данных на реальном сейсмоопасном регионе Российской Федерации. Более того, нижняя граница региона мониторинга, ограниченная зоной радиовидимости приемной станции расположена над территорией Японии (о. Хоккайдо). Указанное обстоятельство позволило зарегистрировать на Южно-Сахалинской приемной станции ионосферный предвестник японского землетрясения в марте 2011 г. за 7 часов до разрушительного толчка с магнитудой 7,2 (рис. 12).

Независимо в то же время Д. Узуновым [7] были зарегистрированы сильные аномалии в уходящем длинноволновом излучении подстилающей поверхности, хорошо коррелирующие в пространстве и по времени с ионосферным предвестником.

Полученные результаты позволили сформулировать следующую постановку задачи. Необходимо оценить возможность создания космической системы, обеспечивающей радиотомографию ионосферы, в которой и передатчики и приемники когерентных сигналов были бы установлены на ИСЗ совместно с ИК радиометром малого (около 1 км) или среднего (100–200 м) пространственного разрешения. Предварительные оценки показывают, что подобная конфигурация полезной нагрузки может быть достаточно легко реализована на МКА микрокласса (до 60 кг).

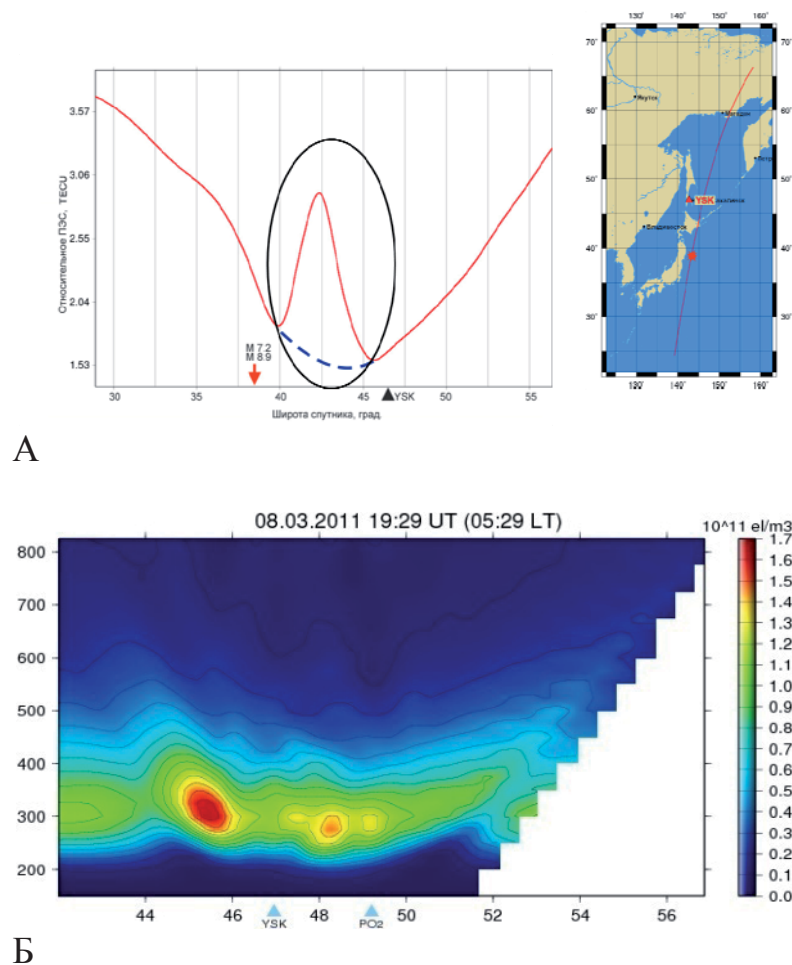


Рис. 12. Наклонное полное электронное содержание по данным томографической установки, размещенной в г. Южно-Сахалинск – а, Результат томографической реконструкции состояния ионосферной плазмы 08.03.2011 в 19:29 UT – б

## 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной статье предложены концептуальные подходы к развитию национальной подсистемы спутниковой томографии ионосферы, предполагающие развертывание около 350 наземных комплексов приема и обработки сигналов спутниковых навигационных систем различных поколений. Цепочки установок, размещенные на всей территории Российской Федерации позволят получать информацию о состоянии ионосферной плазмы над всей территорией страны.

В качестве базового метода обработки сигналов навигационных спутниковых систем выбран метод фазоразностной томографии, эффективность которого подтверждена независимыми экспериментами, а также исследованиями, проведенными в дальневосточном регионе России. Коэффициент корреляции информации полученной по данным наземного ионозонда и спутниковой томографии составил 84%.

Предложены принципиально новые методы получения абсолютного полного электронного содержания ионосферы Земли на основе регистрации характеристик многочастотных когерентных сигналов. Показано, что фазовая неоднозначность, выраженная в терминах электронной концентрации, превышает характерное значение полного электронного содержания ионосферы земли не менее чем в пять раз, что позволяет говорить о возможности абсолютного измерения.

Перспективным направлением развития спутниковой томографии ионосферы является перенос сегмента приема радиосигналов с поверхности Земли на орбиту спутника. Рассмотрены несколько вариантов построения перспективных орбитальных группировок. Показана принципиальная возможность реконструкции вертикального распределения электронной концентрации ионосферы Земли на основе межспутникового томографического зондирования.

Анализ восстановленных распределений электронной концентрации по данным систем FORMOSAT-3/COSMIC и GPS продемонстрировал наличие больших ошибок при решении обратной задачи вследствие недостаточности исходных данных.

Смоделированы различные варианты построения орбитального сегмента перспективной космической системы мониторинга вертикального распределения электронной концентрации ионосферы в орбитальной плоскости перспективной низкоорбитальной группировки КА.

Обоснована принципиальная возможность построения глобальной системы томографии электронной концентрации в ионосфере Земли, в том числе, на базе четырех космических аппаратов.

В качестве источников и приемников многочастотного когерентного сигнала перспективной глобальной спутниковой системы мониторинга состояния ионосферы целесообразно рассматривать малоразмерные космические аппараты, разрабатываемых в ОАО «Российские космические системы».

## 8. ВЫВОДЫ

Показана принципиальная возможность реконструкции вертикального распределения электронной концентрации ионосферы Земли на основе межспутникового томографического зондирования.

Проведено моделирование различных вариантов построения орбитального сегмента перспективной космической системы мониторинга вертикального распределения электронной концентрации ионосферы.

Показано, что орбитальная группировка из 36 МКА позволяет восстановить вертикальное распределение электронной плазмы ионосферы без начального приближения. При наличии начального приближения в группировке достаточно иметь 4–5 МКА.

Подтверждена возможность создания принципиально новых систем получения геопространственной информации на базе космических аппаратов малого и сверхмалого классов.

Представлены результаты мониторинга ионосферных предвестников землетрясений на примере Невельского (2007 г.) и Японского (2011 г.) землетрясений.

## 9. ЛИТЕРАТУРА

1. Афраймович Э. Л., Перевалова Н. П. GPS-мониторинг атмосферы Земли. Иркутск: ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2006, 480 с.
2. Куницын В. Е., Терещенко Е. Д., Андреева Е. С. Радиотомография ионосферы. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 336 с.
3. Романов А. А., Трусов С. В., Новиков А. В., Романов А. А. Сравнение данных радиотомографии ионосферы на средних широтах с данными ионозонда, затменного зондирования и моделей ионосферы/Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Сб. науч. ст. Вып. 6, т. II. М.: ООО «Азбука-2000», 2009. С. 296–304.
4. Crook N. A. Sensitivity of Moist Convection Forced by Boundary Layer Processes to Low-Level Thermodynamic Fields // Mon. Weather Rev., 1996, No. 124, p. 1767.
5. Pulinets S. A., Boyarchuk K. A. Ionospheric Precursors of Earthquakes. Berlin: Springer. 2004.
6. Pulinets S. A., Romanov A. A., Urlichich U. M., Romanov A. A., Doda L. N., Ouzounov D. The first results of the pilot project on complex diagnosis of the earthquakes precursors on Sakhalin Island // Geomagnetism and Aeronomy, 2009, vol. 49, #1, pp. 123–132
7. Ouzounov, Pulinets, Romanov et al. Atmosphere-Ionosphere Response to the M9 Tohoku Earthquake Revealed by Joined Satellite and Ground Observations. Preliminary results // eprint arXiv:1105.2841, <http://adsabs.harvard.edu/abs/2011arXiv1105.2841>



Ф. Лефевр<sup>1</sup>, А. Л. Сальман<sup>2</sup> (a.salman@es-pas.com)

<sup>1</sup> Компания CLS; <sup>2</sup> ЗАО «ЭС-ПАС»

## Мониторинг вертикальных смещений объектов на поверхности Земли с помощью радиолокационной спутниковой съемки

Испанская фирма Altamira Information (филиал французской компании CLS) оказывает услуги по выявлению миллиметровых вертикальных смещений и деформаций объектов на поверхности Земли на базе радиолокационных спутниковых изображений. Такие проекты проводятся с целью обеспечения безопасности эксплуатации инженерных сооружений и промышленных объектов, а также в интересах защиты окружающей среды.

Основными областями применения технологий компании Altamira Information являются разработка, строительство, техническое обслуживание и постоянный мониторинг технического состояния крупных инфраструктур, наблюдение за шахтами, карьерами и другими объектами горной промышленности, контроль состояния трубопроводов, хранилищ нефти и газа, прочих сооружений нефтяной и газовой промышленности.

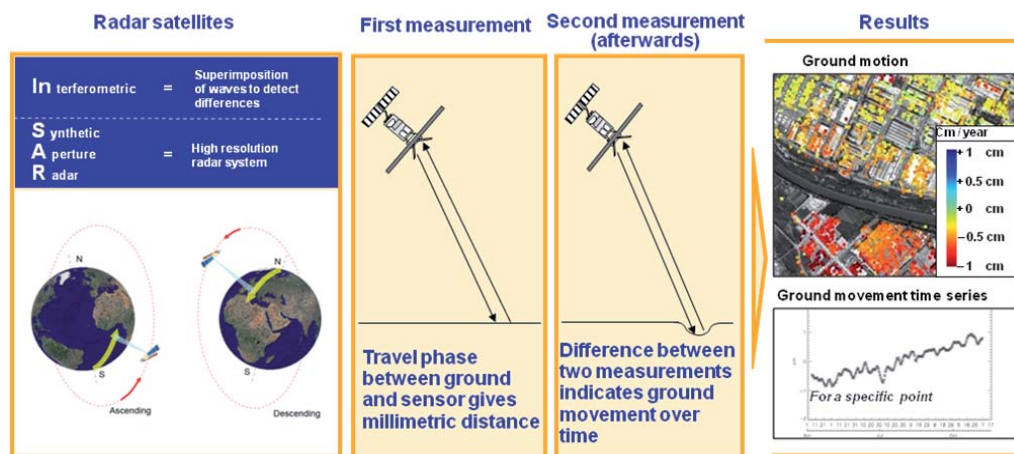


Для реализации своих проектов компания Altamira Information использует радиолокационные изображения всех функционирующих в настоящее время коммерческих спутниковых систем: ERS, ENVISAT, RADARSAT, ALOS, TERRASAR-X, COSMO-SKYMED.

## Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья



В основе технологий компании Altamira Information лежит обработка изображений спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой на базе принципа радиолокационной интерферометрии. При первом пролете спутника над изучаемым объектом выполняется измерение расстояния между объектом и космическим аппаратом. Через некоторое время вновь выполняется такое же измерение, и разница между результатами двух измерений соответствует изменению высоты объекта за прошедший период. Таким образом удастся с миллиметровой точностью оценивать вертикальные смещения и деформации крупных сооружений и природных объектов.

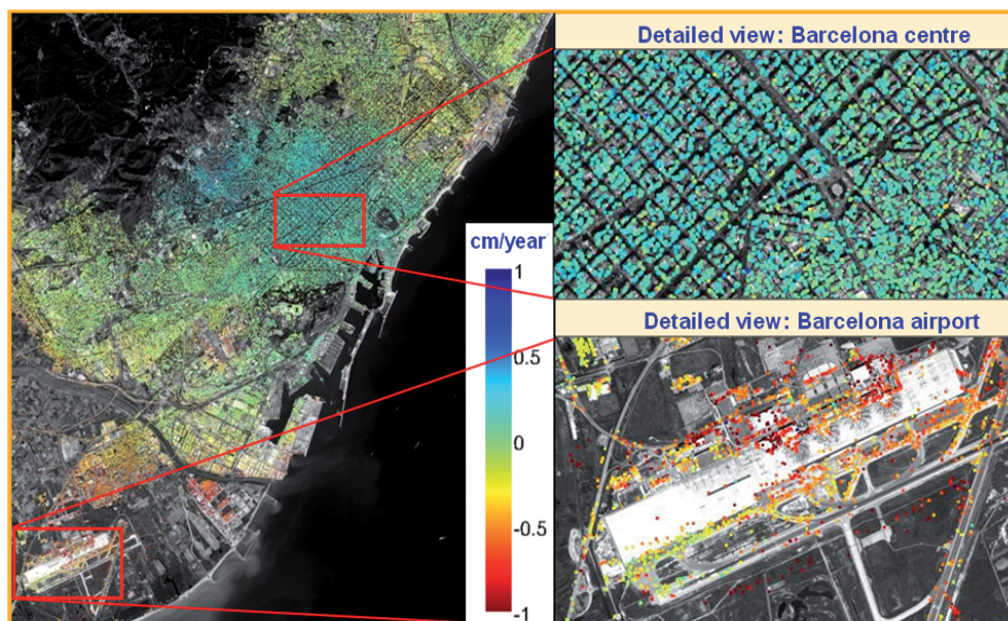


В рамках своих проектов Altamira Information использует три различные методики. Традиционная методика радиолокационной интерферометрии позволяет оценивать вертикальные смещения объектов с точностью 2–3 см на базе двух радиолокационных изображений.

Интерферометрические исследования на базе сети стационарных точек позволяют значительно повысить точность, обеспечивая выявление верти-

кальных смещений величиной 3–5 мм и мониторинг длительных деформационных процессов с точностью до 1 мм в год. При этом нет необходимости проводить какие-либо дорогостоящие работы на исследуемой местности, так как в качестве стационарных точек используются крыши зданий, крупные металлические структуры и прочие естественные объекты, хорошо отражающие радиолокационный сигнал. Для реализации таких проектов необходимо получение не менее 12 радиолокационных изображений. При использовании архивных изображений, накапливаемых с 1993 г., появляется возможность проводить исследования смещений объектов в течение последних лет.

#### Average ground motion rate in Barcelona 2003-2008



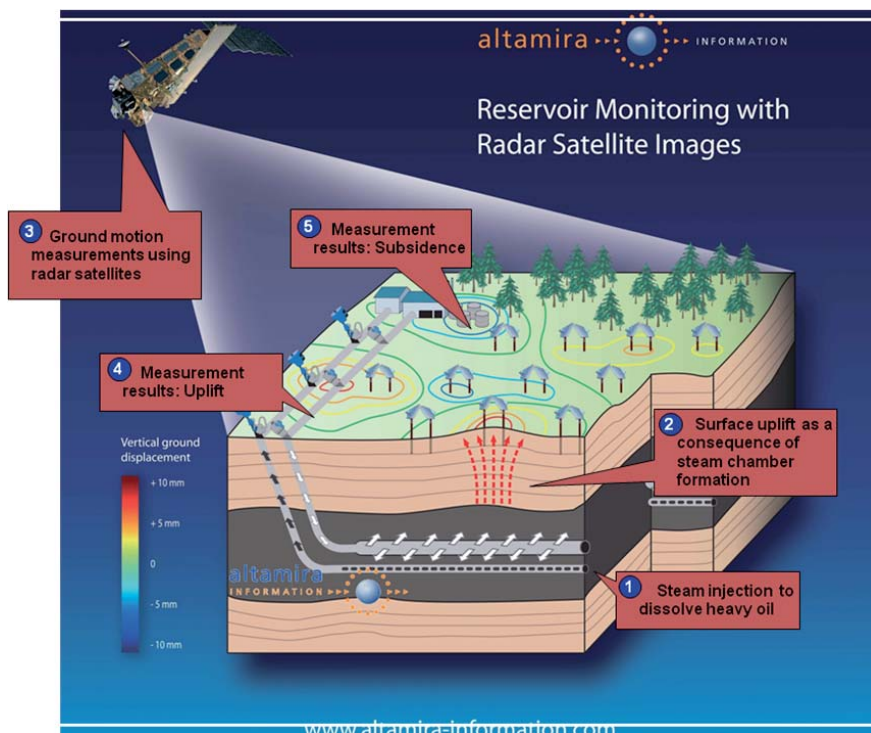
Наконец, в том случае, когда не удастся найти на местности естественные стационарные точки, приходится устанавливать искусственные уголкового отражатели. В этом случае для последующего изучения исследуемой зоны достаточно получить 2–3 радиолокационных изображения. При этом обеспечивается выявление вертикальных смещений величиной 1–3 мм и мониторинг длительных деформационных процессов с точностью до 0,5 мм в год.



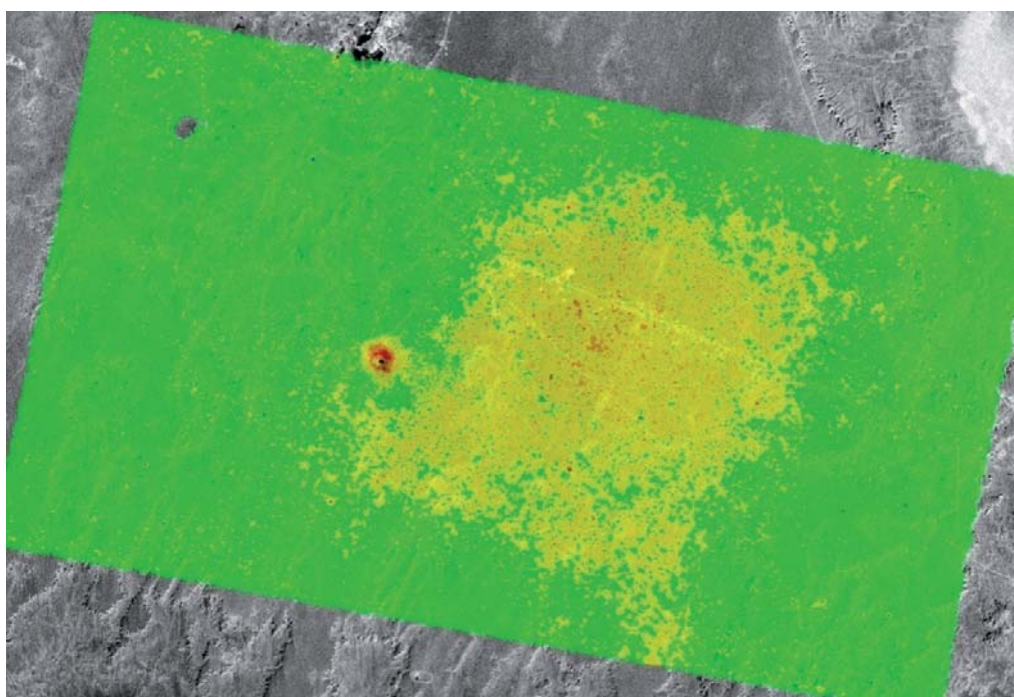


Для демонстрации широких возможностей использования технологии радиолокационной интерферометрии рассмотрим примеры проектов, реализуемых компанией Altamira Information в интересах нефтяной и газовой промышленности.

Интерферометрический мониторинг нефтяных и газовых месторождений проводится с целью обеспечения безопасности их разработки, а также для наблюдения за техническим состоянием используемых при этом сооружений. Кроме того, информация о смещениях почвы над месторождением может быть использована для анализа распределения углеводородов и, соответственно, для оптимизации процесса разработки месторождения.



В рамках одного из проектов, реализуемых в Северной Африке, проводится мониторинг смещений почвы над нефтяным месторождением с применением технологии спутниковой интерферометрии на базе сети естественных стационарных точек. В период с 1989 по 1999 г. над месторождением было зафиксировано резкое оседание почвы. На базе архивных изображений компании Altamira Information провела исследование колебаний почвы в образовавшемся кратере в период с 1992 по 2000 г. с целью оценки последствий этого события. Кроме того, был проведен углубленный анализ данных за период с 2003 по 2008 г., в результате которого обнаружилось, что оседание почвы продолжается, а его интенсивность в некоторых местах превышает 60 мм в год. Планируется продолжать наблюдение за этим регионом в режиме реального времени до 2014 г.

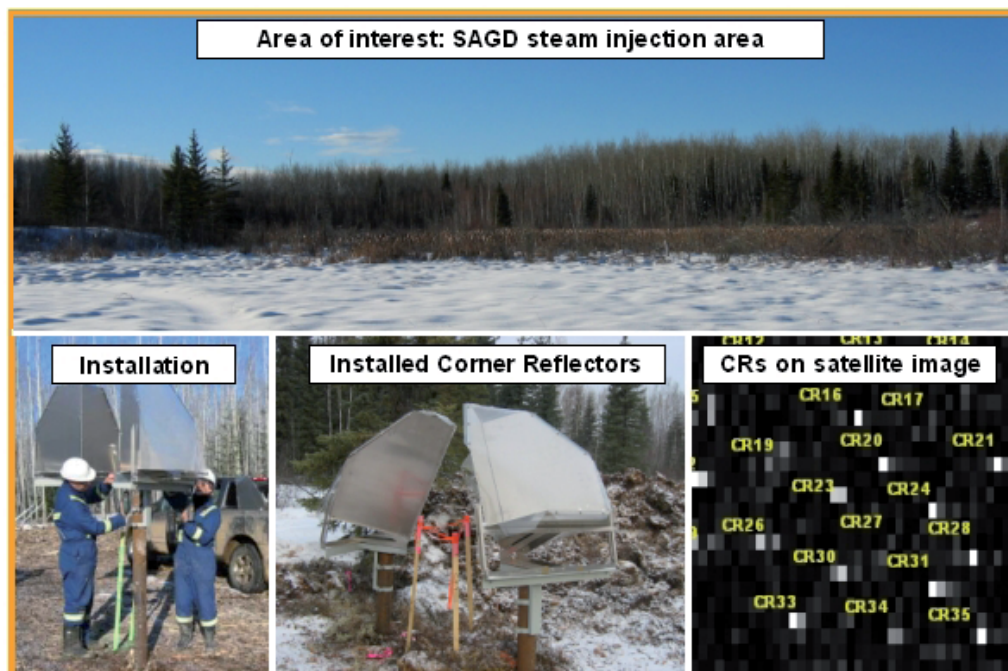


В Канаде был организован мониторинг нефтяного месторождения с помощью сети искусственных стационарных точек. Основной целью проекта являлась оптимизация процесса разработки месторождения. На исследуемой территории было установлено более ста двойных алюминиевых уголковых отражателей, адаптированных к низким температурам и высокому снежному покрову.

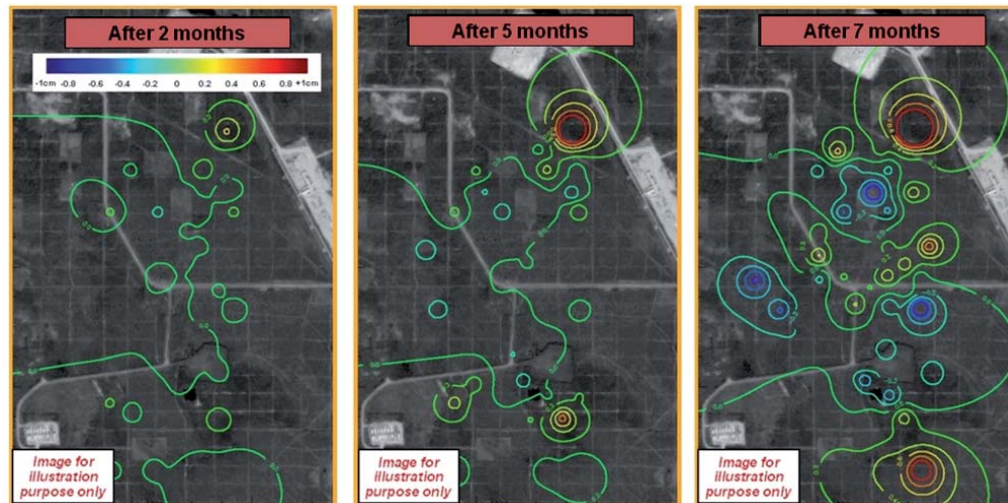
СЕКЦИЯ А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики



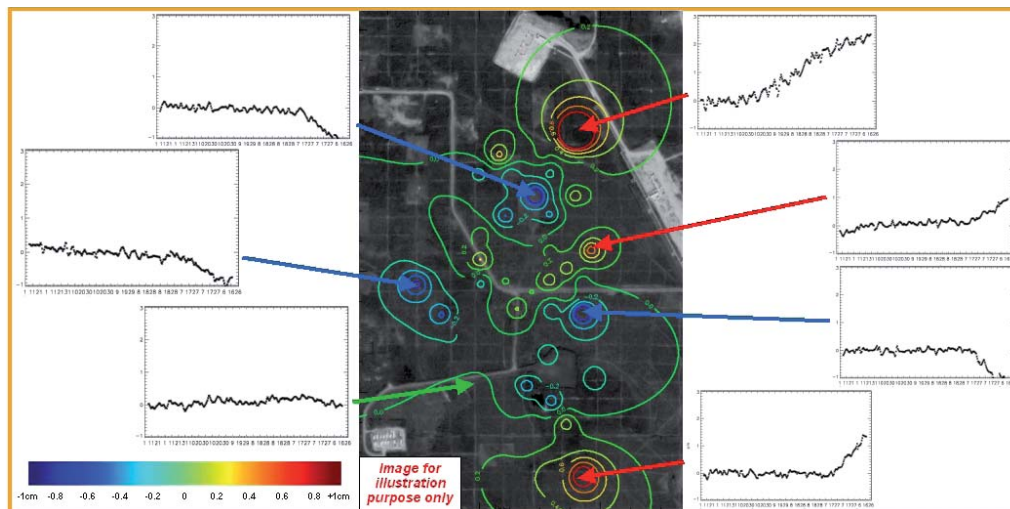
Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья



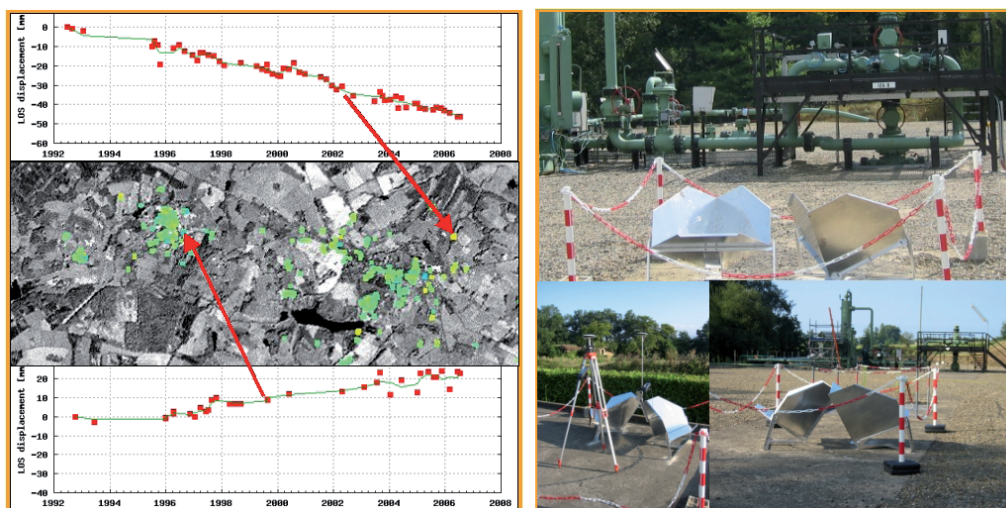
Радиолокационные изображения принимались каждые 1–3 дня, а смещения почвы оценивались каждые 15 дней.



В результате были получены данные о вертикальных смещениях земной поверхности с миллиметровой точностью.



Другое распространенное применение радиолокационной интерферометрии – мониторинг колебаний почвы над хранилищами природного газа и углекислого газа с целью обеспечения стабильного технического состояния хранилищ в условиях сезонных колебаний давления. На этапе проектирования хранилища проводятся исследования колебания почв в прошедшие годы, выявляются особо опасные места, создаются карты деформаций изучаемой зоны. В процессе создания хранилища проводится постоянный мониторинг смещений земной поверхности с ежемесячным или даже еженедельным расчетом промежуточных результатов. В случае необходимости для реализации проекта устанавливается сеть угловых отражателей. Результаты мониторинга сопоставляются с прочими измерениями, осуществляемыми на исследуемой территории.

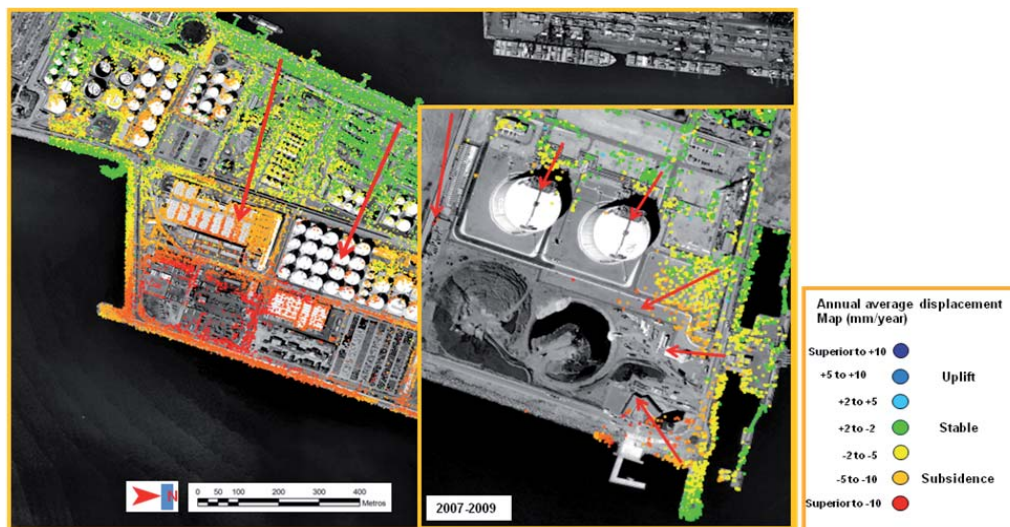


СЕКЦИЯ А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики

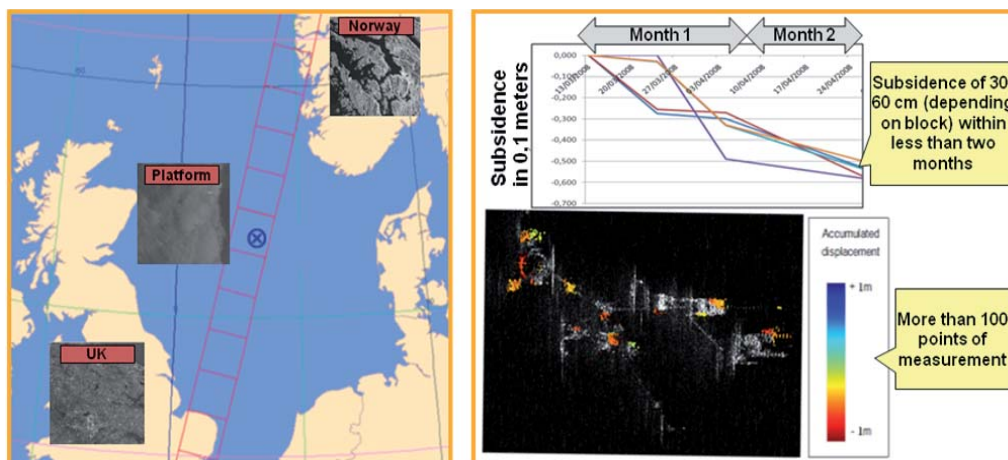


При эксплуатации трубопроводов радиолокационная интерферометрия позволяет идентифицировать зоны с повышенным риском образования утечек путем мониторинга смещений земной поверхности вдоль трассы трубопровода. Прежде всего на базе архивных радиолокационных изображений проводится исследование колебаний почвы в прошедшие годы для выявления особо опасных зон. Затем может быть принято решение об установке уголкового отражателя в опасных зонах с целью постоянного мониторинга ситуации вдоль трубопровода и выявления таких опасных явлений как оползни в период таяния снега. Кроме того, проводится наблюдение за деформациями самого трубопровода, используя его в качестве набора естественных стационарных точек. Таким образом, технология радиолокационной интерферометрии позволяет значительно повысить безопасность эксплуатации трубопроводов и может быть с успехом использована при принятии технических и административных решений, связанных с эксплуатацией таких объектов.

Безопасность эксплуатации терминалов сжиженного природного газа также может быть в значительной степени повышена путем использования радиолокационной интерферометрии, позволяющей выявлять колебания почвы в прибрежной зоне и контролировать деформации и смещения резервуаров сжиженного природного газа.



Наконец, радиолокационная интерферометрия интенсивно используется для наблюдения за нефтяными заякоренными платформами, расположенными на шельфе. Методика компании Altamira Information позволяет определять абсолютные значения смещений платформы с сантиметровой точностью. Расчеты проводятся на базе серии радиолокационных изображений, сформированных спутником при пролете над исследуемой зоной. На одном из этих изображений должна быть представлена сама платформа. На других изображениях необходимо выбрать расположенные на побережье неподвижные объекты, которые в дальнейшем будут использоваться в качестве опорных точек при расчетах. Затем с учетом параметров орбиты спутника производится расчет абсолютных смещений платформы. При реализации таких проектов выявляются вертикальные смещения платформ величиной до 30 см в месяц.



Компания Altamira Information обладает богатым опытом реализации проектов в области радиолокационной интерферометрии в интересах нефтяной, газовой, горной промышленности, в рамках крупных строительных программ. Услуги предоставляются на базе всех коммерческих радиолокационных спутниковых систем. Выбор используемого космического аппарата осуществляется с учетом технических и финансовых особенностей проекта. Altamira Information является мировым лидером в области проектирования сетей искусственных стационарных точек, разработки и установки алюминиевых уголковых отражателей. Специализированные алгоритмы позволяют добиваться измерения вертикального смещения объектов с миллиметровой точностью.

Использование услуг компании Altamira Information на территории России позволило бы значительно повысить безопасность эксплуатации крупных инженерных сооружений, оптимизировать разработку нефтяных и газовых месторождений, обеспечить мониторинг деятельности горнодобывающих предприятий, ввести в действие дополнительные меры по защите окружающей среды. Руководство компании Altamira Information готово к обсуждению возможностей сотрудничества с российскими организациями.



**Г. В. Шевченко**<sup>1</sup> (shevchenko@imgg.ru),  
**Т. Н. Ивельская**<sup>2</sup> (T\_Ivelskaya@sakhugms.ru)

<sup>1</sup>Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН (Южно-Сахалинск, Россия); <sup>2</sup>Центр цунами Сахалинского управления по гидрометеорологии и мониторингу среды (Южно-Сахалинск, Россия)

## **Инструментальные измерения цунами на тихоокеанском побережье России**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Цунами являются не только опаснейшим видом природных катастроф, которые наносят большой ущерб хозяйству прибрежных населенных пунктов тихоокеанского побережья России и во многих случаях приводят к человеческим жертвам, но и весьма сложным гидрофизическим явлением, многие аспекты которого изучены пока недостаточно. Главным образом это относится к процессам в очаге подводного землетрясения, которые являются причиной возбуждения цунами, а также проявления цунами на берегу. В частности, при близких по параметрам землетрясениях интенсивность цунами может сильно различаться. Несмотря на огромные пространственные масштабы, для цунами характерны значительные вдольбереговые вариации высоты и дальности заплесков, причем как на участках со сложной, так и с простой топографией береговой черты. Эти обстоятельства затрудняют изучение цунами и разработку мер по снижению их негативного, сдерживающего влияния на развитие экономики прибрежных районов.

Термин «цунами» имеет японское происхождение и означает «большая волна в гавани». Цунами представляет собой длинную волну (чаще цуг, или группу таких волн), которая вызывается движениями дна океана в области сильного подводного землетрясения. Гораздо реже это явление бывает связано с взрывными извержениями вулканов или оползнями, но эти виды источников не играют существенной роли для дальневосточного побережья России, и в данной работе не рассматриваются.

Курильская островная дуга и полуостров Камчатка находятся вблизи одной из самых сейсмоактивных областей в мире, которая приурочена к западному склону Курило-Камчатского глубоководного желоба, именно здесь расположены и очаги исторических цунамигенных землетрясений.

Интерес к изучению цунами в нашей стране возник сравнительно недавно, после разрушительного цунами Камчатского 5 ноября 1952 г. Волны с высотами 15–20 м уничтожили населенные пункты на океанском побережье Камчатки и северных Курильских островов. В городе Северо-Курильске погибло более 2300 человек гражданского населения (число жертв среди военных до сих пор неизвестно), было уничтожено 95% зданий и сооружений [Kaistrenko, Sedaeva, 2001]. Столь тяжелые последствия были обусловлены низким уровнем знаний о цунами, слабой информированностью населения и отсутствием системы предупреждения, размещением слишком большого числа зданий в опасной зоне. Советским правительством были приняты энергичные и адекватные меры – началась работа с населением, было принято решение о созда-



нии службы предупреждения, Академии наук и гидрометслужбы были даны поручения по изучению цунами.

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЦУНАМИ

Важнейшим источником информации о цунами (моментах прихода, высотах и периодах волн) является анализ инструментальных измерений вызванных ими колебаний. Ранее в основном эти исследования основывались на записях береговых самописцев уровня моря [Van Dorne. 1984], в последние годы – специальных цифровых регистраторов цунами, устанавливаемых в прибрежной зоне и в открытом океане.

Следует подчеркнуть, что основной прогресс в изучении цунами связан главным образом с двумя обстоятельствами – во-первых, развитием сети цифровых регистраторов цунами, причем особую роль сыграли глубоководные станции DART, так как в открытом океане изучаемый сигнал несет гораздо больше информации об источнике цунами так как меньше зашумлен береговыми эффектами, во-вторых, мощным развитием возможностей вычислительной техники, что позволило при численном моделировании использовать большие массивы глубин с малым пространственным шагом дискретизации, а также использовать весьма сложные модели источников цунами.

Несмотря на пионерские работы по инструментальным измерениям длинных волн на шельфе во второй половине 1960-х гг. [Жак, Соловьев, 1971] и первую в мире регистрацию цунами в открытом океане [Дыхан и др., 1981], во второй половине 1990-х гг. на тихоокеанском побережье России были свернуты как эксперименты по цифровой регистрации цунами, так и резко сокращена сеть береговых самописцев уровня моря. По этой причине при сильном цунами Симуширском 15 ноября 2006 г. количество инструментальных данных на побережье Курильской гряды было удручающе малым [Лобковский и др., 2009; Rabinovich et al., 2008]. Поэтому истинная сила этого цунами, обрушившегося на безлюдные острова Симушир, Кетой и Матуа, была оценена значительно позднее, по результатам экспедиционного обследования побережья [Левин и др., 2008].

После этого события Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН предпринял усилия по развитию сети автономных донных регистраторов придонного гидростатического давления (именно на этом принципе основано большинство современных измерений цунами, особенно вдали от берега) в районе южных Курильских островов. Главным образом работы проводились в бухтах о. Шикотан, уже в начале 2007 г. были получены записи Симуширского цунами 13 января в бухтах Малокурильская и Крабовая [Шевченко и др., 2008].

В 2008 г. удалось расширить сеть регистраторов путем постановки автономных донных станций [Левин и др., 2009], и 30 сентября 2009 г. удалось получить большое число записей цунами, вызванного сильным землетрясением вблизи архипелага Самоа. Расположение регистраторов приведено на *рисунке 1*. Несмотря на большую удаленность очага, на российском побережье были получены четкие записи, позволяющие детально исследовать характеристики данного цунами – моменты прихода первой и максимальных волн, их высоты, а также преобладающие периоды колебаний.

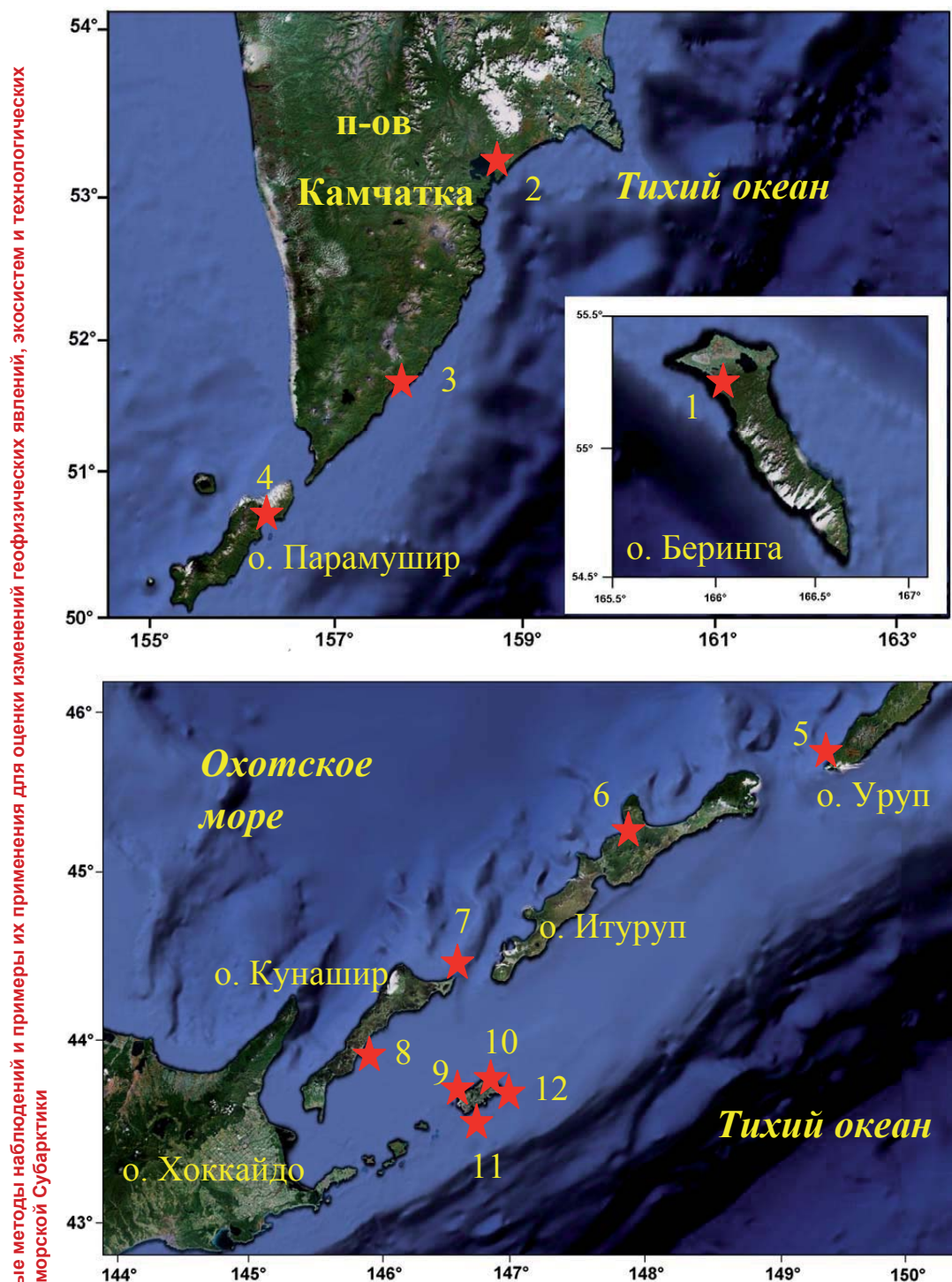
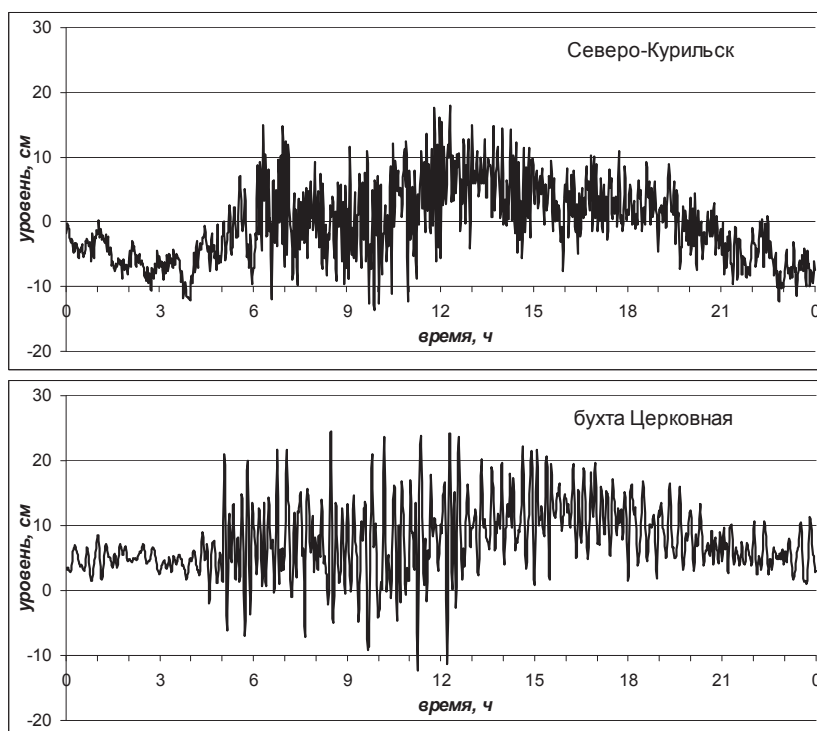


Рис. 1. Положение телеметрических регистраторов цунами (верхний рисунок, 1 – Никольское, 2 – Петропавловск-Камчатский, 3 – Водопадная, 4 – Северо-Курильск) и автономных станций ИМГиГ ДВО РАН (5 – м. Ван-дер-Линда, 6 – зал. Китовый, 7 – м. Ловцова, 8 – Южно-Курильск, бухты: 9 – Крабовая, 10 – Малокурильская, 11 – Церковная и 12 – Маячная) на тихоокеанском побережье России

Помимо автономных станций ИМГиГ, в конце 2009 г. быстрыми темпами развивается сеть телеметрических регистраторов Службы предупреждения о цунами (СПЦ), находящаяся в ведении Росгидромета. Если Самоа цунами в сентябре 2009 г. было зарегистрировано на одной станции в Северо-Курильске, в феврале 2010 г. Чилийское цунами было записано уже на 11 станциях, 4 из которых, расположенных, помимо упомянутой станции на о. Парамушир, на восточном побережье Камчатки и на о. Беринга, представляли наибольший интерес (см. рис. 1).

### АНАЛИЗ ЗАПИСЕЙ САМОА ЦУНАМИ

По данным Геологической службы США (USGS), землетрясение с моментной магнитудой  $M_w=8$  произошло 29 сентября в 17 часов 48 минут UTC в районе островов Самоа, его эпицентр находился в точке с координатами  $15.56^\circ$  ю. ш. и  $172.07^\circ$  з. д. на глубине 18 км. Это землетрясение вызвало значительное цунами, которое было зарегистрировано многими датчиками на побережье Тихого океана. Волнам цунами потребовалось около 10 часов, чтобы достигнуть побережья Курильской островной гряды, где были получены записи в бухтах Церковная, Маячная и Малокурильская (о. Шикотан), у м. Ловцова (о. Кунашир), в зал. Китовый (о. Итуруп) и м. Ван-дер-Линда (о. Уруп), а также в порту Северо-Курильска (о. Парамушир) (см. рис. 1). Отрезки записи за 30 сентября, полученные в Северо-Курильске и в бухте Церковная на различных флангах Курильской гряды приведены на *рисунке 2*.



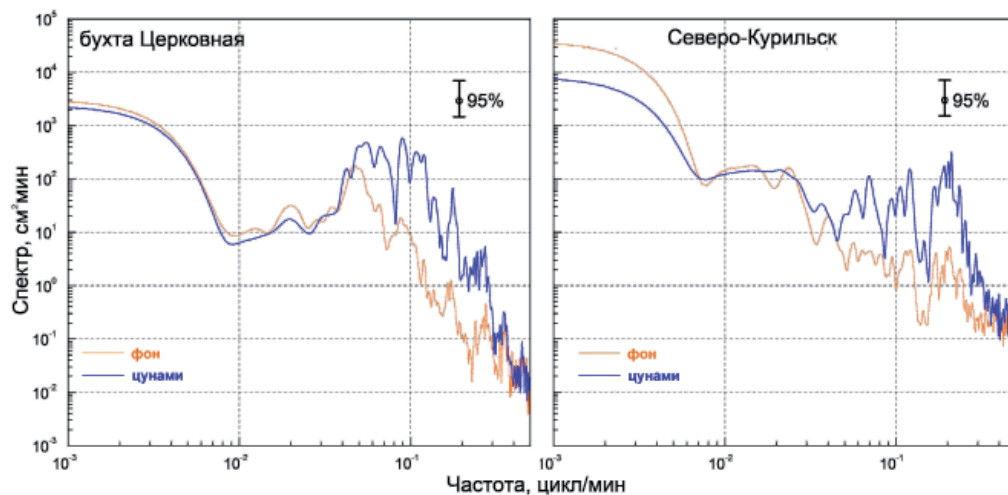
*Рис. 2. Непериодические колебания уровня моря 30 сентября 2009 г., содержащие Самоа цунами, зарегистрированные в порту Северо-Курильска (о. Парамушир) и бухте Церковная (о. Шикотан)*

В бухте Церковная, которая находится на океанском побережье острова, датчик был расположен достаточно далеко от входа в бухту, в мелководной протоке. Вероятно, поэтому первая волна проявилась недостаточно четко, и определить момент вступления цунами достаточно сложно. С уверенностью к цунами можно отнести положительный импульс высотой 21 см, отмеченный в 5:08. Максимальная волна (36 см) зафиксирована в 11:21, после 13:00 интенсивность колебаний стала плавно уменьшаться, и к 20:00 вышла на обычный уровень. Сходный характер колебаний наблюдался и на других станциях в южной части Курильской гряды, причем высоты волн, за исключением бухты Маячная, также расположенной на океанском побережье о.Шикотан, были меньше, чем в бухте Церковная.

Не менее сложна ситуация с определением момента вступления цунами в Северо-Курильске. Здесь, начиная с 4:40 UTC, зарегистрирован цуг волн с периодами около 12 мин и амплитудами 5–6 см, затем характер колебаний заметно изменился – амплитуда возросла до 15–20 см, а период, наоборот уменьшился. Максимальная высота волны отмечена в 10:54 и составила 25 см.

Характерными особенностями Самоа цунами были сравнительно небольшая интенсивность колебаний, их значительная продолжительность и большой временной сдвиг (около 3 часов) между моментами прихода первой и максимальной волн.

Для определения основных периодов проявления цунами рассчитывались спектры колебаний уровня моря по отрезкам суточной продолжительности, один из которых содержал цунами, а второй предшествовал ему и использовался для характеристики фоновых условий (*рис. 3*).



*Рис. 3. Спектры колебаний уровня моря в бухте Церковная и порту Северо-Курильска, рассчитанные по отрезкам суточной продолжительности за 30.09.2009 (цунами) и предшествующие ему (естественный длинноволновый фон)*

В бухте Церковная интенсивность колебаний увеличилась в диапазоне периодов от 4 до 20 мин. Последний отвечает нулевой моде собственных колебаний бухты, хотя в спектре естественного длинноволнового фона он несколько смещен влево. Другие резонансные пики, отвечающие периодам около 4, 6 и 11 мин, хорошо выражены как в обычных условиях, так и при цунами.



В Северо-Курильске Самоа цунами проявилось в диапазоне периодов от 3,5 до 20 мин, но наиболее значимым оно было на периодах около 5 мин (уровень энергии колебаний вырос более чем на 2 порядка), 8 и 16 мин. Периоды 8 и 16 мин и ранее отмечались в спектрах цунами на данной станции, в то время как пик с периодом 5 мин ранее не обнаруживался [Дущенко и др., 2003]. Возможно, его появление связано с проведением работ по реконструкции порта.

В целом, Самоа цунами на побережье Курильских островов проявилось главным образом в диапазоне периодов 5–20 мин. Это не очень характерно для удаленных цунами, которые обычно вызывают низкочастотные колебания, так как короткие волны быстро затухают при распространении на большие расстояния. Вероятно, именно с этим связаны сравнительно небольшие высоты данного цунами, хотя другое свойство цунами от удаленных источников – значительная продолжительность волнового процесса, в данном случае проявилось в полной мере. На большинстве станций существенную роль играли резонансные колебания, обусловленные особенностями рельефа дна и топографии береговой черты в районе расположения регистратора. Это типично для удаленных цунами – чем дальше датчик от источника, тем сильнее в спектрах колебаний выделяются пики, обусловленные локальными эффектами.

### ЧИЛИЙСКОЕ ЦУНАМИ 27 ФЕВРАЛЯ 2010 ГОДА

Второе зарегистрированное цунами было гораздо более опасным. Землетрясение с моментной магнитудой  $M_w=8,8$  (USGS) произошло в 06:34 UTC 27 февраля у берегов Чили. Эпицентр землетрясения находился в точке с координатами  $35,846^\circ$  ю. ш. и  $72,719^\circ$  з. д., глубина очага составила около 35 км. Это землетрясение вызвало волны цунами значительной высоты, которые представляли серьезную угрозу для большей части побережья Тихого океана. Это относилось и к такому удаленному от источника району, как дальневосточное побережье России. В этой связи вспоминается сильнейшее землетрясение 22 мая 1960 г., произошедшее полвека назад у побережья Чили, которое вызвало волны цунами высотой до 6–7 м на берегах Курильских островов и Камчатки.

Время распространения цунами от источника до дальневосточных берегов России составило около 21 часа, волны цунами вначале достигли Командорских островов, затем Камчатки и Северных Курил, существенно позже – южных Курильских островов. Первое вступление цунами было отмечено на станции Никольское (о. Беринга) 28 февраля в 3:15 UTC. Однако необычный для станций открытого побережья характер и малые амплитуды колебаний (максимальная высота волны 24 см) в данном пункте заставили отнестись к использованию этих материалов с осторожностью.

Гораздо более информативной для решения вопросов оперативного прогноза оказалась станция Водопадная на юго-восточном побережье Камчатки. Первая волна (положительный импульс высотой 34 см) зафиксирован здесь в 3:40, на 25 минут позже, чем в Никольском. Первая из волн с достаточно большой высотой (89 см) достигла этой станции спустя 1 час 25 мин, в 5:05. Максимальная волна была зафиксирована еще на 55 мин позже, ее высоты составила 118 см.

Еще одна станция, наблюдения на которой сыграли важную роль в работе СПЦ – Северо-Курильск. Регистратор длинных волн расположен в порту, который находится на берегу Второго Курильского пролива и удален от океанского побережья. Поэтому первая волна (также как и в Никольском, слабый положительный импульс) здесь отмечена в 04:28 UTC, на 48 минут позже, чем на станции Водопадная. После нескольких сравнительно слабых колебаний, в 8:20 UTC, то есть почти через четыре часа после вступления цунами, была зафиксирована волна с максимальной высотой 228 см (рис. 4). Это очень значительное запаздывание, по существовавшим нормативам СПЦ должна была выдать отбой тревоги цунами. Аналогичная ситуация возникла при регистрации Симуширского цунами 15 ноября 2006 г. в бухте Малокурильская (опасная волна была зафиксирована примерно через 3,5 часа после вступления) [Rabinovoch et al., 2008; Лобковский и др., 2009]. Наличие телеметрических регистраторов и возможность оперативного контроля развития волнового процесса в подвергающихся опасности районах в определенной мере снимает остроту данной проблемы.

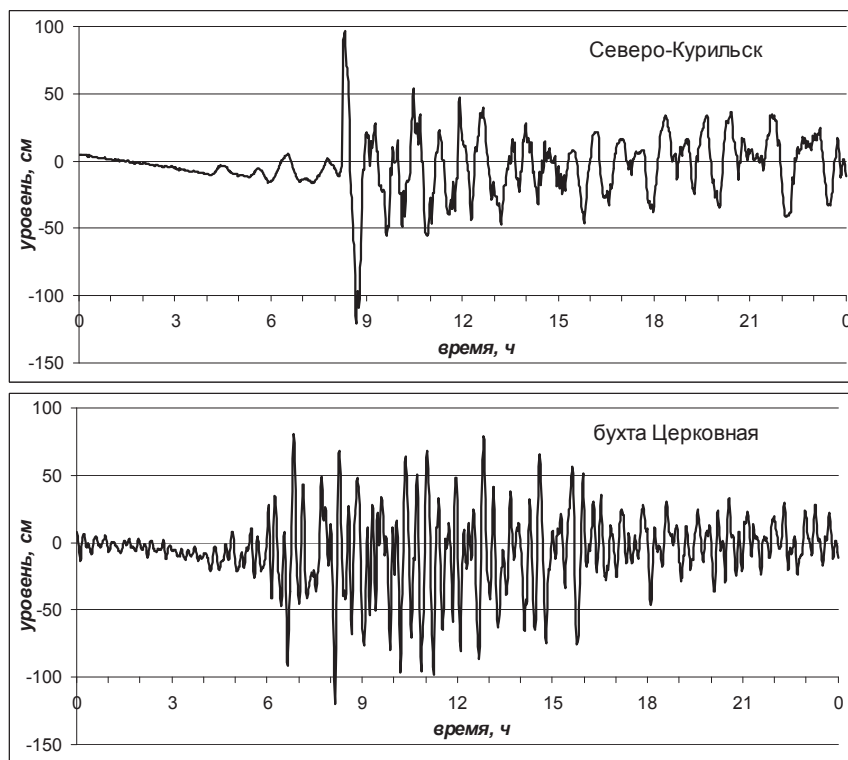


Рис. 4. Непериодические колебания уровня моря 28 февраля 2010 г., содержащие Чилийское цунами, зарегистрированные в порту Северо-Курильска (о. Парамушир) и бухте Церковная (о. Шикотан)

На южном фланге Курильской гряды телеметрические регистраторы еще не установлены, в настоящее время инструментальные данные о характере проявления цунами в данном районе можно получить только при помощи автономных станций ИМГиГ ДВО РАН после их подъема. Соответственно, в оперативных целях эти материалы не использовались.

В бухте Церковная момент прихода цунами также не сложно определить – в 4:53, практически в то же самое время зафиксирована волна с высотой 22 см (от подошвы до гребня). Интенсивные колебания с высотами волн более 1 м наблюдались до 16 часов, а на обычный уровень они не вышли до конца суток. Первое значительное колебание с высотой 165 см отмечено почти на два часа позже, в 6:50, а наибольшая волна с высотой 184 см – в 8:16. И если первая хорошо согласуется с результатами наблюдений на океанском побережье Хоккайдо [Ивельская и др., 2010], то вторая наблюдалась на Шикотане примерно на час раньше.

Расчет спектральных характеристик выявил в Северо-Курильске значительное возрастание энергии колебаний по сравнению с обычными условиями в диапазоне периодов от 5 мин до 2 часов, причем наиболее существенным оно было на периодах 45 и 60 мин (примерно 3,5 порядка) (рис. 5). Отметим, что в спектрах колебаний при других цунами, зарегистрированных в этом пункте, также отмечалось усиление в данном частотном диапазоне, наиболее сильное на часовом периоде [Дущенко и др., 2003].

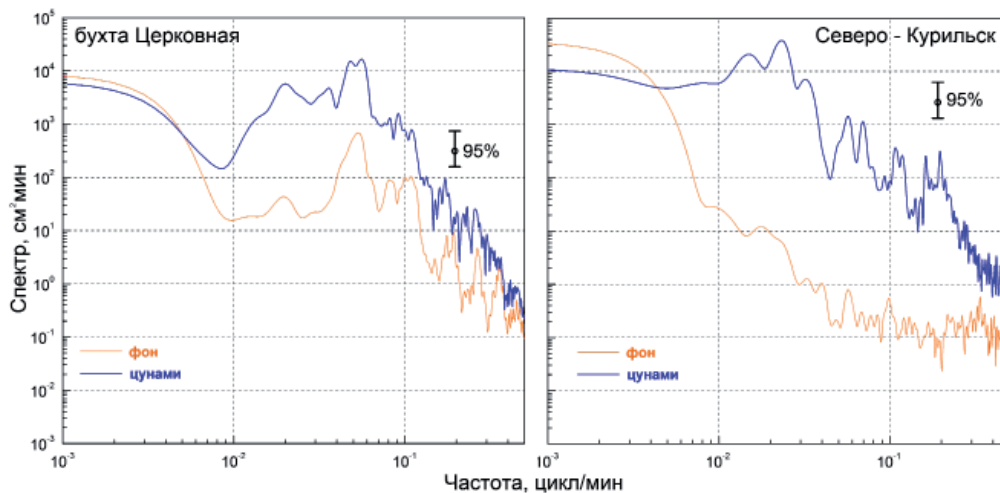


Рис. 5. Спектры колебаний уровня моря в бухте Церковная и порту Северо-Курильска, рассчитанные по отрезкам суточной продолжительности за 28.02.2010 (цунами) и предшествующие ему (естественный длинноволновый фон)

В бухте Церковная на океанском побережье о. Шикотан возрастание энергии началось с периода 3 мин, который отвечает собственной моде бухты. Но ни эта, ни другие высокочастотные моды, большой роли в формировании волнового поля при Чилийском цунами не сыграли – если в спектре естественного фона пики с периодами около 4 и 6 мин выражены хорошо, то при цунами они выделяются не так отчетливо. Четко выделяется пик на периоде основной моды (19 мин), причем можно отметить его расщепление, которое является характерной особенностью модулированного сигнала. Но наиболее значимое повышение спектральной плотности отмечено в низкочастотной области спектра, на периодах 30–80 мин, особенно – на периоде около 50 мин, на котором в спектре фона обнаруживается слабый максимум.

СЕКЦИЯ А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики

В целом, проведенный анализ показал, что Чилийское цунами, наблюдавшееся на дальневосточном побережье России 28 февраля 2010 г., проявилось в достаточно широком диапазоне периодов от 5 минут до двух часов. Причем главный максимум на всех станциях отмечен на периодах около 45–50 мин вне зависимости от того, являлся он резонансным для района регистрации или нет. Это указывает на то, что данные колебания обусловлены процессами в источнике цунами, в то время как максимумы на периодах 30 и 60 мин на Северных Курилах и на юго-восточном побережье Камчатки связаны с резонансными свойствами прилегающего шельфа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате развития на Курильских островах сети телеметрических регистраторов Службы предупреждения о цунами Росгидромета и автономных станций ИМГиГ ДВО РАН зарегистрированы волны от одного близкого и нескольких удаленных землетрясений. Получена важная информация об особенностях проявления цунами – различием между моментами прихода первой и максимальной волн (достигает 3–4 часов), длительности и преобладающих периодах аномальных колебаний.

Во всех случаях высокая интенсивность обусловленных цунами колебаний сохранялась продолжительное время – 16–18 часов. Выявлено, что два удаленных цунами сильно различались по диапазону периодов – в случае землетрясения у островов Самоа преобладали сравнительно короткие волны с периодами менее 20 мин. При более сильном Чилийском цунами наиболее значимое возрастание энергии колебаний отмечено на периодах 30–80 мин.

Такое различие в характере проявления цунами может быть объяснено направленностью излучения в источнике. Влиянием данного фактора при удаленных землетрясениях обычно пренебрегают, что, как показывают приведенные примеры, не всегда оправдано.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-05-00591-а.

## ЛИТЕРАТУРА

Душенко П. В., Ивельская Т. Н., Шевченко Г. В. Опыт использования телеметрических регистраторов уровня моря в службе предупреждения о волнах цунами // Вестник КРАУНЦ, серия «Науки о Земле». 2003. № 2. С. 95–107.

Дыхан Б. Д., Жак В. М., Куликов Е. А., Лаппо С. С., Митрофанов В. Н., Поплавский А. А., Родионов А. В., Соловьев С. Л., Шишкин А. А. Первая регистрация цунами в открытом океане // Докл. АН СССР. 1981. Т. 257. № 5. С. 1088–1092.

Жак В. М., Соловьев С. Л. Дистанционная регистрация слабых волн типа цунами на шельфе Курильских островов // Докл. АН СССР. 1971. Т. 198. № 4. С. 816–817.

Ивельская Т. Н., Храмушин В. Н., Шевченко Г. В. Чилийское цунами 27 февраля 2010 года: проверка состояния службы предупреждения // Проблемы анализа риска. 2010. Т. 7, № 2. С. 34–47.

Левин Б. В., Кайстренко В. М., Рыбин А. В., Носов М. А., Пинегина Т. К., Разжигаяева Н. Г., Сасорова Е. В., Ганзей К. С., Ивельская Т. Н., Кравчуновская Е. А., Колесов С. В., Евдокимов Ю. В., Бурджуа Д., Макиннесс Б., Фицхью Б. Проявления цунами 15.11.2006 г. на Центральных Курильских островах и результаты моделирования высот заплесков // ДАН. 2008. Т. 419, № 1. С. 118–122.



МАТЕРИАЛЫ ПЕРВОЙ ОТКРЫТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
(Южно-Сахалинск, Россия, 5–6 апреля 2011 г.)

Левин Б. В., Чернов А. Г., Шевченко Г. В., Ковалев П. Д., Ковалев Д. П., Куркин А. А., Лихачева О. Н., Шишкин А. А. Первые результаты регистрации длинных волн в диапазоне периодов цунами в районе Курильской гряды на разнесенной сети станций // Доклады Академии наук. 2009. Т. 427, № 2. С. 239–244.

Лобковский Л. И., Куликов Е. А., Рабинович А. Б., Иващенко А. И., Файн И. В., Ивельская Т. Н. Землетрясения и цунами 15 ноября 2006 г. и 13 января 2007 г. в районе Средних Курил: оправдавшийся прогноз // Океанология. 2009. Т. 49, № 2. С. 166–181.

Шевченко Г. В., Ковалев П. Д., Богданов Г. С., Шишкин А. А., Лоскутов А. А., Чернов А. Г. Регистрация цунами у берегов Сахалина и Курильских островов // Вестник ДВО. 2008. № 6. С. 23–33.

Kaistrenko V., Sedaeva V. 1952 North Kuril Tsunami: New Data from Archives // Tsunami Research at the End of a Critical Decade. Ed. By G.T.Hebenstreit. 2001. P. 91–102.

Van Dorn W. G. Some tsunami characteristics deducible from tide records // J. Phys. Oceanogr. 1984. Vol. 14. P. 353–363.

Rabinovich A. B., Lobkovsky L. I., Fine I. V., Thomson R. E., Ivetskaya T. N., and Kulikov E. A. Near-surface observations and modeling of the Kuril Islands tsunamis of 15 November 2006 and 13 January 2007 // Advances in Geosciences. 2008. Vol. 14. P. 105–116.

СЕКЦИЯ А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики

Т. Н. Ивельская<sup>1</sup> (T\_Ivelskaya@sakhugms.ru),  
Г. В. Шевченко<sup>2</sup> (shevchenko@imgg.ru)

<sup>1</sup>Центр цунами Сахалинского управления по гидрометеорологии и мониторингу среды (Южно-Сахалинск, Россия); <sup>2</sup>Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН (Южно-Сахалинск, Россия)

## Цунами 11 марта 2011 года на тихоокеанском побережье России

### ВВЕДЕНИЕ

Цунами, вызванное сильнейшим землетрясением 11 марта 2011 г. у северо-восточного побережья японского острова Хонсю, вызвало колоссальные разрушения и многочисленные человеческие жертвы на побережье Санрику (цунами названо по названию города Тохоку, одному из наиболее пострадавших от стихийного бедствия). Оно также значительно проявилось и на тихоокеанском побережье России. Прежде всего это относится к островам Курильской гряды. Для расположенных на них населенных пунктов была объявлена тревога цунами. Через Сангарский пролив волны цунами проникли в Японское море и вызвали интенсивные колебания уровня моря в крупнейших портах Приморья – Владивостоке и особенно в Находке.

Цунами было зарегистрировано глубоководными датчиками DART, два из которых находятся вблизи Курильской гряды, а также многочисленными телеметрическими регистраторами, установленными на береговых гидрометеорологических станциях Дальневосточного региона России. Это позволяет исследовать моменты прихода первой и максимальной волн, преобладающие периоды и продолжительность колебаний на различных участках побережья, оценить влияние параметров источника и локальной топографии в формировании волнового поля.

В данной работе приведены результаты анализа материалов инструментальных измерений Тохоку цунами на российском побережье, а также кратко изложена хронология действий Российской Службы предупреждения о цунами (СПЦ).

### СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ И ЦУНАМИ

По оценкам геологической службы США, землетрясение с магнитудой  $M=9,0$  произошло 11 марта 2011 г. в 5:46:23 UTC, его эпицентр находился в точке с координатами  $38,322^\circ$  с. ш. и  $142,369^\circ$  в. д. (в 129 км к востоку от города Сендай) на глубине около 32 км. Цунами с высотами до 12–15 м (в отдельных местах до 20 м) обрушилось на северо-восточное побережье о. Хонсю, где были разрушены многочисленные населенные пункты и погибло более 20 тысяч человек (точное число жертв еще не установлено).

Последнее катастрофическое цунами имело здесь место в результате сильного землетрясения с магнитудой  $M=8,4$ , произошедшего 3 марта 1933 г. Тогда погибло около 3 тыс. человек, было разрушено около 6 тыс. строений и потоплено около 12 тыс. судов и лодок [Соловьев, Го, 1974]. В наибольшей степени пострадали прибрежные населенные пункты провинции Iwate, высоты цуна-

ми здесь составляли 12–14 м, а максимальная высота достигала 29 м. Немного меньше были высоты волн на побережье провинции Miyagi – в различных пунктах они достигали 8–12 м, максимальное значение составило 21 м. В некоторых пунктах других провинций также наблюдались катастрофические волны – Hirota (19,5 м), Nezaki (26,7 м) и т. д.

Приблизительно такие же высоты волн на побережье Санрику наблюдались и в 1611 г. Это говорит о чрезвычайно высокой степени опасности цунами в данном районе, и плотное его заселение в последние годы проводилось без учета данного обстоятельства. Вероятно, именно недооценка степени опасности явилась причиной беспрецедентных жертв (несмотря на безукоризненную работу японской СПЦ и необычайной подготовленности и организованности населения), а также значительного материального ущерба.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦУНАМИ ПО ДАННЫМ ГЛУБОКОВОДНЫХ СТАНЦИЙ DART

В ноябре 2010 г. Российская служба предупреждения о цунами приобрела и установила в открытом океане напротив о. Итуруп глубоководный регистратор длинных волн (под номером 21401), предназначенный для раннего обнаружения цунами. Таким образом, отечественная СПЦ была включена в сеть донных станций DART, передающих информацию о колебаниях уровня в реальном времени по спутниковым каналам связи. В настоящее время эта сеть охватывает всю акваторию Тихого океана.

Рассмотрим записи цунами, полученные на глубоководных станциях, которые расположены в северо-западной части Тихого океана, вблизи острова Хонсю и Курильской гряды (*рис. 1*). На станциях 21401 и 21419 были получены качественные материалы, на станции 21418 было некоторое число одиночных сбоев, которые исправлялись в режиме ручной проверки, на станции 21416 данные были низкого качества и в данной работе они не использовались. Анализировались отрезки продолжительностью 20 часов (с 04:00 до 24:00), причем из измеренных значений уровня вычитался предвычисленный прилив. На всех датчиках был отмечен сходный характер колебаний (*рис. 2*) – вначале мощная одиночная волна, затем продолжительные вариации уровня гораздо меньшей интенсивности, амплитуда которых не превышала 10 см.

Во всех случаях наблюдались высокочастотные колебания до прихода главной волны – это типично для регистраторов придонного гидростатического давления, которое изменяется при колебаниях морского дна во время прохождения сейсмических поверхностных волн (волн Рэлея). На самый близкий к очагу землетрясения датчик 21418 волна цунами пришла в 6:11 UTC, основной максимум отмечен в 6:19 (отклонение от нулевого среднего уровня составило 187 см). В отличие от теории ветровых волн, при изучении цунами обычно оценивают не размах колебания от подошвы до гребня, а прежде всего величину положительного отклонения, так как именно с ним связаны дальность проникновения цунами и характер его воздействия на берега и прибрежные населенные пункты. Отрицательная фаза также важна (максимальное отклонение – 94 см в 6:26), так с ней связаны динамические нагрузки при откате волны, но обычно ее рассматривают отдельно.

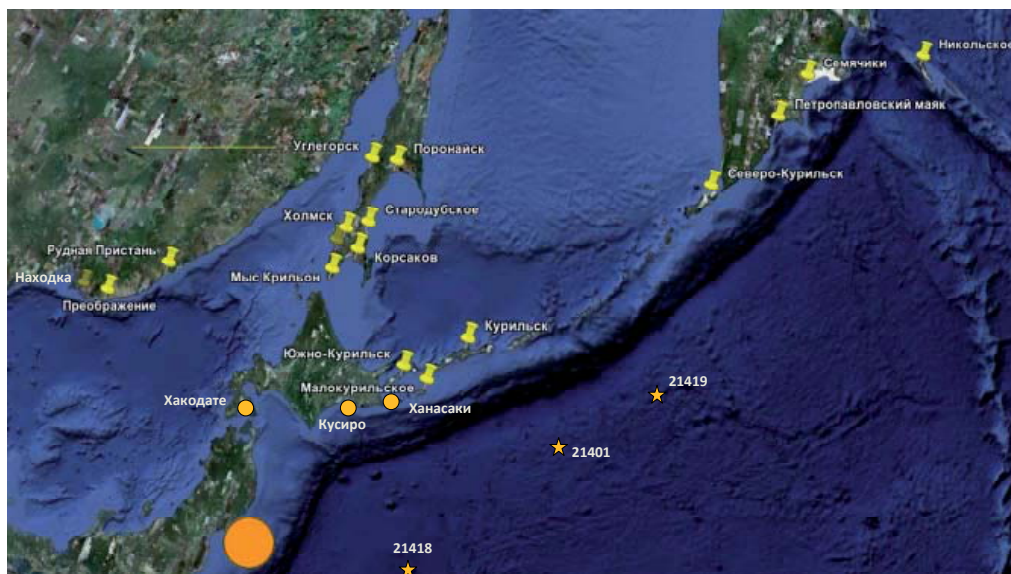


Рис. 1. Схема расположения телеметрических регистраторов Службы предупреждения о цунами на побережье Дальневосточного региона России (отмечены кнопками), на которых были получены записи цунами. Звездочками отмечены глубоководные станции DART, кружками – береговые измерители Японии, большим кружком показано положение эпицентра Великого Японского (Тохоку) землетрясения 11 марта 2011 г.

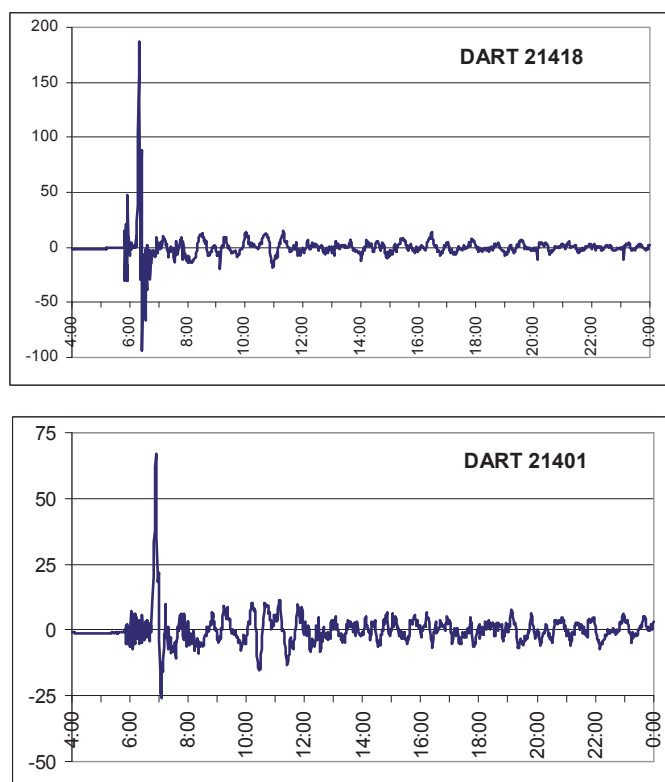
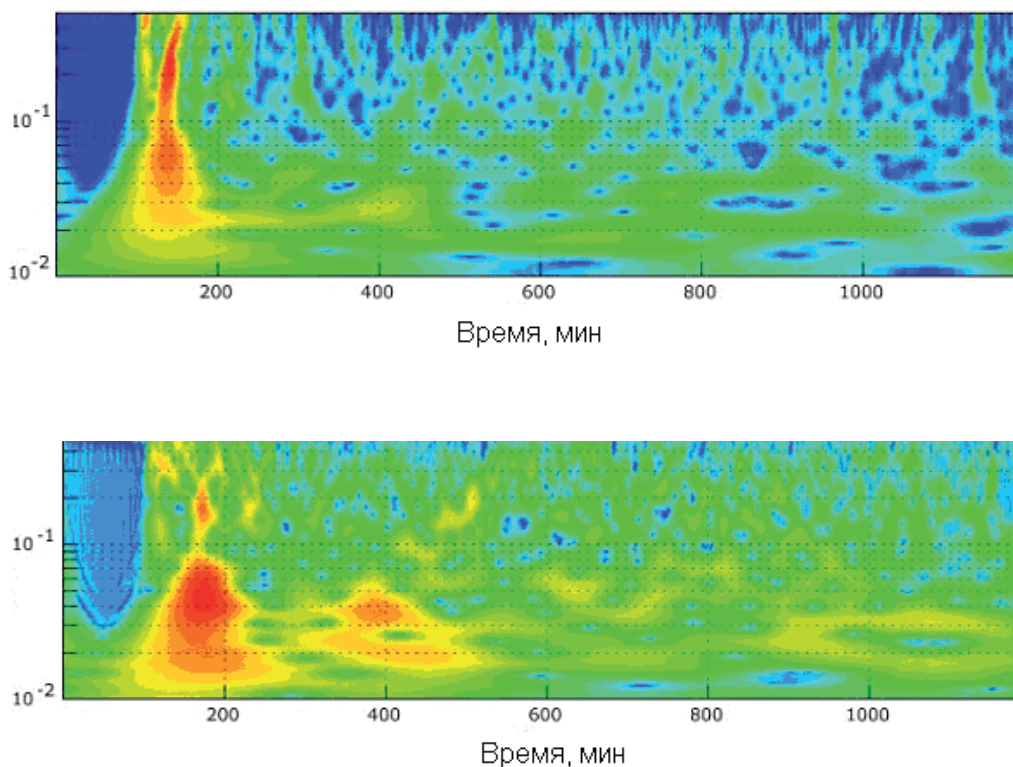


Рис. 2. 20-часовые отрезки записи Тохоку цунами 11.03.2011 г на глубоководных станциях DART, расположенных в северо-западной части Тихого океана



На DART 21401, установленный за пределами глубоководного желоба в районе о. Итуруп, цунами пришло существенно позже, в 6:43. Максимальная высота волны (+67 см) отмечена в 6:53, наибольшее отрицательно отклонение (–26 см) зафиксировано в 7:04. Именно в это время волна достигла наиболее удаленной станции 21419, которая располагается в районе средних Курильских островов. Максимальное положительное отклонение (54 см) здесь наблюдалось в 7:16, отрицательное (–26 см) – в 7:26. Это указывает на плавное уменьшение амплитуды волны по мере удаления от источника, что обычно связано с увеличением протяженности волнового фронта.

Для изучения основных периодов колебаний, вызванных цунами, применялась методика спектрально-временного анализа (СВАН), которая является одной из разновидностей wave-let анализа. Эта методика, предназначенной для изучения изменений спектральных амплитуд во времени и разработанная для сейсмических сигналов [Dzienovski et al., 1969; Ландер и др., 1972], успешно применяется при анализе записей цунами [Куликов, Гонзалес, 1995]. Расчет производился для диапазона периодов от 2 до 100 мин (частоты от 0,5 до 0,01 цикл/мин), матрица спектральных амплитуд нормировалась на значение 30 см для датчика 21418 и 10 см для двух других. Результаты расчетов представлены на *рисунке 3*.



*Рис. 3. Спектрально-временные диаграммы колебаний уровня моря на глубоководных станциях DART 21481 и 21401. По горизонтальной оси отложено время в мин, по вертикальной – частота в цикл/мин. Спектры нормированы на значение амплитуды 30 см для станции 21318 и 10 см для двух других, изолинии проведены через 1 децибел*

Обращает внимание определенное различие в спектральных характеристиках на разных станциях. Так, на DART 21418 сигнал был в целом существенно более высокочастотным, главный максимум приходится на периоды 6–8 мин, можно выделить и второй, на периодах 15–20 мин. Также следует отметить выраженную волновую дисперсию – высокочастотные колебания запаздывают по сравнению с более длиннопериодными составляющими. Подобные эффекты практически невозможно выявить на прибрежных станциях из-за сильного влияния отражений и преломлений волн в зоне переменной глубины и при наличии отражающей береговой границы. В открытом океане эти тонкие эффекты в некоторых случаях проявляются весьма четко.

СВАН-даigrams, рассчитанные по наблюдениям на датчиках 21401 и 21419, практически идентичны, и в целом по сравнению с DART 21418, на них преобладали более низкочастотные колебания. Так, главный максимум приходился на периоды 20–30 мин, заметная энергия отмечена в низкочастотной части спектра, на периодах 50–80 мин.

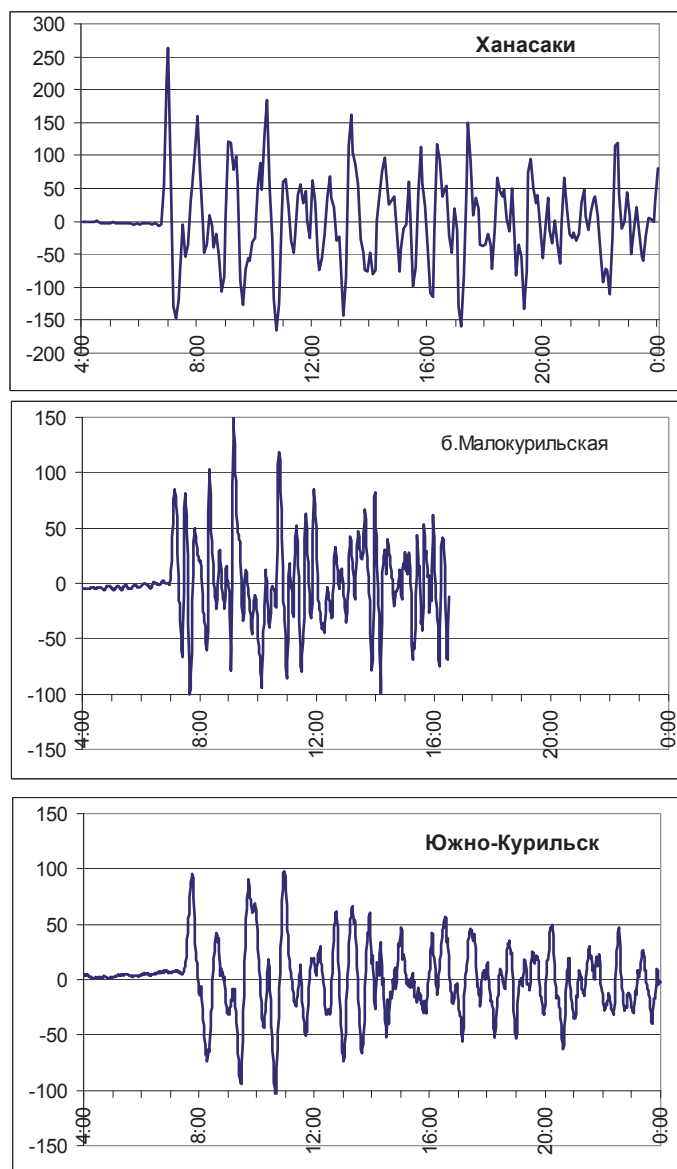
Такое существенное различие в характере распределения энергии типично для цунами и является следствием вытянутости источника – в направлении большой оси очага распространяются более длинные, а малой – более короткие волны. Данный пример является одним из наиболее ярких подтверждений такого правила.

### ИЗМЕРЕНИЯ ЦУНАМИ БЕРЕГОВЫМИ РЕГИСТРАТОРАМИ

Волны цунами, которые распространялись в сторону южных Курильских островов, были вначале зафиксированы на станциях Кусиро и Ханасаки в северо-восточной части о. Хоккайдо (см. рис. 1). Доступные данные измерений имеют дискретность 5 мин, что не позволяет определить момент вступления цунами и высоты волн с необходимой точностью.

В порту Ханасаки (рис. 4), в отличие от расположенных в более закрытых акваториях российских регистраторов, явно выделялась первая волна (+264 см, от ее удара погибло 2 человека), после чего амплитуда колебаний плавно спадала. Понижение уровня в первой волне также было значительным (–147 см в 7:15), таким образом, высота волны от подошвы до гребня превысила 4 м. Последняя волна с амплитудой более 1 м была зафиксирована в самом конце суток, в 23:30, а 12 марта наблюдались сравнительно слабые волны с амплитудами 40–50 см.

На южных Курильских островах в настоящее время имеется три береговых телеметрических регистратора СПЦ – в Малокурильском, Южно-Курильске и Курильске, при этом станция в бухте Малокурильская не работала из-за технической неисправности. Запись берегового самописца уровня моря оборвалась в 16:30 UTC из-за того, что в аппарате закончились чернила. Правда, наиболее интересная часть вызванных цунами колебаний была, по-видимому, записана. Лента мареографа была оцифрована с дискретностью 1 мин, полученные данные использовались для статистического и спектрального анализа. На рисунке 4 представлены графики 20-часовых отрезков непериодических колебаний уровня моря на указанных станциях.



**Рис. 4.** Записи Тохоку цунами 11.03.2011 г на береговых станциях на северо-восточном побережье о. Хоккайдо и южных Курильских островах

В бухту Малокурильская цунами пришло в 6:50 мин UTC, что лишь на 7 мин позже, чем на DART 21401. Это говорит о том, что при источнике цунами, расположенном на материковом склоне у тихоокеанского побережья Японии, глубоководный регистратор не обеспечивает заметного выигрыша во времени для подачи тревоги цунами. Более существенным этот выигрыш может быть при землетрясениях в районе Курильской гряды, Камчатки или в более удаленных сейсмоактивных зонах Тихого океана. В конкретных условиях цунами 11 марта, эта станция сыграла важнейшую роль в работе СПЦ, особенно с учетом того обстоятельства, что телеметрический датчик в бухте Малокурильская не работал.

Первая волна в данной акватории была достаточно мощной, положительное отклонение составило 84 см (зафиксировано в 7:09), а отрицательное –67 см в 7:24. Максимальная высота волны отмечена на два часа позже, в 9:09, ее высота составила 150 см, значительное понижение уровня наблюдалось на несколько минут раньше, таким образом, размах колебания от подошвы волны до ее гребня составил 2,3 м.

В Южно-Курильске, несмотря на сравнительно небольшую удаленность от рассмотренного выше бассейна, характер волнового процесса при цунами был заметно иным, прежде всего за счет преобладания более низкочастотных вариаций. Значительная роль колебаний с периодами 80–90 мин на станции Ханасаки и на южных Курильских островах обусловлена усилением отмеченной на глубоководной станции 21401 низкочастотной компоненты на протяженном мелководном шельфе в данном районе [Ивельская, Шевченко, 2006].

Волновой фронт достиг этой станции в 7:26, первый значительный максимум (95 см) отмечен в 7:45, последовавший за ним минимум (74 см) был зафиксирован в 8:17. Наибольший размах колебаний наблюдался значительно позже, экстремально низкий уровень (–103 см) в 10:39, максимально высокий (98 см) – в 10:57. В целом спадание энергии колебаний в Южно-Курильской бухты было медленным, вариации с амплитудой около 50 см продолжались до конца суток.

Интересно сравнить материалы береговых регистраторов с глубоководной станцией, находившейся на материковом склоне вблизи о. Итуруп. Только на станции Ханасаки есть определенное сходство с неискаженным шельфовыми и береговыми эффектами сигналом в открытом океане, главным образом это относится к форме первой волны. На остальных станциях влияние локального рельефа настолько велико, что обнаружить хоть какое-то сходство не представляется возможным. Это подчеркивает то существенное влияние, которое оказывают особенности донного рельефа в области резких изменений глубины океана на характер распространения цунами. Данный фактор во многих случаях недооценивается.

В Северо-Курильске за день до цунами телеметрический регистратор был отключен для проведения профилактического ремонта, и был включен утром 12 числа, и несмотря на это была зафиксирована волна с высотой более 80 см.

Четкие записи цунами были получены на южном и юго-восточном побережье о.Сахалин, в потах Корсаков, Поронайск и Стародубское, максимальный размах колебаний на этих станциях составлял от 70 до 90 см. .

Цунами было также зарегистрировано на береговых регистраторах Приморья (Находка, б. Преображения, Рудная Пристань) и западного побережья Сахалина (Невельск, Холмск, Углегорск). Определение моментов вступления цунами на этих станциях оказалось весьма сложной задачей, так как интенсивность связанных с ним колебаний была сравнительно невелика, а за несколько часов до его прихода уровень длинноволнового шума возрос, скорее всего, из-за ухудшения погодных условий. Наибольший размах колебаний (около 45 см) отмечен в бухте Преображения, чуть меньше он был в бухте Находка, на других станциях, расположенных севернее, интенсивность колебаний была меньше.



## ХРОНОЛОГИЯ ДЕЙСТВИЙ САХАЛИНСКОЙ СПЦ В ХОДЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ЦУНАМИ 11–12 МАРТА 2011 ГОДА

11 марта 2011 г. в 15:48 сахалинского (далее, по тексту, время местное) времени Информационно-обрабатывающим Центром (ИОЦ) «Южно-Сахалинск» было зарегистрировано сильное землетрясение у северо-восточного побережья о. Хонсю. Магнитуда землетрясения составила 8.5; координаты 38,5 с. ш., 142,5 в. д. Землетрясение ощущалось на Шикотане и Кунашире, в Малокурильском – силой 3 балла, в Южно-Курильске – 4.

После получения в 15:50 от дежурного сейсмолога сообщения о регистрации сильного цунамигенного землетрясения вблизи острова Хонсю, дежурная смена ЦУКС МЧС России по Сахалинской области была переведена в «Готовность № 1».

В 15:49 была получена телеграмма, выпущенная Японским метеорологическим агентством (JMA), с параметрами землетрясения и информацией об объявленной тревоге цунами для всего Тихоокеанского побережья Японии, о-вов Нанси и для западного побережья северной Японии.

В 15:58 – от ИОЦ «Южно-Сахалинск» получено сообщение об объявлении тревоги цунами по всем Курильским островам без параметров землетрясения. В 15:58 начато оповещение населения, попадающего в зону воздействия волны цунами. Оповещение проводилось РАСО Сахалинской области путем запуска 4 электросирен и 32 динамиков, выводом заставки на телевизионном канале области и привлечением автомобилей УВД с громкоговорящими устройствами. Нормативное время оповещения населения 10 минут, фактическое время оповещения составило 7 минут. С началом оповещения начался вывод местного населения на безопасные участки. Судам, находящимся на рейде и у пирсов, рекомендовано уйти в безопасную зону. В это же время начали работу оперативные группы пожарных гарнизонов попадающих в зону возможного воздействия волн цунами. В связи с угрозой взлома ледового припая при прохождении волны цунами был произведен отзыв со льда рыбаков-любителей по побережью острова Сахалин

Был выполнен расчет времен добегания цунами и высот волн. Расчетное время подхода волн цунами к пунктам Курильских островов составило: Малокурильское – 7:53; Южно-Курильск 8:41; Буревестник 8:08 и Северо-Курильск 9:29 (время UTC).

В 7:01 дежурный океанолог получил первые сведения о начале регистрации изменения уровня моря на японских станциях (Kamaishi, Ofunato) – понижении уровня на 10–20 см. Через полчаса после землетрясения стали поступать данные японских приливных станций о регистрации сильного цунами с амплитудой 3–4 м.

В 7:43 российской глубоководной станцией зарегистрирована волна цунами с амплитудой 67 см, до подхода волны к о. Шикотан.

В 8:15 от начальника ГМС Малокурильское С. Б. Шепелевой поступило сообщение о том, что в бухте наблюдается движение льда (через 32 мин после регистрации цунами российской глубоководной станцией) и повышение уровня до полуметра.

Начиная с этого момента стали поступать сведения о наблюдениях на Курильских островах, как инструментальных от автоматических постов на-

блюдения за уровнем моря в режиме реального времени, так и визуальных (от оперативного дежурного ЦУКС МЧС России по Сахалинской области). В частности, по наблюдениям в бухте Касатка (о. Итуруп), высота волны составила около 2 м, в бухте Малокурильская – 3 м. Кроме этого, четкое вступление цунами было зарегистрировано на АП Камчатки, Приморья, Сахалина. Поступила информация о регистрации колебаний с размахом до 1 м (от подошвы до гребня) и в бухте Нагаево (Магадан).

Колебания до метра и выше, вызванные цунами, наблюдались 12 марта, поэтому продолжительность действия тревоги цунами составила около 20 часов, и отбой тревоги цунами для всех Курильских островов был выпущен в 12:20 сахалинского времени (3:20 UTC). В 06:36 Тихоокеанским центром выпущен отбой тревоги цунами для всех стран тихоокеанского бассейна, Японским метеорологическим агентством отбой тревоги цунами для Японии был выпущен 13 марта в 08:58.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализирован обширный материал инструментальных измерений Тохоку цунами 11 марта 2011 г., полученных на глубоководных и прибрежных регистраторах в Дальневосточном регионе России. Наглядно показана огромная разница между сигналом в открытом океане (мощные одиночные импульсы и последующие сравнительно слабые вариации) и в прибрежной зоне, где наблюдались продолжительные интенсивные колебания, и лишь на одной станции Ханасаки первая волна была максимальной. Характер колебаний вблизи берега главным образом определялся влиянием локальной топографии в районе измерений, главным образом резонансными свойствами бухт, общие свойства, обусловленные процессами в очаге цунами, проявлялись слабее.

В результате анализа данных глубоководных станций выявлено, что на восток, в сторону открытого океана, распространялись более короткие (главные максимумы 6–8 и 15–20 мин), а в сторону Курильской гряды – более длинные волны, главный максимум приходился на периоды 25–30 мин, заметная энергия была отмечена в низкочастотной части спектра, на периодах 50–80 мин. Низкочастотная компонента заметно усилилась на протяженном шельфе Малой Курильской гряды и играла важную роль в формировании цунами на станциях Ханасаки, Малокурильское и Южно-Курильск.

## ЛИТЕРАТУРА

- Ивельская Т. Н., Шевченко, Г. В. Усиление низкочастотной компоненты чилийского цунами (май, 1960 г.) на северо-западном шельфе Тихого океана // Метеорология и гидрология. 2006. № 2. С. 69–81.
- Куликов Е. А., Гонзалес Ф. Восстановление формы сигнала цунами в источнике по измерениям колебаний гидростатического давления удаленным донным датчиком // Докл. РАН. 1995. Т. 344, № 6. С. 814–818.
- Ландер А. В., Левшин А. Л., Писаренко В. Ф., Погребинский Г. А. О спектрально-временном анализе колебаний // Вычислительные и статистические методы интерпретации сейсмологических данных. М., 1973. С. 3–27. (Вычислительная сейсмология; Вып. 6).
- Соловьев С. Л., Го Ч. Н. Каталог цунами на западном побережье Тихого океана. М.: Наука, 1974. 310 с.
- Dzienovski A., Bloch S. and Landisman M. Technique for the analysis of transient seismic signals // Bull. Seism. Soc. Am. 1969. Vol. 59. P. 427–444.

**Р. А. Лоусон (R. A. Lawson)<sup>1</sup> (robert.a.lawson@saic.com), Д. Грэхем (D. Graham)<sup>1</sup>,  
С. Сталин (S. Stalin)<sup>2</sup>, К. Мейниг (C. Meinig)<sup>2</sup>, Д. Тагава (D. Tagawa)<sup>2</sup>,  
Н. Лоуренс-Славас (N. Lawrence-Slavas)<sup>2</sup>,  
Р. Хиббинс (R. Hibbins)<sup>3</sup>, Б. Ингэм (B. Ingham)<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Международная корпорация прикладных наук (Сан-Диего, Калифорния, США; Science Applications International Corporation); <sup>2</sup>Тихоокеанская лаборатория морской среды, Национальное управление по изучению океана и атмосферы (Сиэтл, штат Вашингтон, США; Pacific Marine Environmental Laboratory, National Oceanic and Atmospheric Administration); <sup>3</sup>Австралийское бюро метеорологии (Мельбурн, Виктория, Австралия).

## **От исследований к коммерческой эксплуатации: легкий в установке буй предупреждения цунами нового поколения**

В настоящем документе рассматривается переход от научных исследований к коммерческой эксплуатации системы по предупреждению цунами нового поколения. В течение последних пяти лет Тихоокеанская лаборатория морской среды (PMEL) при Национальном управлении по изучению океана и атмосферы (NOAA) разработала систему легких в установке (ETD) глубоководных буйев для предупреждения и регистрирования цунами (DART®) нового поколения. На основании соглашения о передаче технологии и лицензии, Международная корпорация прикладных наук (SAIC) выпустила первую коммерческую систему ETD DART® по чертежам PMEL. Система SAIC ETD DART® была дислоцирована на северо-востоке от Австралии в Коралловом море 27 августа 2010, с тех пор она оповестила о нескольких маленьких цунами и о цунами Хонсю (Honshu). По своей конструкции, ETD DART® обеспечивает значительные экономические преимущества по сравнению со стандартными системами по предупреждению цунами. Современные системы буйев по предупреждению цунами требуют больших, специализированных судов и несколько обученных специалистов для установки. ETD DART® предназначена для установки при помощи кораблей быстрого реагирования, таких, как коммерческие рыболовецкие судна, требует меньшего количества квалифицированного персонала и сама установка занимает несколько минут. ETD состоит из модульного самоустанавливающегося буя, блока регистратора давления у дна (BPR), и системы постановки на якорь. SAIC ETD DART была признана полностью работоспособной и теперь является важной новой технологией для поддержки всемирной сети обнаружения цунами.

### **I. ВВЕДЕНИЕ**

Начиная с цунами 2004 г., целью программы «Буи для предупреждения цунами» (STB) Международной корпорации прикладных наук (SAIC) было производство экономически доступной, полностью работоспособной системы по предупреждению цунами, построенной в соответствии со стандартами [1] опубликованными NOAA и которая соответствовала бы строгим требованиям к испытаниям клиента. До конца 2007 г. единственной действующей в режиме реального времени системой по предупреждению цунами, являлась система глубоководных буйев по предупреждению и регистрированию цунами (DART®<sup>1</sup>), которая была разработана тихоокеанской лабораторией морской среды (PMEL), лабораторией научных исследований и разработок NOAA по развитию в области наблюдения и моделирования цунами. В 2007 г. команда STB успешно завершила годовое испытание на море, и данные были независимо оценены NOAA [2] на предмет их соответствия эксплуатационным ха-

<sup>1</sup> DART® и логотип DART® являются зарегистрированными торговыми марками Национального управления по изучению океана и атмосферы, используется с разрешения владельца.

рактическим характеристикам установленных для системы глубоководных буев по предупреждению и регистрированию цунами (DART® II). Сегодня SAIC единственная коммерческая компания с лицензией PMEL на промышленное производство систем буев для предупреждения цунами на основе DART®.

В течение последних пяти лет PMEL продолжало вкладывать средства в развитие нового поколения технологии по предупреждению цунами под названием Легкий в Установке (ETD) Буй DART® [<http://www.pmel.noaa.gov/pico/>]. ETD DART® является переработанным DART®, которая включает в себя ряд технических усовершенствований для повышения прочности, снижения производственных расходов, и значительного уменьшения затрат на установку. В течение последних нескольких лет PMEL проводила около 15 установок системы, в том числе установки в сложных условиях залива Аляска и Тасманова моря. Системы PMEL ETD DART® были установлены на длительное время в Тасмановом море и бассейне Фиджи для совместных испытаний совместно с Австралийским бюро метеорологии (AUS-BOM). AUS-BOM был ключевым партнером во время этих проектно-конструкторских работ, они информировали о благоприятных условиях для установки систем, предоставляли обмен данными и оперативную обратную связь с этими прототипами системы ETD DART®.

Во время двухлетнего испытания на прочность в 2007 г., PMEL провела одновременную проверку работоспособной системы DART® II у побережья Гавайских островов. ETD DART® прошел те же эксплуатационные испытания и с теми же рабочими характеристиками что и STB во время их независимых испытаний. ETD DART® соответствовала или превышала эксплуатационные качества и рабочие характеристики DART® по всем параметрам, включая измерения маленьких цунами [3]. В 2010 г. SAIC выпустила первые три системы ETD DART® для коммерческой эксплуатации на базе лицензионного соглашения с PMEL. Первая система была установлена AUS-BOM в Коралловом море 27 августа 2010 г. и была объявлена ими работоспособной через несколько дней. С тех пор ETD DART®, установленная в Коралловом море, работает исправно, она пережила прямой удар суперциклона Яси (Yasi) и обнаружила волну цунами Хонсю (Honshu) 11 марта 2011 г. Ожидается, что вторая и третья системы SAIC ETD DART® будут дислоцированы в Тасмановом море и Индийском океане в 2011 г.

## II. СИСТЕМА ЛЕГКОЙ УСТАНОВКИ (ETD)

Система ETD DART® это интегрированная система, состоящая из буя, системы постановки на якорь, которая устанавливается на дно под действием силы притяжения, и может легко и быстро устанавливаться с борта различных маленьких, быстрых судов с минимальным набором палубных устройств. Система постановки на якорь включает в себя новый уникальный, рассчитанный на высокое давление, регистратор давления у дна (BPR). После прибытия на место дислокации, для установки ETD DART® требуются всего несколько минут и минимум персонала. ETD DART® можно безопасно устанавливать при волнении моря до 5 баллов. Для местоположения в океане со спокойной поверхностью, глубинными течениями <80 см/сек (~1,5 узла) и глубиной менее 5.500 м (18.040 футов) ETD DART® предлагает гибкое и экономичное решение для предупреждения цунами и для океанических наблюдений.



На *рисунке 1* приведено изображение ETD DART® и основных компонентов системы. В результате технических усовершенствований, внедрения усовершенствованных технологий, и опыта, накопленного с системой DART®, общий размер и вес ETD DART® были сокращены, при этом сохранили эксплуатационные качества и стандарты связи DART®. Уменьшение размеров и веса вместе с интегрированной конфигурацией буй–трос–якорь позволяет осуществить быструю и легкую установку. Возможность установки с борта маленьких быстрых судов может обеспечить существенную экономию расходов по установке, по сравнению с традиционным методом, где используется большое медлительное судно, оснащенное А-образной рамой, и при помощи многочисленного хорошо обученного персонала. В правильных океанографических условиях ETD DART® предоставляет пользователям альтернативу большим судам, которая является более экономичной, гибкой и своевременной.



*Рис. 1. Составные части буя ETD DART®*

На *рисунке 2* показана система ETD DART® на производственной линии, со снятым защитным кожухом, которая находится рядом с тремя системами STB. Этот рисунок показывает разницу в размерах между ETD DART® и стандартной системой STB DART®, а так же предусматривает интуитивное понимание различий в сложности установки между системами.



Рис. 2. Сравнение размеров системы ETD DART® и STB

#### А. Составные части системы ETD DART®

Поверхностный буй: Поверхностный буй состоит из стекловолоконного корпуса с колодцем, в котором находятся электронные компоненты, он оснащен метеорологическими сенсорами (которые измеряют скорость и направление ветра, атмосферное давление и температуру воды на поверхности), датчиком нагрузки, и модемом акустической связи. В колодце находятся глобальная система позиционирования (GPS), система спутниковой связи Iridium, система бортовой обработки данных, аккумуляторы и другая электроника. Поверхностный буй оснащен абсолютно всем необходимым оборудованием, которое требуется для его работы: процессором для обработки данных, системами связи, источниками питания, которые служат для его более надежной работы в течение длительного периода времени. Низкий корпус предназначен для того чтобы рыбаки и пираты его не заметили. Особо важная электроника, модемы и антенны размещены внутри корпуса, что дает дополнительную защиту от вандализма.

Регистратор давления у дна (BPR): Подсистема BPR ETD DART® расположена в отдельном алюминиевом цилиндре, выдерживающем давление на глубине 6000 м (рис. 3). Акустическая связь между BPR и поверхностным буюм осуществляется при помощи среднечастотных (16–21 кГц) акустических модемов и преобразователей направленного действия. Новая конструкция ETD BPR не содержит применявшиеся ранее четыре кожуха и все соединяющие провода для подводного использования, которые входят в конструкцию систем DART®, и чье исполнение и проверка очень дорогостоящие.



Рис. 3. Регистратор давления на дне (BPR)

Подсистема постановки на якорь: Запатентованный якорный трос ETD DART® изготавливается из нескольких композитных материалов и производится из одного цельного куска. Для повышения стойкости, верхняя часть троса может быть обмотана специальным материалом, стойким к укусам рыб. Цельный якорный трос наматывается на катушку, расположенную в якорь и проходит через ряд шкивов. Когда ETD опускается за борт, якорь и катушка отсоединяются от буя и падают на дно, якорный трос постепенно разматывается пока якорь идет на дно.

Якорный трос ETD DART® провисает и не требует точной информации о глубине, как в случае со стандартной системой DART®.

Уменьшение расходов достигается за счет совместного использования многих взаимозаменяемых стандартных деталей для ETD DART®, STB и DART®. Изменения в компоновке этих деталей и введение нового механизма намотки троса на якорь привели к появлению системы ETD. Мы развили успех стандартной системы DART® и не стали менять центральный процессор для обработки данных, платы акустической системы, электронику BPR, датчик давления Paroscientific, модем спутниковой связи Iridium и протокол передачи, режимы системы и схему обнаружения цунами. Незначительным изменениям подверглись преобразователь и усилитель акустического модема, системное программное обеспечение, и GPS.

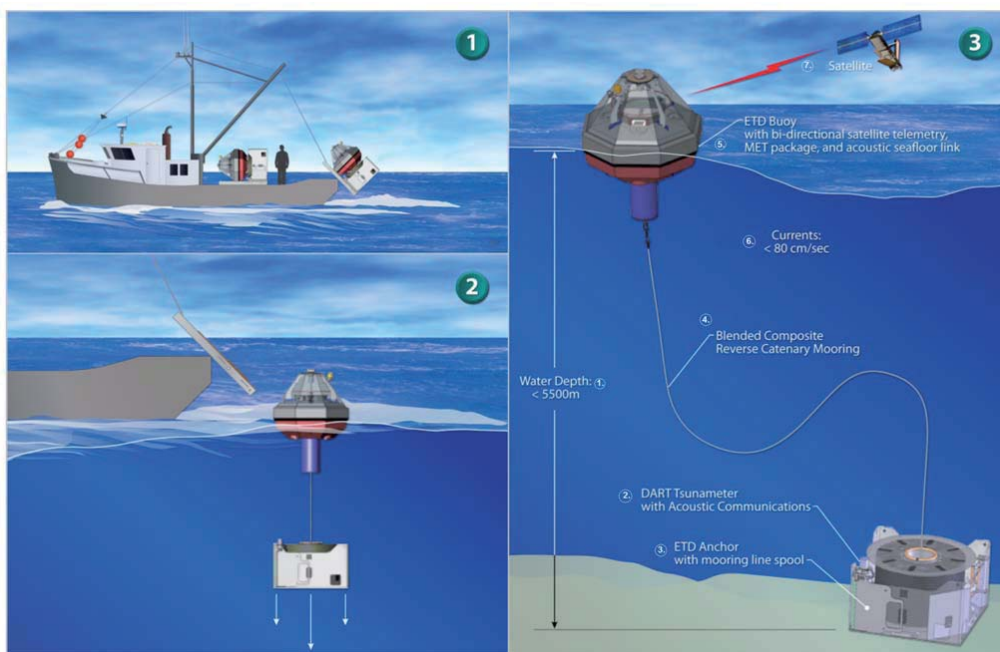
#### **В. Итоговые улучшения стандартной конструкции DART® в системе нового поколения ETD DART®**

- 1) Установка при более сильном волнении на море стала менее опасной.
  - а) Габаритные размеры стали меньше и появился единый грузовой поддон для погрузки/установки.
  - б) Работы по установке стали менее длительными и менее сложными.
- 2) Для установки системы отпала необходимость в большом судне и в квалифицированной команде.
  - а) Значительно уменьшились расходы на фрахтование судна.
  - б) Значительно уменьшились расходы на оплату труда.
- 3) Повысилась надежность BPR за счет устранения проводов и разъемов для использования под водой.
- 4) Уменьшились расходы на материал за счет отказа от четырех кожухов высокого давления (из титана и алюминия).

- 5) Уменьшились общие расходы на оплату труда.
- 6) Улучшилась антивандальная защита.
- 7) Потенциально снизились расходы в течении всего срока службы.
- 8) Экономия средств за счет новой конструкции ETD, по сравнению с обычными требованиями (и ограничениями) при установке с помощью жесткой постановки на якорь в открытом океане.

### III. УСТАНОВКА ETD DART®

Так как ETD DART® построена и транспортируется как одна модульная система, ее можно устанавливать с относительно небольшой платформы, с помощью немногочисленного персонала с минимальным обучением и с минимальным набором оборудования на борту (*рис. 4*). Упакованная и установленная на транспортной раме, система ETD просто выгружается из контейнера и ставится на палубу. При прибытии, на месте снимаются крепления, которые привязывают ETD к транспортной раме, система вываливается за борт на 1 метр, потом она соскальзывает с рамы в воду, где устанавливается самостоятельно. При входе в воду якорь и катушка с якорным тросом отделяются от буйа и потом якорь погружается со скоростью ~100 м/мин.



*Рис. 4. Установка ETD: 1 – глубина <5 500 м; 2 – датчик цунами DART с акустическим модемом; 3 – якорь ETD с катушкой для якорного троса; 4 – якорный трос из поликомпозитных материалов; 5 – течение <80 см/сек; 6 – буй ETD с двухсторонней спутниковой связью, электроникой и акустическим модемом; 7 – спутник*

Система ETD может быть установлена в местах, где глубина не превышает 5 500 м и не предназначена для установки в местах с сильным течением. Стойкость конструкции может быть вычислена при помощи программы моделирования постановки на якорь, в случае если данные по поверхностным и



глубинным течениям отсутствуют. Именно поэтому было признано что ETD является хорошей заменой для STB в местах, где океанографические условия не превышают расчетные пределы.

#### IV. ОТ ИССЛЕДОВАНИЙ К КОММЕРЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

С развитием STB в 2006–2010 гг. корпорация SAIC поставила системы предупреждения цунами в Австралию, Тайланд, Индию, Китай и Россию, и является признанным мировым поставщиком надежных систем буев предупреждения цунами. В результате в конце 2008 г. PMEL согласилась работать с SAIC для того, чтобы ускорить развитие ETD от научно-исследовательского проекта до полностью работоспособной системы для коммерческого использования. На условиях договора об исследованиях и действуя на основании патентной лицензии SAIC DART®, PMEL работала с командой STB в Сан-Диего (Калифорния) над разработкой многоэтапной программы по передаче системы, которая заняла более года.

Первый этап этой программы включал разработку финансовых потребностей, защиту интеллектуальной собственности, техническую помощь и начальную подготовку. Начальная подготовка включала несколько визитов в PMEL, где техники SAIC ознакомились с системой ETD DART®. По окончании обучения, чертежи были усовершенствованы, и переведены в спецификации производственного класса. Когда были составлены спецификации, начался процесс поиска и определения местных поставщиков деталей высокого качества. Некоторые поставщики работали раньше с программой STB и так как они знали требуемое качество, они стали привилегированными поставщиками. Основная цель заключалась в развитии сети многочисленных местных поставщиков для поставки большинства деталей, что поощряло бы конкуренцию, и в том, чтобы облегчить проблемы материально-технического обеспечения, обычно возникающие, когда поставщики географически разбросаны. В течение нескольких месяцев были найдены необходимые поставщики и была проверена их способность поставлять высококачественные детали.

Второй этап передачи начался поздней осенью 2009 г., когда инженеры и техники SAIC начали производство первого прототипа системы ETD DART® коммерческого назначения. При помощи инженеров PMEL, которые проводили периодические проверки и давали рекомендации по контролю качества, началось производство первой системы. Производство в течение следующих нескольких месяцев шло медленно, пока системы собирались, пока были разработаны и протестированы процессы по изготовлению и сборки, и в руководстве по производству были задокументированы сам процесс и извлеченные уроки.

Перед тем как первая система была отправлена из цеха в Сан-Диего, система ETD DART® прошла четырехнедельные испытания на окончательную приемку. Проводились эксплуатационные испытания для стандартных систем STB и DART®, включая применение полного комплекта команд канала обратной связи, которые переводят буй в разные режимы работы, передают высокоразрешающие данные за конкретный период времени, или передают информацию о состоянии буй. На *рисунке 5* указана упакованная система перед загрузкой в перевозочный контейнер. Для обеспечения ее безопасно-

сти во время перевозки, анемометр снимается с верхней части кожуха и легко крепится на место перед установкой системы. Конфигурация ETD DART® не только обеспечивает легкую погрузку и перевозку, но так же четыре такие системы могут быть размещены в одном стандартном 20-футовом контейнере для морских перевозок.



Рис. 5. Первая система SAIC ETD DART® в транспортной раме

## V. РАБОТА В КОРАЛЛОВОМ МОРЕ

2 июня 2010 г. первая система SAIC ETD DART® была отправлена морем в Метеорологическое бюро в Мельбурн (Австралия). С согласия Австралийского бюро метеорологии (AUS-BOM), SAIC ETD DART® должен был заменить систему STB, которая была повреждена тропическим циклоном категории пять, в Коралловом море. Команда установки ETD DART® собралась в г. Таунсвилль (Австралия) 21 августа 2010 г., где готовилась к началу осуществления проекта. В качестве платформы для установки, AUS-BOM зафрахтовало судно PMG PRIDE, сравнительно небольшой океанский рабочий катер с общей длиной 34 м (рис. 6). Во время подготовок был загружен ETD DART® и вся электроника была полностью активизирована. В течение следующих четырех дней отслеживалась передача данных от BPR через поверхностный буй, на спутник, обратно на наземную станцию и в конечном итоге к AUS-BOM в Мельбурн. ETD DART® работала великолепно и была признана готовой к установке.



Рис. 6. PMG PRIDE

24 августа 2010 г., в конце дня, команда, составленная из представителей AUS-BOM, NOAA и SAIC, отправилась из Таунсвилля. В течение следующих трех дней пока PMG PRIDE шло к месту установки, скорость ветра усилилась до 30 узлов и волны достигли 3-5 м. 27 августа, рано утром, судно приехало на место и все быстро приготовились к установке во время короткого затишья, когда волны были менее 3 м. После определения конкретного пункта дислокации, принятия всех мер безопасности и после проведения последней проверки буя, было дано разрешение на установку и судно направилось в пункт постановки.

После того как судно достигло места, при помощи А-образной мачты корабля был приподнят конец транспортной рамы на один метр от палубы, и тогда под действием силы притяжения, система буй–трос–якорь соскользнула с рамы в воду (рис. 7). Вся процедура, начиная от момента поднятия рамы и до того, как буй вошел в воду и отделился от якоря, заняла всего 10 сек. Якорь опустился на дно примерно через 45 минут. На протяжении всего спуска BPR отправляла отчеты о глубине каждые 2 минуты. В течение следующих нескольких дней Австралийский центр предупреждения цунами внимательно следил за работой ETD DART®. 1 сентября 2010 г. ETD DART®, обозначенная как станция 55023, была объявлена полностью работоспособной. Она действует в качестве одного из шести главных глубоководных сенсоров цунами для AUS-BOM, и данные в режиме реального времени являются общедоступными (<http://www.ndbc.noaa.gov/>).



Рис. 7. Установка ETD DART® в Коралловом море, 27 августа 2010 г.

С момента установки в Коралловом море ETD DART® работала исключительно хорошо, предупредила о нескольких землетрясениях в регионе и выявила несколько небольших цунами. 2 февраля 2011 г. система продемонстрировала свою надежность и устойчивость к крайне суровым погодным условиям, после того, как выдержала прямой удар циклона пятой категории, который назвали Яси (Yasi). Суперциклон Яси вызвал ветер со скоростью ~130 узлов и ~15 метровые волны (~49 футов). Как показывают данные барометра (рис. 8), центр циклона прошел над ETD DART®. Барометр зарегистрировал падение атмосферного давления от 1 004 до 941 мбар за 3 часовой период времени. Вследствие силы циклона, было несколько длительных провалов в передаче данных, сразу после того как циклон прошел. Они были заполнены пунктирными линиями. Хотя система не была разработана, чтобы выдержать такие тяжелые условия, ETD DART® выдержала и продолжила работать в обычном режиме, пропустив всего лишь данные за несколько часов пока Яси проходил над ней. За исключением анеометра, который был унесен ветром, ETD DART® осталась полностью работоспособной и продолжает выполнять свою важную миссию у северо-восточного побережья Австралии.

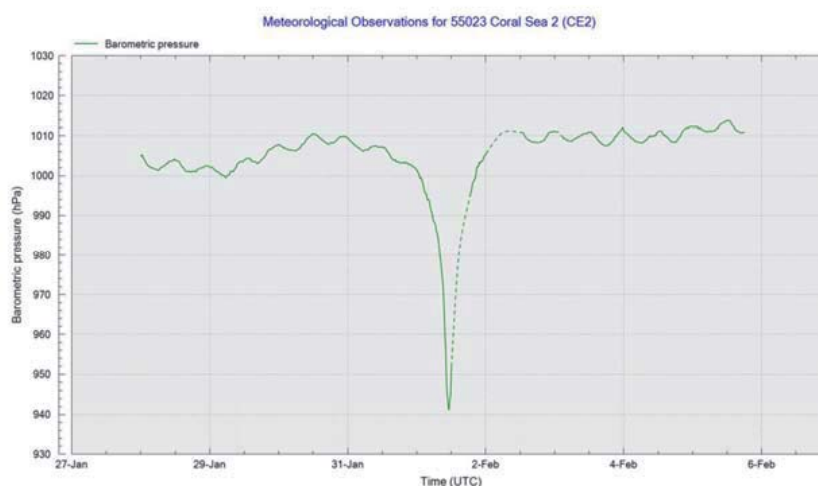


Рис. 8. Падение атмосферного давления зарегистрированное ETD DART® во время суперциклона Яси



11 марта 2011 г. произошло землетрясение силой в 9 баллов, в 130 км на востоке от острова Сендай, Япония. Как одно из самых мощных в Японии за всю историю, землетрясение породило волны цунами глобального масштаба, которые были обнаружены по всему миру тридцатью системами DART®. В результате, по всему тихоокеанскому бассейну была объявлена тревога угрозы цунами. Цунами было настолько мощным, что не только причинило огромный ущерб Японии, но также привело к широкомасштабным повреждениям по всей Океании и на Тихоокеанском побережье Северной и Южной Америки. Удивительно, но несмотря на значительное расстояние от точки зарождения, взаимодействие с глубоководными особенностями океанского дна, а также частичную защиту, в качестве которой послужили Соломоновы острова и Новая Гвинея, ряд значительных волн цунами был обнаружен системой ETD DART® в Коралловом море спустя 9,5 ч после землетрясения. Около 1508 UTC (универсальное глобальное время), станция ETD DART® 55023 зарегистрировала первую волну с амплитудой чуть меньше 30 мм и периодом 35 мин (*рис. 9*). В течение следующих 24 часов несколько волн цунами различной амплитуды прошли мимо станции и были зарегистрированы ETD DART®. Используя эти данные, AUS-BOM смогло проследить за цунами и с уверенностью установило что они не представляют угрозу для населения прибрежных районов на северо-востоке Австралии.

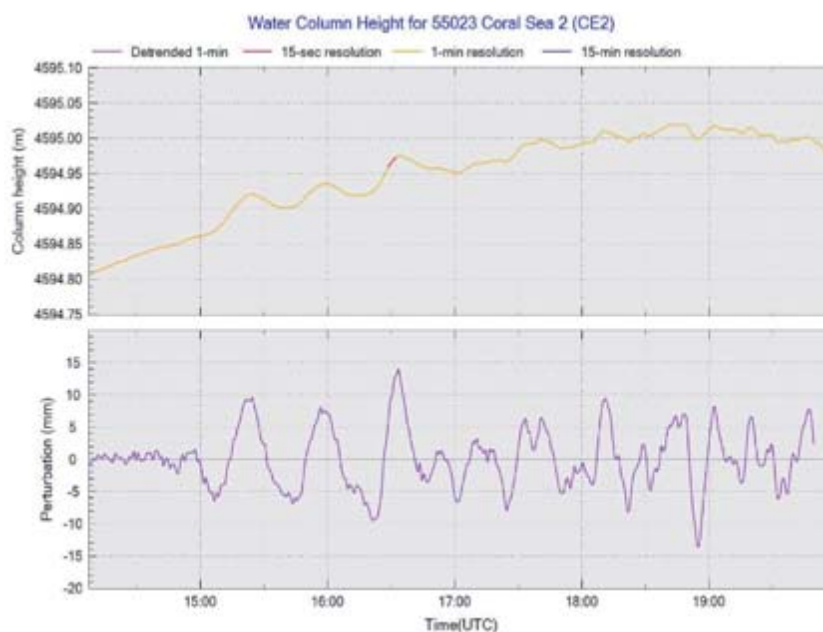


Рис. 9. Волна цунами Хонсю зарегистрированное ETD DART® в Коралловом море

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы благодарят директора и сотрудников Тихоокеанской лаборатории морской среды за их помощь, руководство и поддержку, оказанные на протяжении этого перехода; Австралийское бюро метеорологии – за их неоценимую помощь и ускорение проведения испытаний в море, за обмен данными и анализ, а также за сертификацию ETD DART® как полностью работоспособной системы; а также команду SAIC, которая занимается буями предупреждения цунами, за их преданность и профессионализм во время планирования и проведения этого перехода.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] К. Мейниг, С. Сталин, А. Накамура, Х. Милберн. (июнь, 2005) Глубоководная система для измерения, слежения и уведомления о цунами в режиме реального времени: NOAA DART II описание. Доступно на [http://nctr.pmel.noaa.gov/Dart/dart\\_ref.html](http://nctr.pmel.noaa.gov/Dart/dart_ref.html)
- [2] «Оценка эксплуатационных качеств буя предупреждения цунами SAIC», август 2007 техническая заметка, Национальный центр по сбору данных с буев, отделение OPS52, неопубликовано.
- [3] «Оценка эксплуатационных качеств буя предупреждения цунами DART-ETD», ноябрь 2007 техническая заметка, Тихоокеанская Лаборатория морской среды NOAA.

А. Г. Островский<sup>1</sup> (osasha@ocean.ru), А. Г. Зацепин<sup>1</sup>, В. А. Соловьев<sup>1</sup>,  
А. Л. Цибульский<sup>1</sup>, Д. А. Швоев<sup>1</sup>, В. Б. Лобанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (Москва); <sup>2</sup>Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН (Владивосток).

## Опыт применения заякоренного зонда-профилографа «Аквалог» в целях мультидисциплинарных океанологических исследований

В докладе представлена разработка экспериментального образца автономного автоматизированного комплекса «Аквалог» с системой дистанционного управления для вертикального зондирования водной толщи в целях океанологических изысканий, контроля за климатическими и экологическими изменениями, внутриводными загрязнениями, потенциально опасными природными и антропогенными процессами в морях Российской Федерации. В отличие от традиционных буйковых постановок с размещением приборов на фиксированных горизонтах, в данном случае разработан зонд, который передвигается по тросу, натянутому вертикально между подповерхностной плавучестью и донным якорем. Данные с зонда передаются на подповерхностный буй с помощью индуктивных или гидроакустических модемов. Подповерхностная плавучесть связана кабелем с поверхностным бием спутниковой связи, который передает информацию в береговой или судовой центр приема данных и управления полевым экспериментом. При этом появляется возможность оценить интегральные характеристики экосистемы и получить новые данные о внутриводных загрязнениях и аномалиях характеристик морской среды. Экспериментальные исследования с использованием зонда-профилографа «Аквалог» проведены в Балтийском, Каспийском, Карском, Черном и Японском морях.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Согласно Морской доктрине Российской Федерации на период до 2020 г., одним из принципов национальной морской политики является «проведение комплексных морских научных исследований в интересах Российской Федерации, развитие систем мониторинга за состоянием морской природной среды и прибрежных территорий». Это особенно актуально для шельфово-склоновых зон Балтийского, Баренцева, Каспийского, Карского, Охотского и Черного морей, где ведутся геологические изыскания и добываются нефть и газ.

Организация оперативного мониторинга состояния морских акваторий в настоящее время становится все более важной, с одной стороны, из-за глобальных климатических изменений и, с другой стороны, из-за развития хозяйственной деятельности вследствие роста транспортных перевозок и расширения нефтегазодобывающей деятельности на море, что приводит к нарушению естественного функционирования морских экосистем и к последствиям, негативным для морского промысла, рекреационного состояния регионов и вредным для здоровья человека.

Актуальность создания средств телеуправляемого мониторинга обусловлена также необходимостью решения задачи прогноза опасных природных явлений в море. Прогноз аномалий состояния морской среды возможен только на основе анализа временных рядов регулярных измерений, получаемых оперативно. Для этого важно получение однородных выборок данных измерений в ключевых географических точках.

В последние годы в Институте океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук (ИО РАН) была разработана технология автоматического

профилирования водной толщи с помощью носителя с полезным грузом океанологических датчиков, перемещающегося по вертикально натянутому ходовому тросу между притопленной плавучестью и якорем (Островский и др., 2008). НИР проводились в рамках следующих программ:

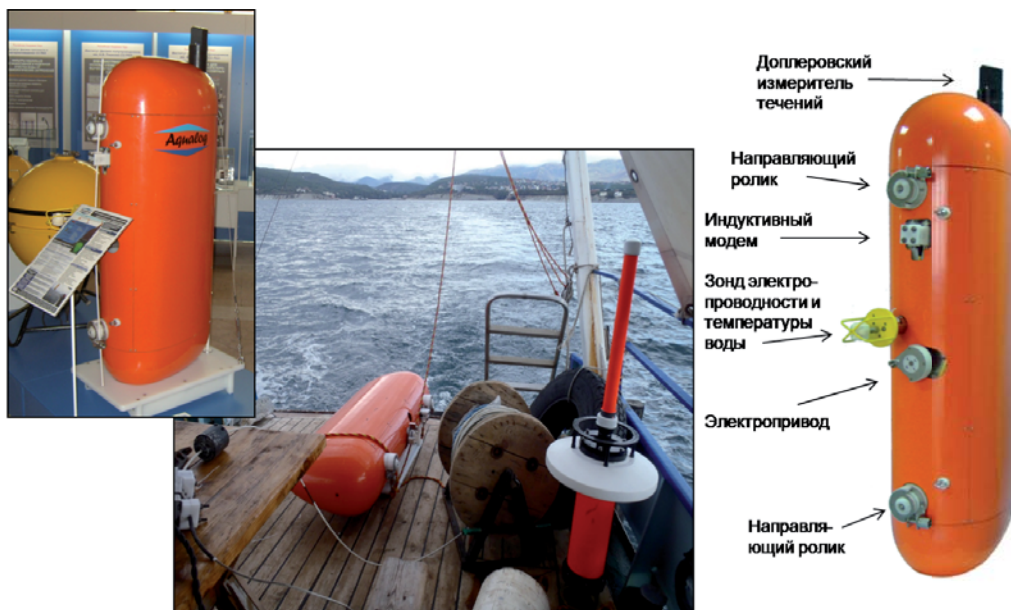
- ФЦНТП Разработка технологий многоуровневого регионально адаптированного экологического и геодинамического мониторинга морей Российской Федерации в первую очередь районов шельфа и континентального склона РП–22.1/001 (2005–2006);
- грантов РФФИ (2007–2012),
- подпрограммы Океанологический заякоренный профилирующий комплекс с системой передачи данных измерений в квазиреальном времени – Целевая научно-техническая программа Разработка уникальных научно-исследовательских приборов и оборудования для учреждений РАН (2008–2013).

Был изготовлен экспериментальный образец носителя океанологической измерительной аппаратуры «Аквалог» с измерителями течений, температуры, электропроводности и давления воды (Островский и др., 2009; Ostrovskii et al., 2010).

## 2. ЗАЯКОРЕННЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЗОНД-ПРОФИЛОГРАФ «АКВАЛОГ»

Зонд-профилограф «Аквалог» (*рис. 1*) представляет собой подвижную платформу с океанологическими датчиками для проведения измерений таких параметров, как соленость, температура и давление (СТД) воды, скорость течения (Островский и др., 2009; Ostrovskii et al., 2010). Он автоматически выполняет вертикальные перемещения по буйрепу заякоренной буйковой станции, передвигаясь по тросу, натянутому вертикально между подповерхностной плавучестью и донным якорем. Носитель обеспечивает циклическое профилирование в фиксированной географической точке от приповерхностного слоя до главного пикноклина в море.





**Рис. 1.** Автономный зонд-профилограф «Аквалог»: слева – на выставке достижений РАН в Президиуме РАН (г. Москва) в мае 2010 г., в центре – с бумом GPRS/GSM связи на борту БПМ-74 «Ашамба» перед экспериментом в районе Геленджикской бухты в экспедиции «Черное море-2010» в октябре 2010 г., справа – общий вид

Все модули профилографа конструктивно объединены на раме, служащей также для установки удобообтекаемого кожуха. Ядром конструкции служит специальный экономичный электропривод. Профилограф снабжен аппаратно-программным комплексом управления движением. Центральный микроконтроллер аппаратно-программного комплекса по заданной программе управляет электроприводом, используя датчик давления, а также контролируя состояние электронной аппаратуры.

Зонд-профилограф «Аквалог» рассчитан на автономную работу в течение длительного времени с целью получения долговременных рядов данных (*табл.*). Например, в условиях умеренных течений (до 0,3 м/с) при постановке на изобате около 500 м, когда длина пути на один цикл профилирования составляет 1 км, емкости блока батарей должно хватить на выполнение 1 цикла профилирования ежедневно в течение 1 года.

**Таблица. Технические характеристики зонда-профилографа «Аквалог»**

|                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Скорость перемещения                                                                                                                                                                                                                                   | 0,1–0,3 м/с                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Рабочий диапазон глубин                                                                                                                                                                                                                                | 10–1 000 м                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Общая протяженность хода в стоячей воде                                                                                                                                                                                                                | 800 км                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Блок питания                                                                                                                                                                                                                                           | Литиевые батареи тип D:<br>– 48 шт. (стандартный аппаратный контейнер),<br>– 60 шт. (удлиненный аппаратный контейнер).<br>Для коротких постановок применяются щелочные батарейки типа D                                                                                                                                                             |
| Энергопотребление:<br>Номинальное входное напряжение<br>Максимальная потребляемая мощность в процессе профилирования (без измерительных приборов)<br>Потребляемая мощность в режиме засыпания                                                          | 10,8–13,5 В<br>3–5 Вт<br>0,006 Вт                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Внешний интерфейс                                                                                                                                                                                                                                      | RS 232                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Весогабаритные характеристики:<br>Габаритные размеры<br>Масса в воздухе (без океанологических датчиков)<br>Плавучесть в воде                                                                                                                           | 1,45×0,35×0,65 м<br>68 кг<br>±5 Н                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Измерительные датчики<br>Приборы, устанавливаемые на носитель:<br>– зонд температуры, электропроводности и давления<br><br>– датчик кислорода<br><br>– флуориметр, турбидиметр, pH-метр<br><br>– измеритель скорости течений и акустического рассеяния | RDI Citadel CTD ES<br>SBE 52 MP CTD<br>SBE 49 CTD<br>SBE 19plus CTD<br>RBR XR-620 CTD<br>Idronaut 316 CTD<br><br>AANDERAA fast oxygen optode 4330F<br>SBE 43 DO sensor<br>Idronaut DO sensor<br><br>Sea Point sensors<br>Wet Lab FLbb<br>SBE 27 pH sensor<br>Idronaut pH sensor<br><br>Nortek Aquadopp current meter<br>TRDI Doppler Volume Sampler |

При скорости перемещения профилографа 0,2 м/с вертикальное разрешение составляет, например, для давления – 0,05–0,15 м, для скорости течения – 0,6–1,8 м, для растворенного кислорода – 0,8–2,4 м. Точность измерений зависит от типа датчика (см. табл. 1). Зонды CTD RDI Citadel CTD ES, SBE 49 CTD и SBE 52 MP CTD специально предназначены для измерений с подвижных платформ они компактны и легко интегрируются на зонде-профилографе. Однако, они не имеют дополнительных каналов, кроме канала датчика растворенного кислорода на зонде SBE 52 MP CTD. Зонды SBE 19plus CTD, RBR XR-620 CTD, Idronaut 316 CTD более громоздки, но зато имеют 3–4 дополнительных канала для установки дополнительных датчиков, например флуори-

метра и турбидиметра. Интеграция таких приборов позволяет решить задачу расширения приложений без увеличения числа измерительных каналов самого зонда-профилографа «Аквалог».

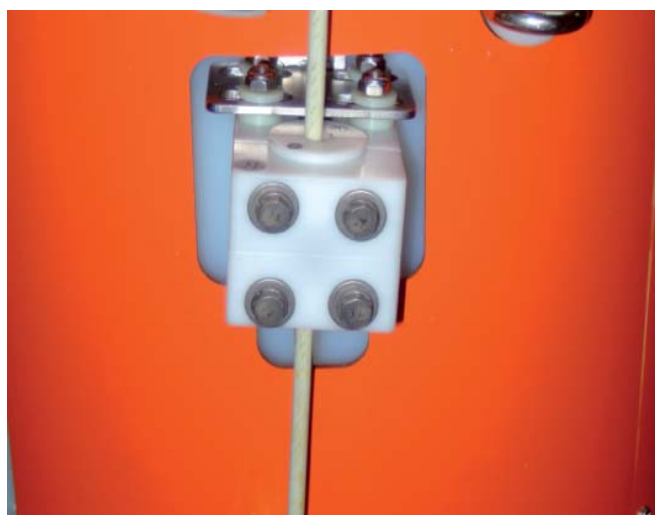
С учетом необходимости долговременной автономной работы в конструкции профилографа максимально использованы современные пластики: высокомолекулярный полиэтилен, полиамид, полиацеталь. Также при изготовлении обтекателя используются композитные материалы. В целях антикоррозионной защиты деталей из нержавеющей стали применяются цинковые аноды.

Программное обеспечение зонда-профилографа «Аквалог» обеспечивает:

- задание времени начала работы и режима включения носителя измерительной аппаратуры,
- автоматический режим профилирования носителя измерительной аппаратуры,
- автоматический сбор информации, поступающей от измерительных датчиков,
- первичную обработку данных,
- архивирование данных,
- передачу данных по каналам связи.

Программное обеспечение носителя настраивается с помощью персонального компьютера, работающего в операционной среде Windows: XP, Vista, 7. Программное обеспечение поддерживает диалоговый режим с целью настройки функции регламента измерений – установки основных параметров работы носителя измерительной аппаратуры, таких как рабочие горизонты, расписание профилирования, скорость перемещения. Режим профилирования задается пользователем перед постановкой, а также может быть перепрограммирован с помощью средств телеметрии.

Для передачи телеметрической информации, команд и данных измерений на зонде-профилографе «Аквалог» устанавливаются либо индуктивные модемы компании Sea Bird Electronics Co. (рис. 2), либо цифровые гидроакустические модемы от Benthos Co. (рис. 3), входящей в группу компаний TRDI.



**Рис. 2.** Индуктивная катушка SBE Inductive Modem Coupler, смонтированная во фронтальной части зонда-профилографа «Аквалог»



*Рис. 3. Трансдюсер акустического модема Benthos ATM585, смонтированный в верхней части зонда-профилографа «Аквалог»*

### 3. БУЙКОВЫЕ ПОСТАНОВКИ ЗОНДА-ПРОФИЛОГРАФА «АКВАЛОГ»

Экспериментальные буйковые постановки зонда-профилографа «Аквалог» проводились на акваториях в широком диапазоне условий в зонах субтропического, умеренного и субполярного климата.

Общая схема буйковой станции мониторинга с применением зонда-профилографа «Аквалог» показана на *рисунке 4*. Стандартный вариант буйковой станции включает нижеследующие основные части:

- носитель измерительной аппаратуры – исполнение в двух вариантах с рабочей глубиной до 400 м (облегченный) и до 1 000 м,
- подсистема измерительных датчиков, состоящая из микроэлектронных устройств контроля и предварительной обработки данных и измерительной аппаратуры,
- подповерхностный буй,
- поверхностный буй связи, имеющий удобообтекаемый ударопрочный корпус, с кабелем,
- ходовой трос-буйреп из кевлара или нержавеющей стали в пластиковой оболочке с предустановленными на нем ограничителями перемещения,
- подсистема оперативной передачи данных от носителя в пункт приема, состоящая из двух участков связи – подводной посредством индуктивных модемов (для буйрепа из стали в ПВХ оболочке) или гидроакустических модемов и воздушной по каналам мобильной телефонии и/или через спутник связи,
- программное обеспечение,
- якорь-балласт,
- автономный размыкатель якорного балласта,
- такелаж из нержавеющей стали.



Варианты буйковых постановок с автономным зондом-профилографом Аквалог

165



Донная кабельная буйковая система (отмечена цифрой 1 на рисунке 5) перспективна, поскольку позволяет не только передавать данные измерений в режиме реального времени, но может быть доработана с целью подзаряда аккумуляторов зонда-профилографа в море с помощью специального индуктивного зарядного устройства.

Полностью автономная, так называемая «U-образная», буйковая постановка (цифра 2 на рисунке 5), наименее затратная и ставилась нами на шельфе на глубинах до 100 м.

Буйковая постановка с поверхностным бумом связи на основной буйковой линии (цифра 3 на рисунке 5) в деталях показана на рисунке 4.

Если буйковая станция с зондом-профилографом «Аквалог» устанавливается на расстоянии нескольких километров до заякоренной плавучей конструкции, например метеобуя, то телеметрический канал между этими двумя системами удобно организовать с помощью подводных цифровых акустических модемов (система 4 на рисунке 5).

Еще одна полностью автономная буйковая постановка (цифра 5 на рисунке 5) применяется в глубоководных районах, где глубина составляет 500 м и более. Особенностью этой постановки является использование кевларового троса, который имеет небольшой вес в воде, и не требует дополнительной приотпленной плавучести, что существенно облегчает задачу постановки и выборки буйковой системы с борта маломерного плавсредства.

Наконец, зонд-профилограф «Аквалог» может быть установлен на буйрепе (на нижнем конце которого имеется груз), вывешенном с плавучего или дрейфующего льда (рис. 6).



Рис. 6. Тестовая постановка зонда-профилографа «Аквалог» со льда в феврале 2010 г.

#### 4. ПРИМЕРЫ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Зимний эксперимент с использованием зонда-профилографа «Аквалог» был проведен в Японском море с 27 февраля по 14 марта 2010 г. Целью этой эксперимента стало исследование экологического состояния и механизмов самоочищения залива Петра Великого Японского моря, в особенности изучение физических механизмов вентиляции вод за счет водообмена залива с глубокой частью моря. В аномальных климатических условиях зимы 2010 г., когда наблюдались наиболее низкие за последнее десятилетие температуры воздуха и в ранние сроки прошло становление льда, ожидалось повторение редких явлений интенсивной склоновой конвекции и вентиляции донных вод Японского моря. Для регистрации событий выноса холодных вод с шельфа залива Петра Великого был задействован автоматический заякоренный профилограф «Аквалог» с комплектом самых современных гидрофизических датчиков: измерителя электропроводности, температуры и давления FSI CTD Excel и доплеровского измерителя скорости течения и обратного рассеяния звука Nortek Aquadopp.

Зонд-профилограф «Аквалог» успешно выполнил свою задачу, проведя детальные измерения 352 вертикальных профилей скорости течения, температуры и солёности воды почти с разрешением порядка нескольких десятков сантиметров от приповерхностного слоя, от горизонта 24 м, до дна моря, до глубины 103 м, за 16 дней наблюдений. С помощью профилографа «Аквалог» собраны уникальные данные о водообмене залива Петра Великого с глубокой частью Японского моря. Частые зондирования позволили зарегистрировать явления выноса холодных вод и получить новые экспериментальные данные о вертикальной плотностной структуре и скорости вентиляции вод залива Петра Великого. В частности, 7 марта 2010 г. было зарегистрировано сильное холодное (до  $-1,2^{\circ}\text{C}$ ) юго-западное течение в придонном 40 м слое (рис. 7).

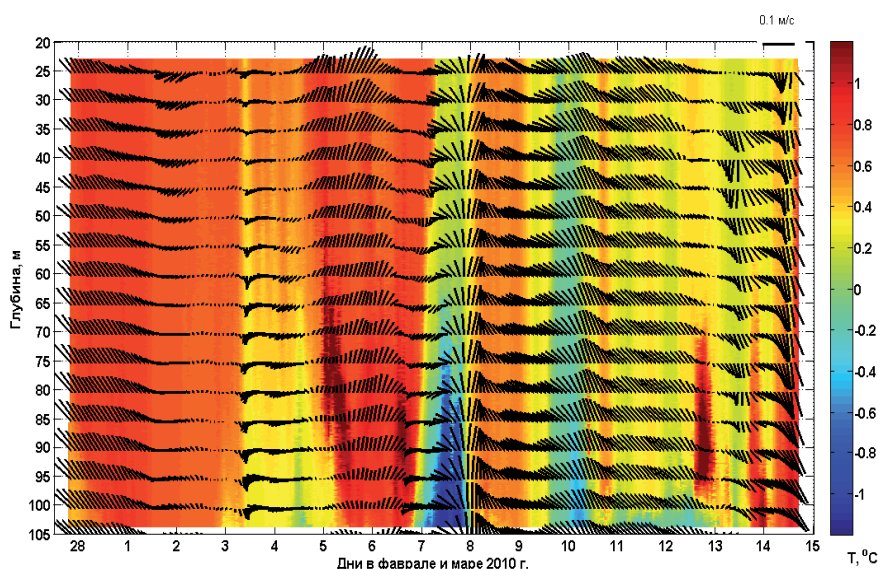


Рис. 7. Вертикальное распределение температуры воды по данным измерений профилографом Аквалог в марте 2010 г. в точке с координатами  $42^{\circ}24,541$  с. ш.  $132^{\circ}00,07$  в. д. Стрелками показаны векторы течений

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Буйковые постановки зонда-профилографа «Аквалог» имеет явные технико-экономические преимущества по сравнению с традиционными буйковыми постановками со стационарным размещением приборов на фиксированных горизонтах. Дело в том, что стоимость носителя измерительной аппаратуры «Аквалог» примерно равна стоимости одного зонда STD с дополнительными датчиками. Вместо нескольких комплектов STD зондов и измерителей течений на одной буйковой станции, используется всего один комплект этих измерительных датчиков, что делает новую буйковую станцию дешевле в несколько раз.

Кроме того с помощью зонда-профилографа «Аквалог» проводятся измерения с высоким вертикальным разрешением порядка 1 м, соответствующим масштабам тонкой структуры вод. Это значительное преимущество по сравнению с традиционными буйковыми станциями с приборами на фиксированных горизонтах, разнесенных на десятки и сотни метров по вертикали, поскольку, например, появляется возможность отслеживать ядра водных масс и их движение, точнее определять перенос тепла и соли в океане, контролировать положение подводного звукового канала.

Буйковые постановки зонда-профилографа «Аквалог» целесообразно дополнять:

- установкой седиментационных ловушек под нижним ограничителем перемещения профилографа для оценки вертикального потока оседающего вещества,
- акустическим доплеровским профилографом течений и волнения на притопленной плавучести для мониторинга состояния водной среды вблизи поверхности раздела океан-атмосфера.

Разработанный зонд-профилограф «Аквалог» с системой передачи данных в режиме реального времени, может быть использован в целях:

- экологического мониторинга морской нефте- и газодобычи и транспортировки углеводородов,
- охраны акваторий,
- оптимизации судовых экспедиций,
- обеспечения круглогодичных подледных исследований в Арктике,
- проведения подспутниковых наблюдений.

Начато использование экспериментальных образцов зонда-профилографа «Аквалог» для фундаментальных и прикладных исследований по нижеследующей тематике:

- климатическая изменчивость океана,
- абиотические и биотические процессы в морских экосистемах,
- изменчивость  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ , растворенных в водах океана,
- изменчивость кислотности морских вод,
- полярная океанология,
- 4-мерная океанология на полигонах.

## 6. БЛАГОДАРНОСТИ

Эксперимент в Японском море феврале–марте 2010 г. был проведен при финансовой и организационной поддержке со стороны Тихоокеанского института им. В. И. Ильичева ДВО РАН. В заключение авторы отмечают отличную организацию совещания «Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов», проведенного НПО ДЭКО, ЭКС в г. Южно-Сахалинске 5–6 апреля 2011 г.

## 7. ЛИТЕРАТУРА

Островский А. Г., Зацепин А. Г., Деревнин В. А., Низов С. С., Поярков С. Г., Цибульский А. Л., Швоев Д. А. Заякоренная автоматическая измерительная система «Аквазонд» для вертикального профилирования морской среды // Океанология. 2008. Т. 48, № 2. С. 1–10.

Островский А. Г., Зацепин А. Г., Иванов В. Н., Низов С. С., Соловьев В. А., Тимашкевич Г. К., Цибульский А. Л., Швоев Д. А., Кеббал К. Г. Заякоренная профилирующая океанская обсерватория // Подводные исследования и робототехника. 2009. № 2/8. С. 52–59.

Ostrovskii A. G., Zatsepin A. G., Shvov D. A., Soloviev V. A. Underwater anchored profiler Aqaulog for ocean environmental monitoring // Advances in Environmental Research. 2010. Vol. 4. P. 201–218.

**Е. Г. Лунев (lunev@marlin-yug.com), С. В. Мотыжев,  
А. П. Толстошеев**

Морской гидрофизический институт НАН Украины/  
ООО «НПФ Марлин-Юг»

## **Дрифтерная технология контроля Мирового океана**

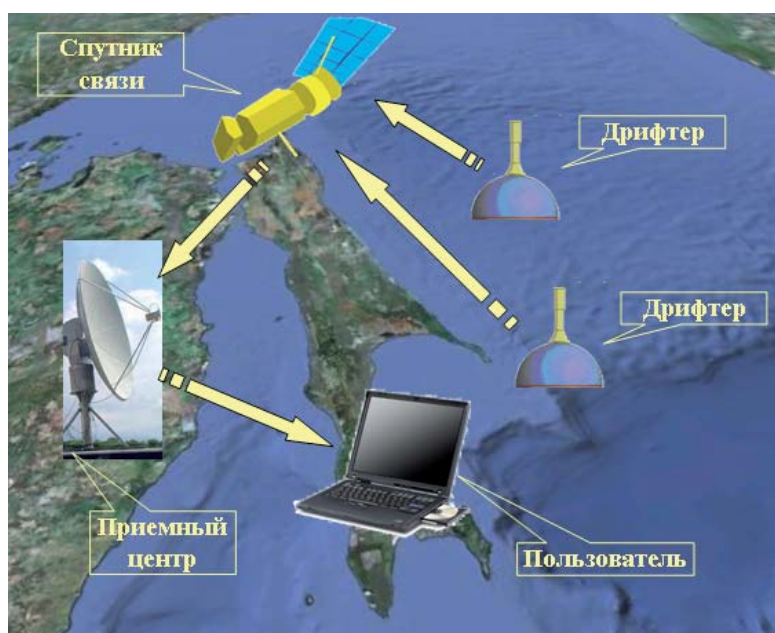
Эффективность реализации принципов устойчивого развития в значительной степени определяется уровнем фундаментальных и прикладных исследований окружающей среды. Достоверность результатов таких исследований зависит, в свою очередь, от качества и количества информации о состоянии экосистемы и тенденциях ее развития. Одним из важнейших сегментов экосистемы является Мировой океан. Современная ситуация характеризуется неадекватностью наших знаний об изменчивости океанических процессов, обусловленной воздействием естественных и антропогенных факторов. По этой причине установление комплексного систематического мониторинга морской среды и приводной атмосферы представляется принципиально важной научной и практической задачей. Результаты анализа современного состояния средств и методов для решения этой задачи сводятся к следующему. В силу экономических причин в настоящее время оказались практически свернуты программы экспедиционных исследований, поставлявшие ранее основной объем информации о состоянии морской среды и приводной атмосферы. Возникшую информационную нишу в известной мере заполнили данные, получаемые дистанционными методами исследования. Однако при их несомненных достоинствах эти методы позволяют получать, как правило, лишь косвенную информацию о климатоформирующих параметрах морской поверхности и приводной атмосферы. Достоверность такой информации определяется возможностями верификации результатов зондирования по данным контактных методов измерений гидрофизических полей, выполняемых в изучаемом регионе, а систематичность ее поступления во многом определяется погодными условиями.

В последние два десятилетия основным источником систематической оперативной комплексной информации о состоянии верхнего слоя океана и приводной атмосферы стали автономные дрейфующие платформы сбора и передачи данных – поверхностные дрифтеры. Дрифтерные технологии представляют собой один из основных сегментов современной системы наблюдений окружающей среды. Современные измерительно-информационные возможности дрифтеров позволяют выполнять контактные измерения практически всего комплекса параметров среды в любом районе Мирового океана, обеспечивая доставку информации пользователям в режиме времени, близком к реальному. Финансовая эффективность наблюдений такова, что получение подобной информации другими методами невозможно в силу несопоставимости затрат. В 2002 г. под эгидой Межправительственной Океанографической Комиссии ЮНЕСКО и Всемирной Метеорологической Организации началось создание системы глобального оперативного мониторинга Мирового океана и приводной атмосферы с целью получения достоверных систематических данных о состоянии экосистемы для решения широкого спектра научных и прикладных задач. Одно из важнейших мест в создаваемой системе занимает сеть поверхностных дрейфующих буев, предназначенная для оперативного мониторинга



гидрометеорологических параметров верхнего слоя океана и приводной атмосферы. Количество дрейфующих в Мировом океане поверхностных буев постоянно поддерживается на уровне не менее 1 250 штук, что обеспечивает среднюю плотность наблюдений  $500 \times 500$  км.

Структура дрейфтерной системы наблюдений Мирового океана и приводной атмосферы показана на *рисунке 1*. Базовым инструментом дрейфтерной технологии является автономный лагранжевый дрейфтер типа SVP, оборудованный подводным парусом, терминалом спутниковой связи и измерительными каналами. Результаты измерений параметров окружающей среды и траекторий движения дрейфтера передаются по каналу спутниковой связи в приемные центры и после предварительной обработки доставляются пользователям.



*Рис. 1. Структура дрейфтерной системы наблюдений верхнего слоя океана и приводной атмосферы*

Качество результатов применения дрейфтерной технологии определяется эффективностью решения комплекса задач разработки, производства и эксплуатации дрейфующих буев. Показателем того, насколько сложными оказываются эти задачи, может служить тот факт, что при очевидной востребованности дрейфтерных данных количество производителей дрейфтеров весьма ограничено. На сегодняшний день глобальная наблюдательная дрейфтерная сеть поддерживается всего пятью организациями, из которых четыре представляют США и Канаду. Пятой организацией, которая в последнее десятилетие прочно заняла место на рынке дрейфтерных технологий, является Морской гидрофизический институт НАН Украины (МГИ НАНУ) совместно с созданной на его основе научно-производственной фирмой «Марлин-Юг».

Участие МГИ НАНУ в глобальных дрейфтерных программах связано, главным образом, с инновационной деятельностью, направленной на создание в рамках дрейфтерной технологии новых информационно-измерительных средств. Следует отметить, что работы, выполненные в МГИ НАНУ, суще-

ственно расширили возможности дрейфтерных исследований. В связи с этим в приводимых ниже материалах под дрейфтерной технологией понимаются не только традиционные поверхностные дрейфтеры, но и средства и методы мониторинга ледовых полей и термической изменчивости верхнего слоя океана.

К числу наиболее значимых средств дрейфтерной технологии, разработанных в МГИ НАНУ к 2011 г. и внедренных в практику исследования верхнего слоя Мирового океана и приводной атмосферы, следует отнести термопрофилирующий дрейфующий буй SVP-BTC; дрейфующий буй с интегрированным приемником глобальной системы позиционирования GPS; дрейфующий буй с передачей данных по каналам сотовой связи стандарта GSM; программно-аппаратные модули дрейфующего буя для передачи данных в системах спутниковой связи Argos-2, Argos-3, Iridium; маркерный буй для мониторинга ледовых полей.

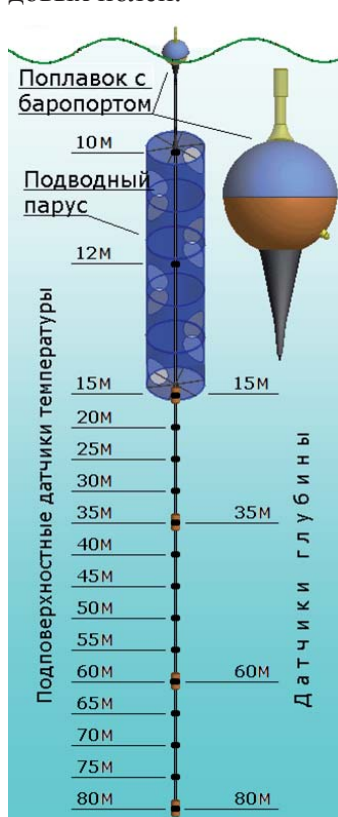


Рис. 2. Термопрофилирующий дрейфующий буй типа SVP-BTC80

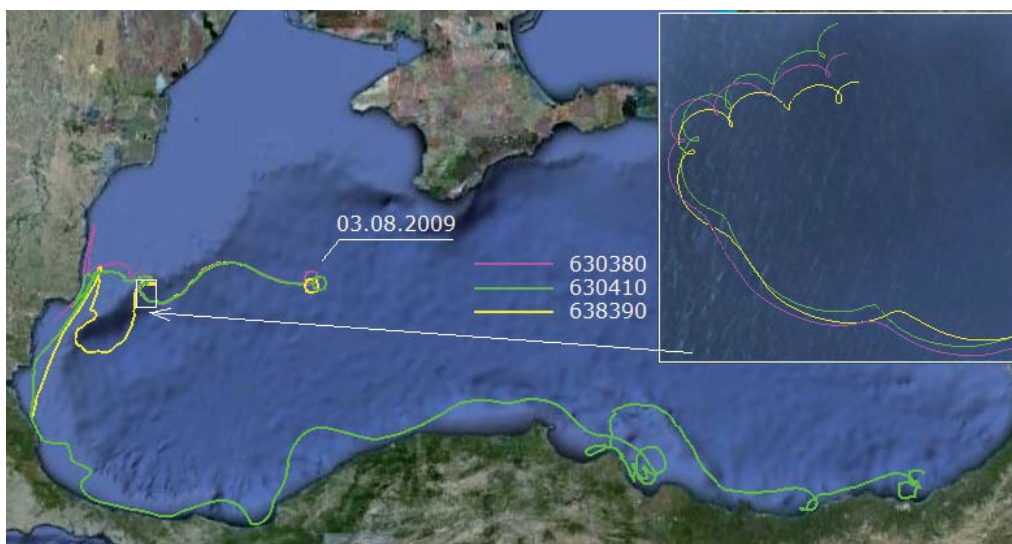
**Термопрофилирующий дрейфтер SVP-BTC80**, структура которого показана на *рисунке 2*, представляет собой принципиально новое средство изучения вертикального распределения температуры воды в верхнем слое моря до глубины около 80 м. Дрейфтер ориентирован на получение систематической оперативной информации о термических процессах в сезонном термокLINE и холодном промежуточном слое. Разработанная в 2009 г. версия термопрофилирующего дрейфтера Iridium SVP-BTC80 RTC/GPS, представляет собой квази-лагранжевый барометрический дрейфующий буй с термопрофилирующей линией до глубины 80 м и передачей данных через спутниковую систему связи Iridium. Термопрофилирующая линия содержит 16 датчиков температуры воды, расположенных на номинальных горизонтах от 10 до 80 м, и датчик глубины нижнего конца линии. Траекторные измерения обеспечиваются интегрированным в аппаратуру дрейфтера приемником GPS с быстрым восстановлением работоспособности после погружений поверхностного поплавка дрейфтера. Погрешность позиционирования не превышает 50 м. Период измерений профилей температуры, атмосферного давления и координат – 30 мин. Синхронизация измерений осуществляется по началу каждого пол часа.

В 2009 г. в рамках пилотного проекта «Iridium» (<http://www.jcommops.org/dbcp/iridium-pp/>) был подготовлен и выполнен широкомасштабный черноморский эксперимент с термопрофилирующими дрейфтерами Iridium SVP-BTC80 RTC/GPS. Эксперимент стал возможен благодаря тесному сотрудничеству МГИ НАНУ (разработка дрейфтеров и планирование эксперимента), украинской научно-производственной фирмы «Марлин-Юг» (изготовление и испытание дрейфтеров), французской национальной метеорологической службой Meteo-France (финансовая поддержка по оплате передачи данных через систе-

му Iridium). В начале августа 2009 г. кластер из трех дрейфтеров SVP-BTC80 RTC/GPS IMEI 630380, 638390 и 630410 был развернут в западной части Черного моря. В *таблице* приведены основные сведения об эксперименте, а на *рисунке 3* показаны траектории дрейфов буев.

**Таблица. Основные данные о черноморском эксперименте 2009 г. с термопрофилирующими дрейфующими буями SVP-BTC80 RTC/GPS**

| Идентификационный номер   | Развертывание     |                                    | Окончание работы    |                                    |                | Время работы, сутки |
|---------------------------|-------------------|------------------------------------|---------------------|------------------------------------|----------------|---------------------|
|                           | дата              | координаты                         | дата                | координаты                         | причина        |                     |
| IMEI 630380/<br>WMO 61690 | 3 августа 2009 г. | 43°34'29" с. ш.<br>31°59'26" в. д. | 2 октября 2009 г.   | 43°17'52" с. ш.<br>28°09'41" в. д. | Вандализм      | 60                  |
| IMEI 630410/<br>WMO 61691 |                   | 43°34'25" с. ш.<br>31°59'23" в. д. | 23 ноября 2009 г.   | 43°42'53" с. ш.<br>35°40'10" в. д. | Утонул         | 112                 |
| IMEI 638390/<br>WMO 61689 |                   | 43°34'24" с. ш.<br>31°59'26" в. д. | 13 сентября 2009 г. | 43°17'50" с. ш.<br>28°09'40" в. д. | Вышел на берег | 41                  |



**Рис. 3.** Траектории дрейфов термопрофилирующих буев SVP-BTC80 RTC/GPS 630380, 630410 и 638390 в Черном море в августе – ноябре 2009 г. Прямоугольником выделены фрагменты траекторий дрейфов

На *рисунке 4а* показан фрагмент данных по результатам измерений температурных профилей в верхнем слое моря вдоль траектории дрейфтера SVP-BTC80 RTC/GPS IMEI 630380 в августе–сентябре 2009 г. По совокупным вертикальным профилям температуры воды (*рис. 4б*), интерполированным по глубине с шагом 5 м, были оценены средние квадратические отклонения температуры на горизонтах от 0 до 60 м. Результаты оценивания для начального участка траектории дрейфтера SVP-BTC80 RTC/GPS IMEI 630410 представлены на *рисунке 4в*. Наибольшее значение температуры в августе зафиксировано на поверхности моря и составило около 26,5°C, а наибольшая изменчивость температуры со средним квадратическим отклонением 4,2°C наблюдалась на глубине около 15 м.

СЕКЦИЯ А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики

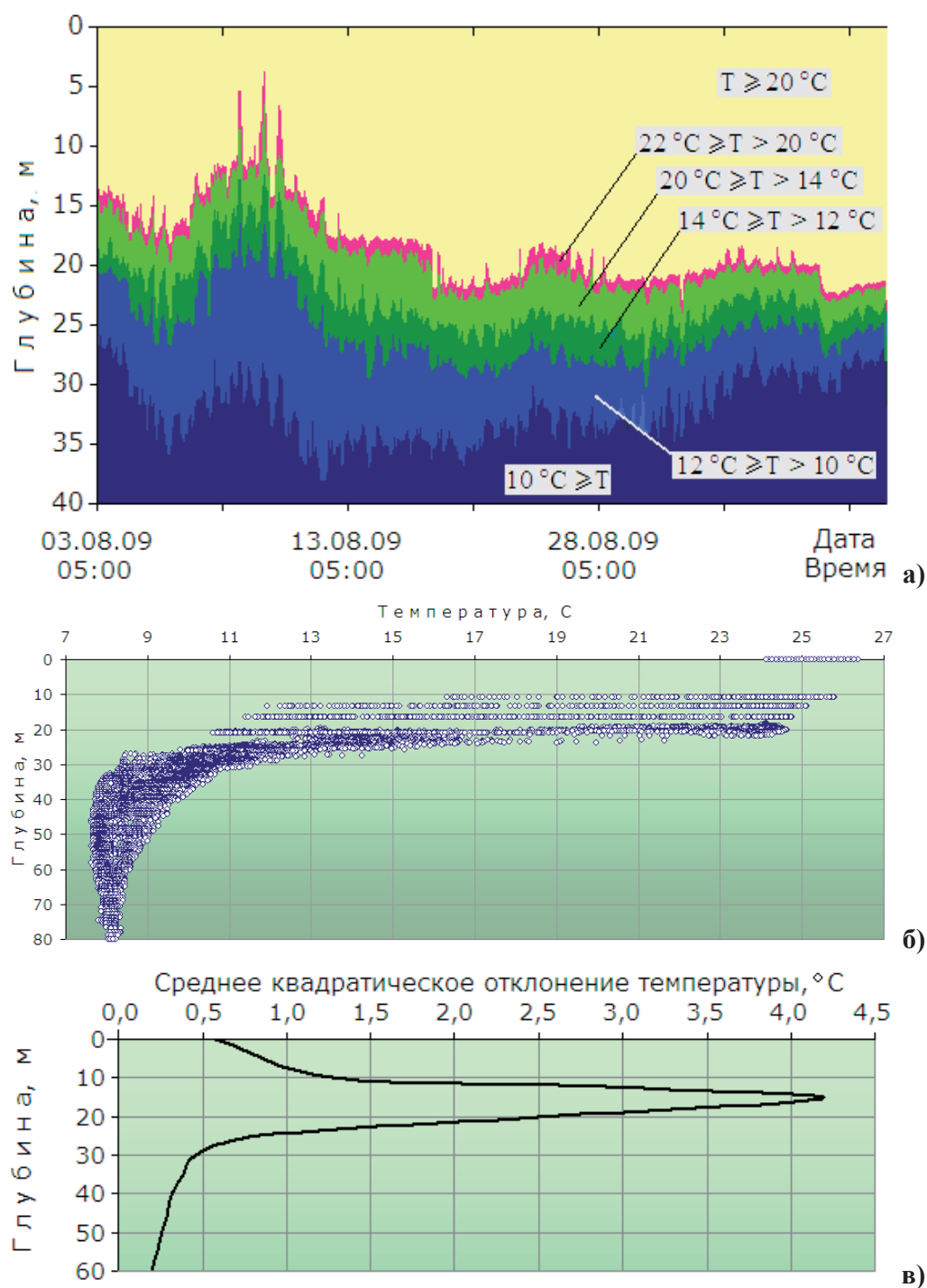


Рис. 4. Распределение температуры воды в верхнем слое Черного моря по данным дрейфтера 630380 в августе–сентябре 2009 г. (а); совокупность вертикальных профилей (б) и средние квадратические отклонения (в)



**Дрейфующий буй с интегрированным приемником глобальной системы позиционирования GPS.** Циркуляции водных масс воспроизводятся по результатам измерений траекторий дрейфтеров. Координаты буя оцениваются в системах спутниковой связи Argos или Iridium по величине доплеровского сдвига частоты сигнала передатчика. Погрешности оценивания координат доплеровским методом в системах Argos и Iridium существенно различаются. В системе Argos в зависимости от характеристик канала связи неопределенность локализации изменяется от 150 до 1 000 м. Эллипс ошибок локализации в системе Iridium имеет большой эксцентриситет. Длина его большой оси, ориентированной в направлении «восток–запад», составляет около 10 000 м, а длина малой – на один-два порядка меньше. Такие погрешности при применении традиционных способов отбраковки и линейной интерполяции данных оказываются вполне приемлемыми при изучении крупномасштабных процессов переноса поверхностных вод. Для исследований более высокочастотных процессов в настоящее время разработаны буи со встроенными приемниками GPS, что позволяет воспроизводить траектории буев с погрешностью не хуже 50 м.

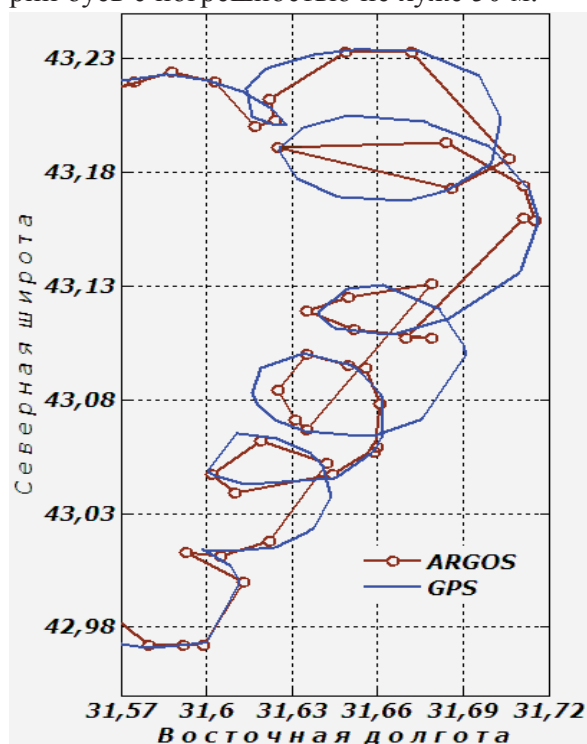


Рис. 5. Фрагменты траектории дрейфтера № 47621 по данным доплеровского метода системы Argos и показаниям приемника GPS

На *рисунке 5* показаны фрагменты траектории дрейфтера № 47621, построенные по показаниям приемника GPS и по данным, полученным доплеровским методом спутниковой системы Argos.

**Дрейфующий буй с передачей данных по каналам сотовой связи стандарта GSM.** Характерные особенности дрейфтера для изучения течений в прибрежных зонах – встроенный приемник GPS для определения координат и терминал сотовой сети для передачи результатов измерений в центр сбора и обработки данных. Приемник GPS обеспечивает пространственное разрешение не более 15 м, а терминал сотовой связи – разрешение по времени не более 3 мин. Внешний вид дрейфтера показан на *рисунке 6а*. Результаты испытаний двух дрейфтеров в ходе экспери-

мента 25 июля 2008 г. по изучению течений в районе о. Коса Тузла приведены на *рисунке 6 б*, где указано местное время начала и окончания дрейфов.



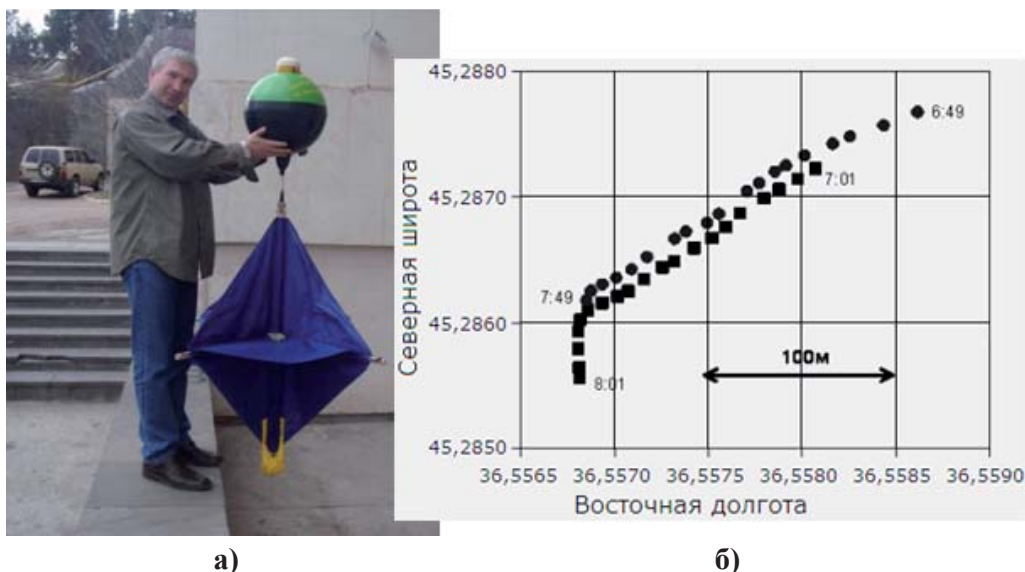
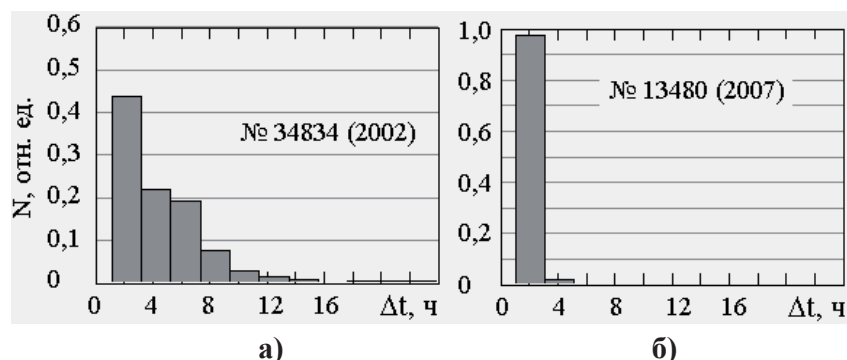


Рис. 6. Внешний вид (а) дрейфера для изучения циркуляций поверхностных вод в прибрежных зонах и траектории (б) дрейфов двух таких дрейферов в ходе эксперимента по изучению течений в районе острова Коса Тузла в Керченском проливе 25 июля 2008 г.

**Программно-аппаратный модуль дрейфующего буя для передачи данных в системе спутниковой связи Iridium.** С целью преодоления ограничений, связанных с малой пропускной способностью каналов связи спутниковой системы Argos, традиционно обслуживающей дрейферные исследования, в последние годы предпринимаются попытки интеграции автономных дрейфующих буй в систему спутниковой связи Iridium.

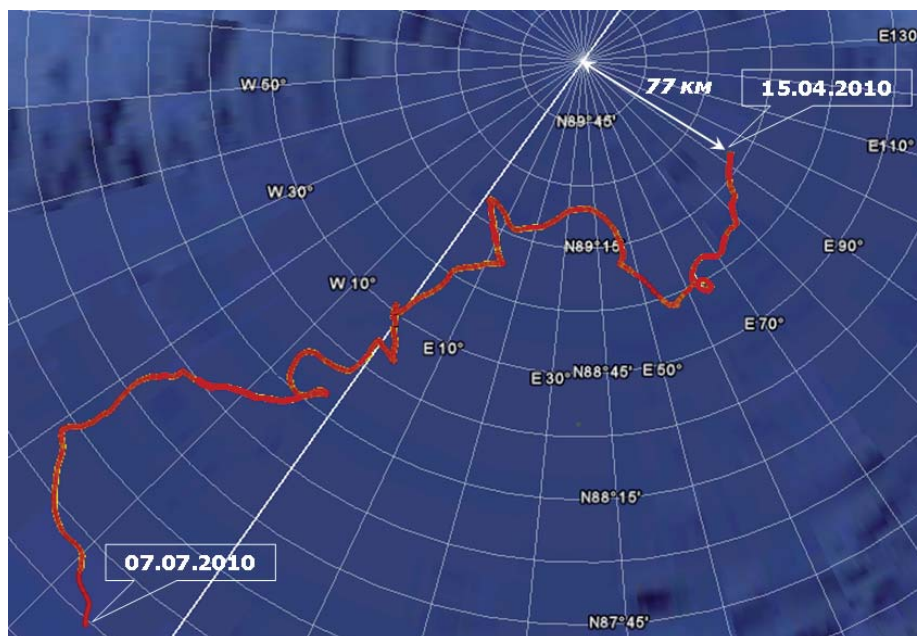
Преимущества системы Iridium: высокая пропускная способность двустороннего канала связи; время запаздывания доставки данных пользователю – не более 10 мин; потери данных – не более 3 %; простота использования (отправить команду на буй или получить с него данные можно с любого компьютера при помощи обычной электронной почты); низкие тарифы. На рисунке 7 показаны гистограммы распределений интервалов времени между последовательными наблюдениями по данным дрейферов, полученным по каналам связи систем Argos (а) и Iridium (б).



**Рис. 7.** Распределения интервалов времени между последовательными наблюдениями по данным доплеровского метода системы Argos (а) и системы Iridium (б).  $N$  – повторяемость;  $\Delta t$  – интервал времени. На графиках указаны идентификационные номера и года развертывания дрейфтеров

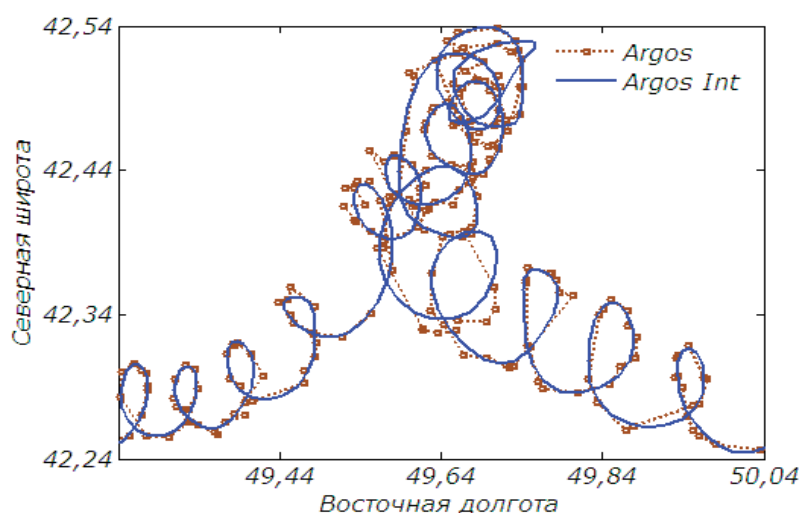
Из графиков видно, что если по данным Argos-дрейфтера временной интервал между наблюдениями составлял не более 3 ч для 45% реализаций, то по данным Iridium-дрейфтера такой временной интервал обеспечивался для 98% переданных сообщений.

Разработанный в 2009 г. **маркерный буй с каналом связи спутниковой системы Argos-2 для мониторинга ледовых полей** предназначен для слежения за перемещениями ледовых полей с высоким пространственно-временным разрешением. Измеряемые параметры: координаты (по данным приемника GPS); атмосферное давление; температура льда. На **рисунке 8** показаны результаты, полученные с помощью ледового маркера, установленного в районе Северного полюса в апреле 2010 г.



**Рис. 8.** Траектория движения льдов по данным ледового маркера

Кроме создания новых дрейфующих буев в МГИ НАНУ разработаны **методы вторичной обработки и формализации дрейфтерных данных**, направленные на повышение их достоверности, обеспечение доступности и удобства пользования. В частности, предложена методика интерполяции и фильтрации результатов траекторных измерений. В соответствии с алгоритмом, реализующим эту методику, компоненты траекторий дрейфтеров интерполируются на основе полиномиально-синусоидальной функции, что позволяет воспроизводить траектории дрейфов с разрешением по времени в 1 час и погрешностью приблизительно на 20% меньше, чем при линейной интерполяции первичных данных. На **рисунке 9** показаны фрагменты траектории дрейфтера № 34265 (Каспийское море), построенные по первичным данным (Argos) и по результатам интерполяции на основе полиномиально-синусоидальной функции (Argos Int). Метки на графике траектории по первичным данным соответствуют наблюдениям, полученным доплеровским методом системы Argos. Очевидно, что предложенный метод интерполяции позволяет более достоверно восстанавливать пропущенные данные даже на участках дрейфа, где траектория буя определялась колебаниями вблизи инерционной частоты.



**Рис. 9.** Фрагменты траектории дрейфтера № 34265, построенные по первичным данным (Argos) и по результатам интерполяции на основе полиномиально-синусоидальной функции (Argos Int)

Второе направление деятельности по вторичной обработке дрейфтерной информации связано с ее формализацией. Имеется в виду следующее. В Черноморском регионе дрейфтерные эксперименты последнего десятилетия стали одним из основных источников контактной оперативной систематической информации о состоянии верхнего слоя открытого моря и приподной атмосферы. К 2011 г. продолжительность работы дрейфтеров составила более 115000 часов. За это время получены представительные с разрешением в 1 час массивы данных о температуре поверхности моря, профилях температуры верхнего слоя моря, атмосферном давлении и поверхностных течениях. Однако при очевидных преимуществах дрейфтерного мониторинга остается малоэффективным использование его результатов для полноценного дальнейшего анализа и адек-

ватного реагирования на изменчивость окружающей среды. Причина этого в отсутствии формализованных в соответствии с современными требованиями массивов дрейферных данных и, как следствие, в ограниченном доступе пользователей к полученной информации. В связи с этим в МГИ НАНУ разработана методика обработки и систематизации результатов дрейферного мониторинга Черного моря и в настоящее время создана и пополняется база данных черноморских дрейферных экспериментов.

В течение последнего десятилетия дрейферный мониторинг стал одним из основных источников достоверной оперативной систематической информации об изменчивости процессов в верхнем слое океана и приземной атмосфере. Существенный вклад в развитие дрейферной технологии за эти годы внесли МГИ НАНУ и украинская научно-производственная фирма «Марлин-Юг». Разработанные и произведенные этими организациями средства наблюдений и методы обработки данных позволили значительно расширить информационно-измерительные возможности дрейферного мониторинга окружающей среды.

**В. С. Тамбовский** (tambovsky@ecs.sakhalin.ru),  
**А. О. Бобков** (bobkov@ecs.sakhalin.ru)

Экологическая компания Сахалина  
(Южно-Сахалинск, Россия)

## **Мониторинг движения ледяных полей взломанного припая с применением буев-дрифтеров, оснащенных терминалом АРГОС, и спутниковых снимков Терра-МОДИС для обеспечения безопасности морских операций в западной части Охотского моря в весенний период**

Продолжительность периода открытой воды в районе перспективных и эксплуатируемых нефтегазовых месторождений на северном и северо-восточном шельфе острова Сахалин ограничено 4,5–5 месяцами. Кроме ограничений, применяемого для работ оборудования и возможностей судов этот период может сокращаться из-за природных явлений, таких, как возврат льда в районы работ.

Проведение морских операций в 2001–2008 гг. в сочетании с мониторингом ледяного покрова позволили продлить период работ и уменьшить риски от влияния возврата полей дрейфующего льда в районы начавшихся морских операций для проектов «Сахалин-2» и «Сахалин-5». Весной 2009 г. были проведены исследования дрейфа льда с применением буев-дрифтеров с терминалами АРГОС, установленных на полях взломанного припая в Сахалинском заливе, являющихся наиболее опасными ледовыми объектами в составе зоны выноса льда. Ежечасный мониторинг позиции дрейфующих полей в сочетании со спутниковым мониторингом позволил получить данные о движении ледяных полей взломанного припая.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Безусловно, одним из самых интересных ледовых явлений, обнаруженных и изученных на шельфе северо-восточного побережья острова Сахалин в 2001–2009 гг., являлся возврат полей дрейфующего льда в этот район с северной оконечности острова после того, как здесь уже произошло очищение акватории от дрейфующего льда.

Возврат полей однолетних льдов в район добычи нефтеуглеводородов на северо-восточном шельфе Сахалина приводил к остановке начавшихся работ и технологических процессов из-за опасности для морских операций от воздействия полей дрейфующего льда. Остановка работ могла составить 2–3 недели и приводила к срыву графика работ и большим непроизводительным затратам и убыткам.

Прогноз зарождения и дальнейшего развития этого явления поначалу был затруднительным, что создавало большую угрозу уже начавшемуся процессу добычи и отгрузки нефти на добывающем комплексе «Витязь» или работ вспомогательных судов у платформ РА-В и LUN-A.

Анализ передвижения ледяных полей по спутниковым снимкам Терра-МОДИС позволил изучить некоторые причины возникновения и развития этого ледового явления, рассчитать скорости движения льда, период действия явления на северо-восточном шельфе Сахалина [3].



Мониторинг дрейфа ледяных полей в Сахалинском заливе и прилегающих к нему акваториях являлись одной из важнейших задач для исследования явления выноса льда, поскольку после взлома припая в Амурском лимане, поля взломанного припая устремлялись к северной оконечности о. Сахалин и включались в ледовую массу, выносимую на северо-восточный шельф острова.

Результаты исследования дрейфа полей взломанного припая в Сахалинском заливе и прилегающей акватории, по данным наблюдений за перемещением льдин, маркированных буями-дрифтерами, оснащенными терминалами АРГОС, весной 2009 г., представлены в данной статье.

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Целью исследования являлось детальное изучение движения полей взломанного припая в Сахалинском заливе и их перемещение в выносе льда на северо-восточный шельф острова паводковыми водами реки Амур после взлома припая в южной части Сахалинского залива.

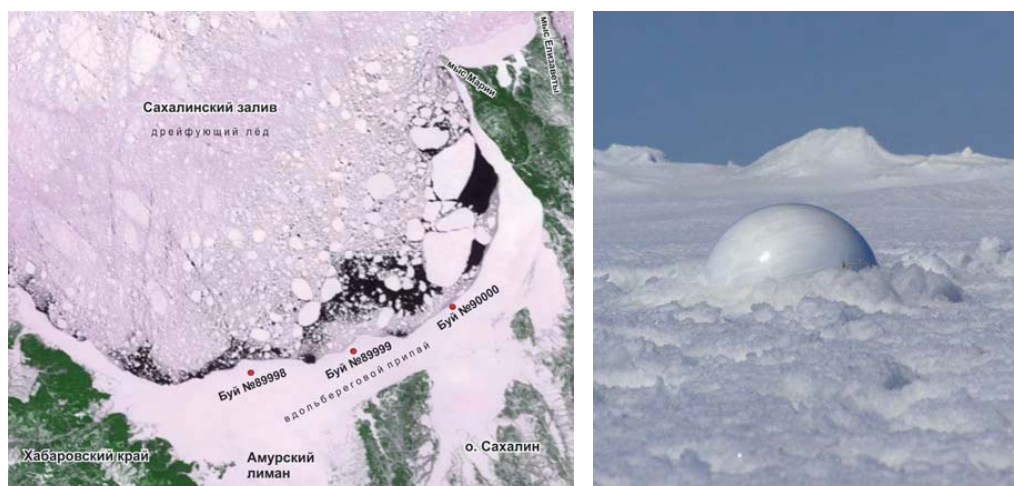
Исследование выполнялось с помощью буюв-дрифтеров АРГОС, установленных на ледяной припай в Сахалинском заливе весной 2009 г. При этом решались следующие задачи: установка буюв на границе припая перед взломом, ежечасный мониторинг и сбор данных о положении буюв и их перемещении в исследуемом районе, расчеты параметров дрейфа льда. Одновременно с мониторингом перемещения буюв выполнялся ежесуточный мониторинг перемещения ледяных полей по спутниковым снимкам Терра-МОДИС.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Применявшийся дрифтерный буй представлял собой модифицированный верхний поплавок SVP бую диаметром 0,34 м [1], оснащенный терминалом ARGOS MT105AMG [2], и, по сути, являлся поверхностным ледовым маркером, обладающим также возможностью свободного плавания на поверхности воды после разрушения льда. Для обеспечения вертикальной ориентации бую при установке на лед поплавок оснащается снизу съемным металлическим стаканом, который заглубляется в лед.

Установка буюв на ледяной припай выполнялась специалистами Экологической компании Сахалина (ЭКС) в апреле 2009 г. Буй доставлялись в запланированные точки на границе припая снегоходами. Всего вблизи границы берегового припая в южной части Сахалинского залива было установлено три бую (*рис. 1*).

Данные о GPS-позиции буюв ежечасно передавались терминалом, установленным в бую, через спутниковую систему ARGOS в наземный центр приема и далее принимались оператором ЭКС в Южно-Сахалинске. Обработка полученных данных включала выравнивание данных по времени и пересчет географических координат в WGS84, более удобных для расчетов. Для выравнивания во времени строились кубические сплайны по осям X и Y. Эти сплайны цифровались с постоянным шагом в один час.



*Рис. 1. Схема установки буйев на вдольбереговой припай в Сахалинском заливе (слева). Буй, установленный на ледяном припайе (справа)*

Для отделения приливных движений последовательно рассчитывались среднесуточные положения буя. Поскольку основные приливные движения имеют периоды в половину или равные целым суткам, можно рассчитывать, что таким образом мы избавились от влияния приливных течений, формирующих периодическую составляющую дрейфа, а оставшаяся часть – это чистый или остаточный дрейф. Между среднесуточными значениями остаточного дрейфа данные интерполировались с шагом в один час кубическим сплайном, чтобы получился ряд такой же длины, как исходный. Пример результата обработки буя 89998 представлен на **рисунке 2**.

Для получения ряда, описывающего перемещение буя под воздействием прилива, из исходного ряда вычитался ряд остаточного дрейфа. Для расчета скорости движения буя разность между каждыми двумя последовательными положениями буя делилась на продолжительность интервала времени между ними.

Для оценки приливных течений в Сахалинском заливе была использована часть ряда, после разрушения ледяного припая и до выноса буя за пределы залива. Был выполнен спектральный и гармонический анализ временного ряда, соответствующего приливной составляющей.

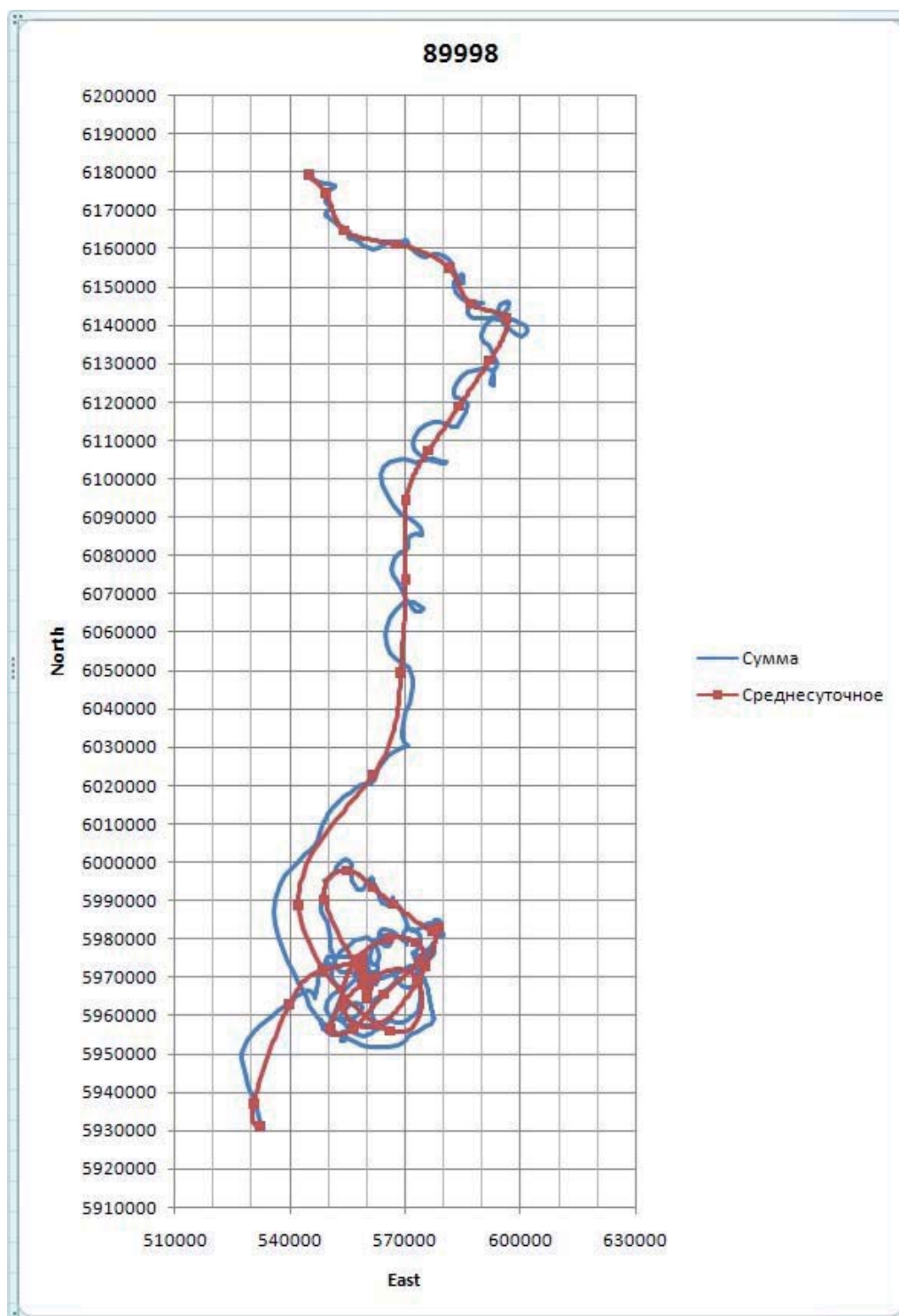


Рис. 2. Траектория движения буя 89998, построенный по исходному (суммарному) ряду и рассчитанному среднесуточному положению

СЕКЦИЯ А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Буй 89998 и 89999 начали движение 1 мая и 2 мая 2009 г. соответственно после частичного взлома припая (рис. 3а). Буй 90000 начал движение 24 мая 2009 г. Буй 89998 перемещался с ледяным полем ориентировочно до 31 мая 2009 г. После 31 мая вследствие разрушения ледяного поля буй попал в воду и далее дрейфовал на поверхности воды (рис. 3б). Буй 89999 перемещался на ледяном поле до 27 мая, далее дрейфовал на поверхности воды. Буй 90000 начал движение на ледяном поле после взлома припая в юго-восточной части Сахалинского залива с 25 мая 2009 г. и вышел из залива в середине июня, находясь на чистой воде.

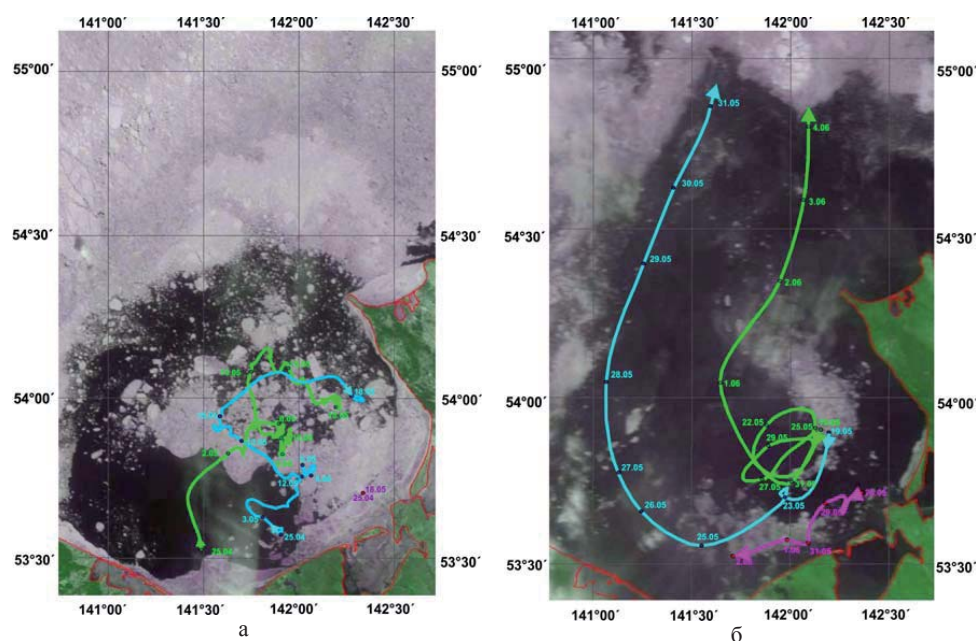


Рис. 3. Траектории движения буев в Сахалинском заливе; а – траектория движения буев 89998 (зеленый) и 89999 (голубой) до взлома припая в Амурском лимане, 25 апреля – 18 мая 2009 г.; б – траектория движения буев 89998 и 89999 после взлома припая в Амурском лимане и поступления потока паводковых вод в Сахалинский залив 18 мая – 4 июня 2009 г.

Наибольший интерес для нашего исследования движения льдов в Сахалинском заливе и потока воды из Амурского лимана, формирующего вынос льда на северо-восточный шельф Сахалина, представляют траектории буев 89998 и 89999.

Анализ спутниковых снимков ледовой обстановки и траекторий дрейфа буев показал, что в восточной части Сахалинского залива в период разрушения ледяного покрова существует устойчивый циклонический вихрь, формируемый движением распресненной более теплой воды, поступающей под ледяным припаем из Амурского лимана. До взлома припая в Амурском лимане слабое поступления вод под ледовым припаем формирует на поверхности Сахалинского залива поток воды, распространяющийся на север и восток по пути наименьшего сопротивления вдоль границы очень сплоченного торосистого льда, образуя циклоническую циркуляцию на акватории залива (см. рис. 3а, б).



После взлома припая в Амурском лимане поток паводковых вод реки Амур и частично вод из Татарского пролива устремляется в Сахалинский залив по свободной ото льда акватории к северной оконечности острова Сахалин и далее вдоль берега на юг. При своем движении паводковая волна увлекает впереди себя плавающий лед, образуя вынос ледяных полей из Сахалинского залива и северной оконечности острова Сахалин до залива Чайво (рис. 4).

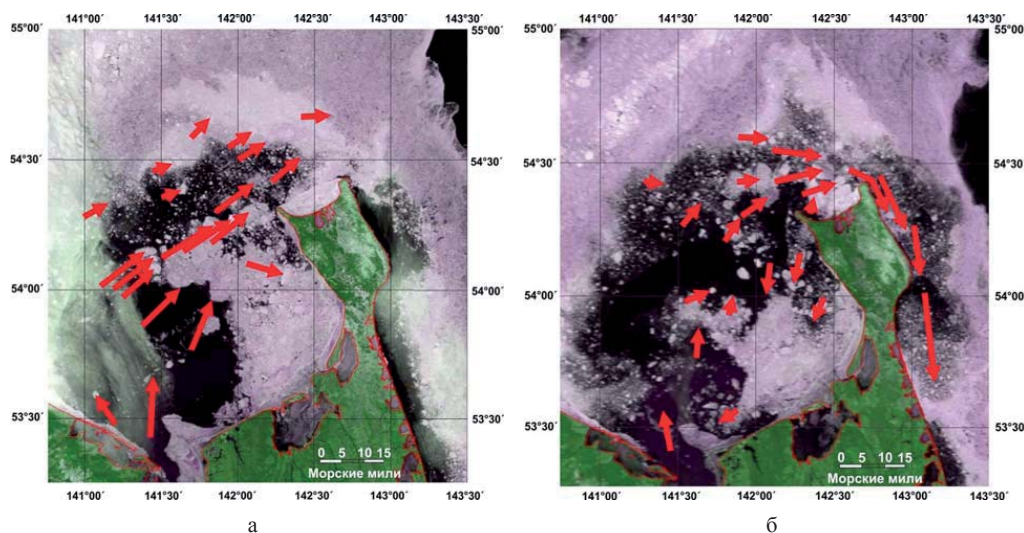


Рис. 4. Расчетный суточный дрейф ледяных полей по результатам анализа спутниковых снимков Тетра-МОДИС: а – 17–18 мая 2009 г., б – 21–22 мая 2009 г.

За передним фронтом движения этих вод образуется разряженный шлейф, состоящий из ледяных полей, вовлекаемых в движение. Разряжение льда возникает из-за растекания по поверхности моря распресненных вод.

По результатам анализа движения буев установлено, что максимальные скорости дрейфа буев зафиксированы на чистой воде в зоне потока вод из Амурского лимана, которые достигают 78–89 см/с, или 1,4–1,6 узла. Средние скорости буев на чистой воде в потоке выноса составляли 45 см/с, или 0,9 узла.

Анализ дрейфа ледяных полей по спутниковым снимкам Тетра-МОДИС показывает, что скорость дрейфа льдин в районе движения фронта выноса вод достигает 0,8 узла, или 45 см/с. В потоке выноса позади фронта, скорости дрейфа ледяных полей ослабевают и не превышают 0,3–0,5 узла (16–27 см/с) (см. рис. 4 б).

Меньшие скорости движения ледяных полей в потоке поверхностных вод, обладающих большими скоростями объясняются инерцией движения торосистых ледяных полей, имеющих подводные кили до 4–6 м и небольшую сплоченность льдин, которые свободно обтекаются, не встречая значительного сопротивления, потоком поверхностных вод.

На суммарную скорость дрейфа маркированных полей в сплоченном льду в большей степени оказывает влияние приливная компонента дрейфа (рис. 5; 27–31.05.09).





Рис. 5. Графики скорости исходного и расчетных остаточного и приливного рядов буя 89999

В зоне потока выноса поверхностных вод высокие скорости обуславливались остаточной компонентой дрейфа, на фоне которой происходило периодическое усиление скорости дрейфа за счет приливной компоненты (см. рис. 5; 19–20.05.09 и 26–31.05.09). Скорости движения буя резко возрастают при движении буя в потоке выноса по чистой воде или редком льду и замедляются при нахождении буя в зоне сплоченных ледяных полей.

Спектральный анализ приливных рядов дрейфа буев показал, что кроме типичных приливных частот около 12 и 24 часов выделяются пики, которые не соответствуют никаким стандартным приливным гармоникам (рис. 6). Так наиболее высокий пик приходится на период 15 часов 10 минут, обусловленный, по всей видимости, инерционным течением. На спектре скорости буя 89999 этот пик также хорошо виден, а для буя 90000 он менее заметен, но все же явно выделяется.

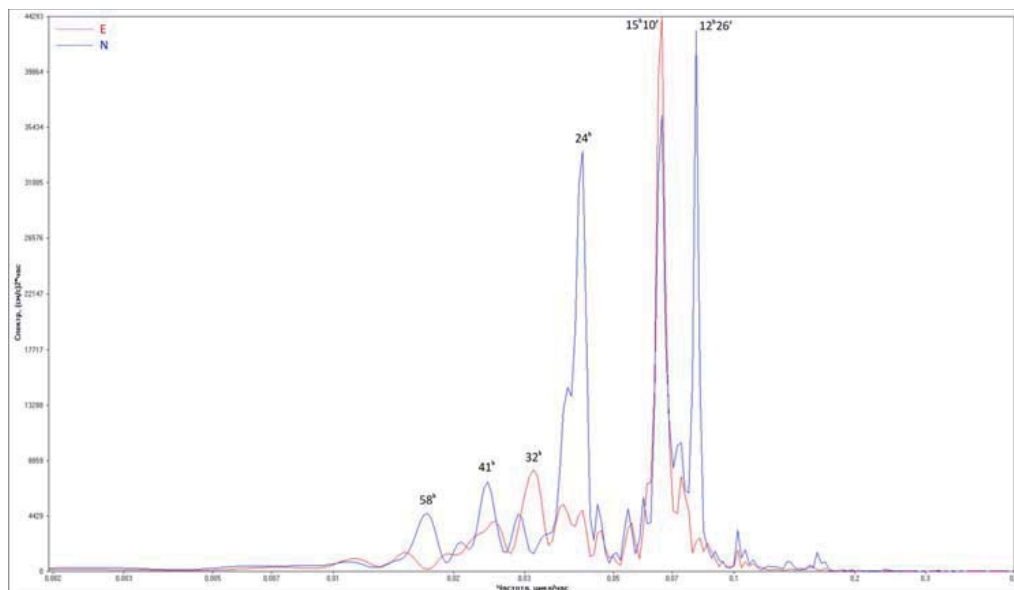


Рис. 6. Спектр приливной составляющей скорости буя 89998

Гармонический анализ приливного дрейфа по данным трех буев показывает, что их скорости в Сахалинском заливе невелики. Характер приливных течений, судя по соотношению амплитуд основных гармоник, находится вблизи границы между «неправильными суточными» и «неправильными полусуточными».

Анализ ежедневных спутниковых снимков Терра-МОДИС позволил проследить движение выноса льда формируемого потоком поверхностных вод из Амурского лимана к северной оконечности острова Сахалин и далее к эксплуатируемым месторождениям на северо-восточном шельфе (см. рис. 4). После взлома припая 17 мая, уже 18 мая поток поверхностных вод начал воздействие на движение льда из Сахалинского залива увеличив скорости дрейфа в зоне фронта до 0,7 узла. 20 мая лед обогнул мыс Елизаветы и далее двигался на юг, достигнув Пильтун-Астохского месторождения через 8 дней (28 мая), а Чайвинского месторождения через 9 дней (29 мая 2009 г.). Средняя скорость движения фронта льда составила 0,65 узла при максимальной 0,9 узла.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Три буя, установленные на вдольбереговом припаяе в южной части Сахалинского залива, позволили проследить движение ледяных полей и определить скорости дрейфа льда с дискретностью 1 час.

Анализ движения буев показал, что в восточной части Сахалинского залива в период разрушения ледяного покрова существует устойчивый циклонический вихрь, формируемый движением поверхностных вод, поступающих из Амурского лимана.

После взлома припая в Амурском лимане поток паводковых вод реки Амур и частично вод из Татарского пролива устремляется в Сахалинский залив. При своем движении паводковая волна увлекает впереди себя плавучий лед, об-

разуя вынос ледяных полей из Сахалинского залива к северной оконечности острова Сахалин и далее вдоль берега на юг.

Анализ дрейфа ледяных полей показывает, что скорости дрейфа льдин в районе движения фронта выноса вод достигают 0,8 узла, или 45 см/с. В потоке выноса позади фронта, скорости дрейфа ледяных полей ослабевают и не превышают 0,3–0,5 узла (16–27 см/с).

По результатам анализа движения буев установлено, что максимальные скорости дрейфа буев зафиксированы на чистой воде в зоне основного потока вод из Амурского лимана и составляют 78–89 см/с, или 1,4–1,6 узла. Средние скорости буев на чистой воде в потоке выноса составляли 45 см/с, или 0,9 узла.

Меньшие скорости движения ледяных полей в потоке поверхностных вод с большими скоростями объясняются инерцией движения торосистых ледяных полей, связанных с особенностями их морфометрии.

На суммарную скорость дрейфа буев в сплоченном льду в большей степени оказывает влияние приливная компонента дрейфа. В зоне чистой воды выноса поверхностных вод высокие скорости обуславливались остаточной компонентой дрейфа.

Средняя скорость движения ледяных полей в фронте выноса, распространяющемся вдоль северо-восточного побережья Сахалина на юг составляла 0,65 узла при максимальной 0,9 узла. Расстояние от северной оконечности острова Сахалин до месторождений на северо-восточном шельфе лед проходил за 8–9 дней.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Комплекс для изучения дрейфа льда и течений, 34-см поплавков SVP дрейфующего буя, оснащенный терминалом ARGOS MT105AMG. Инструкция по эксплуатации. Севастополь 2008. С. 34. (In Russian).
2. Толстошеев А. П., Лунев Е. Г., Мотыжев В. С. (2008). Развитие средств и методов дрейфтерной технологии применительно к проблеме изучения Черного моря. Океанология, 2008, т. 48, № 1, с. 149–158. (In Russian).
3. Tambovsky V. S., Pilkington G. R., Keinonen A. J., Ryabov S. V. Environmental Phenomena Observed off the Northeast Coast of Sakhalin Island During Support Operations for Sakhalin Energy's Offshore Oil Production Activities // Proceedings of the 2006 (Icetechn'06) Conference. Society of Naval Architects and Marine Engineers. Banff, Alberta. Canada, 2006. (Pgs) 118–226.

Ф. Лефевр<sup>1</sup>, В. Ю. Александров<sup>2</sup>,  
А. Л. Сальман<sup>3</sup> (a.salman@es-pas.com)

<sup>1</sup> Компания CLS; <sup>2</sup> Фонд «Нансен-центр»; <sup>3</sup> ЗАО «ЭС-ПАС»

## Использование радиолокационных изображений для обнаружения судов и мониторинга ледовой обстановки в Охотском море

В декабре 2010 г. французская компания CLS и Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН проводили исследование миграций белух в южной части Охотского моря в период образования льдов. При этом перемещения белух отслеживались с помощью радиомаяков спутниковой системы определения местоположения и сбора данных Argos, а ледовая обстановка оценивалась путем обработки спутниковых радиолокационных изображений. При обработке спутниковых данных французские специалисты обнаружили морские суда в опасной близости от ледовых полей, а затем выявили объекты, затертые льдами.

В тот же период международные средства массовой информации сообщили о том, что несколько российских промысловых судов попало в ледовый плен в Охотском море. В дальнейшем на спасение этих судов были затрачены значительные силы и средства.

### Special operation to rescue fishermen locked in ice in Sea of Okhotsk to start January 4

Topic: Rescue operation in Okhotsk Sea



15:50 02/01/2011

A special operation to rescue three fishing vessels frozen in ice in the northern Sea of Okhotsk will begin early on January 4, Russia's Transport Minister Igor Levitin said on Sunday.

© Sergey Krasnouhov

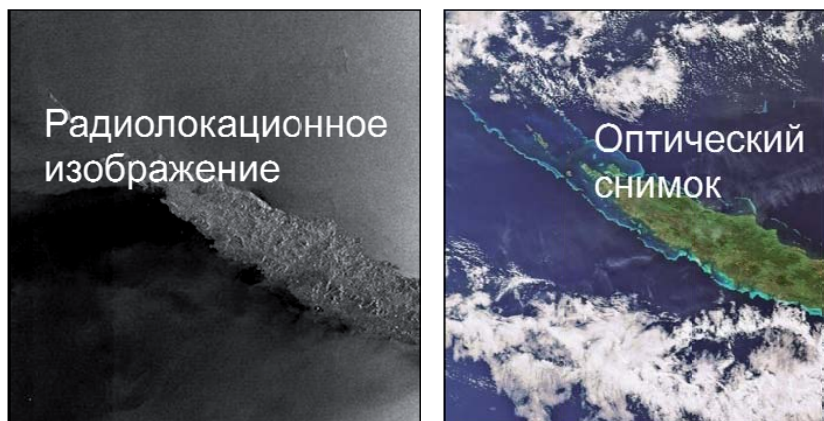
#### Related News

• Special operation to rescue fishermen locked in ice in Sea of

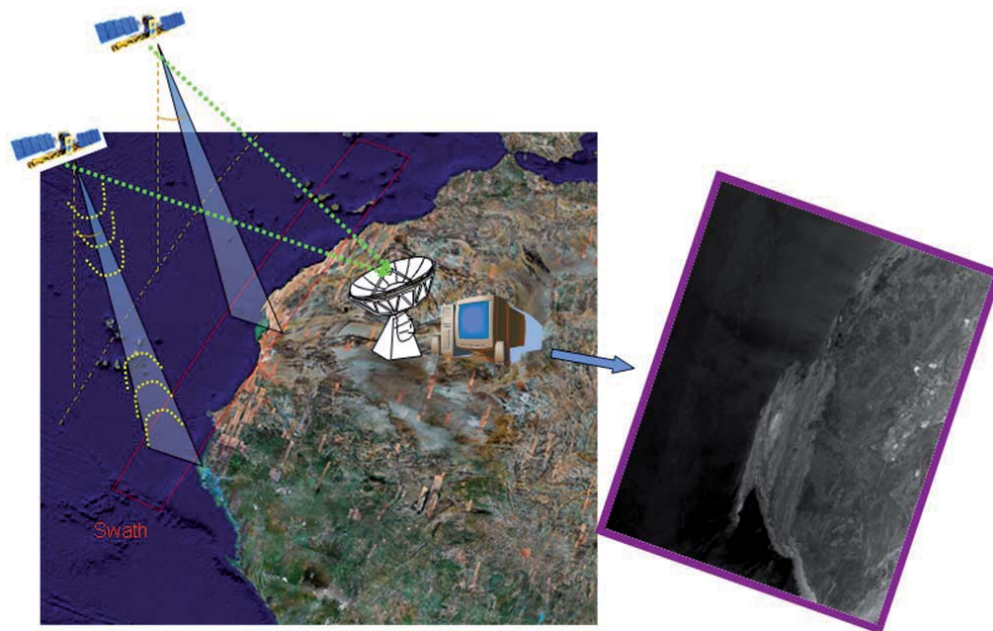
В связи с очевидным риском попадания российских промысловых судов в ледовый плен в период образования льдов в Охотском море компания CLS и научный фонд «Нансен-центр» предлагают внедрить систему мониторинга ледовой обстановки в западной части Охотского моря.



Такой мониторинг может быть организован на базе регулярного получения спутниковых радиолокационных изображений и их оперативной обработки. В отличие от оптической спутниковой съемки, получение радиолокационных спутниковых данных может быть обеспечено в любое время суток и при любых метеорологических условиях.

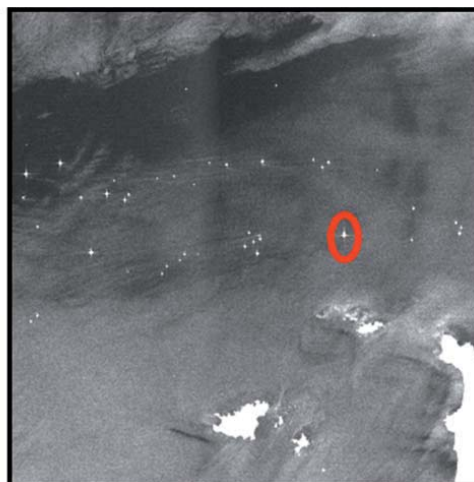


Принцип формирования радиолокационного изображения достаточно прост. Космический аппарат, функционирующий на низкой околоземной орбите, регулярно излучает радиоимпульсы и обеспечивает прием сигналов, отраженных от земной поверхности. Затем данные передаются на одну из земных приемных станций, обрабатываются и преобразуются в радиолокационное изображение.



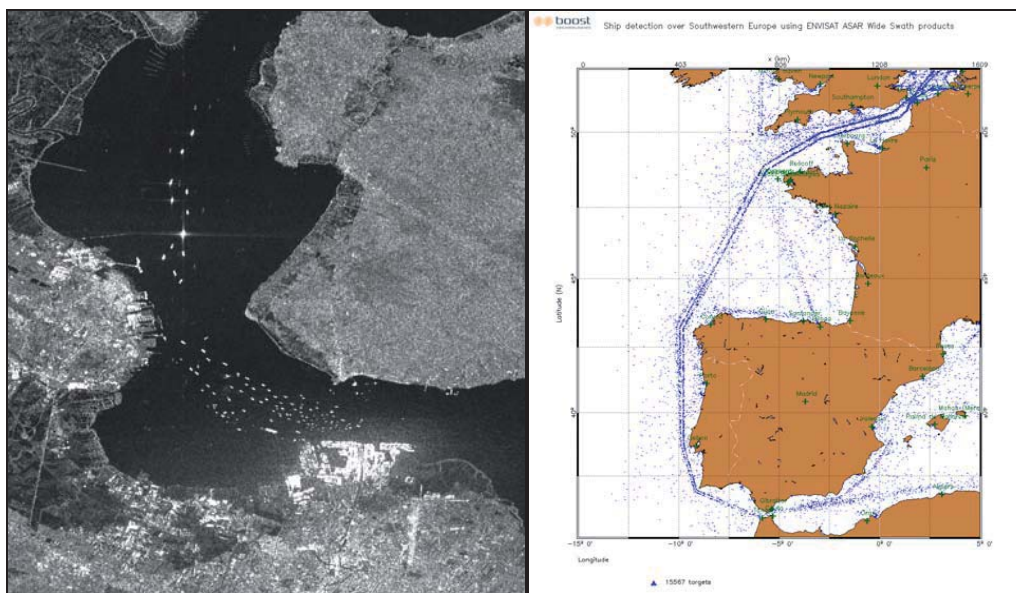
Интенсивность отраженных сигналов, принимаемых спутником, зависит от типа объекта (земля, море, металл и т. д.), от гладкости и угла наклона его поверхности.



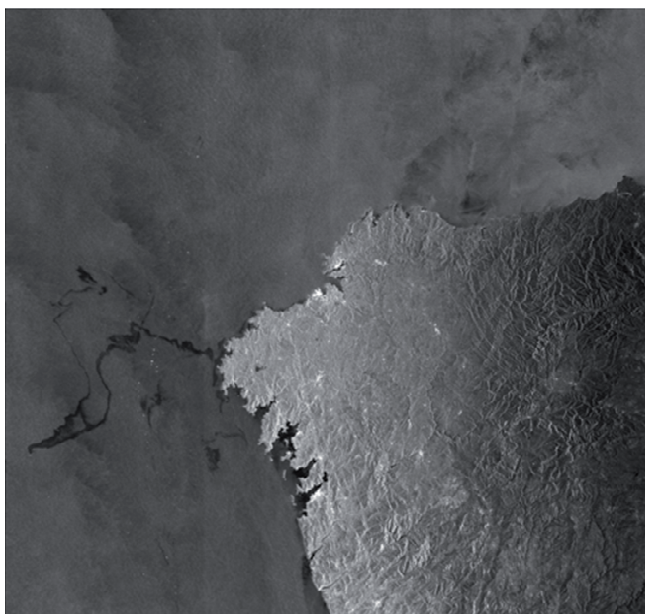


СЕКЦИЯ А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики

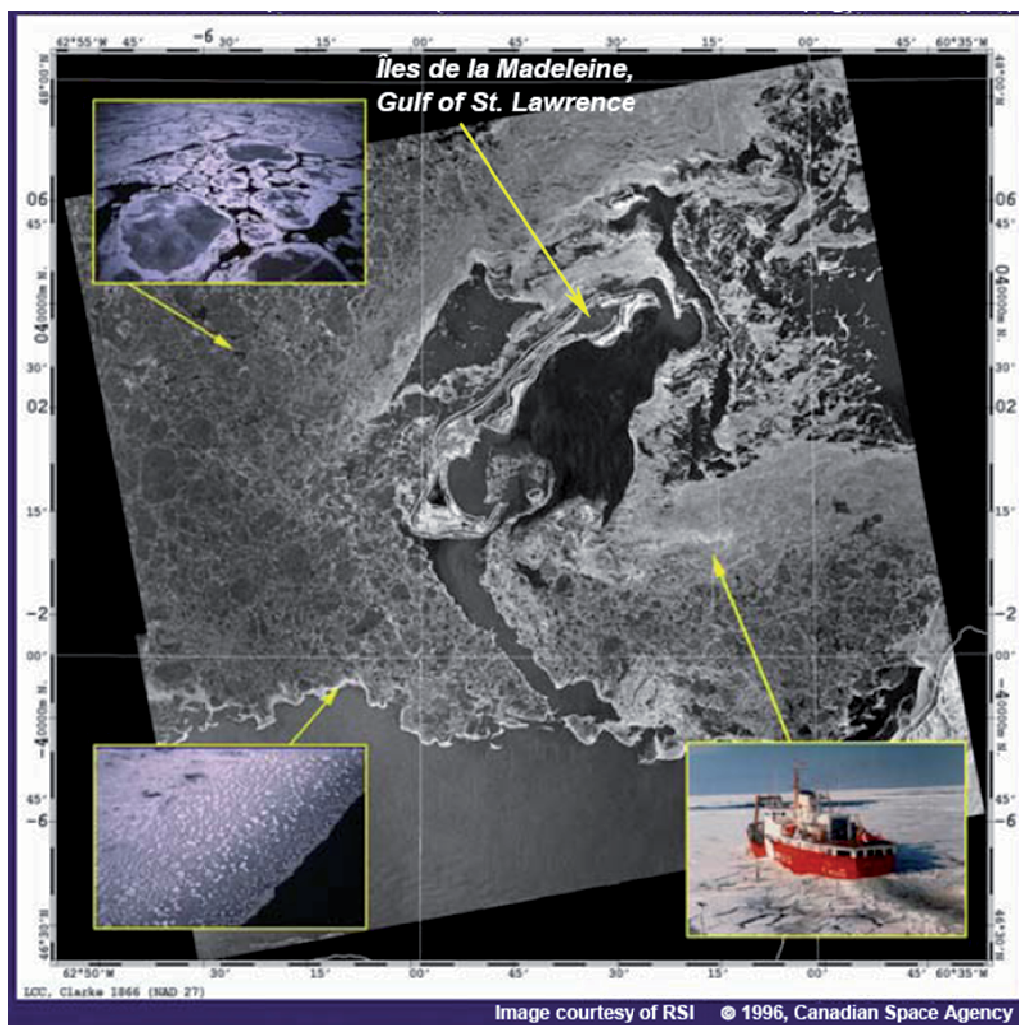
С помощью радиолокационных изображений удастся обнаруживать морские суда, а при долговременном мониторинге региона появляется возможность анализировать интенсивность использования международных морских путей и, соответственно, степень риска загрязнения океана из-за несанкционированного сброса в море технических отходов и остатков топлива.



Радиолокационные изображения интенсивно используются для обнаружения разливов нефти и других вредных веществ, а также для последующего наблюдения за развитием кризисной ситуации и планирования мероприятий, направленных на устранение последствий чрезвычайного происшествия.



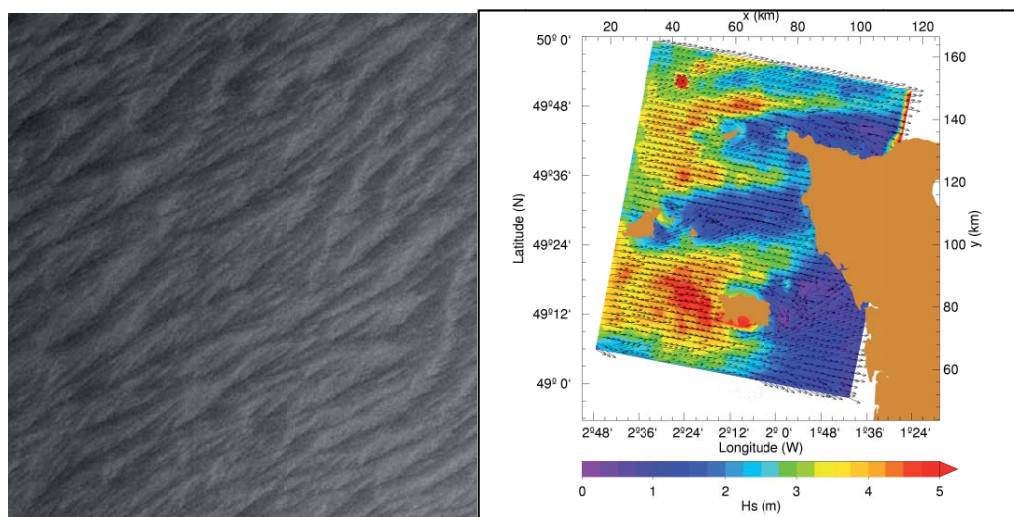
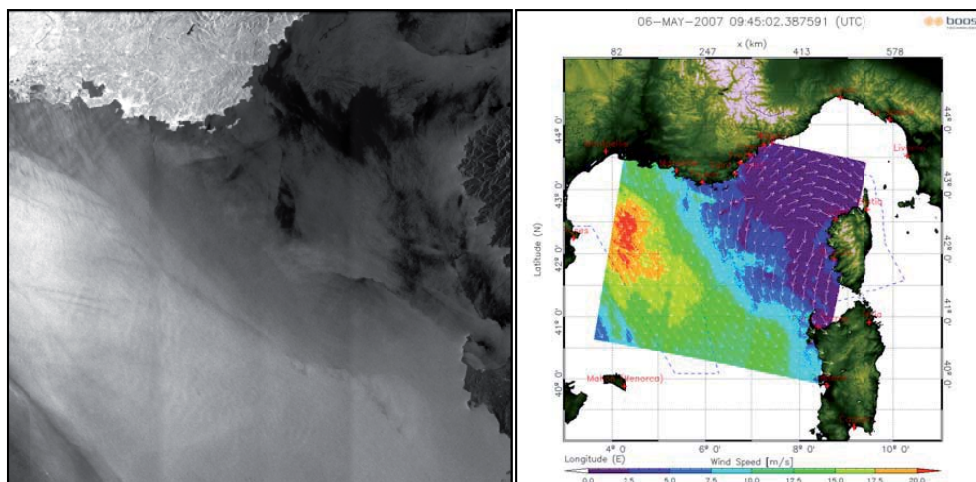
Кроме того, радиолокационная съемка является исключительно эффективным средством изучения и мониторинга ледовой обстановки, позволяющим выявлять распределение льдов и айсбергов в исследуемой зоне, а также наблюдать за их дальнейшими перемещениями.



СЕКЦИЯ А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики

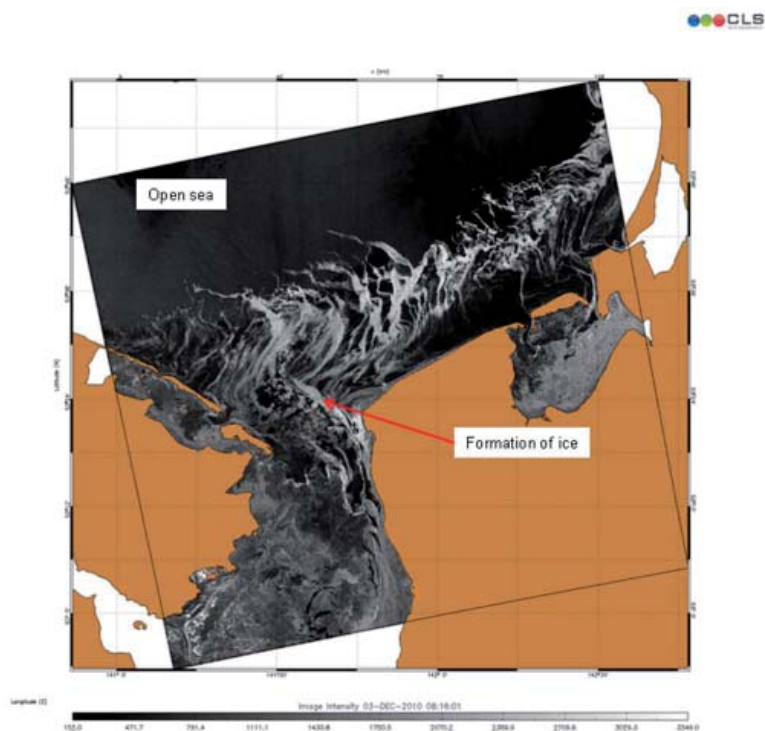
Наконец, путем обработки радиолокационных изображений удастся анализировать метеорологическую обстановку, оценивая силу и направление ветра, а также параметры волнения на морской поверхности.



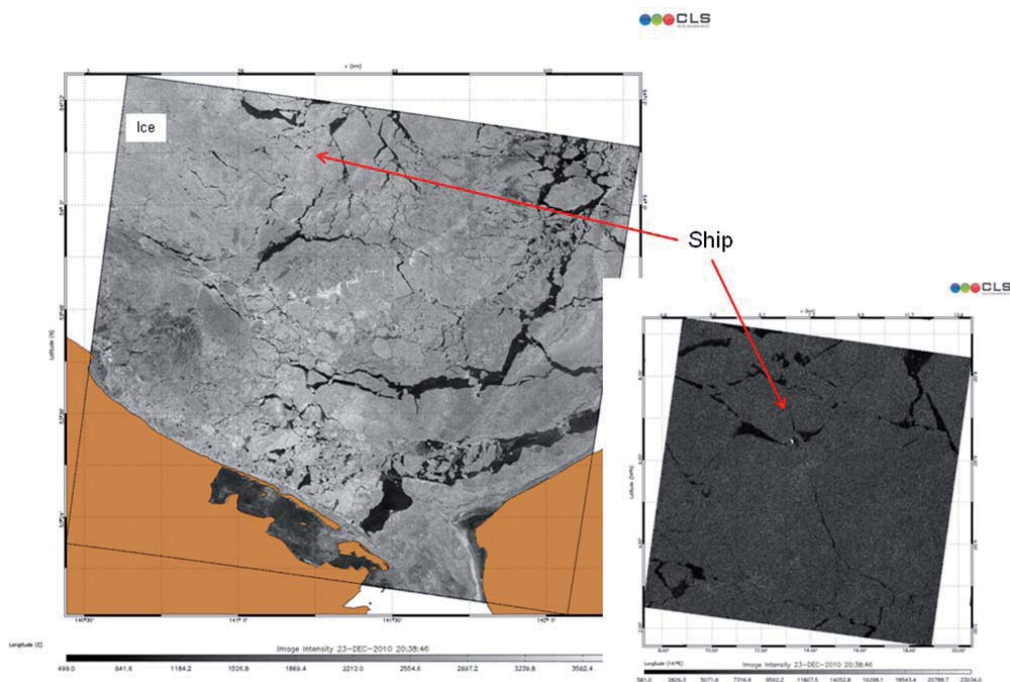


Благодаря столь широким возможностям использования радиолокационных данных, компании CLS удалось обнаружить в декабре 2010 г. промысловые суда в ледовом плену, не проводя съемку специально для этих целей, а выполняя работы по анализу ледовой обстановки в рамках биологических исследований.

3 декабря 2010 г. в южной части Охотского моря было отмечено начало процесса формирования льдов.



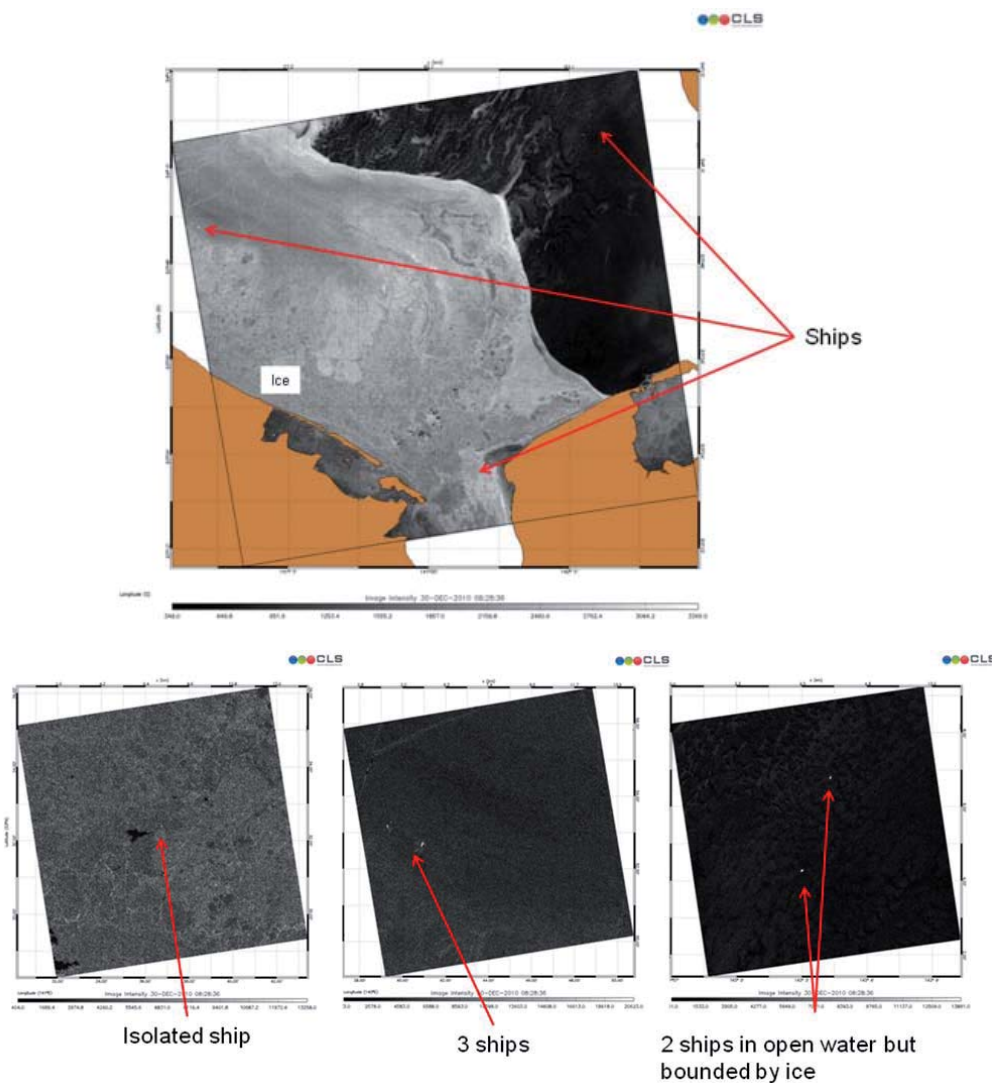
23 декабря лед еще был неплотным и промысловые суда могли перемещаться.



СЕКЦИЯ А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики

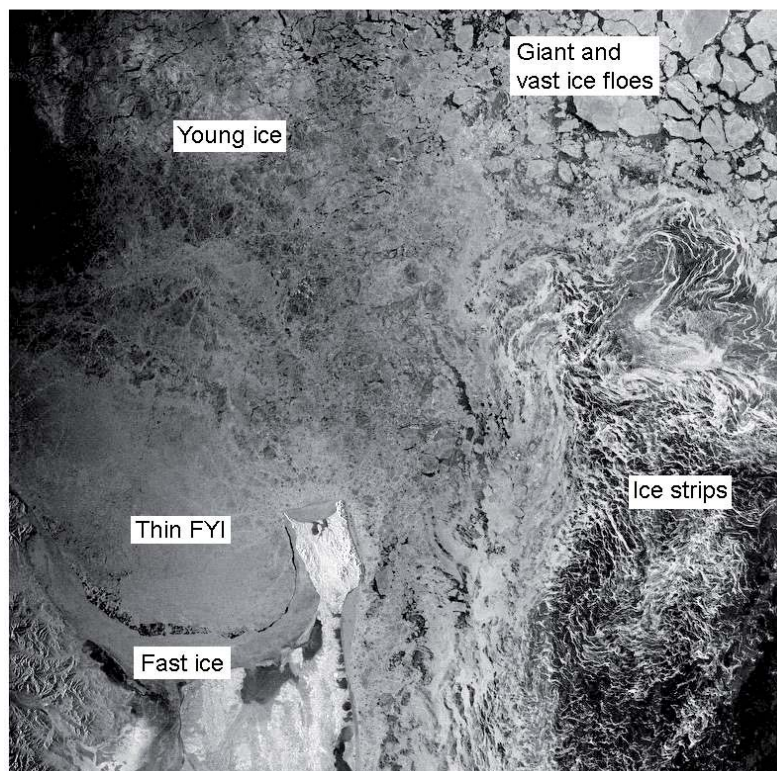


Шесть промысловых судов были обнаружены на изображении от 30 декабря. Четыре из них находились в ледовом плену, а еще два судна оставались в открытой воде, но были окружены плотными ледовыми полями.



Приведенные выше примеры показывают, что с помощью спутниковой радиолокационной съемки может быть организован постоянный мониторинг ледовой обстановки в регионе и обеспечено своевременное оповещение экипажей промысловых судов о начале процесса формирования льдов и об опасности ледового плена.

При этом представляет интерес не только обработка радиолокационных изображений с целью обнаружения льдов и определения их границ, но и полномасштабная интерпретация изображений с целью классификации льдов и последующей более точной оценки степени риска для судов, находящихся в опасной зоне.



Envisat ASAR WSM H/H ASCENDING  
23-APR-2010 12:04:46



Научный фонд «Нансен-центр» успешно использует в своей деятельности технологию интерпретации радиолокационных изображений и классификации льда. Автоматическая классификация выполняется двумя способами: с помощью нейронных сетей и на основе байесовского подхода.

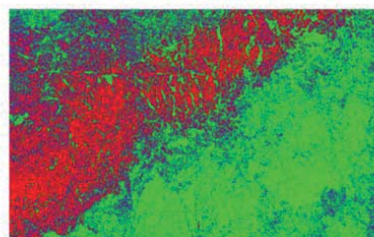
ENVISAT ASAR  
6 February 2008

- First-year ice (rough surface)
- First-year deformed ice (30 cm to 2 meters)
- Multi-year ice (more than 2 meters)

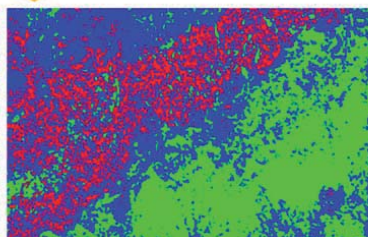
Corrected  
WSM image



Bayes classification

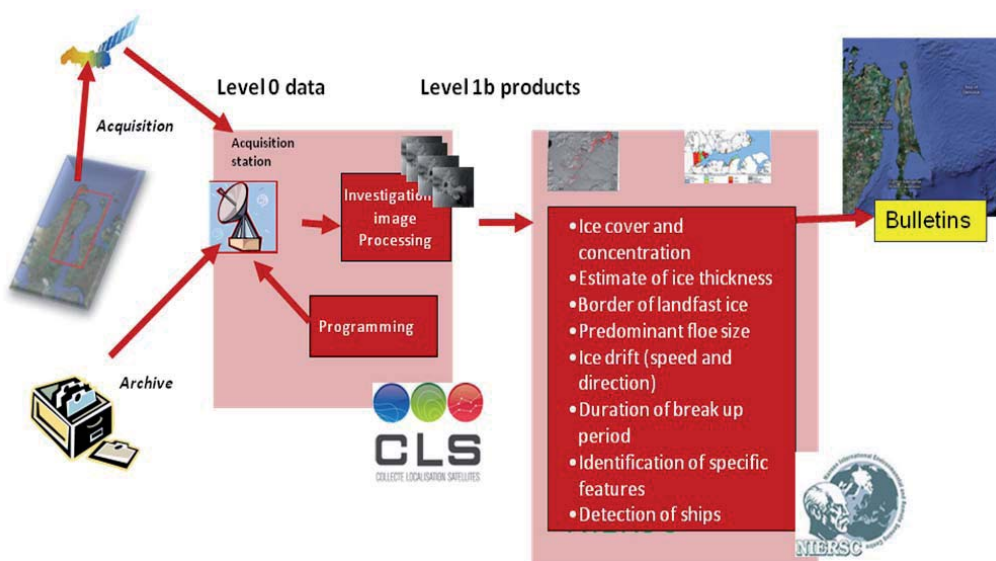


Neural Network classification



СЕКЦИЯ А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики

Таким образом, компания CLS и научный фонд «Нансен-центр» способны обеспечить функционирование оперативной службы мониторинга ледовой обстановки. Французская сторона готова выполнять работы по заказу, приему и предварительной обработке спутниковых данных. Российский партнер способен выполнять в оперативном режиме интерпретацию радиолокационных изображений. В результате функционирования такой системы может обеспечиваться регулярное формирование информационных бюллетеней об изменениях ледовой обстановки в регионе и о риске попадания промысловых судов в ледовый плен.



Прошедшая зима 2010/2011 гг. со всей очевидностью показала, что проблема управления промысловым флотом в период формирования льдов весьма актуальна для Охотского моря. В случае попадания судов в ледовый плен возникает серьезная угроза жизни и здоровью членов экипажей. Спасение судов невозможно без привлечения крупных ледоколов и связано с весьма значительными финансовыми затратами. Внедрение системы мониторинга ледовой обстановки в тех регионах, где ведется интенсивная промысловая деятельность, позволило бы предотвратить опасность попадания российских судов в ледовый плен и оптимизировать сроки промысловых операций в опасных районах.



**В. С. Тамбовский**<sup>1</sup> (tambovsky@ecs.sakhalin.ru),  
**А. О. Бобков**<sup>1</sup> (bobkov@ecs.sakhalin.ru),  
**Г. А. Кантаков**<sup>2</sup> (deco@sakhalin.ru)

<sup>1</sup>Экологическая компания Сахалина (Южно-Сахалинск, Россия)

<sup>2</sup>Дальневосточный экологический центр (Южно-Сахалинск, Россия)

## **Результаты исследования поверхностных течений поплавковыми буями-дрифтерами, оснащенными терминалом АРГОС, в Охотском море в 2008–2011 гг.**

В период 2008–2011 гг. ООО «Экологическая компания Сахалина» (ЭКС) в сотрудничестве с ООО «Дальневосточный экологический центр» (ДЭКО) провела измерения поверхностных течений в Охотском море буями-дрифтерами поплавкового типа, оснащенными терминалом АРГОС.

Получены длительные серии данных о направлении и скоростях поверхностных течений в Охотском море для безледного периода года и серии дрейфа ледяных полей в весенний период в северо-западной части Охотского моря. Наряду с измерениями поверхностных течений проводились испытания длительности функционирования буюв в сложных условиях Охотского моря на ледяных дрейфующих полях, в воде среди сплоченного дрейфующего льда и на чистой воде.

Установка буюв производилась как с борта судна, так и на ледяной припай с применением снегоходов для доставки буюв в место установки. Исследования показали устойчивую работу терминалов Аргос, как при отрицательных температурах на льду, так и при длительной эксплуатации в холодных штормовых водах Охотского моря.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Измерения поверхностных морских течений и дрейфа ледяных полей с применением буюв-дрифтеров в Охотском море имеет многолетнюю историю. Измерения поверхностных течений в районе Курильских островов с применением нескольких буюв-дрифтеров были проведены в 1997 г. [Thomson et al., 1997] для исследования циркуляции вод в этом районе. В рамках Японо-Российско-Американской совместной программы изучения Охотского моря в 1999–2000 гг. были проведены первые масштабные измерения течений на значительной акватории в поверхностном слое Охотского моря с одновременной установкой 20 буюв-дрифтеров ARGOS [Ohshima et al., 2002]. Изначальной целью программы исследований было уточнение циркуляции вод в Охотском море с акцентом на исследование восточно-сахалинского течения. Второй целью этого исследования было получить значения приливных течений в районах высоких приливов, таких как банка Кашеварова, пролив Буссоль и район сахалинского шельфа.

Специальные исследования дрейфа льда с применением нескольких буюв-дрифтеров, установленных на ледяных полях, были проведены в 1995 г. [Mochizuki et al., 1995]. В 1995–1996 гг. исследования дрейфа ледяных полей на северном и северо-восточном шельфе острова Сахалин выполнялись специалистами СахалинНИПИморнефть [Астафьев и др., 1997] с применением буюв оснащенных терминалом ARGOS. В 2005 г. в рамках комплексной программы инженерных изысканий на лицензионных участках «Сахалин-4» и «Сахалин-5» были проведены исследования дрейфа полей однолетних льдов с применением маркера ARGOS [Никифоров и др., 2006].



В период с 2008 по 2011 г. ЭКС выполнила установку в поверхностных водах Охотского моря и на морском льду 12 буйев-дрейфтеров поплавкового типа, оснащенных терминалами ARGOS. Целью исследований являлось испытание работоспособности буйев в различных районах и климатических условиях Охотского моря, а также получение скоростей поверхностных течений и скоростей дрейфа морского льда в перспективных районах освоения морских нефтегазовых месторождений на шельфе Охотского моря. Основным объектом исследований были район шельфа Западной Камчатки, Сахалинский залив и северный шельф острова Сахалин, северо-восточный шельф острова Сахалин.

### УСТАНОВКА БУЕВ И ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Для испытаний и исследований применялся поплавок дрейфующего буя, соответствующий рекомендациям SVP (Surface Velocity Programme), оснащенный MT105AMG терминалом ARGOS. Поплавок SVP дрейфующего буя диаметром 34 см является поверхностным ледовым маркером, обладающим также возможностью свободного плавания на поверхности воды. Буй предназначен для изучения движения льдов и поверхностных течений [Комплекс для изучения..., 2008]. Внешний вид буя представлен на *рисунке 1*.



*Рис. 1. Дрейфтерный буй поплавкового типа, оснащенный MT105AMG терминалом Аргос*

Буй разработан и произведен в научно-производственной фирме «Марлин-Юг» (г. Севастополь, Украина). В нижней части буя крепится металлический стакан диаметром 9,5 см и высотой 20 см, для установки буя вертикально на поверхности льда в предварительно выбуренную скважину. При таянии льда и высвобождении буя, буй будет сохранять вертикальную остойчивость в воде во время свободного плавания и механическую прочность достаточную для сохранения работоспособности буя при любых условиях поверхностного волнения.

Электронная часть буя предназначена для регулярного сбора ежечасных GPS данных о местонахождении поплавок и передачи этих данных через спутниковую систему ARGOS оператору комплекса для слежения за движением льдов или поверхностных течений. Проектируемое полезное время

жизни буя составляет от трех до пяти месяцев при средней температуре окружающей среды от  $-10$  до  $0^{\circ}\text{C}$  соответственно.

В августе 2008 г. были установлены три буя. Два буя были установлены в водах шельфовой зоны Западной Камчатки и один у северной оконечности острова Сахалин.

Установка буев производилась с борта судна на ходу (рис. 2). Целью являлось исследование поверхностных течений в северо-восточной части Охотского моря и в районе Банки Кашеварова.



Рис. 2. Установка (сброс) буя с борта судна (слева).  
Дрейфующий буй, сброшенный с борта судна (справа)

В 2009 г. было установлено семь буев. Три буя были установлены на морской лед на границе вдольберегового припая в Сахалинском заливе в апреле (рис. 3). Буи доставлялись к месту установки на снегоходах из базового лагеря, расположенного на берегу. Буи устанавливались в вертикальном положении на поверхности льда, заглубляясь в толщу льда на величину нижнего металлического стакана. Для меньшего нагревания корпуса буя от солнечной радиации и во избежание протаивания буя в лед буи красились в белый цвет. Назначением буев являлось определение циркуляции льда и скоростей дрейфа льда в Сахалинском заливе и циркуляции поверхностных вод в северо-западной части Охотского моря.



Рис. 3. Доставка буев снегоходами к месту установки на припай (слева).  
Буй, установленный на ледяном припайе (справа)

Четыре буя были установлены на северо-восточном шельфе острова Сахалин в октябре месяце этого же года. Буи были установлены с борта судна примерно на одной широте  $54^{\circ}06' N$  с дистанцией между буями в 10 миль в зоне действия Восточно-Сахалинского течения. Задачей этих буев было получение схемы движения вод и скоростей поверхностных течений в шельфовой зоне

Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья

вдоль восточного побережья Сахалина, в районе проектов «Сахалин-5», «Сахалин-2», «Сахалин-1» и западной части Охотского моря в период действия сильных ветров зимнего муссона.

Серия из двух буюв была установлена в ноябре 2010 г. с борта судна в продолжение исследования скоростей поверхностных течений на восточном шельфе острова Сахалин в районе освоения нефтегазовых месторождений проекта «Сахалин-3».

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведенные исследования поверхностных течений и дрейфа льда с применением поплавковых буюв-дрифтеров конструкции и производства фирмы Марлин-Юг показывают достаточную функциональную надежность буюв в сложных гидрологических условиях вод и ледовой обстановки Охотского моря. Ниже в **таблице** приведены основные сведения о продолжительности работы буюв, применявшихся в период 2008–2010 гг. Экологической компанией Сахалина.

**Таблица. Сведения о районах исследования буюми поверхностных течений и дрейфа льда в Охотском море и продолжительность работы буюв**

| № п/п. | Номер бую | Район установки                           | Год  | Продолжительность работы, дни | Причина окончания наблюдений             |
|--------|-----------|-------------------------------------------|------|-------------------------------|------------------------------------------|
| 1      | 84890     | Западно-Камчатский шельф, в воде          | 2008 | 75                            | Наблюдение прекращено                    |
| 2      | 84893     | Западно-Камчатский шельф, в воде          | 2008 | 75                            | Наблюдение прекращено                    |
| 3      | 84891     | Северная оконечность о. Сахалин, в воде   | 2008 | 64                            | Наблюдение прекращено                    |
| 4      | 89998     | Сахалинский залив, ледяной припай         | 2009 | 158                           | Выход из строя                           |
| 5      | 89999     | Сахалинский залив, ледяной припай         | 2009 | 187                           | Наблюдение прекращено, выброшен на берег |
| 6      | 90000     | Сахалинский залив, ледяной припай         | 2009 | 124                           | Выход из строя                           |
| 7      | 84892     | Северо-восточный шельф о. Сахалин, в воде | 2009 | 60                            | Выход из строя                           |
| 8      | 84895     | Северо-восточный шельф о. Сахалин, в воде | 2009 | 318                           | Наблюдение прекращено                    |
| 9      | 84896     | Северо-восточный шельф о. Сахалин, в воде | 2009 | 319                           | Наблюдение прекращено                    |
| 10     | 84897     | Северо-восточный шельф о. Сахалин, в воде | 2009 | 56                            | Выход из строя                           |
| 11     | 54083     | Восточный шельф о. Сахалин, в воде        | 2010 | 69                            | Наблюдение прекращено, выброшен на берег |
| 12     | 54084     | Восточный шельф о. Сахалин, в воде        | 2010 | 99                            | Наблюдение прекращено                    |

Потери бுவ и прекращение их работы по техническим причинам, включая также потерю буй в районах рыболовства, составили 30% от общего количества установленных бுவ. При этом каждый утерянный по вышеуказанным причинам буй отрабатывал от момента установки до момента потери с ними связи в среднем 99 суток, или 3,3 месяца, укладываясь в гарантированный стандарт продолжительности работы.

Буй, установленные на льду (апрель 2009 г.), отработали в течение 35 дней программу по мониторингу дрейфа льда в Сахалинском заливе и далее продолжили мониторинг поверхностных течений в северо-западной части Охотского моря после разрушения льда. Средняя продолжительность работы этих бுவ составила 156 суток, или 5,2 месяца. Особо стоит отметить движение буй № 89999. Достигнув в районе Шантарских островов берега в устье реки Уда, буй находился на берегу в зоне осушки в течение месяца. В октябре, в период осенних штормовых нагонов буй вновь продолжил движение и остановился только у юго-восточного берега острова Большой Шантар, после того как вмерз в лед, где и был отключен.

Максимальную продолжительность функционирования показали буй № 84895 и 84896, проработавшие 318 суток и 319 суток соответственно. Буй вышли из Охотского моря в северо-западную часть Тихого океана за пределы района исследований и были отключены в сентябре 2010 г.

Полученные данные о ежечасных координатах бுவ проходили предварительную подготовительную обработку, включающую выравнивание во времени и перевод географических координат в WGS84. По полученным рядам строились траектории движения був с применением программ ArcView. Для оформления использовалась карта Охотского моря из ресурса свободного доступа с сайта Google Earth. Результаты мониторинга движения всех був в виде траекторий представлены на *рисунке 4*.

Предварительный анализ траектории движения був показывает, что циркуляция поверхностных вод Охотского моря определяется воздействием приводного ветра, формируемого муссонным климатом. Зимний муссон с преобладающими северными и северо-западными ветрами формирует устойчивые поверхностные течения, направленные на юго-восток к Курильским островам. Через центральные проливы Курильских островов в зимний период происходит водообмен из Охотского моря в сторону Тихого океана.

Серия був, установленных в шельфовых водах северо-восточного Сахалина в октябре 2009 г., достигла Центральных Курил через 62 дня, пройдя расстояние в 534 мили, и вышла в океан через пролив Надежды. Средняя суточная скорость перемещения був составила 8,6 мили в сутки, или 0,19 м/с. Серия був, установленных в шельфовых водах восточного Сахалина в ноябре 2010 г., достигла центральных Курил через 77 дней, пройдя расстояние в 396 миль, выйдя в океан через пролив Уруп. Средняя суточная скорость перемещения був составила 5,1 мили в сутки, или 0,11 м/с.

Движение був, установленных на границе центральной и северной частей Охотского моря, происходило по циклоническому круговороту в северной части моря, обусловленному южными ветрами летнего муссона.



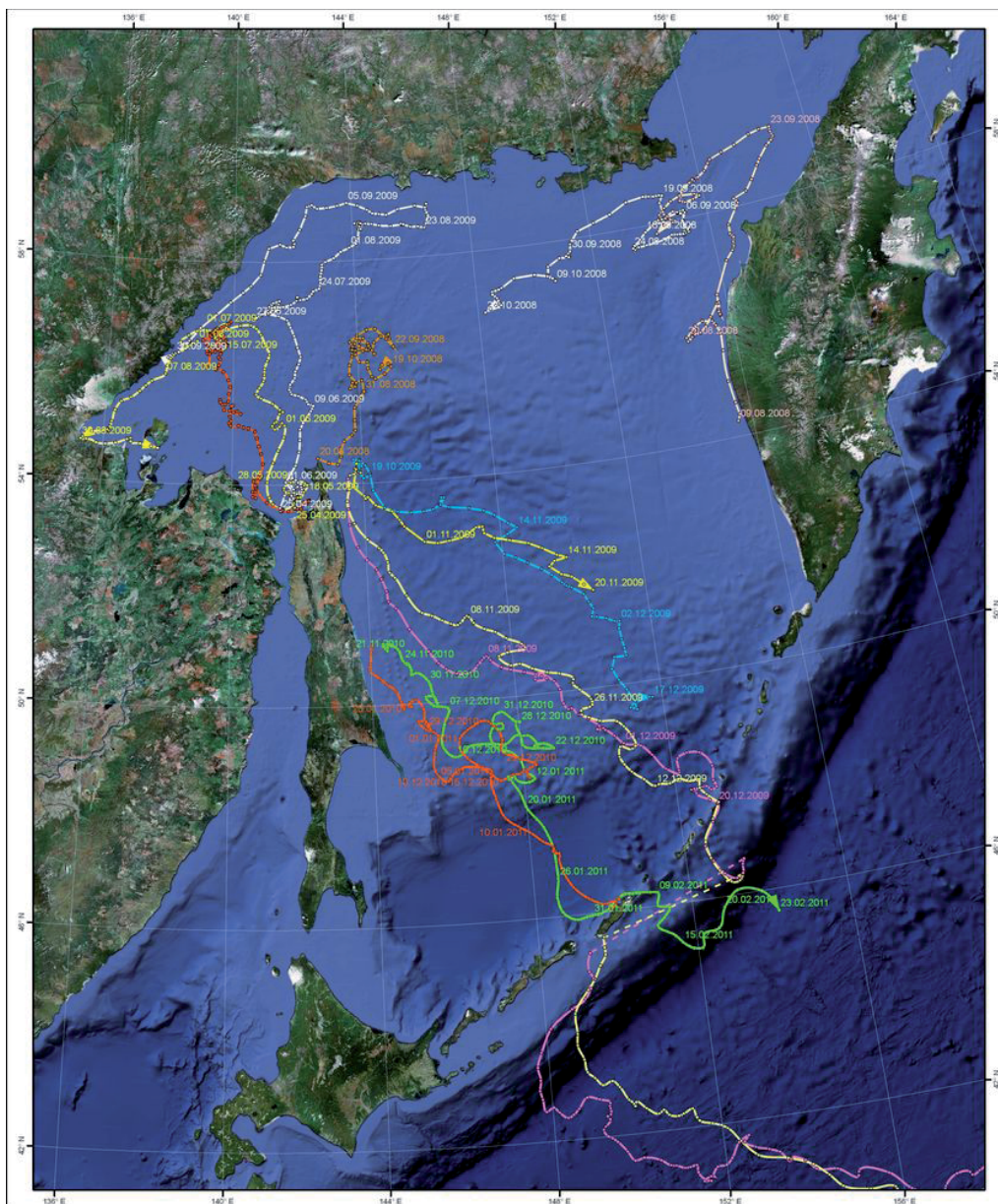


Рис. 4. Схема дрейфа буев в Охотском море, установленных ЭКС в период 2008–2010 гг. (карта-подложка взята с сайта свободного доступа Google Earth)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Испытание буюв-дрифтеров поплавкового типа производства фирмы Марлин-Юг, оснащенных терминалами ARGOS как для изучения дрейфа ледяных полей, так и поверхностных течений в период всех четырех сезонов в суровых климатических и гидрологических условиях Охотского показало достаточную функциональную надежность буюв.

Потери буюв и прекращение их работы по техническим причинам, включая также потерю буюа в районах рыболовства, составили 30% от общего количества установленных буюв. При этом каждый утерянный по вышеуказанным причинам буюа отработывал от момента установки до момента потери с ними связи в среднем 99 суток, или 3,3 месяца, укладываясь в гарантированный стандарт продолжительности работы.

Максимальную продолжительность функционирования показали буюи № 84895 и 84896, проработавшие 318 суток и 319 суток соответственно. Буюи вышли из Охотского моря в северо-западную часть Тихого океана за пределы района исследований и были отключены в сентябре 2010 г.

Полученные данные позволили рассчитать как ежечасные скорости поверхностных течений, так и средние скорости перемещения поверхностных водных масс под воздействие ветров зимнего и летнего муссонов над Охотским морем в исследуемых районах моря.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kay I. Ohshima, Masaaki Wakatsuchi, and Yasushi Fukamachi, «Near-surface circulation and tidal currents of the Okhotsk Sea observed with satellite-tracked drifters», Journal of geophysical research, vol. 107, No. C11, 3195, doi:10.1029/2001JC001005, 2002.
2. Thomson R. E., LeBlond P. H., Rabinovich A. B. Oceanic odyssey of a satellite-tracked drifter: North Pacific variability delineated by a single drifter trajectory, J. Oceanogr., 53, 81–87, 1997.
3. Mochizuki S., Takatsuka T., Aota M., Truskov P. Tracing of ice floe in Sea of Okhotsk by satellite-tracked drifters, paper presented at Tenth International Symposium on Okhotsk Sea, Mombetsu, Japan, 1995.
4. Никифоров С. П., Поломошнов А. М., Хаустерман Л., Бланше Д., Ли Д. «Комплексная программа инженерных изысканий на лицензионных участках «Сахалин-4» и «Сахалин-5». Нефтяное хозяйство. 2006, с. 14–18.
5. Астафьев В. Н., Сурков Г. А., Трусков П. А. Торосы и стамухи Охотского моря. СПб.: Прогресс-Погода, 1997. 197 с.
6. Комплекс для изучения льдов и поверхностных течений, Инструкция по эксплуатации, ООО «Научно-производственная фирма Марлин-Юг», Севастополь, 2008.

П. В. Дущенко (peter@sakhugms.ru)

Центр цунами ГУ «Сахалинское УГМС» (Южно-Сахалинск, Россия)

## Система передачи данных об уровне моря в режиме реального времени Центра цунами ГУ «Сахалинское УГМС»

В рамках федеральной целевой программы «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации» в 2008, 2009 и 2010 гг. выполнялись проекты по реконструкции наблюдательной сети службы предупреждения цунами. По состоянию на лето 2011 г. по Сахалинской области выполнены работы на 11 автоматизированных постах (рис. 1).

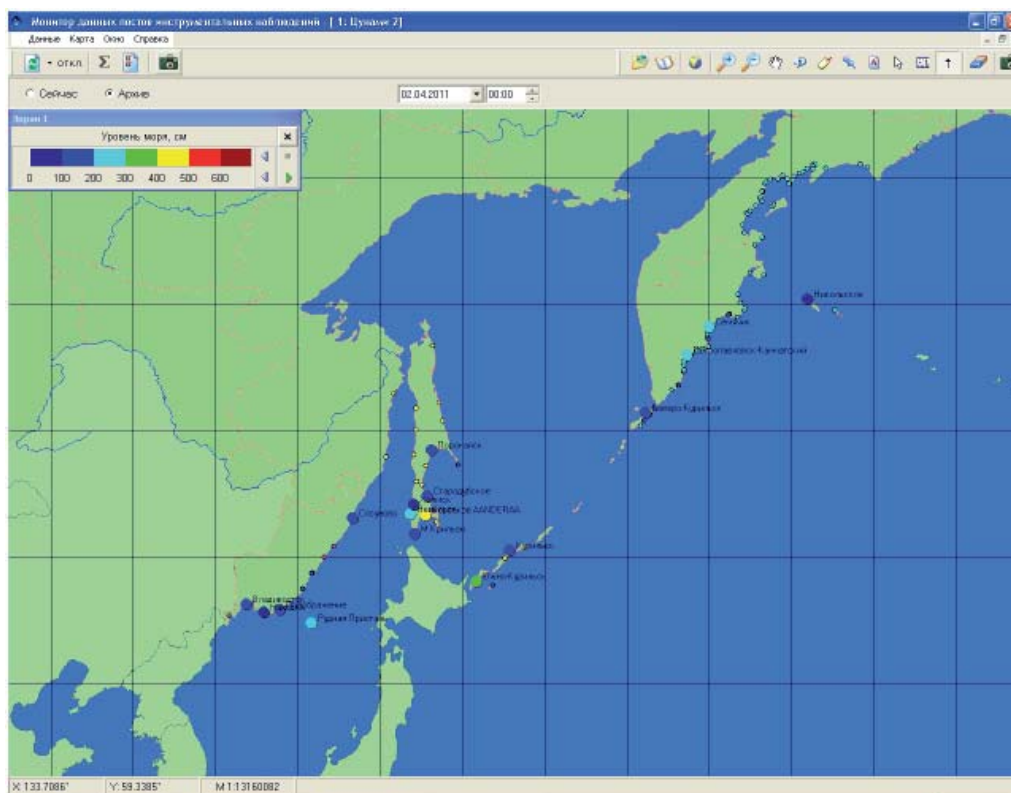


Рис. 1

В ходе этих проектов было закуплено измерительное и телекоммуникационное оборудование и были проведены пусконаладочные работы. Целью этих работ являлось обеспечение поступления уровенных данных в режиме реального времени с автоматизированных постов Сахалинской области в Центр цунами города Южно-Сахалинск.

Типовая структура автоматизированного поста состоит из измерительного, телекоммуникационного и энергетического комплексов (рис. 2).





Рис. 2

Общей особенностью энергетических комплексов (рис. 3) является то, что в качестве основного источника питания выступает внешняя электросеть. При ее сбое используются фотоэлектрический либо аккумуляторный резервный источник питания или их комбинация. Так же на некоторых пунктах имеются дизель-генераторы.



Рис. 3

На рисунке 4 представлен измерительный комплекс.





Рис. 4

В соответствии с техническим заданием на разработку проектов по реконструкции мареографной сети в рамках федеральной целевой программы «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации» измерение уровня моря производится с ежеминутным интервалом отсчетов. Измерительный комплекс на всех пунктах представлен оборудованием норвежской компании «Aanderaa Data Instruments». Откалиброванный гидростатический датчик с системой компенсации атмосферного давления закреплен на дне или в колодце мареографа на достаточной глубине. Датчик защищенным кабелем соединяется с даталоггером, размещенным на суше.

Для оперативных задач Центра цунами только локального измерения колебаний уровня моря недостаточно: необходимо поступление этих данных в режиме реального времени на рабочий стол инженера-океанолога. Для этого на каждом автоматизированном посту имеется телекоммуникационное оборудование.

Измерительные данные с даталоггера по последовательному интерфейсу поступают в специализированный контроллер передачи данных (рис. 5). В его функции входит накопление данных, передача данных в центр, управление оборудованием связи и автоматическое переключение между основным и резервными каналами связи.

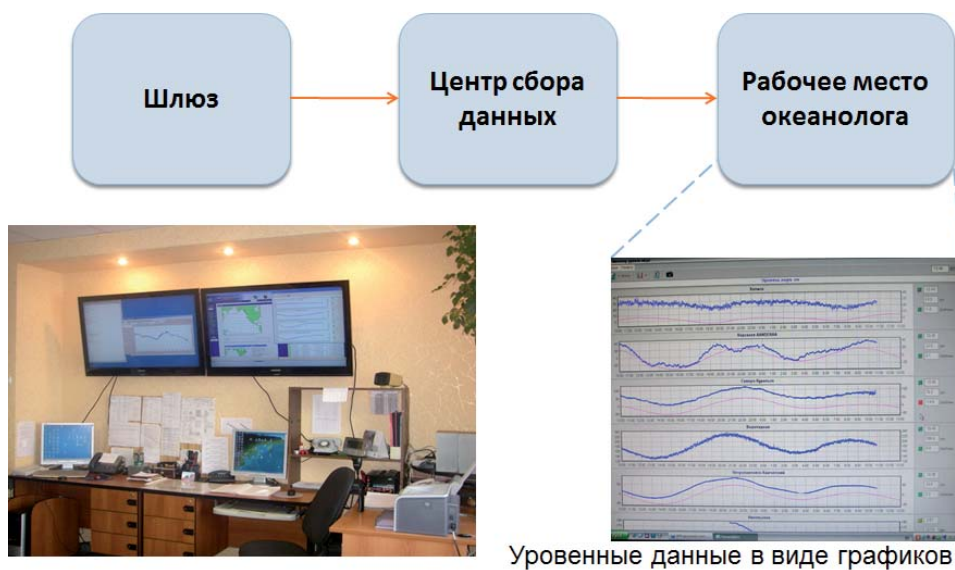
Передача данных в зависимости от местных условий осуществляется по различным каналам связи: ADSL, GPRS, VSAT, Inmarsat BGAN и Globalstar.

Таким образом, информация со всех автоматизированных постов поступает в СахУГМС.

Поступление информации производится через центр сбора данных и в дальнейшем данные попадают на рабочий стол инженера-океанолога в виде серии графиков колебаний уровня моря всех постов наблюдательной сети службы предупреждения цунами (рис. 6). Это позволяет инженеру-океанологу контролировать процесс вступления цунами и его развития в различных пунктах.



Рис. 5



Уровенные данные в виде графиков

Рис. 6

Данные, полученные по новой технологии, были успешно использованы во время недавнего катастрофического землетрясения в Японии и прошлогоднего Чилийского землетрясения.

Хотелось бы отметить, что ранее запись колебаний уровня моря производилась на бумагу при помощи самописцев и внедрение новой технологии сбора данных является большим шагом вперед для Российской службы предупреждения цунами.

А. Н. Рутенко (rutenko@poi.dvo.ru)

ТОИ ДВО РАН (Владивосток, Россия)

## Аппаратурный комплекс для экологического мониторинга акустических шумов на шельфе о. Сахалин

Представляются три аппаратурных комплекса для мониторинга шумов и параметров сейсмоакустических сигналов на северо-восточном шельфе о. Сахалин, в двух традиционных районах ежегодного нагула Охотско-корейской популяции серых китов, занесенных в Красную книгу РФ. Данные акустические измерительные средства были разработаны и изготовлены в ТОИ ДВО РАН при финансовой поддержке компаний «Эксон Нефтегаз Лимитед», «Сахалин Энерджи Компани» и «Роснефть». Основным акустическим измерительным устройством является автономный подводный акустический регистратор – АПАР [1], который обеспечивает непрерывные измерения у дна вариаций акустического давления в частотном диапазоне 2–15 000 Гц. С помощью АПАР с 2006 г. в 16 точках, расположенных на границах и внутри прибрежного Пильтунского и Морского районов кормления серых китов, в летне-осенний период проводятся ежегодные акустические измерения. Для организации мониторинга, параметров сейсмоакустических сигналов, на восточной границе прибрежного Пильтунского района во время проведения компанией «Сахалинская Энергия» установки платформы «ПА-Б» и строительства подводного трубопровода [2, 3], а также во время проведения 4-D сейсморазведывательных исследований на Астохско-Пильтунском месторождении, АПАР оснащались аналоговыми [1] и цифровыми [4] радиотелеметрическими каналами, которые обеспечили передачу акустических сигналов, измеренных в частотных диапазонах 10–5 000 Гц и 2–2 000 Гц, на береговой радиоприемный пост. Для мониторинга в реальном времени параметров акустических импульсов, генерируемых при проведении «Роснефтью» сейсмоакустических исследований на «Лебединском» месторождении [5], были разработаны и успешно применены цифровые акустические регистраторы, связанные с береговым постом кабельными линиями длиной 2,5 км. Эти регистраторы обеспечили измерения вариаций акустического давления в частотном диапазоне 2–1 400 Гц с динамическим диапазоном не менее 135 дБ (применено 24-разрядное АЦП).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов С. В., Ковзель Д. Г., Рутенко А. Н., Ущиповский В. Г. Автономная гидроакустическая станция с радиоканалом для акустических измерений на шельфе // Приборы и техника эксперимента. 2008. № 5. С. 132–137.
2. Рутенко А. Н., Расса Р. Организация и результаты акустического мониторинга во время постановки оснований нефтедобывающих платформ «Лунское» и «ПА-Б» на шельфе о. Сахалин // Акустика океана : Доклады 11-й школы-семинара акад. Л. М. Бреховских. М.: ГЕОС. 2006. С. 353–356.
3. Рутенко А. Н., Гриценко В. А. Мониторинг антропогенных акустических шумов на шельфе о. Сахалин // Акустический журн. 2010. № 1. С. 77–81.

4. Ковзель Д. Г., Рутенко А. Н. Автономная акустическая станция с цифровым радиотелеметрическим каналом для мониторинга сейсмоакустических сигналов на шельфе // Приборы и техника эксперимента. 2009. № 6. С. 102–106.

5. Рутенко А. Н., Гаврилевский А. В., Ковзель Д. Г., Коротченко Р. А., Путов В. Ф., Соловьев А. А. Мониторинг параметров сейсмоакустических импульсов и антропогенных шумов на шельфе о. Сахалин // Акустический журнал (в печати).



В. В. Рожнов<sup>1</sup>, Д. М. Глазов<sup>1</sup> (dglazov@yandex.ru),  
В. И. Черноок<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ИПЭЭ РАН им. А. Н. Северцова (Москва, Россия);

<sup>2</sup> ОАО «Гипрорыбфлот» (Санкт-Петербург, Россия)

## Современные методы исследования морских млекопитающих в Охотском море: цели, задачи, результаты и перспективы

В рамках Постоянно действующей экспедиции РАН по изучению животных Красной книги Российской Федерации и других особо важных животных фауны России ИПЭЭ РАН проводит работы по изучению численности, распространения, генетического разнообразия, популяционной изменчивости и здоровья диких морских млекопитающих в Охотском море. Исследования ведутся на современном научном уровне с применением методов спутникового мечения, авиационного учета, молекулярно-генетического анализа и др.

В 2009–2010 гг. в Охотском и Белом морях на белух установлен 21 спутниковый радиомаяк системы ARGOS. Максимальный срок их работы составил 9 месяцев. В результате прослеживания выявлены места зимних концентраций белух сахалинско-амурского скопления в Охотском море, пути их миграций. Сопоставление треков белух и спутниковых снимков льда показало, что белухи не избегают ледяных полей, а активно используют эти области для своего перемещения. Аналогичные данные получены в результате прослеживания белух со спутниковыми радиомаяками в Белом море. Выявленные закономерности подтверждаются нашими наблюдениями, сделанными во время авиачетов в зимний период в Белом море. Кроме того, спутниковое отслеживание 5 самцов беломорских белух на протяжении осенне-весеннего периода позволило доказать, что не только самки, но и самцы беломорской популяции не покидают акватории моря в зимний период.

Авиационные исследования в Охотском море, целью которых была разработка новых инструментальных технологий авиасъемки морских млекопитающих, обитающих в прибрежной зоне моря, проведены в августе–сентябре 2009 г. и в августе 2010 г. с борта самолета-лаборатории Ан-38 «Восток» со специальным оборудованием. Были применены два метода учета численности: учет на площади на параллельных трансектах и береговой линейный («прямой») учет. Маршруты полетов проходили преимущественно вдоль береговой линии с удалением от берега 300–1 000 м. Суммарная учетная полоса, закрываемая визуальными наблюдениями и фотосъемкой при высоте полета 400 м, составляла около 3 км. Регистрировали белух, тюленей, китов, птиц, орудия лова, загрязнения различного происхождения, морские суда, тепловые фронты, очаги цветения фитопланктона и др. По результатам исследований минимальная численность белух в Охотском море в 2010 г. (без учета занывнувших особей) составила более 6 000 особей. Численность тюленей (преимущественно кольчатой нерпы) на береговых залежках в прибрежных водах о. Сахалин, которую определяли по фотоснимкам, составила не менее 15 000 тюленей (максимальная наблюдаемая численность тюленей отмечалась во

время отливов). Встречи гренландских китов сосредоточены в заливах западной части Охотского моря. Серых китов наблюдали только вдоль восточного побережья о. Сахалин.

Таким образом, в результате применения современных методов исследований получены новые данные о концентрациях морских млекопитающих в летний период в Охотском море. Выявлены пути миграций белух. Экспериментальный авиаучет настоящих тюленей, обитающих в летний период в прибрежной акватории, показал его перспективность. Создан банк данных фотосъемки белух, китов, тюленей, морских птиц, поверхностных загрязнений, скоплений рыбы.

*Работа выполнена в рамках Программы изучения распространения и миграций белухи при поддержке Русского географического общества.*

**В. И. Черноок<sup>1</sup>, Д. М. Глазов<sup>2</sup> (dglazov@yandex.ru),  
В. В. Рожнов<sup>2</sup>, А. И. Грачев, А. И. Болтнев,  
А. Н. Васильев, Е. А. Назаренко, Б. А. Соловьев**

<sup>1</sup> ОАО «Гипрорыбфлот» (Санкт-Петербург, Россия);

<sup>2</sup> ИПЭЭ РАН им. А. Н. Северцова (Москва, Россия)

## **Метод летней авиа съемки тюленей в прибрежной зоне Охотского моря**

Комплексные работы по авиаучету морских млекопитающих в Охотском море были проведены с 19 по 21 августа 2009 г. постоянно действующей экспедицией РАН в рамках Программы изучения распространения и миграций белухи. Исследования носили экспериментальный характер, целью которых было выяснить возможности использования новых инструментальных технологий авиа съемки морских млекопитающих, обитающих в прибрежной зоне моря. На борту самолета-лаборатории Ан-38 «Восток», оборудованного удобными блистерами для визуальных наблюдений (по три с каждого борта) и комплексом аппаратуры для фото- и видеосъемки, располагались до восьми исследователей. Кроме тюленей наблюдатели и аппаратура регистрировали китов, белух, птиц, орудия лова, различные загрязнения, морские суда, океанологические фронты, очаги цветения фитопланктона и др. Суммарная учетная полоса, закрываемая визуальными наблюдениями и фотосъемкой, составляла около 3 км при высоте полета 300 м. Маршруты полетов в основном проходили вдоль береговой линии с удалением от берега 300–800 м. Максимальная наблюдаемая численность тюленей на береговых залежках отмечалась во время отливов. Во время приливов большая доля тюленей находилась в воде и выпадала из учета. Численность и вид тюленей на береговых залежках определяли по фотоснимкам. По предварительной оценке численность ларги в Тауйской губе в 2009 г. составила 10–12 тыс. особей. Общая численность тюленей, обитающих в летний период в Ямской губе – 12–14 тыс. особей. В результате авиа съемок в прибрежных водах о. Сахалин нами зарегистрировано 15 085 тюленей. На западном побережье о. Сахалин зафиксирован 5 751 тюлень. На восточном побережье зафиксировано 9 334 тюленя. Экспериментальный авиаучет тюленей, обитающих в летний период в прибрежной акватории, показал его перспективность. При планировании авиаучетных работ в прибрежных акваториях необходимо учитывать время рунного хода лососей и график приливов, которые специфичны для отдельных участков побережья.

*Работа выполнена при поддержке Русского географического общества и СахНИРО.*

Д. М. Глазов<sup>1</sup> (dglazov@yandex.ru), В. И. Черноок<sup>2</sup>,  
Е. А. Назаренко, О. В. Шпак, Б. А. Соловьев,  
В. В. Рожнов<sup>1</sup>, Л. М. Мухаметов

<sup>1</sup> ИПЭЭ РАН им. А. Н. Северцова (Москва, Россия);

<sup>2</sup> ОАО «Гипрорыбфлот» (Санкт-Петербург, Россия)

## Численность и распределение белух в акватории Белого моря в марте 2008 и 2010 гг.

Достоверные данные о распространении и численности белух в Белом море в зимний период до наших исследований отсутствовали. Предполагалось, что малая часть летнего стада беломорских белух обитает здесь в течение всего года, остальные зимой мигрируют в Баренцево и Карское моря. Для проверки этого предположения нами было проведено комплексное авиационное обследование Белого моря в марте 2008 г. и марте 2010 г. Учеты проводили методом линейных трансект с различным шагом между галсами. С 14 по 18 марта 2008 г. полеты проходили над центральной частью Белого моря. Белухи были обнаружены поодиночке или группами до 13 особей почти на всей обследованной территории. С 19 по 23 марта 2010 г. маршрутами была равномерно покрыта вся акватория Белого моря, как над открытыми водными пространствами, так и над льдами. Белухи наблюдались поодиночке и группами до 15 особей. В результате обработки данных визуальных наблюдений и фотографий, полученных в ходе авиасъемки, число обнаруженных животных составило в 2008 г. 134 белухи, в 2010 г. – 237 белух. Расчетная численность белух в зоне моря, охваченной учетом, составила в 2008 г.  $1\,665 \pm 634$  особи, в 2010 г. –  $2\,183 \pm 836$  особи. Средняя плотность на  $1\,000\text{ км}^2$  обследованных акваторий составила 69 и 48 особи, соответственно. Все расчеты приводились без поправки на недоступных визуальному учету белух (занырнувших глубоко под воду или находящихся подо льдом). Основная часть животных располагалась в трещинах и разводьях среди плотных полей льда, иногда довольно далеко от открытой воды, в Центральной части, Онежском и Двинском заливах. Погодные условия марта 2008 г. и марта 2010 г. резко отличались. В 2008 г. льдообразование в Белом море началось 17 февраля и к середине марта (времени проведения авиасъемок) толщина льда составляла всего 10–20 см. В марте 2010 г. толщина льда достигала 80 см, более 80% площади моря в период съемки было покрыто льдом. Таким образом, вне зависимости от ледовой обстановки в Белом море значительная часть летнего стада белух остается здесь на зимовку, предпочитая в это время закрытые льдом глубоководные районы.

*Работа выполнена Постоянно действующей экспедицией РАН в рамках Программы изучения распространения и миграций белухи при поддержке Русского географического общества и ООО «Утришский дельфинарий».*



В. Н. Бурканов<sup>1</sup> (burkanov@bk.ru), А. В. Алтухов<sup>1</sup> (aaltukhov@gmail.com),  
Р. Эндрюс<sup>2</sup> (RussA@alaskasealife.org), Р. Дэвис<sup>3</sup> (davisr@tamug.edu),  
П. Оливиер<sup>3</sup> (paul.olivier@tamu.edu)

<sup>1</sup> Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский); <sup>2</sup> Университет штата Аляска (Фербенкс) и Аляска Силайф Центр (Севард, США); <sup>3</sup> Университет штата Техас (Галвестон, США)

## Опыт использования архивной телеметрии для изучения питания сивуча на Курильских островах

В 2008 и 2009 гг. изучали пищевое поведение сивуча (*Eumetopias jubatus*) на Курильских островах (о-ва Каменные Ловушки) для проверки трофической гипотезы причин сокращения численности вида в северной части Тихого океана. Приборы VDAР (производство Pisces Design, Inc. США) устанавливали на лактирующих самок сивуча в конце июня. Приборы регистрировали время ухода в море и возвращения животных на лежбище, частоту и глубину ныряний, направление и скорость движения в трехмерном пространстве, изменение температуры в желудке и воды по маршруту движения животного. При погружении на глубину 4 м включалась установленная на голове животного микровидеокамера. Видеосъемка проводилась автоматически с частотой 30 кадров в секунду. В прозрачной воде и хорошем освещении на видео можно рассмотреть пространство впереди животного на расстоянии нескольких метров, определить встречи с объектами питания, установить вид рыб, их количество и оценить успешность кормления зверя. Вся информация с приборов записывалась на магнитный носитель, приклеенный к спине животного. Объем магнитного накопителя позволял собирать данные на протяжении 5–8 дней. По истечении этого времени животные отлавливались повторно, приборы снимались для считывания информации.

Всего за два сезона было помечено 8 самок сивуча. Получена информация о 14 походах для питания в море общей продолжительностью 84 часа, из которых около половины времени (45%, или 38 часов) самки находились под водой. Районы кормления располагались на расстоянии до 10 км, а максимальное удаление животных от лежбища равнялось 18 км. Длительность одного кормового похода в среднем составила  $6,0 \pm 3,1$  часа (min 2,1 – max 12,4 час). За это время регистраторы ныряний записали 717 погружений. В среднем самки ныряли с частотой 8,5 раз за час кормового похода. Средняя глубина максимального погружения за одно ныряние равнялась 55 м. Гистограмма ныряний имела бимодальный характер – более половины погружений (66%) были меньше средней глубины ныряния, а 23% – значительно больше (от 100 до 150 м). Максимальная глубина погружения самок достигала 231 м. Средняя продолжительность ныряний составила 3,3 мин, а максимальная – 6,8 мин. Все погружения находились в пределах расчетной величины запаса кислорода в крови и тканях этого вида. За одно погружение животное проплывало под водой в среднем 386 м, из них 140 м – в непосредственной близости от морского дна в поисках пищи.

В результате расшифровки видеозаписей удалось установить 495 случаев встречи животных с кормовыми объектами, которые 261 раз (53%) закончились

успешной охотой. По частоте поимок преобладающим видом (90%) в питании сивуча оказался терпуг (*Pleurogrammus monopterygius*). Из других объектов на видео можно идентифицировать минтай (*Theragra chalcogramma*) – из 15 встреч две закончились успешной охотой; не установленные до вида лососи (*Oncorhynchus* sp.) – две встречи с двумя успешными поимками; бычки (*Cottidae* sp.) – 31 встреча, ни одной поимки; одна встреча и успешная охота на батимастера (*Bathymaster* sp.). Во многих случаях видеозапись позволила оценить размер объектов питания и особенности поведения сивучей при поиске пищи, ее обнаружении, преследовании, поимке и поедании. К примеру, минтай попадался животным 15 раз. В трех случаях это были экземпляры очень крупного размера. Сивучи явно видели крупных рыб, но попыток их преследования не предпринимали. Это указывает на то, что сивучи избирательно питаются объектами среднего и мелкого размера. Вероятно, они меньше затрачивают энергии на добычу мелких рыб. То же самое происходило с бычками. Сивучи обнаруживали и даже хватали бычков, однако не проглатывали их, а сразу выпускали.

На поисковое поведение сивучей под водой влияет освещенность. В большинстве записанных на видео погружений вода была прозрачной. В дневное время животные видели морское дно и искали добычу, плавая от него на расстоянии 0,5–2,0 м. Ночью и на большой глубине сивучи при поиске пищи почти касались дна, плывя у самой его поверхности. При этом они заглядывали под каждый встреченный на их пути камень или углубление дна. Зрение играет решающую роль в обнаружении добычи, а при низкой освещенности важное значение приобретают и вибриссы. Животные активно двигают ими и выставляют вперед, особенно во время погони за жертвой. Не все встречи с объектами питания заканчивались успешной охотой. В некоторых случаях сивучи не могли поймать добычу. Обычно погоня за рыбой представляла собой короткие броски вперед, составляющие доли секунды. Только в 18% (92) случаев погоня продолжалась более 3 секунд, что заняло 1% общей продолжительности кормовых погружений. В 27% (25) эпизодов погоня заканчивалась неудачей. Несмотря на явные преимущества в обнаружении добычи в дневное время (более широкий охват полосы поиска), 68% всех погружений и 58% всех успешных охот в наших исследованиях происходили в сумеречное или темное время суток. Вероятно, такое поведение связано с тем, что сивучи питались терпугом, который ночью находится на дне в неподвижном состоянии, и охота на него не требует больших затрат энергии. По результатам анализа видеоматериалов установлено, что в среднем животные тратили 26% времени на погружение, 39% – на поиски пищи у дна и 35% – на всплытие.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что в районе островов Каменные Ловушки сивучи совершают короткие кормовые походы, питаясь в непосредственной близости от лежбища. Для сравнения, в Калифорнии в годы резкого повышения поверхностной температуры воды в океане (так называемые явления Эль-Ниньо), сопровождающегося значительным ухудшением условий питания сивучей, средняя продолжительность их кормовых походов достигает 50 часов. Основную долю рациона лактирующих самок во время наших исследований составлял терпуг (90% по частоте успешных охот). Стабильное увеличение численности этой репродуктивной группировки в последние годы, по видимому, обусловлено наличием благоприятной кормовой базы.

Наото Эбучи (ebuchi@lowtem.hokudai.ac.jp), Ясуши Фукамачи,  
Кай И. Ошима, Масааки Вакацучи

(Naoto Ebuchi, Yasushi Fukamachi, Kay I. Ohshima, and Masaaki Wakatsuchi)

(Институт низких температур, Университет Хоккайдо, Япония)

## Наблюдение за теплым течением Соя при помощи высокочастотного радиолокатора в 2003–2010 годах

Чтобы наблюдать изменения в теплом течении Соя (ТТС), в августе 2003 г. мы установили три высокочастотные (ВЧ) радиолокационные станции вокруг пролива Соя/Лаперуза и работали непрерывно. Радиолокатор охватывает пределы примерно до 70 км от побережья. Сравнение наблюдаемой текущей скорости со скоростью дрейфующих буев и данных судового АДП показали хорошее соответствие со среднеквадратичным отклонением в 20 см/с. Показано, что ВЧ радиолокаторы четко захватывают сезонные колебания теплого течения Соя. Скорость ТТС достигает своего максимума (примерно 1 м/с) летом и ослабляется в зимний период. Ядро скорости расположено в 20–30 км от побережья, а его ширина составляет примерно 50 км. Почти такой же сезонный цикл повторялся каждый год из этих восьми лет – с 2003-го по 2010-й. Перемещение поверхности теплым течением Соя показывает значительное отклонение с разницей уровня моря вдоль пролива, как производные от записей прибрежных мареографов. В дополнение к годовой вариации ТТС показывает субинерционные вариации с периодом в 5–20 дней. Очевидно, что ВЧ радиолокаторы имеют высокий потенциал для мониторинга изменений поверхности течения в пограничном проливе.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Охотское море связано с Японским морем через пролив Соя/Лаперуза, который расположен между островом Хоккайдо (Япония) и островом Сахалин (Россия) (рис. 1). Теплое течение Соя (ТТС) входит в Охотском море из Японского через пролив Соя/Лаперуза и течет вдоль побережья Хоккайдо в качестве берегового граничного течения. Оно гонит теплую соленую воду из Японского моря в Охотское. Течение можно назвать приблизительно баротропным, и оно показывает четкие сезонные вариации (Aota, 1984; Matsuyama et al., 1999). Тем не менее, ТТС никогда не находилось под постоянным контролем из-за трудностей, связанных с полевыми наблюдениями, которые бы относились к различным причинам, например, суровым погодным условиям в зимний период, политическим вопросам по границе пролива, а также конфликтам, связанным с рыболовной деятельностью в проливе. Подробные особенности ТТС и его вариации не выяснены. Информация об изменениях ТТС и водообмене между Японским и Охотским морями имеет важное значение для изучения этих двух морей.

В этом докладе кратко представлено наблюдение за ТТС с использованием ВЧ радиолокаторов вместе с вариациями ТТС, которые были выявлены при помощи сравнения поверхностного течения с наблюдениями за уровнем моря с прибрежных мареографов. Ebuchi и соавт. (2006) дали подробное описание системы ВЧ радиолокатора и оценку данных наблюдаемой поверхности течения. Fukamachi и соавт. (2008, 2010) оценили объем перемещения ТТС, используя поверхностные поля течения вместе с профилями скорости течения, которые наблюдались при помощи установленных на дне акустических доплеровских профиломеров течений (АДП). Ebuchi и соавт. (2009) исследовали сезонные и субинерционные изменения ТТС с использованием данных, полученных от ВЧ радиолокатора, прибрежных мареографов и установленных на дне АДП.

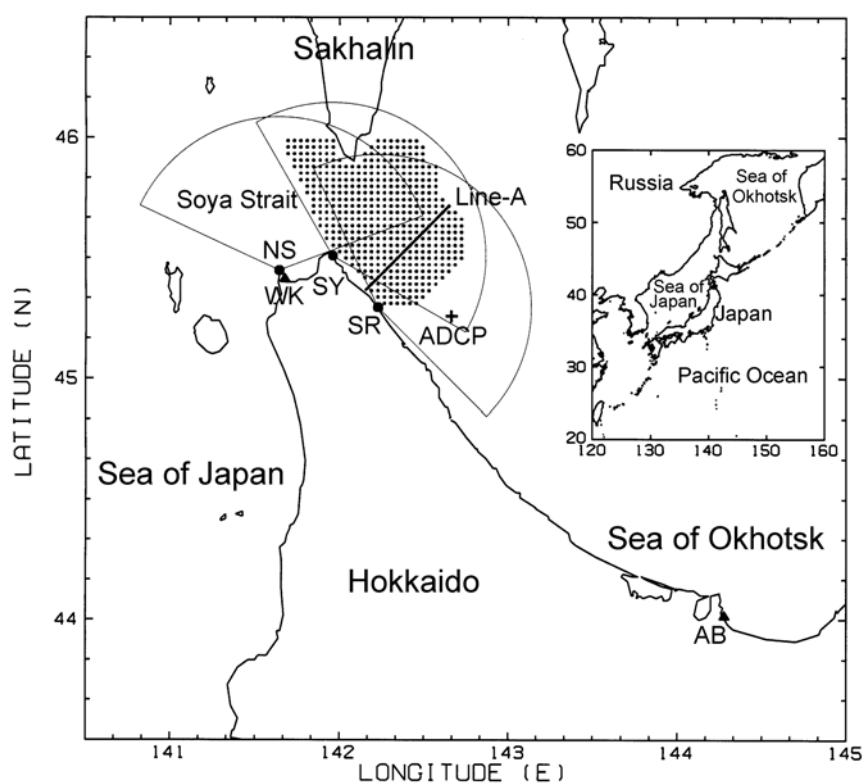


Рис. 1. Карта пролива Соя/Лаперуза, и расположение и охват ВЧ радиолокационных станций

## 2. НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ТТС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ВЧ РАДИОЛОКАТОРА

Для постоянного наблюдения за ТТС вокруг пролива Соя/Лаперуза были установлены три ВЧ радиолокатора (Океанские датчики CODAR, SeaSonde) (Barrick et al., 1977) (см. рис. 1). Частота ВЧ радиолокатора составляет 13,9 МГц, а диапазон и разрешающая способность по азимуту – 3 км и 5° соответственно. ВЧ радиолокатор охватывает область примерно в 70 км от побережья. Наблюдения проводились с интервалом в 1 час. Мы измерили диаграмму излучения приемной антенны и откорректировали искажения диаграммы направленности антенны, чтобы получить точные лучевые скорости. Векторы поверхности течения были помещены в квадрат сетки размером 3×3 км с использованием компонентов радиальной скорости, наблюдаемой радиолокаторами, в соответствии с методом наименьших квадратов.

Пример наблюдаемых векторных площадей поверхности течения показан на рисунке 2. Рисунок 3 является примером ежемесячной усредненной площади поверхности течения. На этих рисунках очень четко фиксируется ТТС, которое течет с запада на восток через пролив Соя/Лаперуза и поворачивает на юго-восток вдоль побережья. Они также показывают течения, направленные на юг, вдоль западного побережья Сахалина, как и предсказывали многочисленные эксперименты (Ohshima, Wakatsuchi, 1990; Ohshima, 1994).



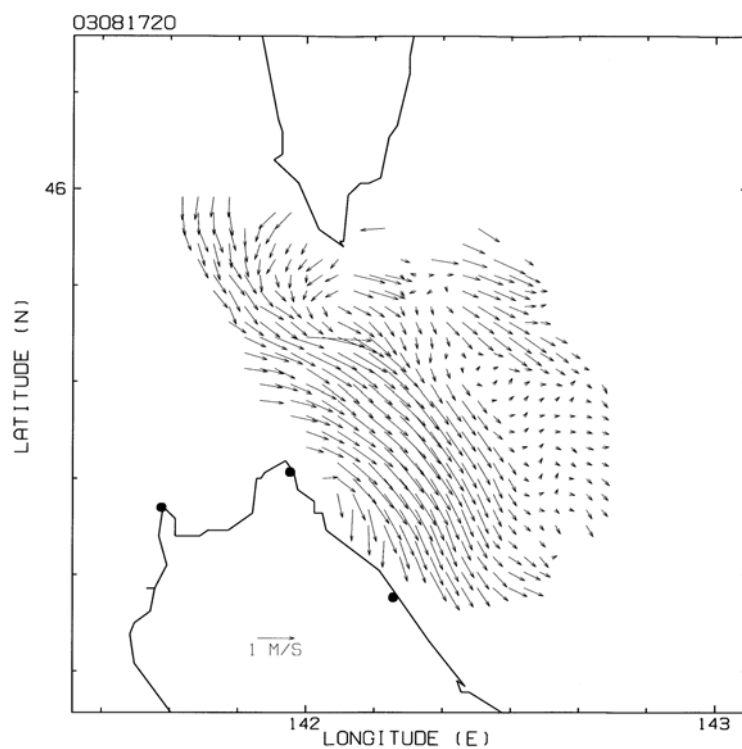


Рис. 2. Пример почасовых векторных полей поверхности течения (1100 UTC, 17 августа 2003 г.)

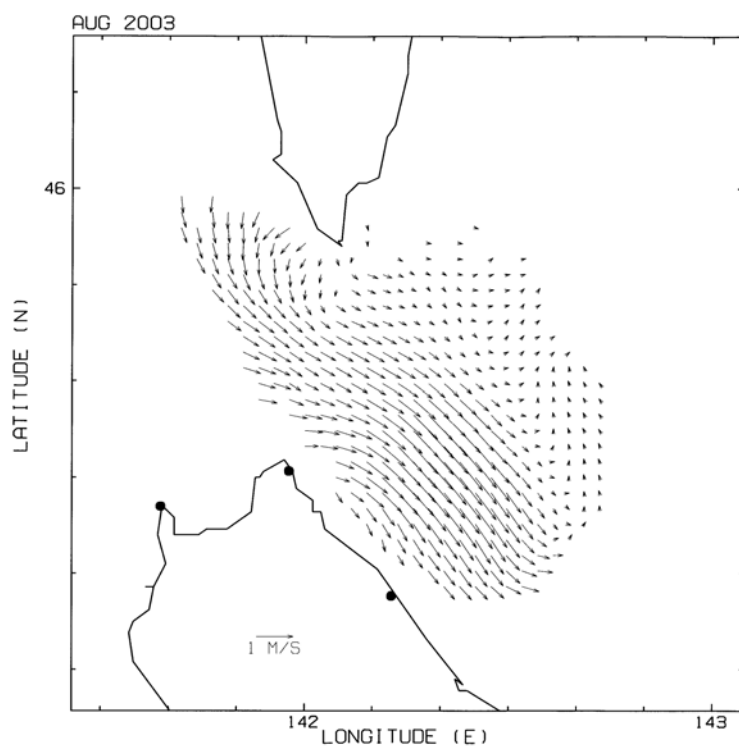


Рис. 3. Пример ежемесячной усредненной площади поверхности течения (август 2003 г.)

Скорость поверхности течения, наблюдаемая ежечасно ВЧ радиолокаторами, была сравнена с данными, полученными «на месте» от дрейфующих буев и судовых АДП (Ebuchi et al., 2006). Скорость течения, полученная от ВЧ радиолокаторов, показала, что она прекрасно совпадает с наблюдаемой при помощи дрейфующих буев (рис. 4). Для зональных и меридиональных компонентов среднеквадратичные различия оказались меньше 25 см/с. Наблюдаемая скорость течения, как было также установлено, показывает достаточно хорошее совпадение с данными судового АДП (рис. 5).

СЕКЦИЯ А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики

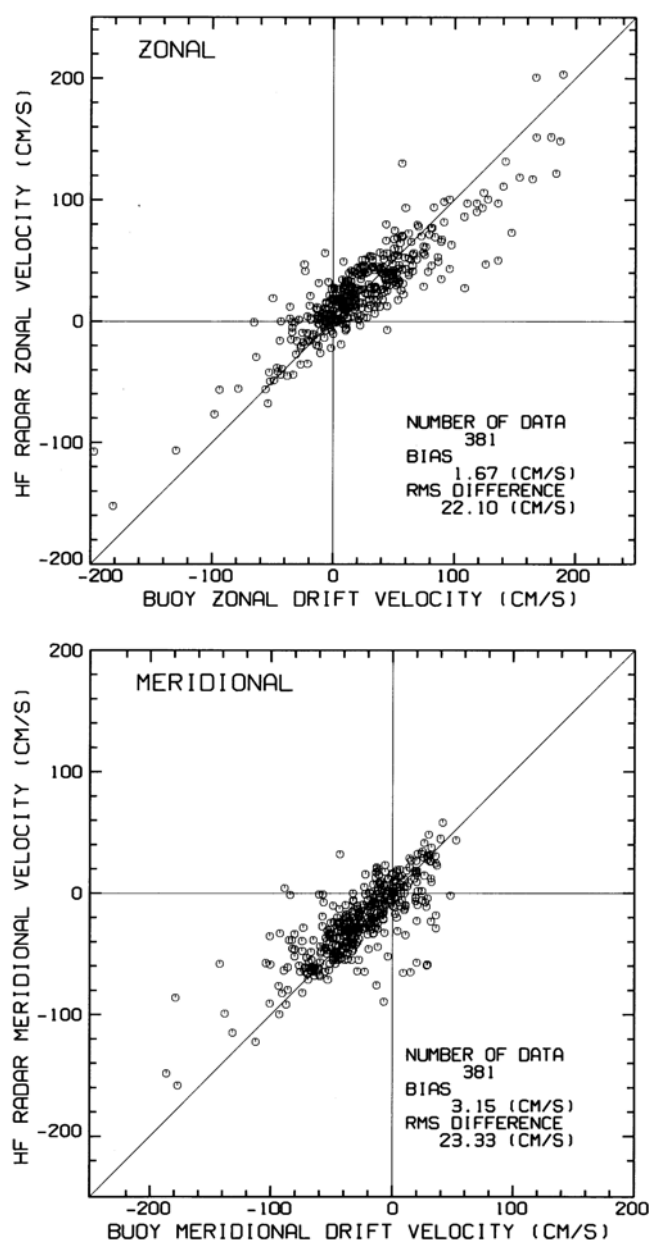


Рис. 4. Сравнение наблюдений ВЧ радиолокатора с дрейфующим буюм для зональных (вверху) и меридиональных (внизу) компонент скорости

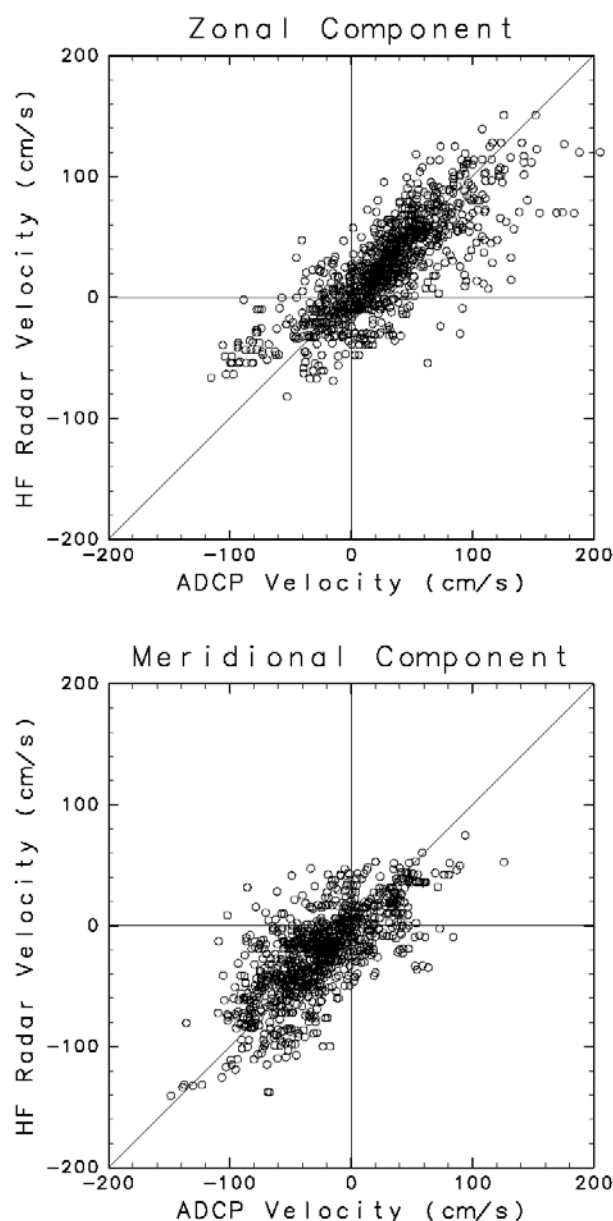


Рис. 5. Сравнение наблюдений ВЧ радиолокатора с судовым АДП для зональных (вверху) и меридиональных (внизу) компонент скорости

### 3. СТРУКТУРА И СЕЗОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТЕПЛОГО ТЕЧЕНИЯ СОЯ

Используя векторные поля поверхности течения, которые наблюдались ВЧ радиолокаторами, мы обсуждаем сезонные колебания ТТС. Чтобы удалить приливные компоненты, 25-часовое усредненное, получаемое при группировании, было применено к временным рядам почасовых векторов поверхности течения в каждом квадрате сетки, а затем были рассчитаны ежедневные и еже-

месячные усредненные площади течения. Для удаления приливных вариаций, мы рассмотрели 25-часовое усредненное, получаемое при группировке, гармонический анализ и 48-часовой фильтр приливов и подтвердили, что остаточные приливные компоненты ничтожно малы. Пример ежемесячной усредненной площади приведен на рисунке 3.

Ежедневные компоненты юго-восточного течения через линию А (см. рис. 1) были усреднены помесечно и показаны со стандартными отклонениями за период с августа 2003 г. по июль 2004 г. (рис. 6). Рисунок 7 показывает ежегодные изменения ежемесячных усредненных профилей в течение восьми лет – с 2003 по 2010 г. Ежемесячные усредненные профили показывают явные сезонные вариации. Скорость ТТС достигает своего максимума в примерно 1 м/с летом (август и сентябрь) и ослабевает в зимний период (январь и февраль). Ось течения находится в 20–30 км от берега в этом районе, а типичная ширина ТТС составляет около 50 км. Эти особенности ТТС совпадают с результатами краткосрочных или поточечных наблюдений, о которых сообщалось в предыдущих исследованиях (Aota, 1984; Matsuyama et al., 1999). На рисунке 7 показано, что почти такой же сезонный цикл был повторен в эти пять лет.

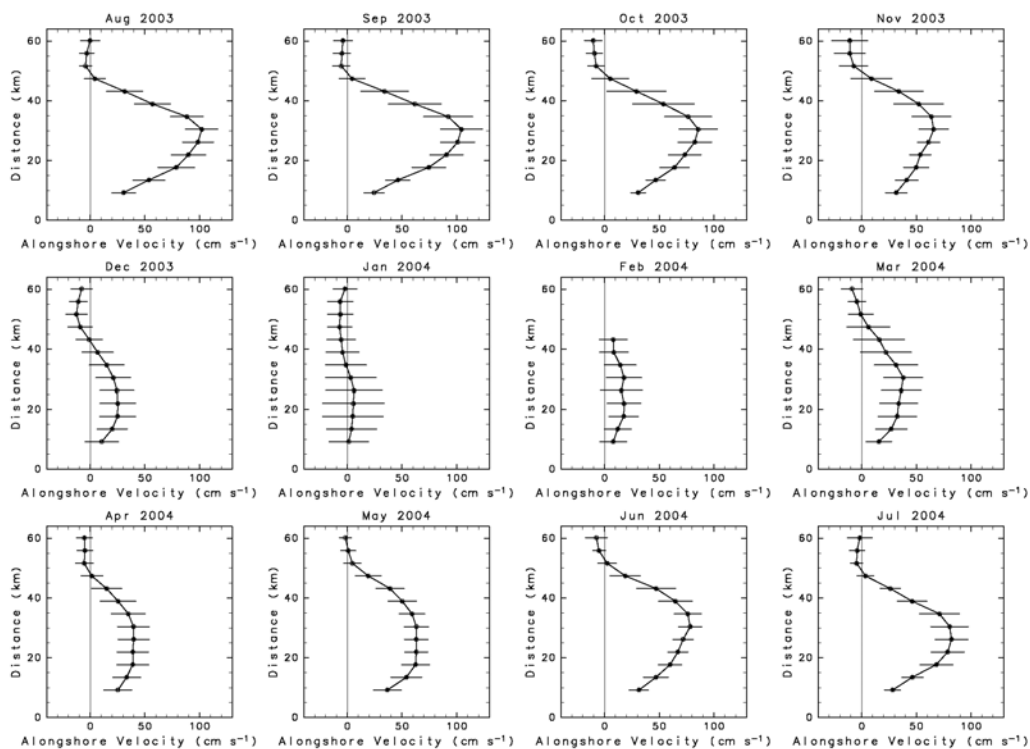


Рис. 6. Ежемесячные усредненные профили компонента скорости юго-восточного течения через линию А (см. рис. 1) по отношению к расстоянию от береговой линии за период с августа 2003 г. по июль 2004 г.



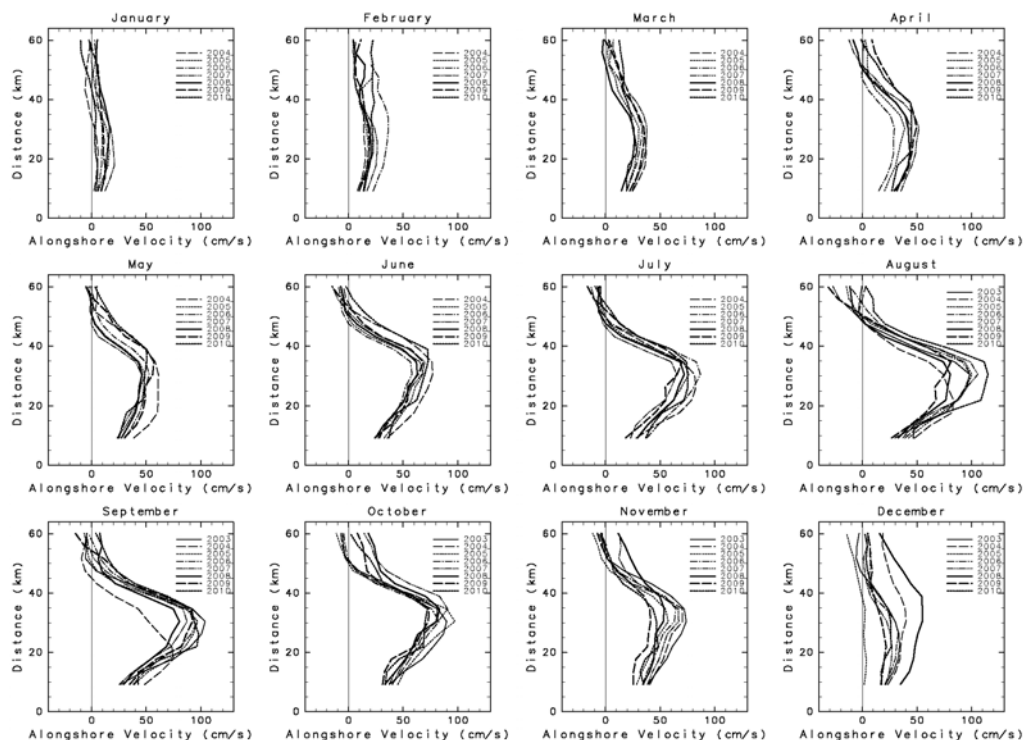


Рис. 7. Ежегодные изменения ежемесячных усредненных профилей компонента скорости юго-восточного течения через линию А (см. рис. 1)

#### 4. ИЗМЕНЕНИЯ В ПЕРЕМЕЩЕНИИ ПОВЕРХНОСТИ И ИХ СВЯЗЬ С ПЕРЕПАДАМИ УРОВНЯ МОРЯ

При помощи интеграции ежедневного компонента юго-восточного течения вдоль линии от побережья до точки, в которой компонент становится отрицательным, было определено ежедневное количество перемещаемой поверхности через линию А. На *рисунке 8* показаны временные ряды перемещаемой поверхности (толстая линия). Обратите внимание, что единица перемещаемой поверхности – это не объем/время, а площадь/время, потому что ВЧ радиолокаторы дают лишь скорость поверхности течения. Зимой (с января по март) там часто не хватает данных, поскольку район наблюдения покрыт морским льдом.

Движущая сила ТТС приписывается разнице между уровнем Японского моря и Охотского моря (Aota, 1984; Ohshima, 1994). Скорость поверхности ТТС, как сообщается, тесно связана с разницей уровня моря (Aota, 1984; Matsuyama et al., 1999). Для сравнения с перемещением поверхности, наблюдаемым с использованием ВЧ радиолокаторов, мы вычислили разницу в уровне моря между двумя мареографическими постами: Вакканай (обозначен на рисунке 1 как WK) и Абасири (АВ на рисунке 1), которая представляет градиент уровня моря между Японским морем и Охотским морем. На этих постах к почасовым записям мареографов применялся 48-часовой фильтр приливов (Hanawa, Mitsudera, 1985). Затем был рассчитан ежедневный усредненный уровень моря и была проведена атмосферная коррекция давления с помощью

ежедневного усредненного давления уровня моря на метеостанциях в городах Вакканай и Абасири. На рисунке 8 временные ряды показаны тонкой линией. Перемещение поверхности ТТС и разница уровня моря по течению показывают хорошую корреляцию с коэффициентом 0,712. Оба временных ряда показывают не только сезонные колебания, но и вариации во временном масштабе от 10 до 15 дней. Механизм генерации этого субинерционного изменения ТТС обсуждался Ebuchi и соавт. (2008) в связи с образуемыми ветром прибрежными волнами, попадающими «в ловушку», которые распространяются вдоль восточного побережья Сахалина и западного побережья Хоккайдо. Результаты, показанные на рисунке 8, подтверждают корреляцию в различных масштабах времени между ТТС и разницы уровня моря вдоль течения.

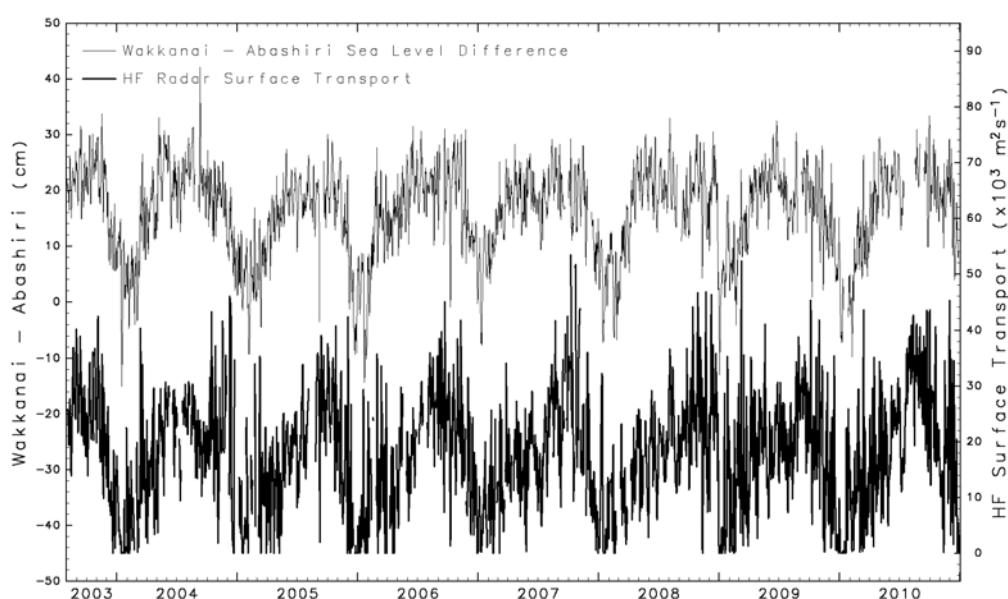


Рис. 8. Временные ряды перемещения поверхности (ТТС, нижняя жирная линия) и разница уровня моря между точкой Вакканай и точкой Абасири (верхняя тонкая линия)

## 5. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ПРИМЕЧАНИЯ

В этом докладе мы кратко представили ВЧ радиолокационные системы, развернутые в районе пролива Соя/Лаперуза, и анализ скорости наблюдаемых площадей поверхности. ВЧ радиолокаторы четко захватили сезонные и субинерциальные изменения ТТС. Показано, что ВЧ радиолокационные системы являются мощным инструментом для мониторинга поверхности площади течений в прибрежных районах. Тем не менее, мы подозревали, что измерения поверхностных течений вокруг мыса Крильон могут быть менее точны из-за больших расстояний от радиолокационных станций и узкого угла азимута между направлениями, в которые направлены радиолокаторы. Мы считаем, что установка ВЧ радиолокационных станций вдоль залива Анива, в том числе у мыса Крильон, значительно улучшит точность измерения поверхности течения в проливе Соя/Лаперуза. Комбинация данных, полученных с японской и российской ВЧ радиолокационных станций, в значительной степени расширит охват наблюдения. Также сеть ВЧ радиолокаторов вдоль восточного побере-

СЕКЦИЯ А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики

жья острова Сахалин будет выгодна для мониторинга изменений поверхности океанских течений и прогнозирования дрейфового движения разлитой нефти в случае аварии на нефтяном месторождении или крушения танкера в регионе.

## ЛИТЕРАТУРА

- Aota M. 1984. Oceanographic structure of the Soya Warm Current. *Bull. Coast. Oceanogr.* **22**, 30–39 (in Japanese).
- Barrick D. E., Evans M. W., Weber B. L. 1977. Ocean surface currents mapped by radar. *Science*, **198**, 138–144.
- Ebuchi N., Fukamachi Y., Ohshima K. I., Shirasawa K., Ishikawa M., Takatsuka T., Daibo T., Wakatsuchi M. 2006. Observation of the Soya Warm Current using HF radar. *J. Oceanogr.* **62**, 47–61.
- Ebuchi N., Fukamachi Y., Ohshima K. I., Wakatsuchi M. 2009. Subinertial and seasonal and variations in the Soya Warm Current revealed by HF ocean radars, coastal tide gauges and a bottom-mounted ADCP. *J. Oceanogr.*, **65**, 31–43.
- Fukamachi Y., Tanaka I., Ohshima K. I., Ebuchi N., Mizuta G., Yoshida H., Takayanagi S., Wakatsuchi M. 2008. Volume transport of the Soya Warm Current revealed by bottom-mounted ADCP and ocean-radar measurement. *J. Oceanogr.* **64**, 385–392.
- Fukamachi Y., Ohshima K. I., Ebuchi N., Bando T., Ono K., Sano M. 2010. Volume transport in the Soya Strait during 2006–2008. *J. Oceanogr.*, **66**, 685–696.
- Hanawa K., Mitsudera H. 1985. On the data processing of daily mean values of oceanographic data. Note on the daily mean sea-level data. *Bull. Coastal Oceanogr.*, **23**, 79–87 (in Japanese).
- Matsuyama M., Aota M., Ogasawara I., Matsuyama S. 1999. Seasonal variation of Soya Current. *Umi no Kenkyu*, **8**, 333–338 (in Japanese with English abstract and captions).
- Ohshima K. I., Wakatsuchi M. 1990. A numerical study of barotropic instability associated with the Soya Warm Current in the Sea of Okhotsk. *J. Phys. Oceanogr.* **20**, 570–584.
- Ohshima K. I. 1994. The flow system in the Sea of Japan caused by a sea level difference through shallow straits. *J. Geophys. Res.*, **99**, 9925–9940.

А. Л. Сальман<sup>1</sup> (a.salman@es-pas.com), Ф. Лефевр<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ЗАО «ЭС-ПАС»; <sup>2</sup> Компания CLS

## Использование спутниковой системы Argos в рамках научных исследований

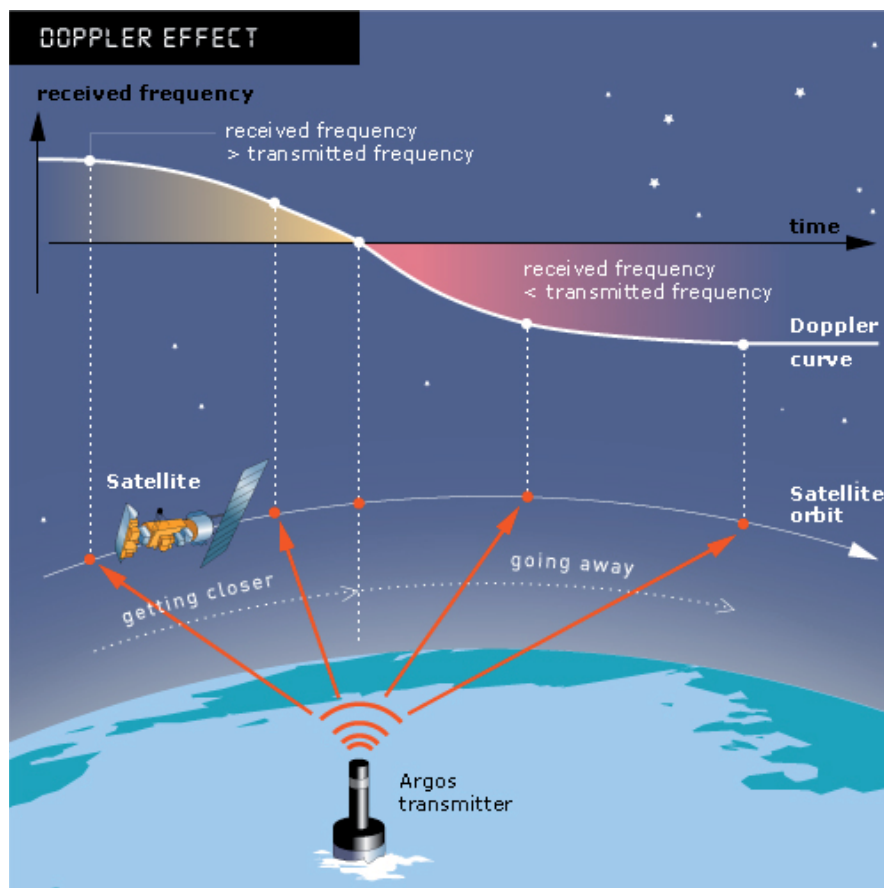
Спутниковая система определения местоположения и сбора данных Argos предназначена для изучения и охраны окружающей среды. Наблюдение за подвижными объектами и сбор информации производятся с помощью радиомаяков, которые регулярно передают краткие сообщения, содержащие ту или иную полезную информацию (служебные данные, показания датчиков, результаты функционирования встроенных устройств). Эти данные принимаются спутниками, находящимися на околоземных приполярных орбитах высотой около 850 км. Полезные нагрузки системы Argos размещены на пяти космических аппаратах NOAA (США) и на европейском спутнике METOP-A. Каждый из шести космических аппаратов постоянно принимает информацию от всех радиомаяков, находящихся в зоне его видимости радиусом 2 500 км. Все эти данные передаются на сеть земных станций, включающую в себя более пятидесяти информационных центров. После обработки данные предоставляются пользователям через сеть Internet.



СЕКЦИЯ А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики

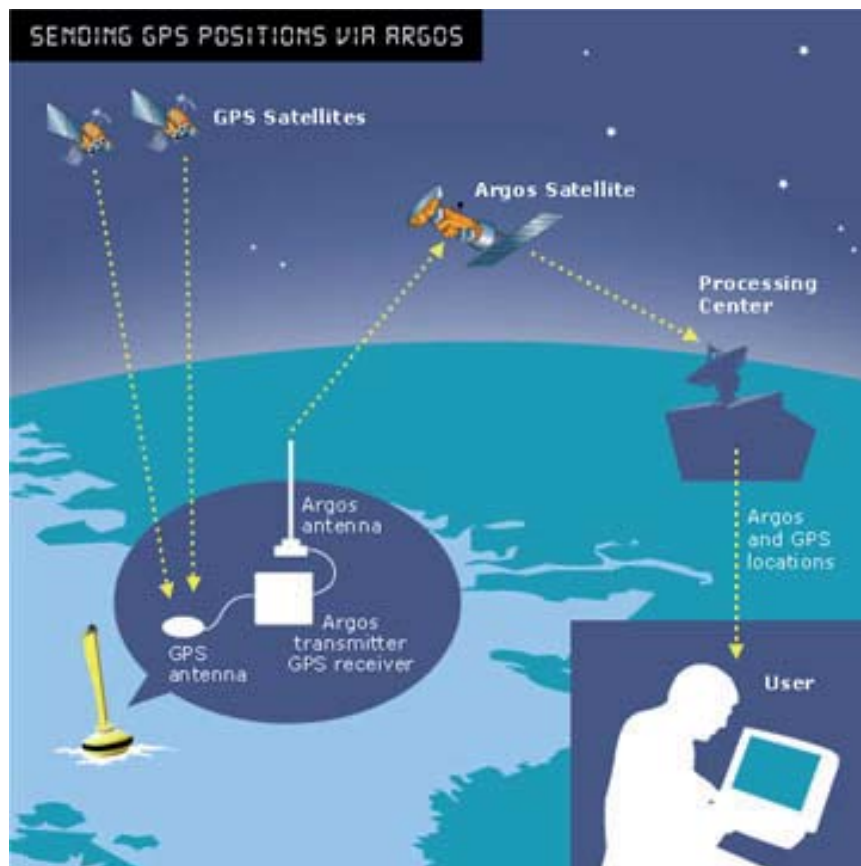


Определение местоположения подвижного объекта, оснащенного радиомаяком системы Argos, обеспечивается на основе эффекта Доплера. Принимая сообщения от радиомаяка, спутник выполняет измерения частоты, на которой поступают сообщения. Эта частота зависит от скорости движения космического аппарата относительно радиомаяка. Сопоставляя частоты нескольких сообщений, поступивших на спутник за один его пролет над радиомаяком, удастся рассчитать координаты наблюдаемого объекта.

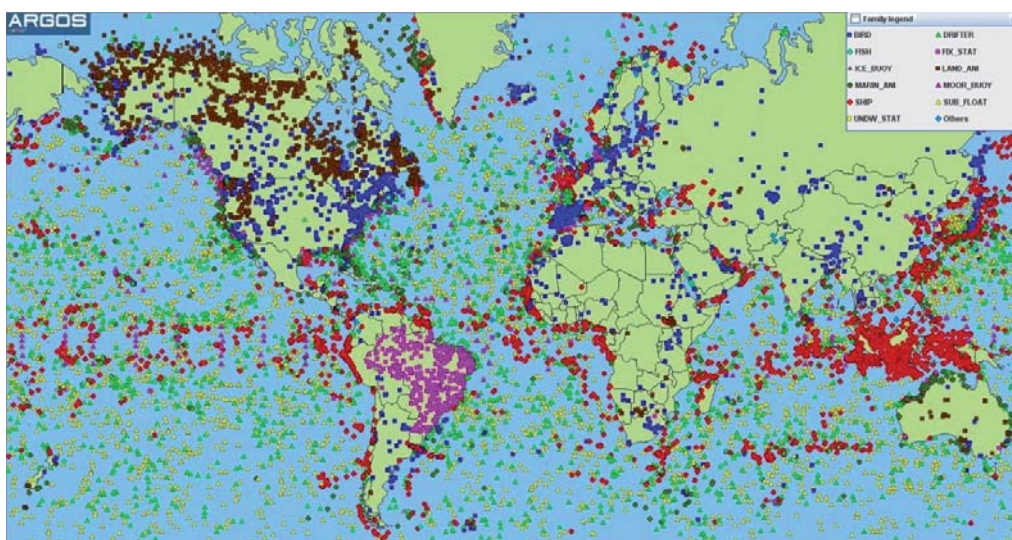


Точность доплеровских позиций колеблется от 250 до 1500 метров, а для качественного расчета одной такой позиции необходимо получить от радиомаяка четыре сообщения за один пролет спутника. В тех случаях, когда такая точность оказывается недостаточной, а также при функционировании радиомаяка в сложных окружающих условиях, препятствующих стабильному прохождению радиосигналов на спутники, приходится использовать в составе радиомаяков системы Argos встроенные приемники GPS.

Встроенный навигационный приемник обеспечивает регулярное определение координат GPS подвижного объекта. Эти координаты закладываются в сообщения, излучаемые радиомаяком. Спутниковой системе Argos достаточно один раз получить сообщение от радиомаяка, чтобы предоставить пользователю координаты GPS объекта, определенные встроенным навигационным приемником.

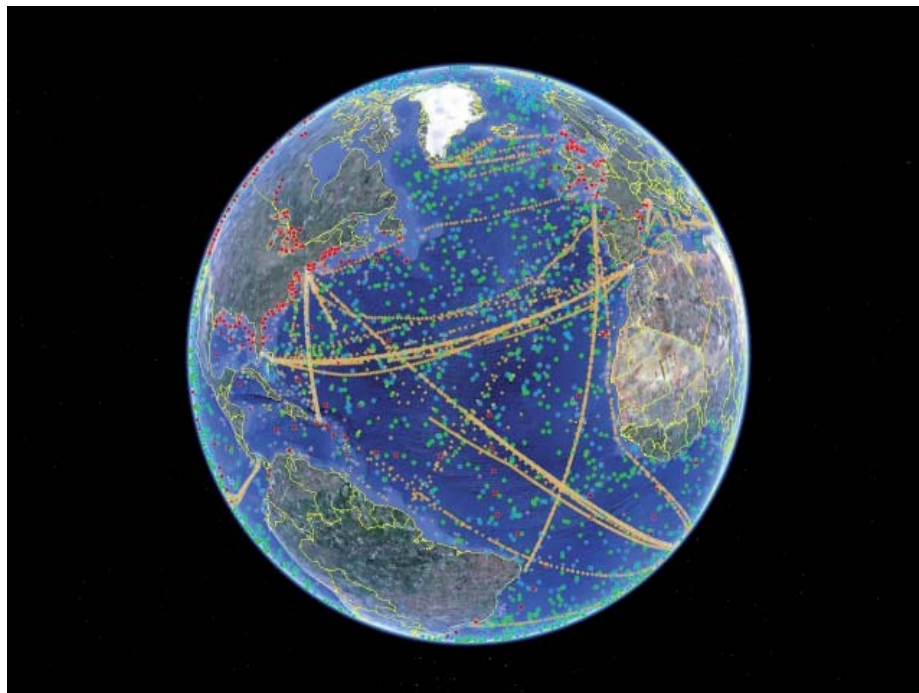


На сегодняшний день в составе спутниковой системы Argos постоянно функционирует более двадцати тысяч радиомаяков. Они используются для океанографических исследований, мониторинга рыбопромысловой деятельности, наблюдения за миграциями животных, контроля перемещений льдов и айсбергов, а также во многих других областях.



СЕКЦИЯ А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики

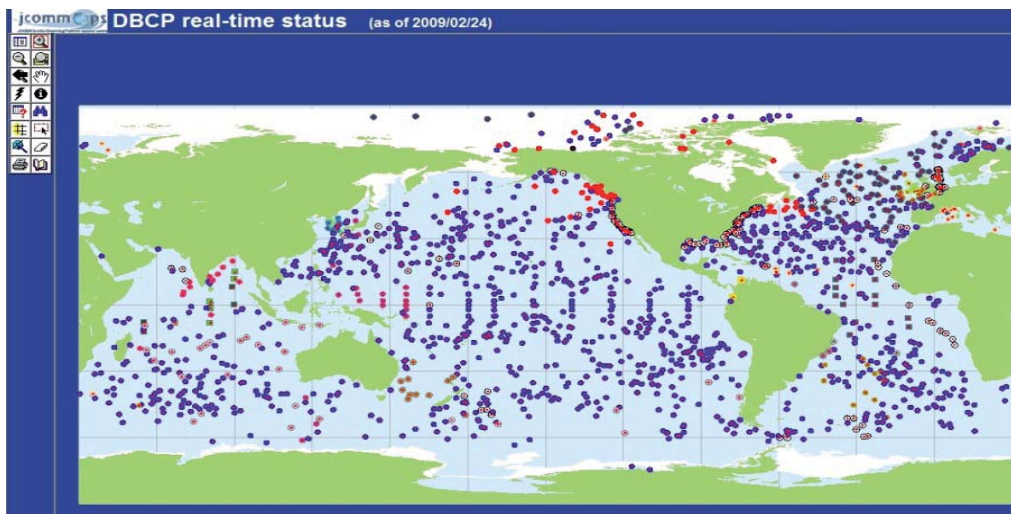
С помощью системы Argos реализуется целый ряд международных и национальных программ, основной целью которых является изучение параметров морской среды и ледовой обстановки, а также метеорологические исследования. Устройства, собирающие океанографическую и метеорологическую информацию, устанавливаются на дрейфующие, заныривающие или заякоренные буи, на промысловые суда, на ледовые поля и айсберги. Около семи тысяч таких устройств функционируют в составе системы Argos.



В рамках международной программы Data Buoy Cooperation Panel 1 400 дрейфующих и 100 заякоренных буев обеспечивают сбор информации о поверхностных течениях, температуре поверхности воды, атмосферном давлении.





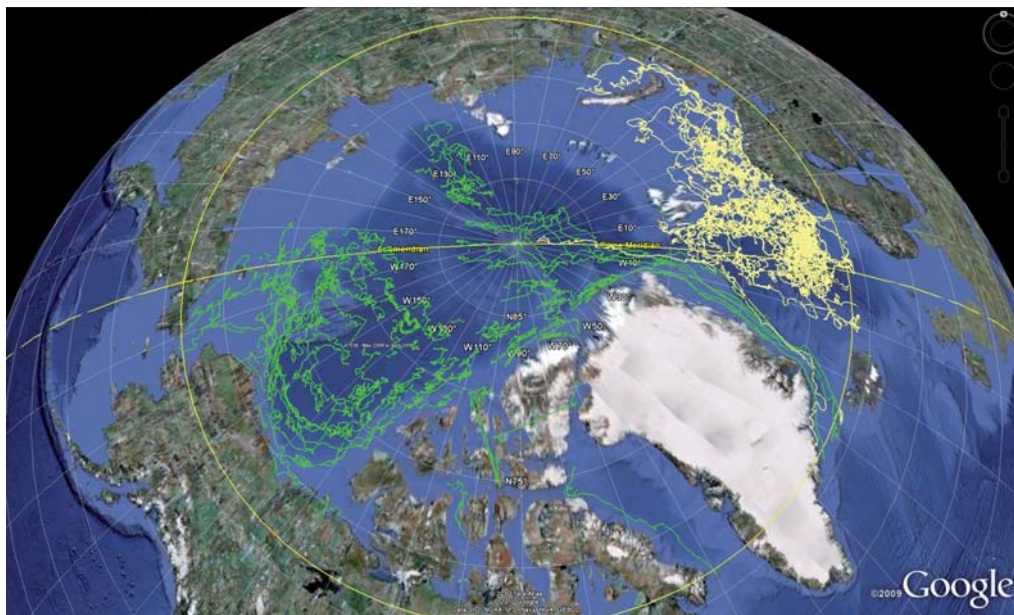


Более 100 измерительных станций функционируют в рамках программы International Arctic Buoy Program. Они используются для ежедневного сбора информации о дрейфе льдов, атмосферном давлении, температуре воздуха. Проводятся исследования колебаний температуры вблизи Северного полюса и изменения объемов ледового покрова в арктических морях.

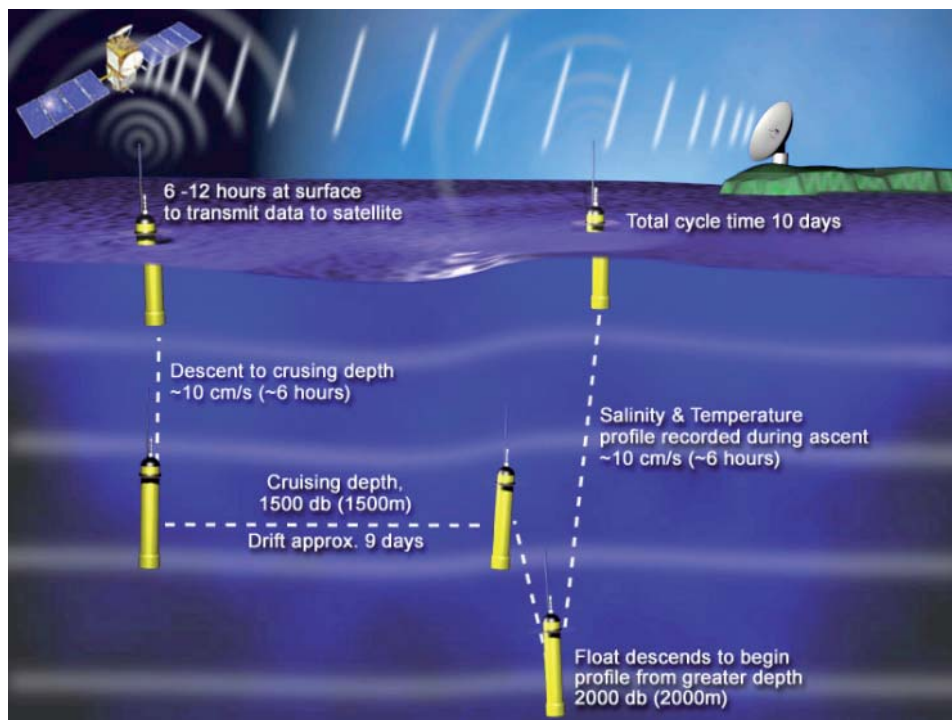


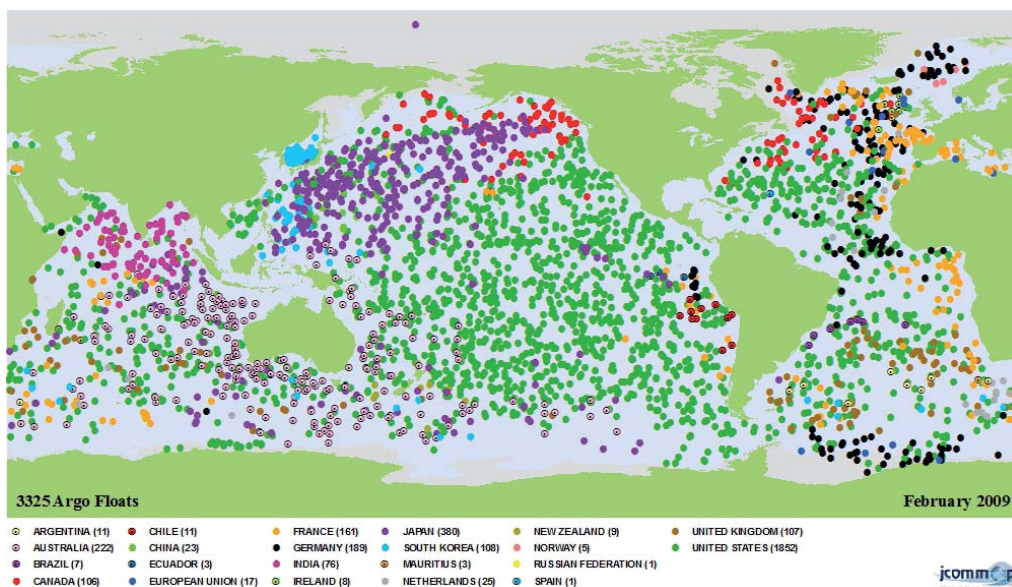
СЕКЦИЯ А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики





Международная программа Argo реализуется в рамках сотрудничества 24 государств. Более трех тысяч профилирующих буйев собирают данные о температуре и солености воды на глубинах до 2000 метров. Буй опускается на глубину 1500 м и дрейфует в течение 9 дней, регулярно проводя измерения. Затем он опускается до глубины 2000 м и поднимается на поверхность воды. После этого все накопленные за 10 дней данные передаются на спутники системы Argos. Затем весь цикл повторяется.

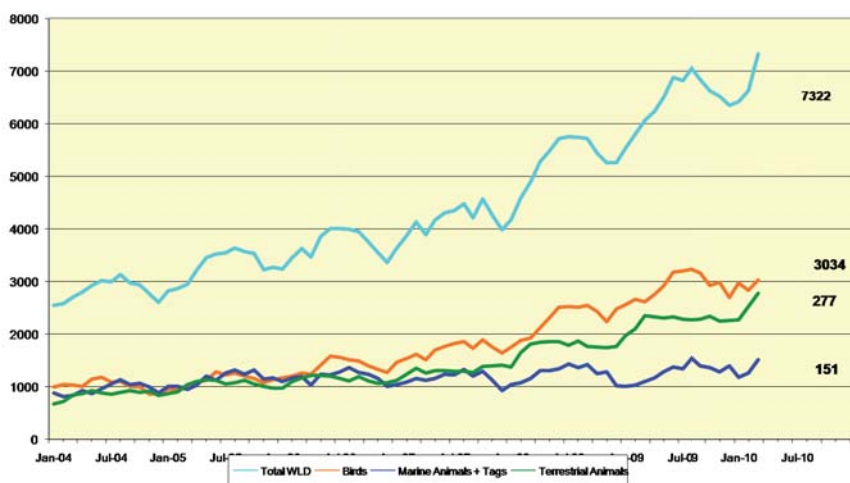




Данные, собираемые в рамках таких программ, предоставляются владельцами буев в распоряжение всей научной общественности с помощью Глобальной системы телесвязи (GTS), которая представляет собой интегрированную сеть, созданную Всемирной метеорологической организацией (WMO) для быстрого сбора и распространения данных и объединяющую телекоммуникационные метеорологические центры разных стран.

Другая исключительно важная область применения системы Argos – наблюдение за животными. Радиомаяки Argos отличаются простотой конструкции, механической надежностью и исключительно малым энергопотреблением. Это идеальные технические средства для продолжительного автономного функционирования в сложных условиях, успешно используемые в рамках исследований поведения животных. В настоящее время с помощью системы Argos обеспечивается постоянное наблюдение за семью тысячами особей.

ACTIVE ANIMAL PLATFORMS



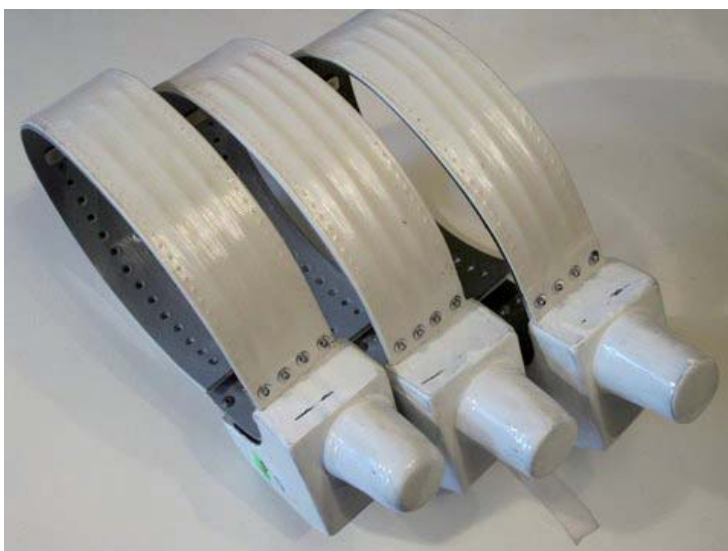


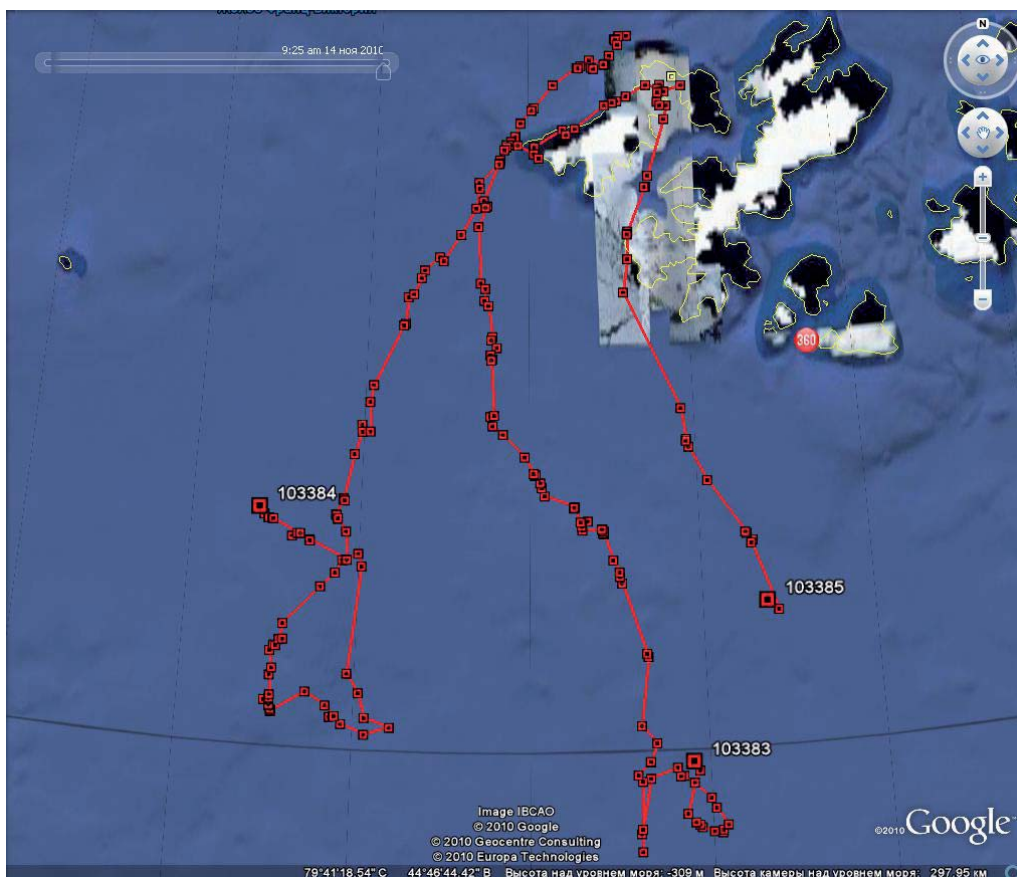
Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья

Подобные проекты активно реализуются и на территории Российской Федерации. В 2010–2011 гг. проводились работы по наблюдению за белухами, серыми китами, гренландскими и серыми тюленями, тиграми, ирбисами, дикими северными оленями, волками, лошадьми, бурыми и белыми медведями, стерхами.



При этом большая часть российских проектов была реализована с использованием радиомаяков системы Argos российского производства, отличающихся повышенной механической надежностью и оригинальной стратегией функционирования, позволяющей успешно передавать данные даже в сложных условиях пересеченного рельефа и густой растительности.





СЕКЦИЯ А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики

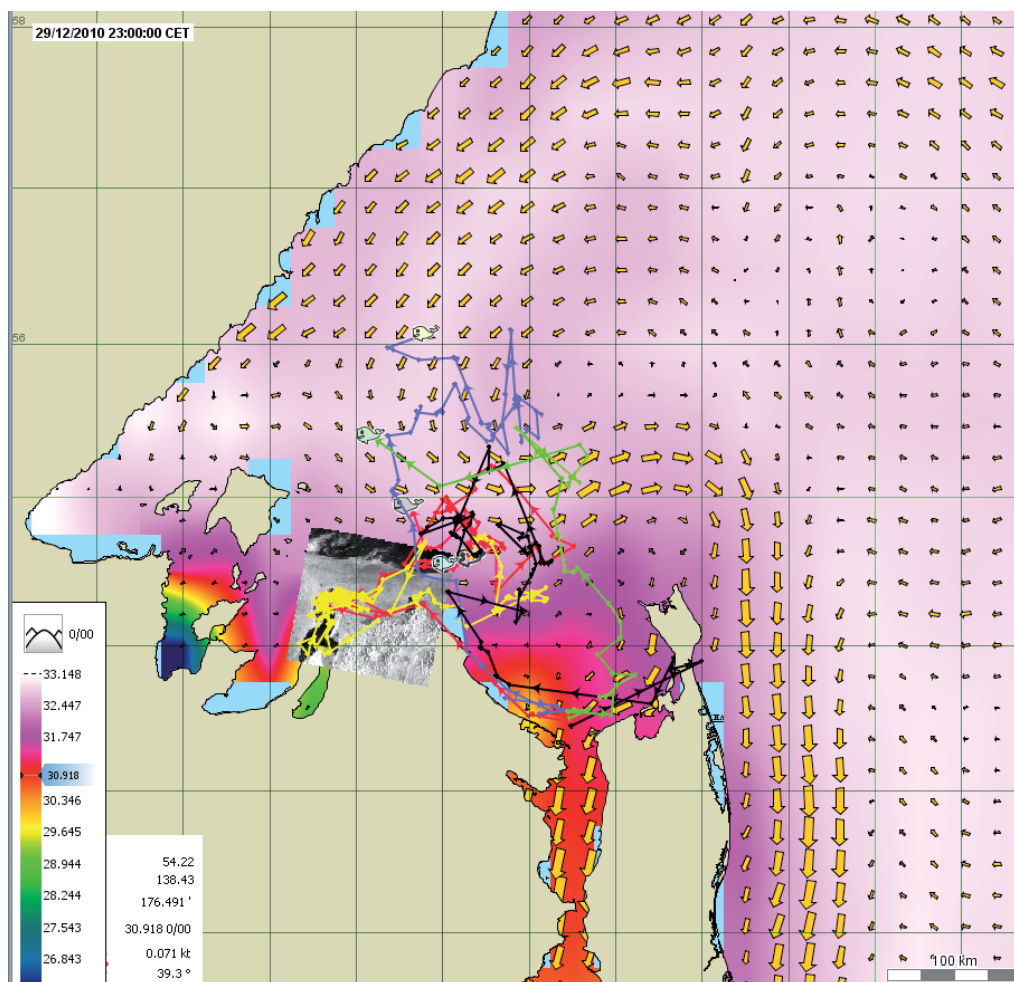


Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья

В ходе некоторых российских проектов наряду с данными спутниковой системы Argos, позволяющими следить за перемещениями животных, использовались результаты функционирования и других космических систем. Так в рамках программы изучения, сохранения и восстановления популяции белого медведя проводились работы по сопоставлению траекторий движения животных с данными о ледовой обстановке в регионе.

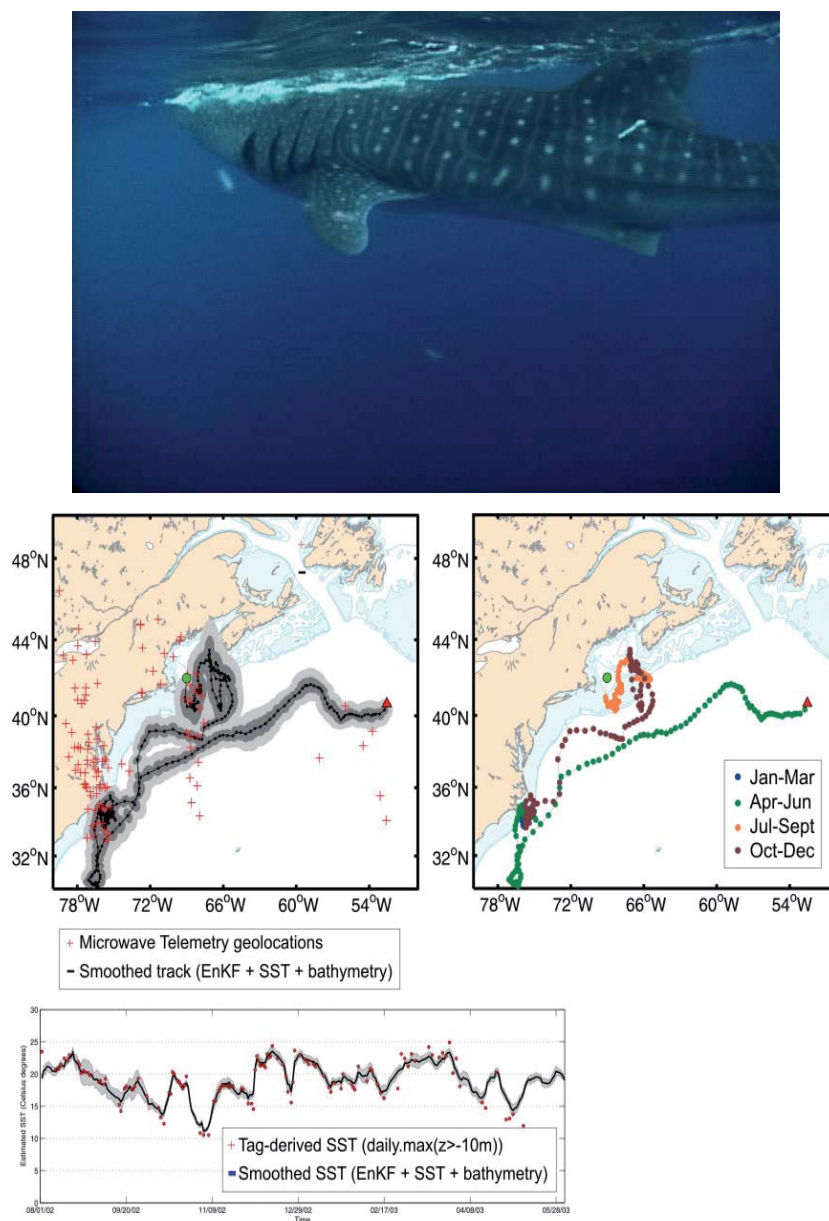
В рамках программы изучения распространения и миграций белух проводилось наблюдение за перемещениями белых китов в Охотском море с помощью радиомаяков системы Argos с одновременным исследованием динамики изменения параметров окружающей среды. Путем обработки спутниковых радиолокационных снимков оценивалась ледовая обстановка и проводилось сопоставление траекторий животных с процессами формирования ледовых полей. Кроме того, изучалась океанографическая информация, получаемая с различных космических аппаратов, а также путем математического моделирования. В результате предпринимались попытки выявления закономерностей поведения животных в зависимости от изменения тех или иных параметров морской среды.





СЕКЦИЯ А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики

Помимо изучения миграций морских животных, система Argos используется для наблюдения за перемещениями рыб. При этом местоположение радиомаяка не может быть определено на основе эффекта Доплера, так как рыба никогда не показывается над поверхностью воды и установленный на ней радиомаяк не может регулярно передавать сообщения на спутники системы Argos. Поэтому используется иная технология, основанная на регулярном измерении освещенности, давления и температуры. Устройство, устанавливаемое на рыбу, записывает эти измерения в течение шести месяцев, а затем отделяется от рыбы, всплывает на поверхность воды и передает все накопленные данные через систему Argos. После обработки полученной информации удастся достаточно точно восстановить траекторию движения рыбы в течение шести месяцев, выполняя предварительную оценку местоположения на основе данных о времени резкого изменения освещенности (восход и закат), а затем уточняя ее путем сопоставления измеренных значений температуры и давления с океанографической и батиметрической информацией.



Таким образом, спутниковая система Argos является мощным инструментом, позволяющим выполнять крупные океанографические, метеорологические и биологические исследования. Система активно используется научными организациями всего мира для реализации всевозможных проектов на всех континентах. Российские институты также начинают все активнее использовать радиомаяки системы Argos, проводя исследования морских течений, выполняя измерения океанографических параметров, наблюдая за перемещениями льдов и айсбергов, реализуя гидрологические проекты, изучая миграции диких животных. Дальнейшее развитие дистанционных исследований с помощью этой международной спутниковой системы может обеспечить решение целого спектра научных задач на обширной территории Российской Федерации.

О. В. Соколов (osokolov@ferhri.ru), Ю. Н. Волков,  
А. Н. Вражкин, В. В. Крохин  
ФГБУ «ДВНИГМИ» (Владивосток)

## Перспективы создания объединенной оперативной автоматизированной гидрометеорологической прогностической системы

Для мониторинга, диагноза и прогноза гидрометеорологических условий в районах активной хозяйственной деятельности на шельфе о. Сахалин предлагается создание оперативной автоматизированной прогностической системы основанной на совмещенных гидродинамических моделях океана и атмосферы (далее – Система). Одной из наиболее важных конечных задач Системы является оперативное гидрометеорологическое и экологическое обеспечение принятия управленческих решений при возможных техногенных авариях в регионе.

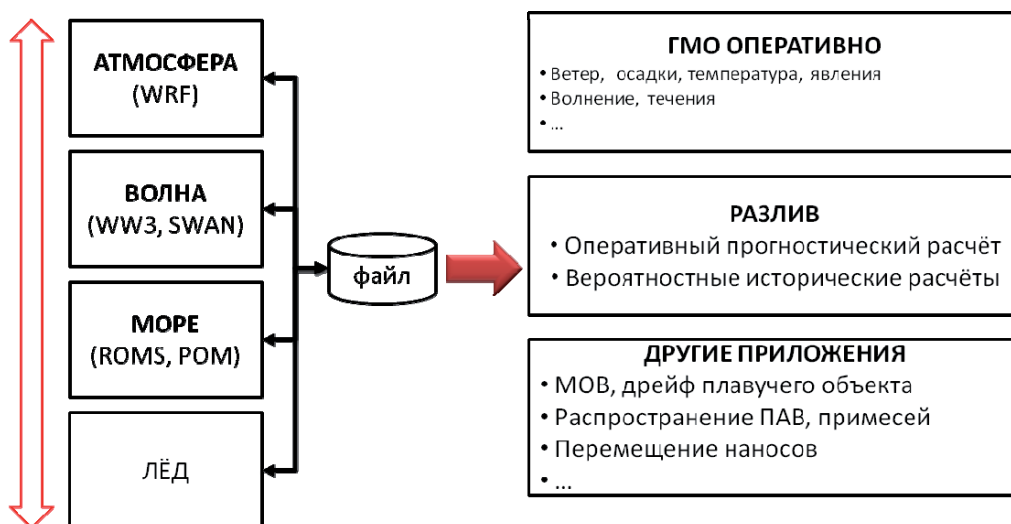


Рис. 1. Структура оперативной автоматизированной прогностической системы

В качестве основной прогностической модели для атмосферы предлагается WRF-ARW (Weather Research and Forecasting – Advanced Research WRF) – мезомасштабная численная гидродинамическая нестационарная модель атмосферы, которая широко используется в мире для практических и научных расчетов.

В ФГБУ «ДВНИГМИ» в настоящее время с использованием WRF производится оперативный прогностический расчет один раз в сутки на период до 72 часов за срок 12 ч UTC по данным GFS (Global Forecasting System). Область численного моделирования представляет собой вложенные друг в друга регионы с шагами 27, 9 и 3 км с центром над северо-восточной частью шельфа о. Сахалин. На *рисунке 2* в качестве примера представлена прогностическая карта приземного давления и осадков на 3 марта 2011 г. 12 ч UTC с заблаго-



временностью 24 часа. Синоптическая ситуация над Охотским морем в этот период определялась прохождением глубокого циклона. В районе нефтяных платформ согласно прогнозу ожидался сильный ветер северных румбов и ливневый снег.

≥ 03-hr Total Precipitation (shaded-mm) [021-024] and MSLP(hPa) 20110302 12Z Tau 024

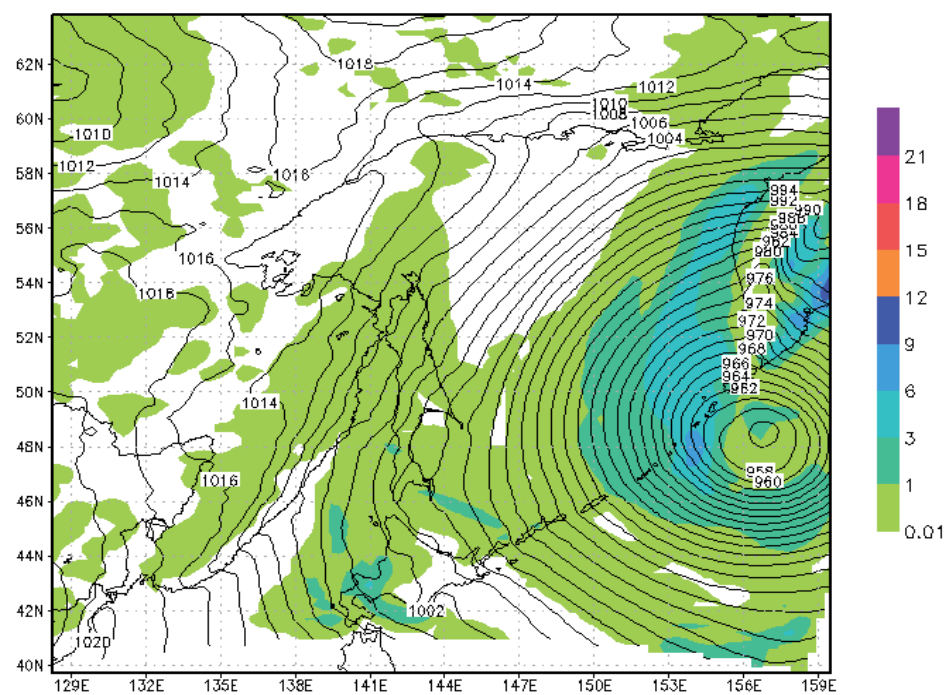
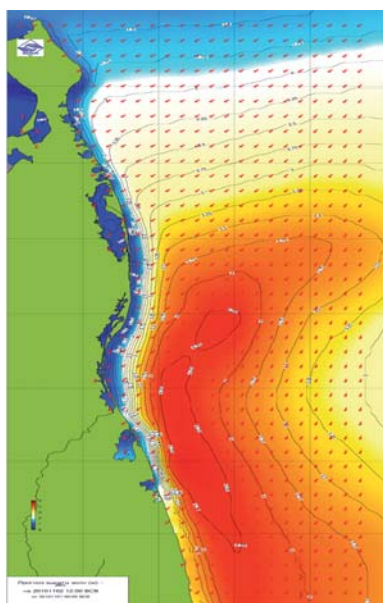


Рис. 2. Прогностическая карта приземного давления и осадков на 3 марта 2011 г. 12 ч UTC с заблаговременностью 24 часа (модель WRF)



Для прогноза волнения в ДВНИГМИ уже долгое время успешно используется модель WAVEWATCH III – волновая спектральная модель третьего поколения, разработанная в центре NCEP (NOAA, USA). Прогнозы параметров волнения производятся с применением WAVEWATCH-III дважды в сутки на основные метеорологические сроки с заблаговременностью прогнозов до 72–120 часов. Расчетная область включает три сетки с пространственным разрешением  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  (Тихий океан и дальневосточные моря),  $10' \times 10'$  (Охотское море) и  $2' \times 2'$  (восточный шельф о. Сахалин). Результаты расчетов выводятся в виде прогностических карт высот и направлений перемещения волн и в текстовом виде для отдельных точек (см. рис.). Модельная продукция оперативно доступна на сайте <http://rus.ferhri.ru:8088>.

Для прогноза основных океанических характеристик (температуры, солёности, течений) предлагается использовать модель ROMS – Regional Ocean Modeling System, разработанную в Rutgers University. К основным особенностям этой современной модели относятся:

- численная схема высокого порядка для членов адвекции;
- алгоритмы высокой точности для градиента давления;
- отдельные параметризации для процессов подсеточного масштаба;
- численные модули для описания биологических процессов;
- радиационные условия на границе;
- алгоритмы переноса наносов в прибрежной зоне;
- алгоритмы усвоения данных.

В настоящее время в ФГБУ «ДВНИГМИ» произведена компиляция, установка модели, проведены тестовые расчеты. Осуществлен расчет течений на климатических данных. Произведены расчеты для разгона модели на данных реанализа центров NCEP/NCAR за период 2000–2010 гг. Подготавливается программное обеспечение для объединения ROMS с моделью атмосферы WRF и моделью волнения WAVEWATCH III.

Кроме ROMS в океаническом блоке возможно использование и других моделей, например, гидродинамической нестационарной бароклинной модели расчета колебаний уровня моря и течений Гидрометцентра России, которая является основой прогностической технологии, проходившей испытания в отделе морских гидрологических прогнозов ГМЦ РФ и рекомендованная ЦМКП Росгидромета к внедрению в оперативную практику. На основе данной модели в настоящее время оперативно функционирует технология краткосрочного прогноза уровня моря и течений в Каспийском море.

Использование той или иной модели будет обуславливаться результатами тестовых модельных расчетов и их анализом с использованием фактических данных о течениях и других характеристиках в районе шельфа о. Сахалин.

Как было сказано выше, одной из важнейших целей разработки Системы является возможность ее использования для принятия управленческих решений и оперативного реагирования на последствия техногенных аварий. С этой целью предлагается использование комплекса математических моделей оценки риска воздействия на окружающую среду (КММ), разработанного в Государственном океанографическом институте Росгидромета (ГОИН) и предназначенного для решения следующих задач:

1. ЛАРН – разработка и выбор эффективной стратегии применения технических средств локализации и ликвидации разлива нефти, планирование мер защиты окружающей среды.
2. Прогноз уже случившейся аварии.
3. Ретроспективный диагноз (реконструкция ситуации) для анализа последствий аварии.
4. Расчет гипотетических аварий для оценки возможных последствий.
5. Обучение специалистов на компьютерных тренажерах-имитаторах аварийной ситуации.

В КММ учтены физико-химические механизмы растекания нефтяного slicka за счет положительной плавучести, перемещения и деформации нефтяного slicka под действием ветра и течений, диффузионного рассеяния нефти по поверхности водного объекта и в водной толще, испарения многокомпо-

нентной смеси нефтепродуктов, забивания нефти в воду, образования эмульсии типа «нефть-в-воде», старения нефти (weathering) за счет процессов испарения и эмульгирования, взаимодействия нефти с боновыми загрязнениями и скиммерами, трансформации нефти под действием диспергаторов (рис. 3).

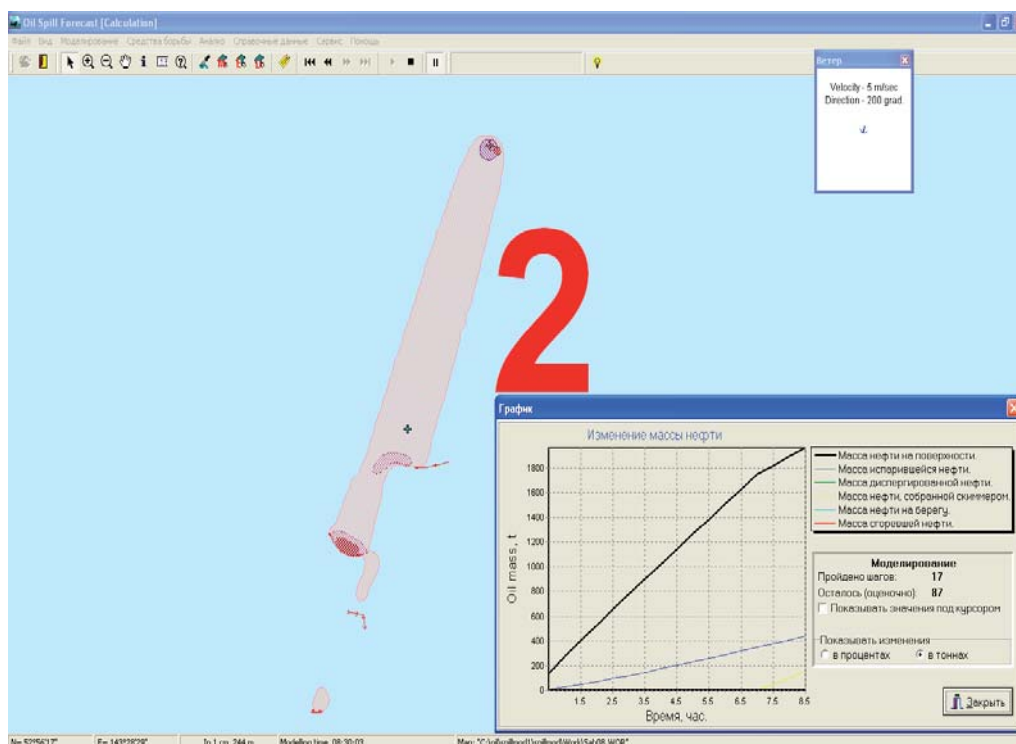


Рис. 3. Пример работы модуля КММ с использованием боновых загрязнений

Математическая модель расчета возможных сценариев поведения разлитой нефти (ГОИН Росгидромета) позволит определить зоны риска распространения нефти, расчет вероятности поражения зон особой значимости и сценарии распространения нефти, приводящие к поражению зон особой значимости.

С точки зрения потребляемых ресурсов, для работы всех блоков предлагаемой системы необходим доступ к данным анализа и повторного анализа ведущих мировых центров данных, к прогностическим данным GFS, климатическим данным океанических и атмосферных характеристик. Для функционирования системы необходимо создание прогностического центра, оснащенного современной вычислительной компьютерной и коммуникационной техникой, работающего в оперативном режиме и обеспечивающего удаленных пользователей прогностической информацией в автоматическом режиме.

Предлагаемая в настоящей статье система объединенных моделей позволит решить как вопросы текущего оперативного мониторинга и среднесрочного прогноза гидрометеорологических условий в районе, так и многие вопросы, связанные с управлением и реагированием на чрезвычайные ситуации в регионах активной хозяйственной деятельности.

С. И. Гордеев (seeman40@mail.ru), В. Н. Волошина

Дальневосточный государственный политехнический университет  
(Владивосток, Россия)

## Прогнозирование землетрясений островов

Прогнозирование землетрясений – наиболее важная проблема, которой занимаются ученые во многих странах мира. Однако, несмотря на все усилия, этот вопрос еще далек от разрешения. Прогнозирование землетрясений включает в себя как выявление их предвестников, так и сейсмическое районирование, то есть выделение областей, в которых можно ожидать землетрясение определенной магнитуды или балльности. Предсказание землетрясений состоит из долгосрочного прогнозирования на десятки лет, среднесрочного прогнозирования на несколько лет, краткосрочного на несколько недель или первые месяцы и объявление непосредственной сейсмической тревоги. Существует большое количество разнообразных предвестников землетрясений, начиная от собственно сейсмических, геофизических и кончая гидродинамическими и геохимическими. Но удачные предсказания землетрясений – скорее, исключение, чем правило.

В качестве физической модели процесса землетрясения можно рассмотреть движение плит земной коры. Толщина островных плит – 30–50 км, а континентальных – около 100 км. Плиты движутся по верхнему слою мантии – астеносфере. Средняя скорость движения плит – 10 см в год. Согласно [1] (табл. 8.1), вязкость астеносферы на глубине 100 км – около  $4 \times 10^{19}$  м<sup>2</sup>/с, а остальной мантии – около  $1 \times 10^{21}$  м<sup>2</sup>/с. Удивительно малая вязкость нижней мантии – очень важный аргумент в пользу предположения, что при движении плит происходят разрыв сплошности и образование каверн в нижней мантии. При движении континентов, особенно под горными массивами, нарушается сплошность полупластичного слоя магмы – образуются каверны (рис. 1).



Рис. 1. Схема образования каверн в магме при движении континентов

Сравнительная мощность океанической и континентальной коры по профилю от Восточно-Тихоокеанского поднятия до Африки. Мощности коры под океаническими хребтами резко уменьшается в десятки раз по сравнению с континентальной корой под горными сооружениями материков (на рисунке 1 вертикальный масштаб преувеличен).

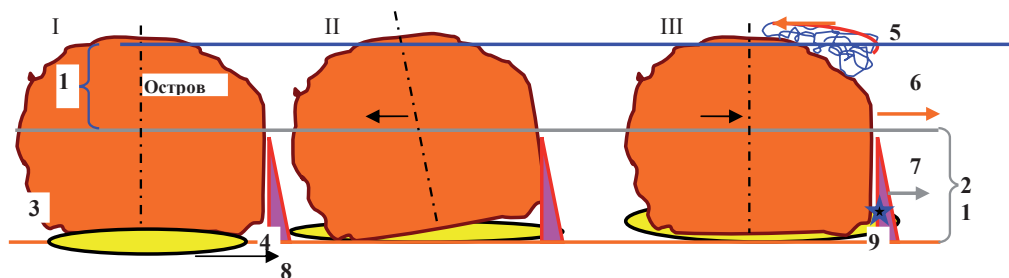


Размеры каверн зависят от геометрических размеров плит, особенно в направлении движения. Если каверна достигнет размеров более половины площади плиты, то при прохождении кромки плиты каверны плита упадет в каверну, как бы опрокинется назад. Так как падение плиты происходит на мантию с малой вязкостью, то оно вызовет затухающие колебания плиты. Внешне это будет выглядеть как землетрясение. Причем в начальный период – в период опрокидывания – перемещение точек на поверхности плиты изменят свое направление на противоположное, и величина их будет определяться глубиной каверны и радиусом поворота точки плиты от центра опрокидывания. Если плита континентальная, то рассчитывать на то, что каверна достигнет размеров плиты вряд ли целесообразно. А вот плиты островов, размеры которых превосходят в 5–10 раз их толщину (толщина острова – 30–40 км, а площадь – несколько десятков и даже сотен квадратных километров), являются очень «хорошими» объектами по своим параметрам для рассмотрения модели землетрясения, изложенной выше.

Интересны сведения о величинах деформаций дна океана во время землетрясений. После подводного землетрясения в Индийском океане, произошедшего 26 декабря 2004 г., некоторые небольшие острова к юго-западу от Суматры были сдвинуты на юго-запад на расстояние до 20 м. Северный конец Суматры, который находится на Бирманской плите (южные районы Зондской плиты), может быть тоже сдвинут на 36 м к юго-западу. Сдвиг был как вертикальным, так и боковым; некоторые прибрежные районы находятся теперь ниже уровня моря.

Далеко не каждое островное землетрясение сопровождается цунами. Наиболее вероятным цунамигенным (т. е. порождающим катастрофическую волну) может быть лишь землетрясение в случае, когда остров расположен на краю материковой плиты рядом с тектоническим разломом. Именно в этом случае возникает волна со стороны разлома на падающий в каверну остров и возникает гидравлический удар – источник цунами для окружающей среды.

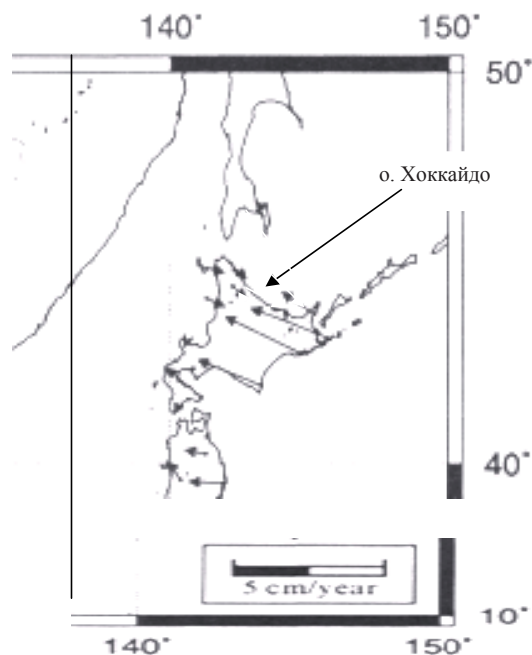
Приведенная на **рисунке 2** схема островного землетрясения показывает, что при таком варианте землетрясения угроза цунами для данного острова возникает практически одновременно с землетрясением. Если же остров находится в окружении материковой или океанической коры, то при землетрясении, вызванном таким островом, возникновение цунами практически невозможно.



**Рис. 2.** Схема островного землетрясения и вызванного им островного цунами: 1 – уровень воды, 2 – толщина океанической плиты, 3 – каверна магмы, 4 – тектонический разлом, 5 – цунами, 6 – направление гидравлического удара, 7 – направление сейсмического удара, 8 – направление движения каверны магмы, 9 – эпицентр землетрясения; I – положение острова до начала землетрясения, II – плавное, возможно, с форшоками, опускание передней части острова в каверну, III – падение острова в каверну с вероятными цунами и гидроударами

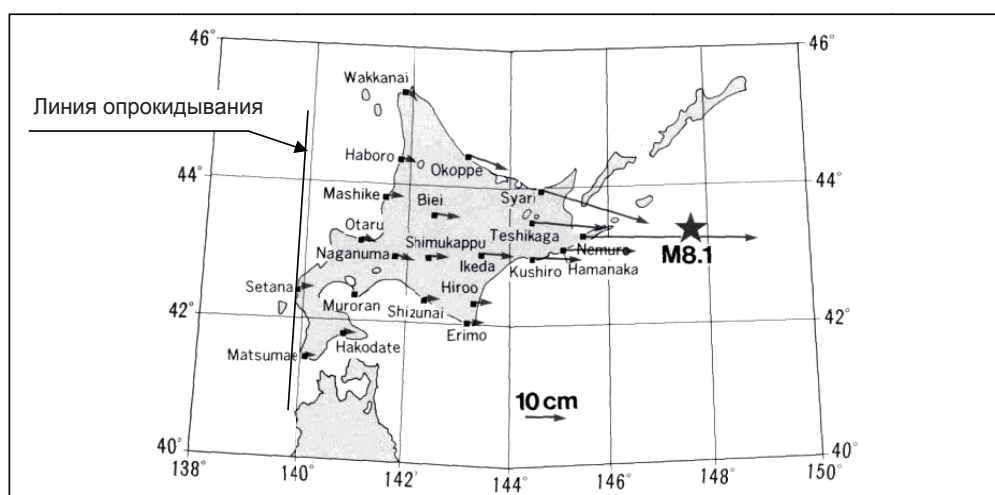
В качестве примера приведены расчеты по фактическому землетрясению на острове Хоккайдо.

Для контроля за движением земной коры используется система IGS (International GPS Service for Geodynamics). Данные системы IGS по движению точек плиты острова Хоккайдо до землетрясения приведены на **рисунке 3**.



**Рис. 3.** Поле скоростей по GPS в Японии (станция Ниигата), результаты измерений GEONET (GPS Earth Observation Network of the Geographical Survey Institute)

Данные системы IGS по движению точек плиты острова Хоккайдо в период землетрясения приведены на **рисунке 4**.



**Рис. 4.** Станция Немуро, 170 км от эпицентра к западу, сдвинулась на восток на 44 см после землетрясения Хоккайдо-Тохо-Оки

СЕКЦИЯ А3. Достижения и проблемы в моделировании изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов применительно для условий охотоморской Субарктики

Интересно заметить, что:

- направление перемещений точек GPS на острове Хоккайдо с началом землетрясения поменялось на противоположное,
- величина перемещений точек по данным IGS возрастает по мере удаления от центра опрокидывания плиты острова, которая располагается на линии меридиана, проходящего через город Setana.

Проведем расчеты для подтверждения работы модели.

Длину плиты острова в направлении движения определим как расстояние между линией опрокидывания и эпицентром землетрясения –  $L_{\text{плиты}}$ . По данным о землетрясении эпицентр его находился на расстоянии 170 км. от г. Немуро или около  $2^\circ$  по широте, расстояние между линией опрокидывания и эпицентром землетрясения по широте – около  $8^\circ$ , что составляет около 720 км. Пусть толщина плиты острова –  $b_{\text{плиты}} = 50$  км [2, 3].

Город Setana находится на линии опрокидывания, и его перемещения были в основном горизонтальны и составили, согласно рисунку 2,  $L_{\text{гор, Setana}} = 3$  см. Угол, на который повернулась плита, рассчитаем как:

$$\text{tg } a = L_{\text{гор, Setana}} / b_{\text{плиты}} = 3 \text{ см} / 50 \text{ км} = 6 \times 10^{-7}$$

Зная угол поворота плиты, можно определить вертикальное перемещение  $L_{\text{эп}}$  плиты в эпицентре:

$$L_{\text{эп}} = L_{\text{плиты}} \times \text{tg } a = 720 \times 6 \times 10^{-7} = 45,2 \text{ см.}$$

Результат расчета  $L_{\text{эп}} = 45,2$  см хорошо согласуется с данными системы IGS, по данным которой перемещения точек плиты острова Хоккайдо в районе эпицентра землетрясения с магнитудой 8,1 было свыше 44 см, и подтверждает возможность использовать данную гипотезу для контроля за землетрясениями на островах типа Хоккайдо, Тайвань с целью объявления непосредственной сейсмической тревоги при изменении направления перемещения точек островных плит на обратное. Набор данных по плитам островов и результатам контролируемых землетрясений (скорость и ускорение при опрокидывании плит островов), несомненно, позволит повысить точность прогноза и его надежность.

В заключение хотелось бы отметить еще один важный результат как следствие гипотезы о возникновении землетрясений при движении островных плит – возможность вообще избежать землетрясений островов, закачивая в каверны под островами раствор как это успешно уже не один десяток лет делают при добычи газа и нефти.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Браун Д., Массет А. Недоступная Земля. М.: Мир, 1984. 262 с.
2. Структурная геология и тектоника плит. В 3-х т.: С87 Т. 3. Пер. с англ. / Под ред. К. Сейфerta. М.: Мир, 1991. 350 с.
3. Скляр Е. В., Гладкочуб Д. П., Донская Т. В., Мазукабзов А. М., Сизых А. И., Буланов В. А. Метаморфизм и тектоника (Русскоязычная исследовательская группа по структурной геологии и тектонике, [sgt@uiggm.nsc.ru](mailto:sgt@uiggm.nsc.ru)).

**Василий Титов** (vasily.titov@noaa.gov)

Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы  
(Сиэтл, штат Вашингтон)

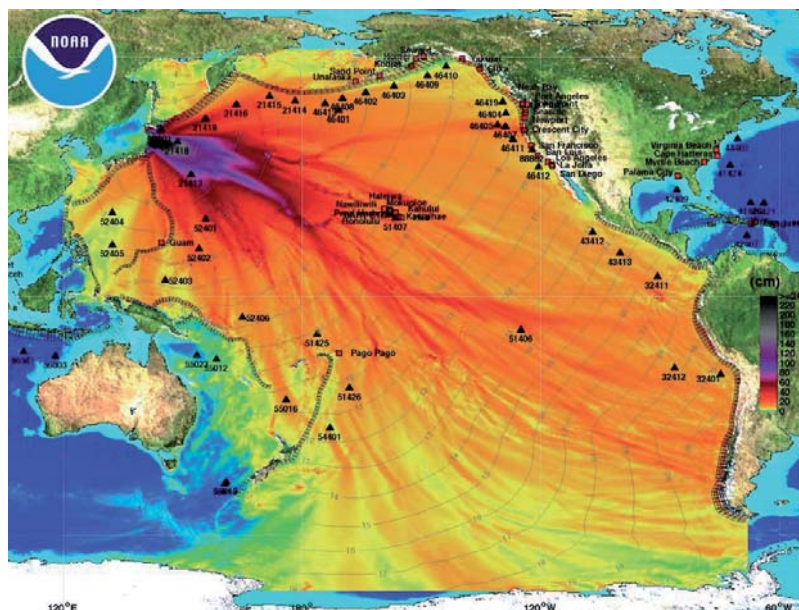
## **Развитие прогнозирования цунами после индонезийской катастрофы PMEL**

Цунами, произведенное землетрясением Тохоку в Японии 11 марта 2011 г., разрушило местную береговую линию Японии и ударило по береговой линии всего Тихого океана. Хотя оценка полного ущерба в результате события все еще выполняется, огромное воздействие данного цунами поставило вопросы в отношении уменьшения последствий такого события по различным масштабам времени, начиная от руководства по предупреждению о цунами в режиме реального времени до оценки долгосрочной опасности. Уроки, преподанные японским цунами, показали направление для исследования и для организаций по управлению чрезвычайной ситуацией в отношении того, каким образом развивать инструменты, модели и методы для уменьшения последствий воздействия такого разрушительного события, как локально, так и глобально. Оценка инструментов прогнозирования цунами в режиме реального времени во время японского цунами Тохоку является важной частью этого процесса.

### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ЦУНАМЕТРА**

Последнее десятилетие продемонстрировало развитие возможностей систем предупреждения цунами от простых сетей оповещения до систем полного прогнозирования. Это произошло, прежде всего, благодаря разработке станции оценки глубин океана и сообщения о цунами (DART) (известной как цунаметр) и интеграции компьютерного моделирования с работами по предупреждению о цунами [1, 2]. После крупного расширения сети цунаметров после события на Суматре в 2004 г. японское цунами Тохоку предоставило первую возможность для оценки точности существующей технологии прогнозирования цунами, поскольку одна или более станций DART находились в основном потоке цунами или рядом с ним (*рис. 1*).





**Рис. 1.** Модель прогнозирования распространения цунами. На рисунке показаны амплитуды, рассчитанные с помощью модели прогнозирования MOST. Закрашенные области показывают максимальную вычисленную амплитуду цунами в см в течение 24 часов распространения цунами. Черным цветом показано расчетное время прибытия цунами

### Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья

11 марта 2011 г. в 14:46:23 по местному времени (05:46:23 UTC) произошло крупнейшее землетрясение, моментная магнитуда ( $M_w$ ) 9,0–9,1 вдоль зоны поддвижения, расположенной в 130 км к востоку от Сендаи, Япония 9,10. Землетрясение вызвало самое разрушительное за всю историю Японии цунами. Потери составили десятки тысяч человеческих жизней и 300 миллиардов убытков для экономики, что показало катастрофическое воздействие этого цунами на регион. После возникновения цунами распространилось по всему Тихому океану, приведя к человеческим жертвам, наводнениям и разрушениям по всему Тихоокеанскому бассейну. Событие 2011 г. в Японии было первым колоссальным цунами, которое было спрогнозировано на дальнем расстоянии с помощью удаленных многочисленных измерений в глубинах океана, расположенных в соответствующих местах в ближней зоне.

Анализ работы в реальном времени инструментов прогнозирования показал, что связь измерений цунами с глубин океана с числовым моделированием производит быстрый и точный прогноз наводнения от цунами и других воздействий. Прогноз, показанный на рисунке 1, был получен после получения двух записей от ближайших DART в течение двух часов после землетрясения. Записи цунаметра от двух DART позволяют оценить модель источника цунами, которая обеспечивает наибольшее соответствие с данными. Сравнение модели прогноза с DART, которые были расположены еще дальше, подтвердили точность прогноза (рис. 2).

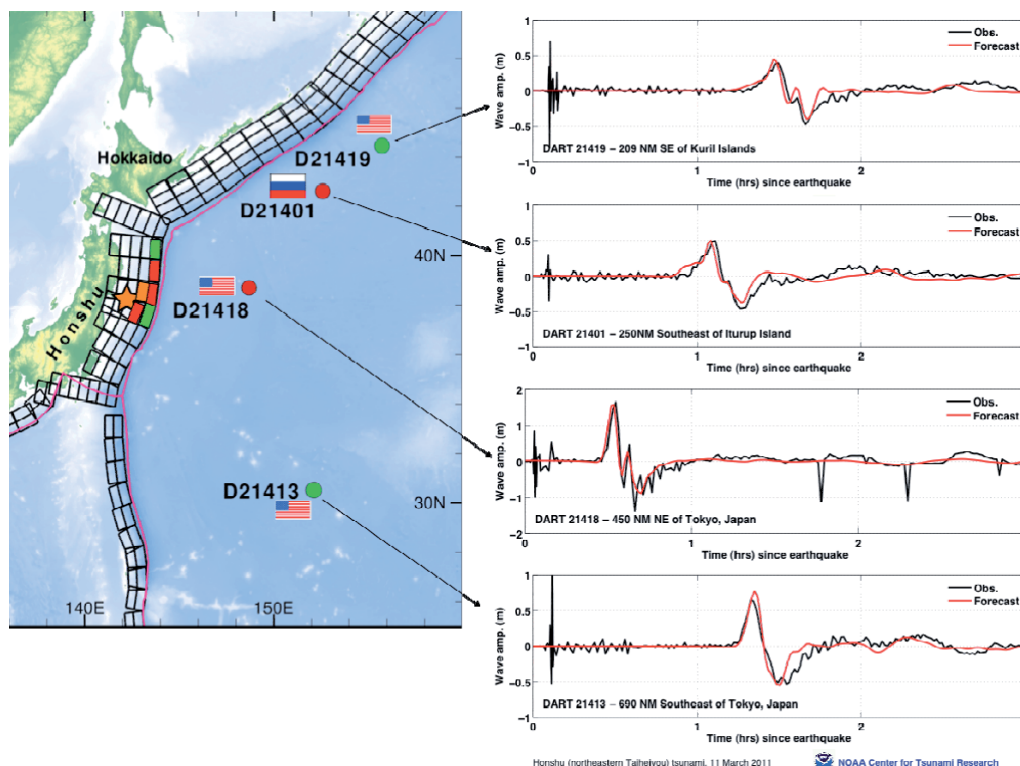


Рис. 2. Сегменты модели источника, полученные инвертирование двух DART (D21418 и D21401). Две другие записи DART показывают сравнение модели прогноза с записанными данными цунами

|                               |                                           |
|-------------------------------|-------------------------------------------|
| Wave amp. (m)                 | Амплитуда волны (м)                       |
| Obs.                          | Наблюдения                                |
| Forecast                      | Прогноз                                   |
| Time (hrs) since earthquake   | Время (ч) после землетрясения             |
| NM SE of Kuril islands        | Миль юго-восточнее от Курильских островов |
| NM Southeast of Iturup island | Миль юго-восточнее от острова Итуруп      |
| NM NE of Tokyo, Japan         | Миль северо-восточнее от Токио, Япония    |
| NM Southeast of Tokyo, Japan  | Миль юго-восточнее от Токио, Япония       |

Анализ подтверждает, что данные с глубин океана о цунами обеспечили полноценное измерение источника цунами, а также предоставляют данные, необходимые для производства модели сценариев распространения цунами и воздействия на прибрежную территорию. Использование таких моделей в режиме реального времени во время распространения цунами предоставили возможность получения точных моделей прогнозирования распространения цунами по Тихому океану и воздействий на береговую линию в результате цунами Тохоку. Сигнал передавался тремя ближними станциями DART и использовался для получения прогноза, который в результате показал высокую корреляцию между наблюдениями и данными прогноза по Тихому океану в режиме линейного распространения, а также в режимах нелинейного заплес-

СЕКЦИЯ А3. Достижения и проблемы в моделировании изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов применительно для условий охотоморской Субарктики

ска. Результаты прогноза, полученные во время события на Хонсю, подчеркнули успех существующей технологии прогнозирования цунами на промежуточном и дальнем поле, однако все еще есть время ожидания между появлением землетрясения и производством прогноза из-за времени запаздывания прохождения цунами до ближайшей DART. Результаты прогноза, полученные во время события на Хонсю по всему Тихому океану, показали, что возможный метод сокращения времени ожидания для прогноза цунами в ближней зоне – это близкое размещение системы DART к источнику цунами. Сигнал по коэффициенту шума на ближайших к источнику землетрясения Тохоку DART показал, что достаточно быстро можно получить данные по цунами хорошего качества для прогноза цунами, которые будут полезны для локального прогнозирования в режиме реального времени.

Была разработана предварительная модель для местной прибрежной линии Японии для тестирования возможности прогнозирования обширного наводнения (рис. 3). Использование сценария источника прогнозирования в качестве ввода для модели наводнения от цунами для прибрежной линии Японии показывает перспективу улучшения локального прогнозирования и оповещения о цунами.

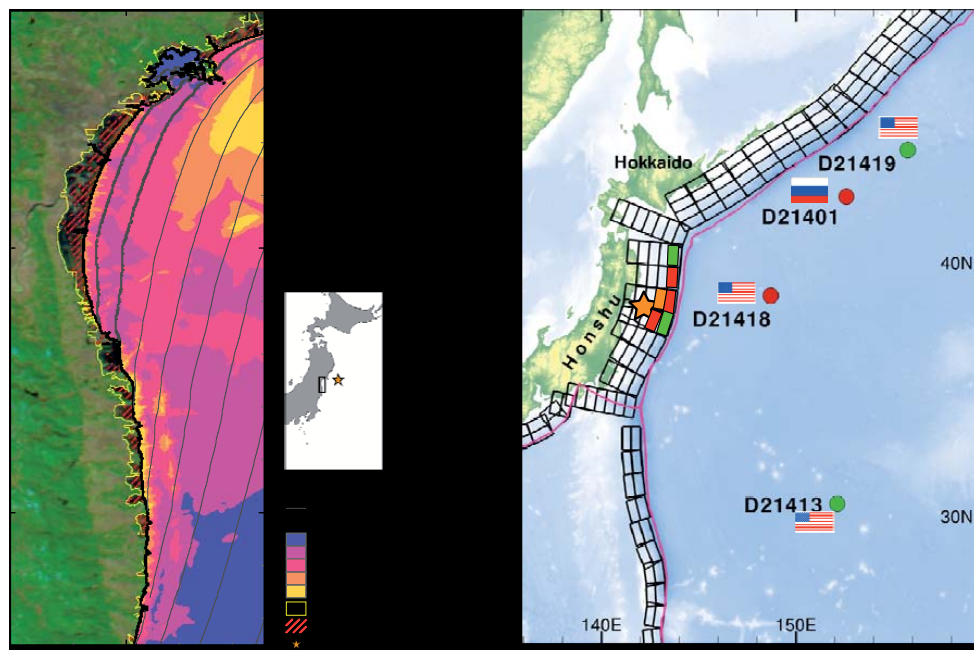


Рис. 3. Оценки заплеска от цунами, произведенные моделью заплеска с высоким разрешением. Источник модели получен инвертированием данных DART

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бернард Э. Н., Мофджед Н. О., Титов В. В., Синолакис С. Э. и Гонзалес Ф. И. (2006). Цунами: научные границы, снижение последствий, прогнозирование и выводы для экономической политики. Proc. Roy. Soc. Lon. A, 364 (1845), 1989–2007.
- [2] Титов В. В. (2009). Прогнозирование цунами на море, глава Цунами, 12, 15, издание E. N. Bernard, Harvard Univ. Press, Кембридж, МА.

**В. Н. Храмушин** (Khram@mail.ru)  
ИМГиГ ДВО РАН, СахГУ (Южно-Сахалинск)

## **Прямые вычислительные эксперименты в регламенте оперативного прогноза цунами и морских наводнений**

В процессе проведения тревоги при катастрофических цунами в Чили 2010 г. и в Японии 2011 г. выполнялось прогностическое прямое численное моделирование распространения цунами, позволявшее заблаговременно и с удовлетворительной достоверностью определять динамику волн цунами вдоль побережья Сахалина и Курильских островов. В настоящей работе кратко обсуждаются технические особенности постановки и проведения вычислительных экспериментов по моделированию длинноволновых процессов в открытом океане и на прибрежных мелководьях, определяются минимально необходимые начальные условия и высокоэффективные алгоритмы, положенные в обоснование качества вычислений. Результаты моделирования сопоставляются с данными наблюдений за уровнем моря на многочисленных гидрофизических станциях в Тихом океане; приводятся результаты новых уточняющих расчетов, выполненных с целью адаптации прогностических вычислительных экспериментов к условиям использования в регламенте оперативной службы предупреждения об опасности цунами, штормовых нагонов и экстремальных течений в морских портах и на прибрежных мелководьях.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Россия имеет самое длинное в мире морское побережье, подверженное чрезвычайно активному воздействию ледовых нагрузок, штормовых наводнений, экстремальных течений и цунами. Потенциальный ущерб от природных катастроф связан с плохой освоенностью и малой заселенностью северного побережья, в зимние сезоны закрытого для мореходства тяжелыми льдами. По той же причине имеющиеся прибрежные поселки строятся на высоких береговых террасах, что отчасти защищает их от морских наводнений и цунами. Однако последнее не относится к действующим морским портам, а также грозит значительным ущербом в случае урбанизации и промышленного освоения побережья в будущем.

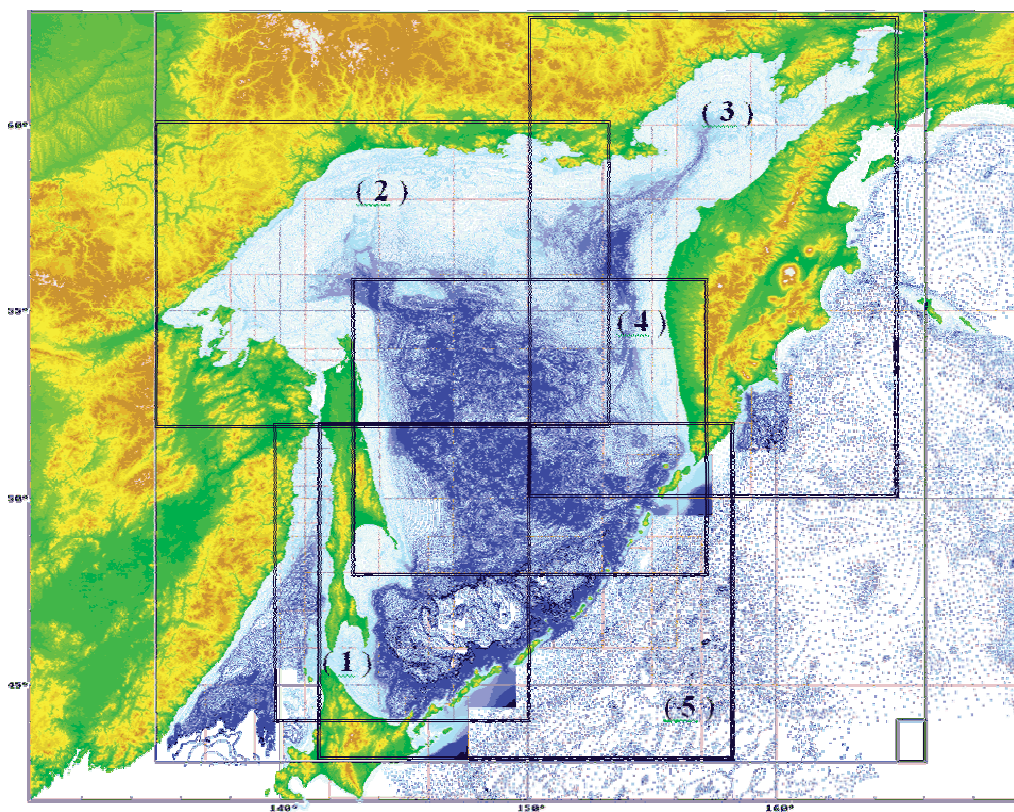
Ввиду огромного морского побережья Сахалина и Курильских островов, готовность к заблаговременному предупреждению о цунами всех далеко разнесенных населенных пунктов и временных рыбацких станов относительно слабая. Ввиду плохой заселенности побережья, возможности технического оснащения комплексной системы контроля моря ограничены, и фактически допускают использование полностью автономных телеметрических систем, которые не обладают достаточным измерительным потенциалом и надежностью.

Оптимальный вариант комплексного решения проблемы прогноза опасности морских наводнений и цунами на побережье – это детальная отработка прямых вычислительных экспериментов, позволяющих получать обоснованные заключения об опасности морских наводнений и экстремальных течений по минимуму исходной сейсмической и синоптической информации, в том числе с предварительной проверкой расчетов по штормовым проявлениям длинных волн на особо защищаемых участках побережья.



## ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В ходе реализации грантового проекта администрации Сахалинской области № 6-6.3-01 Международной академией наук о природе о обществе создан высокоточный батиметрический массив (рис. 1) по морским акваториям Сахалина и Курильских островов, составивший основу базы данных: «Батиметрия», № Г/р 2010620626, зарегистрированной в Роспатенте 10 октября 2010 г.



**Рис. 1.** Изображение на экране ЭВМ при сборке батиметрических карт в единый цифровой батиметрический массив Охотского моря, объединенный с топографией прибрежных территорий. На карте отмечены подобласти геоморфологического районирования:

- |                                                            |                                             |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| (1) – Хоккайдо – Восточно-Сахалинская подводная окраина    | [ $\lambda$ : 141°÷150°, $\phi$ : 44°÷52°]; |
| (2) – Северная часть Охотского моря                        | [ $\lambda$ : 135°÷153°, $\phi$ : 52°÷60°]; |
| (3) – Западно-Камчатская подводная континентальная окраина | [ $\lambda$ : 140°÷165°, $\phi$ : 50°÷63°]; |
| (4) – ЦентральнО-Охотское краевое плато                    | [ $\lambda$ : 143°÷157°, $\phi$ : 48°÷56°]; |
| (5) – Большая Курильская гряда, Курильская котловина       | [ $\lambda$ : 143°÷158°, $\phi$ : 43°÷52°]  |

Единая база цифровых батиметрических материалов по Дальнему Востоку России, включающая в себя ранее оцифрованные навигационные карты и материалы из мировых центров данных, позволяют с достаточной точностью представлять исходные данные по рельефу морского дна при проведении длинноволновых вычислительных экспериментов по моделированию транс-океанских цунами и морских наводнений вблизи побережья Сахалина и Курильских островов.

Системой управления базой данных «Батиметрия» является главный программный комплекс для проведения прямых вычислительных экспериментов (рис. 2) по моделированию опасных морских наводнений и экстремальных течений: «Ani», № Г/р 2010615848 от 8 сентября 2010 г. Комплекс представлен пятью крупными взаимосвязанными интерактивными графическими модулями:

1. **Depth** – редактор батиметрических массивов, представленных в географических и меркаторских картографических проекциях с произвольным ориентацией относительно меридиана. Батиметрические данные сохраняются в текстовых или двоичных форматах, описание которых приводится в сопутствующем информационном файле;

2. **Rays** – кинематическое моделирование длинноволновых фронтов и лучей с использованием четырехточечного шаблона для вычисления градиентов по направлению, допускающего оценку коэффициентов усиления и графического построения разностей подхода волн от различных источников, в том числе имеющих сложную форму и различное время начала излучения фронта волны цунами;

3. **Waves** – прямые вычислительные эксперименты по моделированию длинноволновых процессов от сейсмических, синоптических, астрономических и других источников возмущения поверхности моря, воздействующих как на свободных границах, так и непосредственно на всей расчетной акватории. Вычислительная модель предусматривает использование сферичности и вращения Земли, придонного трения и напряжения ветра на поверхности воды, а также учет изменяющихся полей давления атмосферы и приводного ветра, влияние геопотенциала Луны и Солнца, управляемое динамическое воздействие в окрестности мареографных постов для генерации приливных колебаний уровня моря и др.

4. **Mario** – встроенный модуль постановки контрольных гидрофизических точек для регистрации колебаний уровня моря и скоростей течений при моделировании.

5. **Seismo** – база данных исторических событий цунами и землетрясений, связанная с процедурами подготовки начальных условий при моделировании.

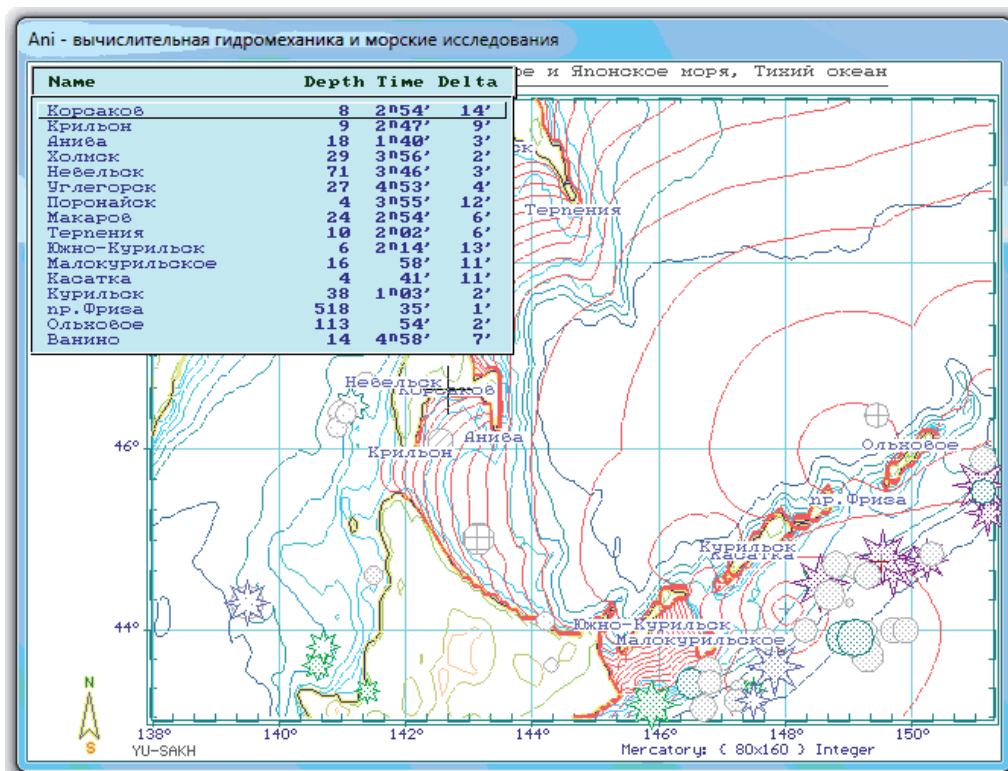


Рис. 2. Изображение на экране ЭВМ при работе с базой данных исторических землетрясений и расчет времени распространения цунами до побережья Сахалина и Курильских островов. Батиметрический массив сформирован автоматически, непосредственно при подготовке кинематического вычислительного эксперимента из условий быстрых расчетов, что отразилось погрешностями расчета времени добега цунами, показанными в крайнем правом столбце таблицы на врезке с результатами вычислений

## О ШТОРМОВОМ РЕГЛАМЕНТЕ ОПЕРАТИВНОЙ СЛУЖБЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ЦУНАМИ

Не углубляясь в проблемы оперативного расчета параметров сейсмического очага, оперативный анализ гидродинамики развития цунами может быть начат с любой предварительной оценки магнитуды землетрясения и указания на ориентировочное местоположение акватории с наибольшей сейсмической сотрясаемостью морского дна. Процедуры предварительных эмпирических оценок и полный комплекс кинематических и прямых гидродинамических расчетов опасности цунами могут быть начаты незамедлительно.

Многолетний опыт численного моделирования реальных цунами, в том числе выполняемого непосредственно в процессе проведения тревоги, показывает вполне удовлетворительное совпадение упреждающих вычислительных экспериментов с последующими наблюдениями цунами, если в качестве начального возмущения принимаются макросейсмические оценки очага, предложенные А. А. Поплавским, В. Н. Храмушиным (2008) на основе анализа многочисленных исторических событий цунами.

Формально, ничто не мешает начинать регламентные вычислительные эксперименты в случае регистрации подводного землетрясения с магнитудой менее порогового значения, что необходимо для своевременного предсказания опасности цунами при подводных оползнях; или по синоптическим оценкам маршрута атмосферного тайфуна и соответствующим смещениям фронтов с большими градиентами атмосферного давления над мелководными акваториями, при прохождении которых регулярно возникают интенсивные метеоцунами и экстремальные течения вблизи побережья, сопровождающиеся явлением тягуна на операционных акваториях морских портов.

Сахалинский центр цунами руководствуется четырьмя географическими схемами оперативных мероприятий при объявлении тревоги цунами, положенными в обоснование текущих наработок по адаптации опережающих расчетов развития цунами с использованием прямых вычислительных экспериментов, в том числе с учитывающих возможность поступления телеметрической информации от автоматизированных гидрофизических постов и наблюдателей на побережье островов:

Схема 1. Курильские острова.

Схема 2. Японское море.

Схема 3. Охотское море и прилегающие акватории Тихого океана.

Схема 4. Весь Тихий океан, включая пункты всех вышеперечисленных схем.

Совершенствуемый регламент тревожных действий Центра цунами естественным образом определяется современными техническими возможностями для прогноза и оценки опасности цунами для всех населенных пунктов на побережье Сахалина, Курильских островов и Приморья, входящих в зону ответственности СахУГМС.

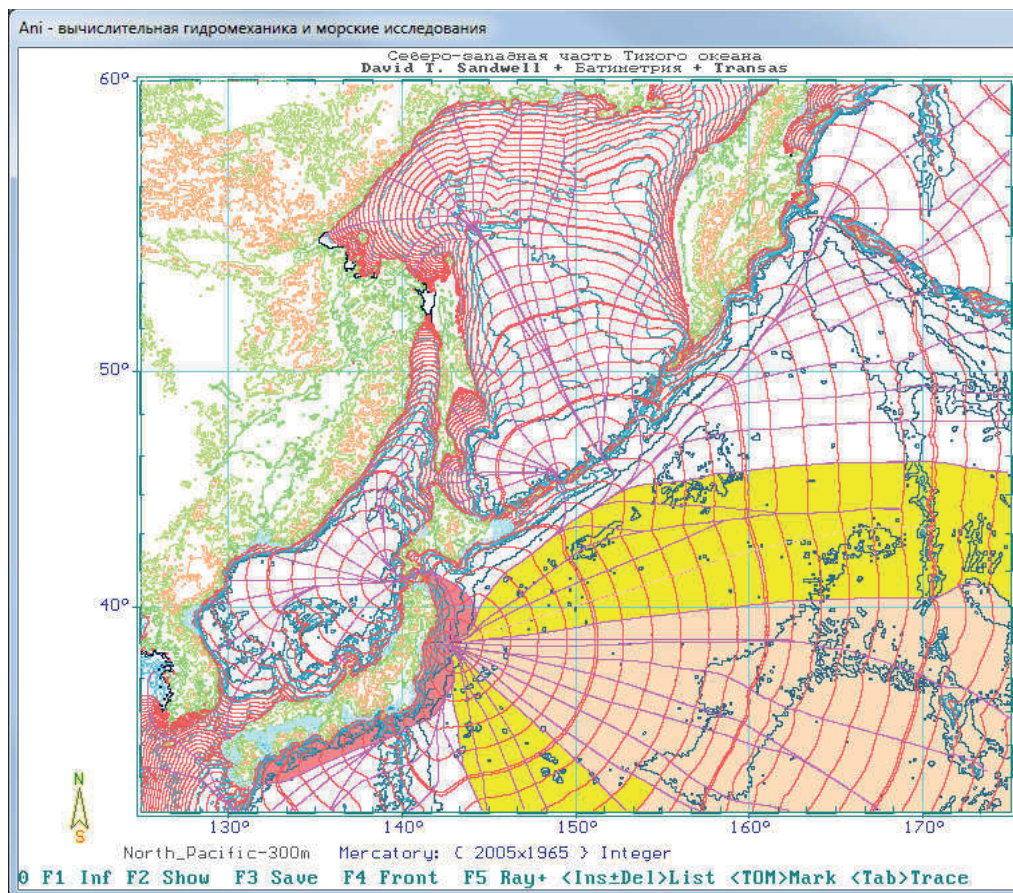
А. При поступлении первой информации о географическом местоположении опасного сейсмического или гидрометеорологического события, до объявления тревоги и в ожидании поступления первой или уточненной информации от береговых наблюдателей и телеметрических регистраторов течений и колебаний уровня моря, одновременно начинается выполнение трех процедур:

а.1 – по предварительно рассчитанным номограммам заплесков на контролируемом морском побережье делается оценка местоположения наиболее уязвимых участков, где, исходя из исторических данных, опасность цунами, морских наводнений или экстремальных течений наиболее вероятна;

а.2 – проводится графическое построение полей изохрон и лучей для распространения первого фронта волны цунами (*рис. 3*), по которым уточняется местоположение прибрежных участков, которые могут служить индикаторными предвестниками реальной высоты цунами, и затем оценивается интенсивность или концентрация энергии во фронте волны цунами при ее подходе к морским портам и населенным пунктам, где катастрофические последствия возможны при первом же проявлении цунами;

а.3 – в полуавтоматическом режиме конструируется гидродинамически обоснованный очаг сейсмического цунами (или метеоцунами), и начинается проведение прямого численного моделирования длинноволновой гидродинамики распространения в открытом море и воздействия опасных волн на побережье. При отсутствии надежных данных об интенсивности землетрясения (градиентов во фронтах циклонов), в начальных условиях используется единичная высота исходной волны цунами.





**Рис. 3.** Прорисовка длинноволновых фронтов и лучевых линий для Японского цунами 11 марта 2011 г. показывает, что основная энергия волны, после рефракции на свале глубин, возвращается к японскому побережью, где значительная часть волнового фронта концентрируется в Сангарском проливе, с последующим проникновением в Японское море. Изохроны прорисованы через 10 мин, двойными контурами – через 1 час

Б. На втором этапе проводится комплекс экспертно-аналитических работ для информационного обеспечения мероприятий по тревоге цунами. Высокопроизводительные вычислительные средства и автоматизированные программные комплексы в этом случае задействуются на получение предельно полной и объективной информации о развитии потенциально опасного морского явления (**рис. 4**), включая определение точных сроков катастрофических проявлений сейсмического цунами (метеоцунами) у конкретных участков морского побережья; вблизи населенных пунктов и защищаемых объектов морской инженерной инфраструктуры:

б.1 – выполняется рассылка штормовых предупреждений (тревожных телеграмм) с использованием оценок по номограммам (а.1) и прямых расчетов времен подхода первых фронтов цунами (а.2). Организуются прибрежные наблюдения и сбор телеметрической информации для уточнения результатов прямого численного моделирования развития цунами (а.3) вблизи конкретных участков морского побережья;

б.2 – по мере поступления информации о реальном проявлении цунами на гидрофизических станциях и вблизи побережья, выполняется совместный анализ и адаптация результатов прямого численного моделирования для взятия под контроль всего побережья, морских бухт, гаваней портов и прибрежных населенных пунктов;

б.3 – выполняется выявления наиболее уязвимых участков морского побережья; проводится уточненный прогноз времени наступления максимальных наводнений и экстремально больших течений вблизи побережья; проводится информирование служб спасения МЧС, СахБАСУ, МВД и др. для целевого распределения сил и средств по спасению или экстренной эвакуации населения, для оказания квалифицированной помощи пострадавшим.

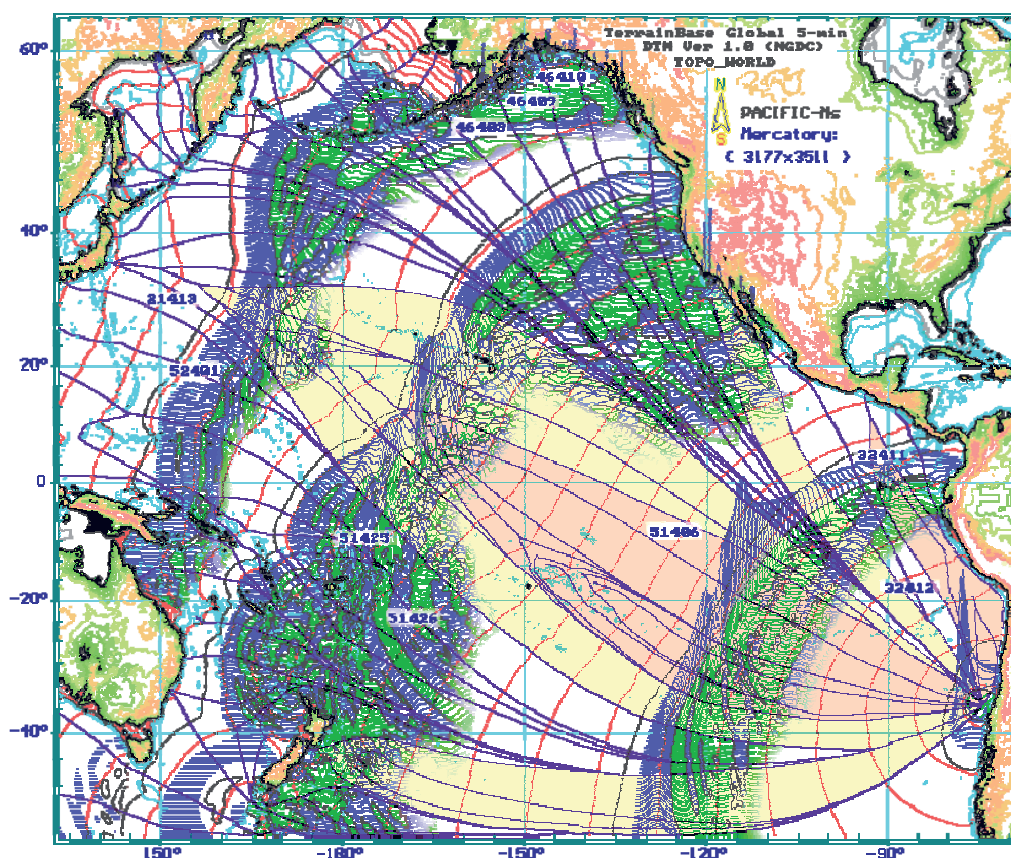


Рис. 4. Синтезированное изображение результатов расчета волновых фронтов и лучей, с наложением прифронтовых полос распространения трансокеанского цунами 27 февраля 2010 г. Рисунок иллюстрирует значительное превышение высоты фронта волны цунами в «лучевых каналах»; показано образование вторичных фронтов цунами, которые вблизи побережья способствуют накачке энергии собственных и захваченных мелководьем длинноволновых колебаний уровня моря и экстремальных течений. Изохроны фронта волны цунами проведены через 1 час

В. Третий этап экспертных и вычислительных работ по тревоге цунами нацелен на формирование объективной информации о реальном событии цунами, и определяется формирование достаточного объема оперативной информации для принятия обоснованных и ответственных заключений по запросам

СЕКЦИЯ А3. Достижения и проблемы в моделировании изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов применительно для условий охотоморской Субарктики

от служб и отрядов спасения; от подразделений Министерства по чрезвычайным ситуациям, выполняющих мероприятия по минимизации и ликвидации последствий катастрофического события; а также с целью ускоренной выработки решения о времени отмены тревоги цунами, что важно для уменьшения негативных последствий от собственно тревожного состояния в населенных пунктах на побережье:

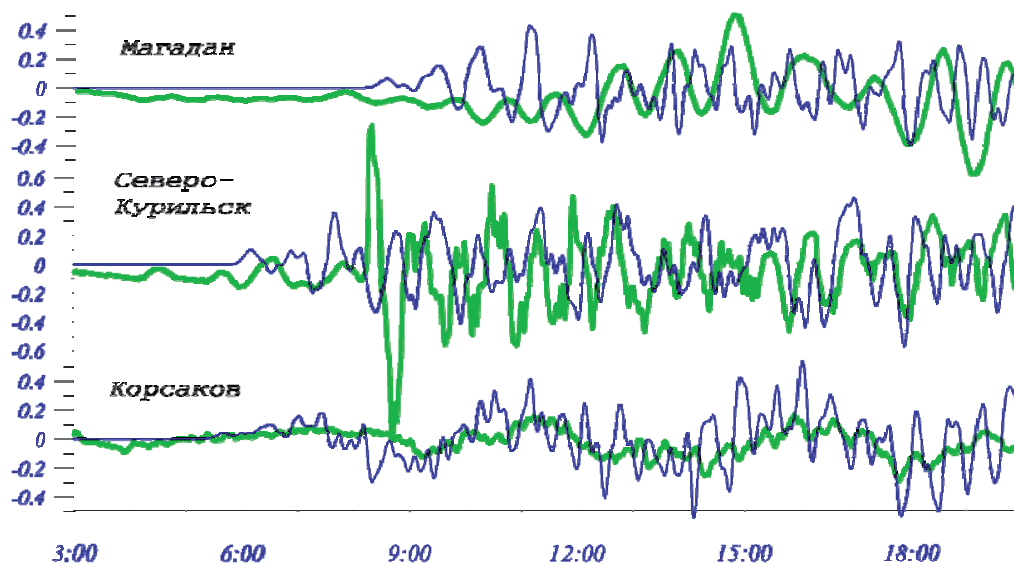
в.1 – выполняется сбор всей доступной информации и события цунами, в том числе для принятия решения о необходимости постановки новых вычислительных экспериментов с уточненными начальными условиями в очаге цунами.

в.2 – выполняется уточнение времени развития гидродинамических процессов цунами до опасного уровня и выполнение прогноза времени затухания морских наводнений и экстремальных течений для оценки длительности тревожных мероприятий и времени отмены тревоги цунами.

в.3 – по мере снижения напряженности действия по тревоге цунами, организуется сбор всей информации о ключевых событиях и последствиях цунами для использования в анализе корректности постановки упреждающих прямых вычислительных экспериментов, а также с целью уточнения аналитических параметров в эмпирических номограммах и в кинематических оценках опасности первого фронта волны цунами.

**Рисунок 5** иллюстрирует качество прогнозных оценок для трансокеанского цунами с использованием прямых вычислительных экспериментов на относительно грубых батиметрических массивах для всего Тихого океана. Пропущенный одиночный заплеск цунами в Северо-Курильске зародился, по-видимому, непосредственно во Втором Курильском проливе, тогда как расчетная точка наблюдения стояла на глубине 41 м с океанской стороны вне пролива. Реальное проявление цунами в Магадане произошло со значительной отсрочкой, вызванной блокированием входящей волны на мелководья бухты Нагаева. Завышенный размах короткопериодных цунами вблизи п. Корсаков соответствует представлением о существовании стоячих волн залива Анива, пучности которых находятся в открытом море и очень слабо проявляются на акватории порта.





**Рис. 5.** Колебания уровня моря по результатам численного моделирования (тонкие линии) и по данным приборных измерений (жирные линии). Точки регистрации при численном моделировании расположены на глубинах 42 м у Корсакова, 41 м – в океане на подходах к Северо-Курильску и 44 м – в Охотском море вне залива Нагаева, что обусловлено необходимостью быстрых упреждающих вычислений по загруженным расчетным сеткам

Вычислительный эксперимент для упреждающего прогноза Японского цунами 11.03.2011 г. охватывал существенно меньшую акваторию по северо-западной части Тихого океана, что позволяло проводить прямое численное моделирование вплоть до 2–3 м изобат. Оперативный расчет в процессе проведения тревоги цунами довольно быстро показал цунами высотой 10 м. у побережья японского острова Хонсю, с последующей фиксацией максимального заплеска порядка 20 м. В какое-то мгновение в вычислительном эксперименте обнаруживалось цунами порядка 40 м, что считалось ошибкой вычислений, однако спустя месяц после цунами в Японии объявили о максимальной отметке высоты цунами на уровне более 39 м.

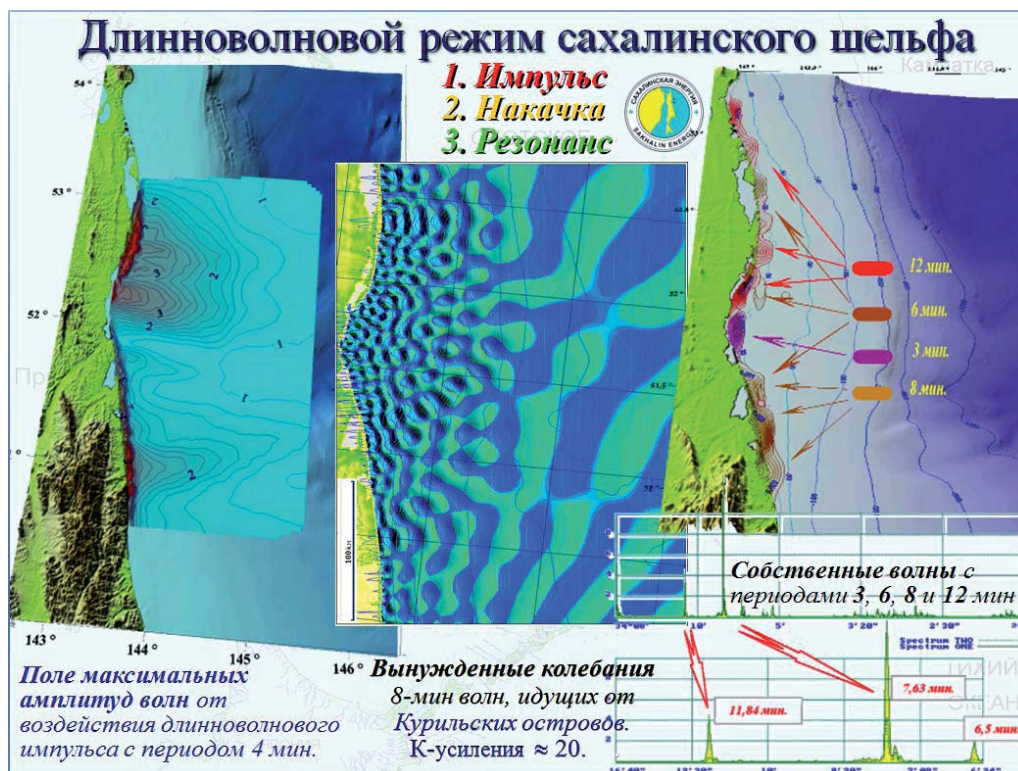
В соответствии с прогнозом времени подхода цунами в Северо-Курильске наблюдались очень слабые колебания уровня моря, однако вычислительный эксперимент показывал медленное проникновение цунами в виде захваченных Курильской грядой волн с высотой более 2 м, которые пришли на Северные Курилы с многочасовым опозданием.

Важным выводом из опыта моделирования цунами 11.03.2011 г. стало обнаружение практически полного отражения фронта волны цунами от морского побережья, что отразилось на увеличении общего времени затухания цунами. В последней версии программного комплекса теперь установлены признаки для автоматического учета придонного трения в случае, если расчетный шаг сетки менее 1 км., а также предусмотрен учет сферичности Земли, если разность широт в расчетной области превышает 10 град.



## О ПОВСЕДНЕВНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На *рисунке 6* показаны результаты комплексного обследования северо-восточного шельфа острова Сахалин с использованием прямых вычислительных экспериментов, выполненных для определения всех видов опасных морских наводнений и экстремальных течений вблизи побережья в интересах компании «Сахалинская энергия».



**Рис. 6.** Вычислительные эксперименты на открытом побережье сахалинского шельфа для предварительной оценки импульсного воздействия одиночной волны цунами (слева); непрерывной накачки со строго заданным периодом длинных волн со стороны Охотского моря (в центре); собственных колебаний уровня моря на высокочастотных резонаторах вблизи сахалинского побережья (справа)

Комплексная система телеметрического и вычислительного контроля опасных морских явлений в повседневном использовании обретает перспективы планомерного развития и методической адаптации вычислительных экспериментов к реальным гидродинамическим и гидрометеорологическим условиям дальневосточных морей.

В частности, прикладные научные исследования и учебные тревоги цунами могут быть изначально связаны с детальным анализом исторических и гипотетических событий цунами, что позволит определить оптимальные параметры макросейсмических очагов цунами индивидуально для каждой сейсмоопасной акватории, также как и для ожидаемых маршрутов тихоокеанских тайфунов. По особо сложным участкам морского побережья, с необычным

проявлением гидродинамических процессов в мелководных акваториях, могут быть запланированы морские экспедиционные обследования фонового режима длинноволновых процессов при прохождении штормов и, по возможности, длинноволновых откликов реальных цунами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт численного моделирования исторических цунами, сопоставление результатов с реальными наблюдениями за колебаниями уровня моря на разрозненных гидрофизических регистраторах, подтверждают обоснованность проведения вычислительных экспериментов для оперативного прогноза цунами и морских наводнений для заблаговременного прогноза столь опасных морских явлений. Результаты численного моделирования вполне удовлетворительно подтверждаются экспедиционными измерениями колебаний уровня моря и пульсаций скорости течений в открытом море и на прибрежных мелководьях. Моделирование катастрофических цунами 1994, 2010 и 2011 гг. показали также практическую приемлемость использования обобщенных макросейсмических источников цунами, основанных на ретроспективном синтезе сейсмических событий, которые при гидродинамически корректном выборе шельфовой акватории, резонирующей на сейсмические события, могут применяться в качестве минимально необходимых начальных условий для реализации упреждающих вычислительных экспериментов для прогноза опасности цунами.

Достоверность результатов численного моделирования для прогноза опасности цунами при вступлении первого фронта волны, так же как и при последующем развитии резонансных длинноволновых явлений в морских бухтах и вблизи прибрежных мелководий, может значительно повышаться при условии динамической адаптации результатов численного моделирования к реальным измерениям на гидрофизических станциях по маршруту распространения волн цунами.

С учетом возможности разрушения прибрежных измерительных комплексов при сильных землетрясениях и под ударами глубоких тайфунов, вычислительные эксперименты по моделированию опасных морских явлений представляются вполне надежным независимым источником информации о развитии морской катастрофы; в первую очередь для оценки текущей обстановки непосредственно в зоне бедствия; также как и для прогноза потенциальной опасности в удаленных морских и прибрежных акваториях.

По мере обживания и промышленного освоения морского побережья Сахалина и Курильских островов, предотвращение ущерба от морских катастроф и своевременный прогноз опасных морских явлений обращаются плановыми задачами поддержания эффективности морских работ, общего снижения рисков и обеспечения рентабельности морской промышленности и эффективности работы прибрежной инфраструктуры в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

Поплавский А. А., Храмушин В. Н. Методы оперативного прогноза цунами и штормовых наводнений. – Владивосток : Дальнаука, 2008. – 176 с.

Ю. П. Королев<sup>1</sup> (yury@imgg.ru), Т. Н. Ивельская<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН (Южно-Сахалинск, Россия);

<sup>2</sup> Центр цунами СахУГМС Росгидромета (Южно-Сахалинск, Россия)

## Гидрофизический способ краткосрочного прогноза цунами. Анализ недавних событий

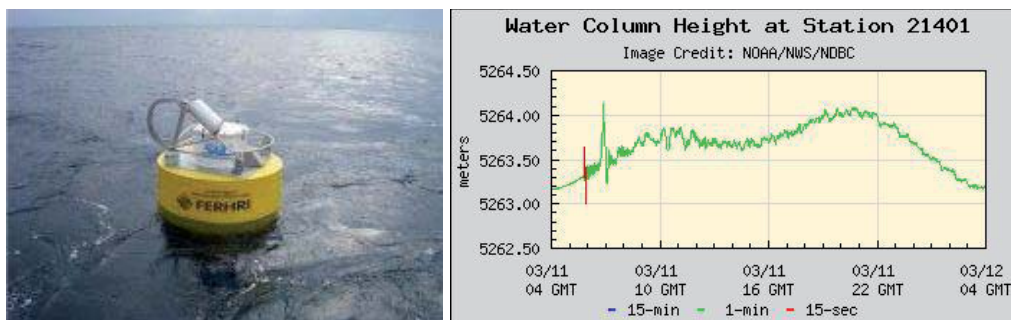
### ВВЕДЕНИЕ

Проблема оперативного прогноза цунами до настоящего времени остается не вполне решенной задачей во всем мире. Об этом свидетельствуют недавние события: пропуск цунами в Кресент Сити в результате землетрясения восточнее о. Симушир (ноябрь 2006 г.) [6, 7] и разрушительное цунами на побережье о. Хонсю (март 2011 г.).

В России проблема оперативного прогноза цунами также является нерешенной. Действуя в соответствии с принятым регламентом, основанном на магнитудно-географическом критерии, российские службы предупреждения о цунами не допустили пропуска ни одного сколько-нибудь значительного цунами. В то же время количество ложных тревог, подаваемых службами предупреждения о цунами, превышает 75% всех тревог [5]. Проблема состоит в том, чтобы давать адекватный, дифференцированный по участкам побережья, заблаговременный прогноз времен прихода первой, максимальной волн цунами в заданный пункт и их амплитуд. В настоящее время на основании сейсмологической информации о землетрясении такой прогноз невозможен.

В США предварительный прогноз цунами осуществляется также на основе магнитудно-географического критерия, но конкретизируется с использованием данных о сформировавшемся цунами, получаемых станциями слежения за уровнем океана системы DART. По этим данным рассчитывается форма волны ожидаемого цунами в конкретных пунктах и в результате предварительное предупреждение подтверждается или тревога цунами не объявляется [9].

До недавнего времени Россия не располагала удаленными от побережья станциями измерения уровня океана, по данным которых можно было бы уточнять прогноз цунами, выполненный по магнитудному критерию. В ноябре 2010 г. была осуществлена постановка первой уровенной станции 21401 системы DART восточнее южных Курильских островов [12, 13]. В перспективе постановка еще двух станций в районе Курило-Камчатского желоба. В марте 2011 г. станция зарегистрировала слабое цунами 09.03.2011 и сильнейшее цунами 11.03.2011. Запись уровня океана, полученная этой станцией во время последнего события, представлена на *рисунке 1*.



*Рис. 1. Буй глубоководной станции раннего предупреждения о цунами 21401 и запись уровня океана, зарегистрированного станцией 11 марта 2011 г. [13]*

Данные станции 21401 использовались при принятии решения об объявлении тревоги цунами 11.03.2011. Необычно высокая амплитуда волны в открытом океане, зафиксированная станциями 21418 и 21401, послужила подтверждением обоснованности тревоги цунами. Однако количественных оценок высот цунами в защищаемых пунктах не делалось. В настоящее время Центр цунами не располагает программными продуктами для расчета параметров цунами в конкретных пунктах Курильских островов по уровенным данным, что не позволяет в полной мере использовать эту информацию.

**11 марта 2011 г. в 15:48** (в настоящем пункте указано сахалинское время) Информационно-обрабатывающим Центром (ИОЦ) «Южно-Сахалинск» было зарегистрировано сильное землетрясение у северо-восточного побережья о. Хонсю. По предварительным данным магнитуда землетрясения составила 8.5.

**В 15:58** от ИОЦ «Южно-Сахалинск» в автоматизированную информационно-управляющую систему Центра цунами поступило сообщение об объявлении тревоги цунами по всем Курильским островам без параметров землетрясения. Одновременно ЦУКСом МЧС России по Сахалинской области было начато оповещение и вывод местного населения, попадающего в зону воздействия волны цунами, на безопасные участки. Всего в безопасные районы было выведено 11323 человека местного населения. **В 16:30** вывод населения был завершен.

**В 16:03** отправлена тревога цунами по адресам Росгидромета и системе НАВТЕКС для судов. Судам, находящимся на рейде и у пирсов, рекомендовано уйти в безопасную зону.

В поселке Буревестник, бухта Касатка, о. Итуруп, амплитуда волны по визуальным наблюдениям составляла около 1 метра. По информации с судов, стоявших в порт-ковше Северо-Курильск, первое резкое падение уровня воды в ковше перед первой волной зафиксировано в 19:30, следующее падение – в 20:00, максимальное – в 20:30. Время максимальных уровней не зафиксировано. По данным эхолотов судов «Радуга» и «Ветровой» уровень воды под килем колебался от 4,2 м до 2,6 м, перепад составил 1,6 м. Колебания уровня моря продолжались 11 и 12 марта, амплитуда колебаний уровня моря составила 0,8-1,5 м.

Продолжительность действия тревоги цунами составила около 20 часов, отбой тревоги для всех Курильских островов был выпущен **12 марта в 12:20** сахалинского времени. **12 марта в 16:36** Тихоокеанским центром предупреждения о цунами выпущен отбой тревоги цунами для всех стран Тихоокеан-



ского бассейна. Японским Метеорологическим Агентством (ЯМА) отбой тревоги цунами для Японии был выпущен **13 марта в 18:58**.

Сахалинской Службой предупреждения о цунами был выполнен весь комплекс действий, предусмотренных регламентом, в рамках нормативного времени распространения тревожной информации при угрозе цунами от землетрясений в ближней зоне.

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Как показали события последних лет, на одних участках побережья цунами может проявиться значительно, на других слабо, т. е. для одних пунктов тревога цунами является обоснованной, для других – ложной.

Проблема оперативного прогноза цунами заключается в том, чтобы службы предупреждения объявляли не только общие тревоги, но обоснованные и дифференцированные по степени опасности для конкретных участков побережий. Идеально тревога цунами должна объявляться только в тех пунктах, в которых цунами представляет реальную опасность, и сопровождаться информацией о времени прихода первой волны, о высотах волн, их количестве и интервалах времени между ними и об ожидаемом времени окончания цунами (отбой тревоги цунами). Действующий на основе магнитудного критерия регламент не позволяет объявлять дифференцированную по отдельным пунктам тревогу, что приводит к появлению фактически ложных тревог.

Для выработки обоснованного, дифференцированного по участкам побережья прогноза применяются два основных способа. Один из них опирается на детальную информацию об очаге землетрясения и предварительное численное моделирование. Другой использует информацию о сформировавшемся цунами, получаемую в открытом океане (гидрофизический способ).

В Японии применяется предварительное моделирование, расчет предполагаемого цунами в зависимости от механизма землетрясения, координат эпицентра, магнитуды и глубины гипоцентра [8, 10]. В силу близости очагов цунами к побережью Японии использование данных о цунами в открытом море не является эффективным.

В США применяется способ расчета формы волны цунами в защищаемых пунктах по данным глубоководных станций измерения уровня океана системы DART [9, 11].

В России разрабатываются различные подходы к оперативному прогнозу цунами. Один из них, гидрофизический, коротко описан в п. 2.

## 2. СПОСОБ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА ЦУНАМИ. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Способ и алгоритм расчета формы прогнозируемого цунами на основе данных об уровне океана в удаленных от побережья точках в режиме реального времени описаны в [1, 2, 5]. Для выполнения прогноза цунами необходима сейсмологическая информация только о координатах эпицентра землетрясения.

В предположении, что численные расчеты адекватно описывают процесс распространения и трансформации волн, на основе соотношений взаимности предложено расчетное соотношение, позволяющее по данным об уровне моря в одной точке рассчитывать форму уровня в другой [1, 2, 5]:

$$\zeta(A, s) = \zeta(M, s) \cdot F(A, M, s).$$

Здесь  $\zeta(A, s)$  – форма ожидаемого цунами в пункте  $A$ ,  $\zeta(M, s)$  – данные об уровне моря в точке  $M$ . Обе функции являются образами интегральных преобразований (спектрами Лапласа, Фурье или z-преобразования).  $F(A, M, s)$  – передаточная функция, позволяющая использовать данные об уровне моря в удаленной от побережья точке для расчета формы ожидаемого цунами вблизи берега. Обратное интегральное преобразование дает искомый результат, т. е. форму ожидаемого цунами в заданной точке. Длительность прогнозного ряда равна длительности сигнала станции измерения уровня.

Для построения передаточной функции требуется информация о координатах эпицентра землетрясения, вызвавшего цунами. Она представляет собой отношение спектральных функций. В числителе – спектр расчетной формы волны в точке, для которой выполняется прогноз (точка  $A$ ), в знаменателе – спектр расчетной формы волны в точке измерения уровня моря (точка  $M$ ):

$$F(A, M, s) = \eta(A, s) / \eta(M, s).$$

Для получения этих спектров выполняется расчет форм волн в заданных точках от вспомогательного источника с центром, совпадающим с эпицентром землетрясения.

Для практической реализации предложенного способа сделано важное допущение, согласно которому вспомогательный источник может быть задан как круговое начальное возвышение свободной поверхности с диаметром 50–100 км с центром, совпадающим с эпицентром землетрясения. Этот диаметр является характерным поперечным размером очага цунами. При этом нет необходимости в детальной сейсмологической информации о землетрясении. Достаточно информация лишь о координатах эпицентра землетрясения. Это позволит хоть приблизительно, но в степени, достаточной для практического применения, оперативно давать прогноз цунами в заданных точках побережья.

В расчетное соотношение не входят функции, описывающие источник, поэтому оно может быть применимо для расчета цунами от источников различного происхождения, например, от подводного оползня.

В работах [3, 4] продемонстрированы возможности способа оперативного прогноза цунами по данным об уровне океана применительно к реальным событиям.

В [4] представлены результаты моделирования Андреяновского цунами 1996 г. по данным станций измерения уровня океана первого поколения. Расчетные (прогнозируемые) формы цунами, полученные с использованием данных каждой из станций, хорошо совпадают с фактическими данными о цунами вблизи побережья. Расчеты, выполненные с использованием рядов уровенных данных различной длительности, показывают, что предложенный способ может работать в режиме реального времени. Длительность прогнозируемой формы цунами в заданной точке определяется длиной ряда уровенных данных глубоководной станции.

Результаты численного моделирования процесса оперативного прогноза Симуширских цунами 2006, 2007 и 2009 гг. для северной части Тихого океана представлены в [3]. Во всех экспериментах наблюдалось вполне хорошее совпадение рассчитанных и зарегистрированных форм цунами. Качество совпадения достаточно для принятия решения об объявлении тревоги цунами при

различном взаимном расположении очага цунами, станции измерения уровня океана и пунктов, для которых выполняется прогноз. Правильно прогнозируется начальная фаза цунами: повышение или понижение уровня.

В настоящей работе представлены результаты моделирования процесса оперативного прогнозирования слабого цунами, возникшего в результате землетрясения восточнее о. Хонсю 9 марта 2011 г. и сильнеешего цунами 11 марта 2011 г.

На *рисунке 2* изображен фрагмент расчетной области с указанием пунктов, для которых выполнялся прогноз, положений станций системы DART, зарегистрировавших цунами, и эпицентров землетрясений. Станция 21413 и Никольское (Командорские о-ва) находятся за пределами фрагмента.

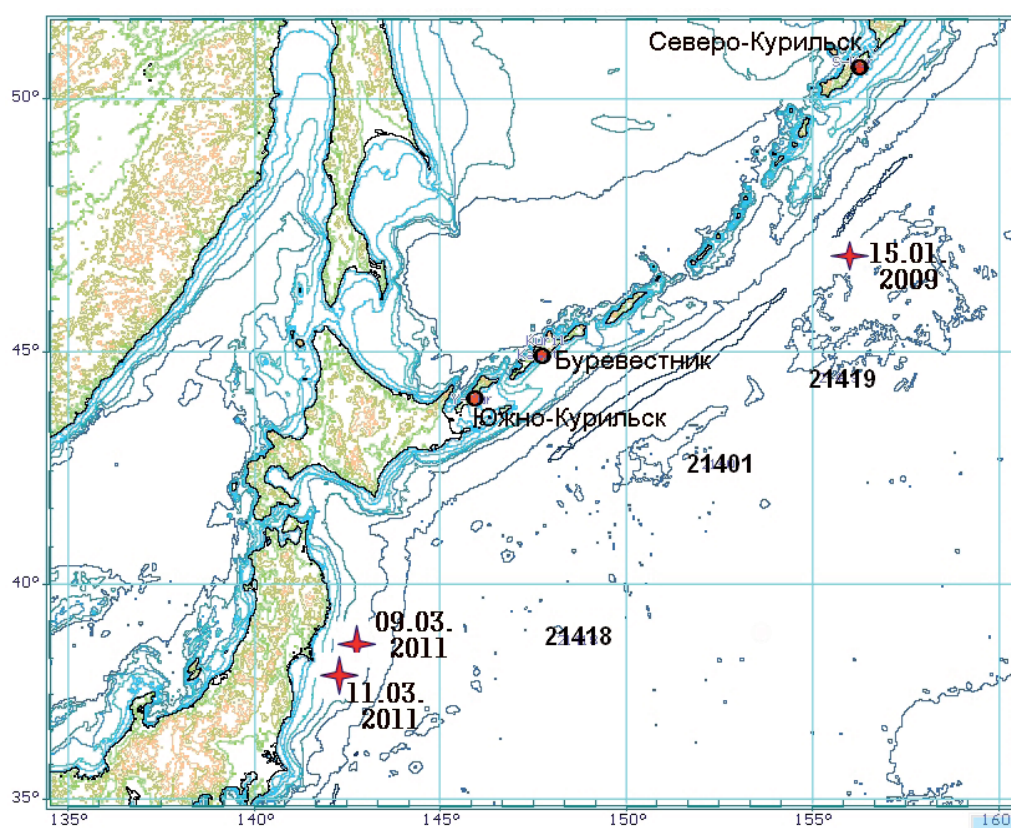


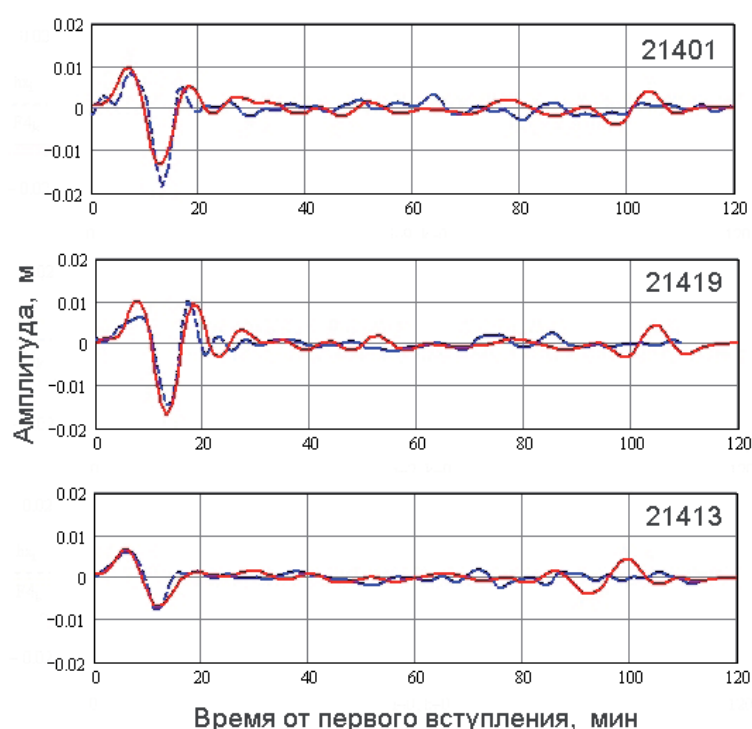
Рис. 2. Фрагмент расчетной схемы численных экспериментов

Данные о пунктах, для которых выполнялись расчеты при моделировании событий марта 2011 г., представлены в *таблице 1*.

**Таблица 1. Характеристики пунктов, для которых выполнялись расчеты**

| Наименование    | Координаты,<br>с. ш, в. д. | Расстояние<br>до берега, км | Глубина<br>по батиметрическим<br>данным, м |
|-----------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|
| 21401           | 42°37' 152°35'             | Открытое море               | 5279                                       |
| 21413           | 30°31' 152°08'             | Открытое море               | 5803                                       |
| 21418           | 38°44' 148°43'             | Открытое море               | 5597                                       |
| 21419           | 44°26' 155°44'             | Открытое море               | 5310                                       |
| Никольское      | 55°12' 165°54'             | 4.1                         | 20.4                                       |
| Северо-Курильск | 50°39' 156°11'             | 3.3                         | 16.2                                       |
| Буревестник     | 44°51' 147°41'             | 5.9                         | 85.1                                       |
| Южно-Курильск   | 43°59' 145°55'             | 6.9                         | 37.0                                       |

Слабое цунами, возникшее у восточного побережья о. Хонсю 09.03.2011, зарегистрировано небольшим числом станций системы DART. По данным ближайшей к очагу станции 21418 выполнен расчет формы цунами в области восточнее Курильских островов (станции 21401 и 21419) и в Тихом океане на расстоянии около 1200 км к юго-востоку от Токио (станция 21413). Результаты, представленные на **рисунке 3**, демонстрируют хорошее совпадение расчетных форм с фактическими формами цунами.



**Рис. 3.** Прогноз формы цунами по данным станции DART 21418 в точках расположения станций системы DART (номера указаны на фрагментах, станция 21413 находится за пределами схемы рис. 2). Пунктиром обозначены реальные записи цунами, сплошной линией – прогноз



### 3. ПРОЦЕСС ВЫРАБОТКИ ПРОГНОЗА ЦУНАМИ

Результаты моделирования оперативного прогноза слабого Симуширского цунами 2009 г. по данным станции 21416 в пунктах Курильских островов представлены в работе [3]. Расчетная форма цунами в Северо-Курильске достаточно хорошо совпадает с формой зарегистрированного цунами. Станция 21416 установлена для решения задачи прогнозирования цунами для побережья США без учета интересов Сахалинской службы предупреждения о цунами. Несмотря на это, показано, что прогноз в пунктах Курильских островов по данным станций измерения уровня океана, находящихся с океанской стороны Курило-Камчатского желоба, возможен с достаточной степенью заблаговременности.

В настоящей работе применялся способ оперативного прогноза цунами, описанный в [1, 2, 5] и п. 2, модифицированный для расчета прогнозируемой формы волны цунами большой длительности. По ограниченной продолжительности уровня информации в удаленной точке возможен прогноз цунами достаточно большой продолжительности, на основании которого можно оценивать длительность тревоги цунами.

Выполнено моделирование процесса оперативного прогнозирования цунами 11 марта 2011 г. вблизи населенных пунктов Курильских и Командорских островов. В расчетах использовались данные станции 21401 различной продолжительности [13]. Уровень океана, зарегистрированный станцией, изображен на рис. 1, при расчетах приливные составляющие удалены.

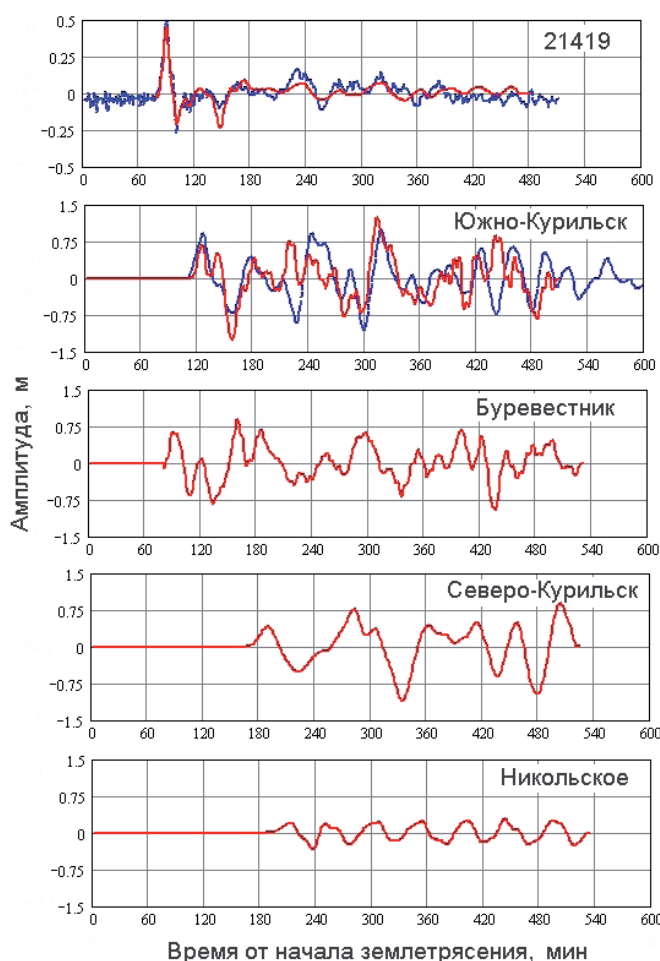
Для построения передаточной функции выполнены вспомогательные расчеты формы волны в соответствующих точках от кругового источника в виде кругового начального возвышения свободной поверхности диаметром 100 км с амплитудой 10 м. Центр источника совпадал с эпицентром землетрясения.

Результаты расчета представлены на *рисунке 4*.

Прогноз выполнен по уровенным данным станции 21401 длительностью 16 мин. Получено хорошее соответствие расчетной и фактической форм цунами в точке 21419. Этого следовало ожидать, поскольку станция 21419 находится в открытом океане, на волновой процесс не оказывают влияние различные береговые, резонансные эффекты. Хорошее согласие наблюдается также для Южно-Курильска. Совпадают время прихода цунами в точку прогноза, амплитуды первой и максимальной волн. Согласно прогнозу, амплитуда максимальной волны не должна превышать 1,5 м. Длительность тревоги цунами может составлять 6–7 час.

Согласно прогнозу, амплитуды волн не должны превышать 0,75 и 0,4 м для Буревестника и Никольского, соответственно. В Северо-Курильске возможно усиление последующих волн до 0,80 м. Результаты расчетов согласуются с данными наблюдений в Буревестнике и Северо-Курильске.

Расчеты, выполненные по данным уровня станции 21401 большей длительности, не приводят к сколько-нибудь заметному изменению формы прогнозируемого цунами. Это объясняется тем, что цунами представляло собой практически одиночный импульс с периодом около 30 мин.



**Рис. 4.** Прогноз формы цунами по данным станции DART 21401. Наименования пунктов прогноза указаны на фрагментах. Синим цветом обозначены реальные записи цунами, красным – прогноз

Время выполнения вспомогательных расчетов для построения передаточной функции не превышало 15 мин., в то время как пробег цунами до станции 21401 составил 58 мин. С учетом времени распознавания цунами в точке 21401 (первый полупериод длительностью 16 мин.) предварительный прогноз мог быть дан через 75 мин. после главного толчка землетрясения.

При времени пробега цунами до Буревестника 81 мин. заблаговременность, разность между временем ожидаемого первого вступления волны и временем составления прогноза, составляет 6 мин. (относительно первого максимума – 15 мин.). В данной ситуации гидрофизический способ прогноза цунами для Буревестника оказался неэффективным. Такой же вывод можно сделать и для всего побережья Малой Курильской гряды.

Для Южно-Курильска заблаговременность прогноза первого вступления (первого максимума) составляет 35 мин. (55 мин). Для такого населенного пункта, как представляется, этого времени вполне достаточно для проведения эвакуации.

Характерные периоды для населенных пунктов, для которых выполнялся прогноз, приведены в *таблице 2*.

**Таблица 2. Времена пробега цунами и заблаговременность выработки прогноза**

| Пункт прогноза  | Пробег: первое вступление/первый максимум, мин. | Время выработки прогноза от начала землетрясения, мин. | Заблаговременность: первого вступления/первого максимума, мин. |
|-----------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Никольское      | 185/210                                         | 75                                                     | 110/135                                                        |
| Северо-Курильск | 164/190                                         | 75                                                     | 89/115                                                         |
| Буревестник     | 81/90                                           | 75                                                     | 6/15                                                           |
| Южно-Курильск   | 110/130                                         | 75                                                     | 35/55                                                          |

#### 4. ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали события 11 марта 2011 г., возникшее цунами было аномальным: амплитуда цунами превышала величину, предсказываемую расчетами для землетрясения с магнитудой 9,0. Амплитуда волны, возникшей после главного толчка, зарегистрированная станциями измерения уровня ТМ1 и ТМ2, принадлежащих ЯМА, составляла 2 м. Спустя 11 мин. амплитуда увеличилась дополнительно на 3 м [14]. Качественное объяснение этого эффекта дано в [15]. Эта ситуация показывает, что способ прогноза цунами, основанный на предварительных расчетах, на который опирается Японское Метеорологическое Агенство, не всегда дает верный прогноз.

Предложенный способ оперативного прогноза цунами, не опирающийся на данные о магнитуде и механизме землетрясения, использующий информацию только об уровне океана, дает адекватный результат.

Во введении отмечено, что Сахалинской Службой предупреждения о цунами был выполнен весь комплекс действий, предусмотренных регламентом, рамках нормативного времени. При отсутствии количественной информации о возможном проявлении цунами в населенных пунктах объявленная 11.03.2011 тревога цунами на Курильских островах была оправданной. Тем не менее, можно провести анализ регламента принятия решения об объявлении тревоги цунами с учетом наличия и перспективы постановки новых глубоководных станций слежения за уровнем океана с целью оперативного прогноза цунами.

Представляется, что в связи с новыми возможностями российской службы предупреждения о цунами, наличием глубоководной станции измерения уровня океана, и при реализации предложенного гидрофизического способа прогноза действующий регламент должен быть пересмотрен с целью уменьшения количества фактически ложных тревог. Предложенный способ не заменит существующий сейсмологический (магнитудный) способ прогноза цунами. Он обеспечит достоверность, обоснованность объявления тревоги цунами. Предварительный, выработанный по магнитудному признаку, прогноз (предупреждение) цунами может быть подтвержден или отвергнут на основании расчетов по данным уровенных станций для каждого конкретного пункта. Но для пунктов, времена пробега цунами до которых или заблаговременность прогноза меньше 30 мин., предварительный прогноз по магнитудному признаку одновременно является основанием для объявления тревоги без использования гидрофизической информации.

Возможно, следует пересмотреть критерий опасности цунами. Как показало событие 11.03.2011, цунами с амплитудой около 1 м не является опасным для населения. В частности, в случаях подобных незначительных цунами эвакуация населения может не проводиться, но должно быть дано предупреждение об опасности нахождения непосредственно вблизи береговой черты. При этом в зависимости от амплитуды волны предупреждение о цунами может сопровождаться требованием выхода судов в открытое море.

Исходя из результатов моделирования, с учетом заблаговременности прогноза процесс объявления тревоги цунами 12 марта 2011 г. мог быть реализован следующим образом.

На островах Малой Курильской гряды и в Буревестнике тревога цунами должна быть объявлена в соответствии с действующим регламентом.

В Южно-Курильске и Северо-Курильске эвакуация населения могла не производиться, но предупреждение об опасности нахождения в прибрежной зоне должно быть дано. Выход судов в открытое море, возможно, должен быть предусмотрен.

Тревога цунами для населения на всех Курильских островах могла быть отменена после получения расчетных данных об ожидаемом цунами для всех населенных пунктов, т. е. в 17:00 сахалинского времени 11 марта.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный гидрофизический способ оперативного прогноза цунами, как показывают результаты расчетов и сравнение их с данными натурных измерений, вполне работоспособен, позволяет в режиме реального времени давать оценку формы ожидаемого цунами в заданных пунктах с достаточной заблаговременностью.

Предложенный способ краткосрочного прогноза цунами работает вне зависимости от магнитуды землетрясения. Расчеты могут выполняться в случаях землетрясений с магнитудами, меньшими пороговой. При этом могут быть исключены пропуски редких цунами, возбужденных подводными оползнями.

Преимуществом предлагаемого способа с непосредственной подготовкой передаточной функции во время события является возможность применения его в тех областях, для которых нет заранее подготовленной базы расчетных мареограмм. При реализации предложенный способ оперативного прогноза цунами может применяться в системах предупреждения о цунами на стадии их создания, что является актуальным для российских служб предупреждения о цунами.

Предложенный способ может являться инструментом, позволяющим своевременно и достоверно давать информацию об ожидаемом цунами и объявлять тревогу только в тех пунктах, в которых цунами будет представлять реальную угрозу. Тем самым будет уменьшен ущерб, связанный с ложными тревогами.

На основании результатов экспериментов сделаны предложения о возможности изменения действующего регламента принятия решения об объявлении тревоги цунами.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Королев Ю. П. О возможности применения принципа взаимности при оперативном прогнозе цунами // Цунами и сопутствующие явления. Южно-Сахалинск, 1997. С. 60–71. (Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией; т. VII).
2. Королев Ю. П. Расчет цунами по измерениям уровня моря в удаленных точках при оперативном прогнозе. Океанология. 2004. Т. 44, № 3. С. 373–379.
3. Королев Ю. П. О гидрофизическом способе оперативного прогноза цунами. Проблемы анализа риска. 2011. Т. 8, № 2. С. 32–47.
4. Королев Ю. П. Ретроспективный краткосрочный прогноз Андреяновского (Алеутские острова) цунами 1996 г. Океанология. 2011. Т. 51, № 3. С. 409–417.
5. Оперативный прогноз цунами на морских берегах Дальнего Востока России / А. А. Поплавский, В. Н. Храмушин, К. И. Непоп, Ю. П. Королев. Южно-Сахалинск: ДВО РАН, 1997. 272 с.
6. Horrillo J., Knight W. and Kowalik Z. The Kuril Islands Tsunami of November 2006. Part II: Impact at Crescent City by local enhancement. J. Geophys. Res. 2008. Vol. 113, C01021. 12 p.
7. Kowalik Z., Horrillo J., Knight W. and Logan Tom. The Kuril Islands Tsunami of November 2006. Part I: Impact at Crescent City by distant scattering. J. Geophys. Res. 2008. Vol. 113, C01020. 11 p.
8. Tatehata H. The New Tsunami Warning System of the Japan Meteorological Agency // Perspectives on Tsunami Hazard Reduction.– Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997. P. 175–188. (Advances in Natural and Technological Hazards, V. 9).
9. Titov, V. V. Tsunami Forecasting // The Sea. Vol. 15 / eds. E. N. Bernard and A. R. Robinson. Harvard University Press, Cambridge, MA and London, England, 2009. P. 367–396.
10. Satake, K.: Inversion of tsunami waveform for the estimation of a fault heterogeneity: method and numerical experiments, J. Phys. Earth. 1987. 35(3). P. 241–254.
11. Wei, Y., Cheung, K. F., Curtis. G. D. and McCreery, C. S.: Inverse Algorithm for Tsunami Forecasts. Journal of waterway, ports, coastal and ocean engineering, ASCE. 2003. 129(2). P. 60–69.
12. [http://decoltd.ru/news/sistema\\_rannego\\_preduprezhdenija\\_cunami/2010-11-18-15](http://decoltd.ru/news/sistema_rannego_preduprezhdenija_cunami/2010-11-18-15).
13. [http://www.ndbc.noaa.gov/station\\_page.php?station=21401](http://www.ndbc.noaa.gov/station_page.php?station=21401).
14. [http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103\\_tohoku/eng](http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/eng).
15. <http://www.nippon-sekai.com/main/articles/great-east-japan-earthquake-of-2011/nhk-special-mega-tsunami/>

А. В. Леонов<sup>1</sup> (leonov@ocean.ru), О. В. Чичерина<sup>1</sup>,  
Л. В. Семеняк<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (Москва, Россия);

<sup>2</sup> ВНИРО (Москва, Россия)

## Особенности математического моделирования процессов поступления нефтяных углеводородов в морские водоемы и их последующей трансформации (на примере Каспийского моря и акваторий Сахалина)

Необходимость изучения условий загрязнения морских вод нефтяными углеводородами/нефтепродуктами (НУ) и последующей их биотрансформации в морской среде связывается с возрастающим антропогенным загрязнением морских экосистем, которое приводит к угнетению, структурным перестройкам биологического сообщества (снижение видового разнообразия) и их функциональным изменениям, а в некоторых случаях и к полной деградации прибрежных экосистем [Израэль и др., 1995].

Изучение указанных проблем может быть выполнено с помощью математического моделирования и, в частности, с помощью CNPSi-модели [Леонов, 2008] (в ней есть блок, включающий в качестве самостоятельных компонентов – НУ и НУ-окисляющие бактерии *B2*). В серии численных экспериментов на модели для морских экосистем может быть уточнена нагрузка по НУ на морской водоем (или отдельные его районы), а также условия и особенности трансформации НУ в разных районах моря. Для расчетов динамики биогенных веществ и НУ в CNPSi-модели используется следующая информация для морских акваторий:

- морфометрические параметры акваторий – средняя глубина (м), площадь (км<sup>2</sup>) и объем водных масс (км<sup>3</sup>);
- рассчитанные на гидродинамической модели ежемесячные значения горизонтального двустороннего переноса водных масс на границах между районами (на мелководных участках), а на глубоководных участках также и вертикального переноса, км<sup>3</sup>/мес;
- среднемноголетние ежемесячные значения параметров состояния морской среды – температура, °С; освещенность, кал/(см<sup>2</sup> сут); прозрачность, м; речной сток и атмосферные осадки, км<sup>3</sup>/мес; содержание биогенных веществ и НУ в речных водах, мг/л; скорости поступления НУ в морскую среду из рассредоточенных источников, мг НУ/(л сут).

Задача исследования внутригодовой (сезонной) динамики концентраций НУ и особенностей их биотрансформации может изучаться для каждой морской экосистемы строго индивидуально в зависимости от имеющейся информации за изменением компонентов морской среды и внешних источников нагрузки по НУ на морские экосистемы. В данной работе рассмотрена методология подобных работ и представлены результаты исследований указанных проблем на примере акваторий Каспийского моря и Татарского пролива (Японское море, шельф о. Сахалин), для которых их изучение особенно актуально в связи с активизацией разработок морских месторождений углеводородного сырья.

## 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКОСИСТЕМЫ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Основное поступление в Каспийское море загрязняющих веществ (ЗВ), включая нефть, нефтяные углеводороды и нефтепродукты (все далее обозначены НУ), происходит:

- с речным стоком;
- со сбрасываемыми неочищенными промышленными и сельскохозяйственными стоками, коммунально-бытовыми сточными водами городов и поселков, расположенными на побережье;
- с атмосферными осадками;
- при дноуглубительных работах, дампинге отходов;
- при судоходстве, транспортировке нефти танкерами;
- при разведке и эксплуатации морских нефтяных и газовых месторождений;
- при высачивании со дна из природных грязевых вулканов;
- при затоплении и подтоплении хозяйственно освоенных прибрежных территорий при подъеме уровня Каспийского моря.

Имитационная CNPSi-модель ранее [Леонов, Чичерина, 2004] использовалась для исследования динамики соединений биогенных элементов и биомасс гетеротрофных бактерий, фито- и зоопланктона в районах 1–10 Каспийского моря (*рис. 1*). Морфометрические характеристики (объемы вод и средние глубины) районов 1–10 Каспийского моря приведены в *таблице 1*. Районы 1, 2, 4, 5, 7 и 9 находятся под воздействием стока рек Волги, Урала, Терека, Сулака, Самура и Куры соответственно [Леонов, Чичерина, 2004].

Речной сток оказывает прямое воздействие на содержание НУ в морских водах, на 90% его влияние приходится на морскую среду Северного Каспия (в основном из-за стока Волги). В *таблице 2* показаны принятые для расчетов на модели концентрации НУ в речных водах. Значения концентраций НУ в речных водах косвенно учитывают влияние и ряда рассредоточенных источников (промышленных, муниципальных, сельскохозяйственных сточных вод, сбрасываемых непосредственно в речную сеть бассейна моря на участках прибрежной зоны.

Значимым источником загрязнения вод моря служит естественное выделение НУ со дна, которое зафиксировано во всех районах моря [Кукса, 1994]. До недавнего времени авианаблюдения за загрязнением нефтью поверхностного слоя воды постоянно фиксировали наличие крупномасштабных полей дрейфующей нефти, покрывающей сотни и тысячи квадратных километров [Научные основы..., 1998]. При скорости растекания нефти на поверхности моря 3–6 см/с ее пленка способна распространиться на расстояние 10–20 км за 3–5 сут [Боев, Матвеев, 2008].

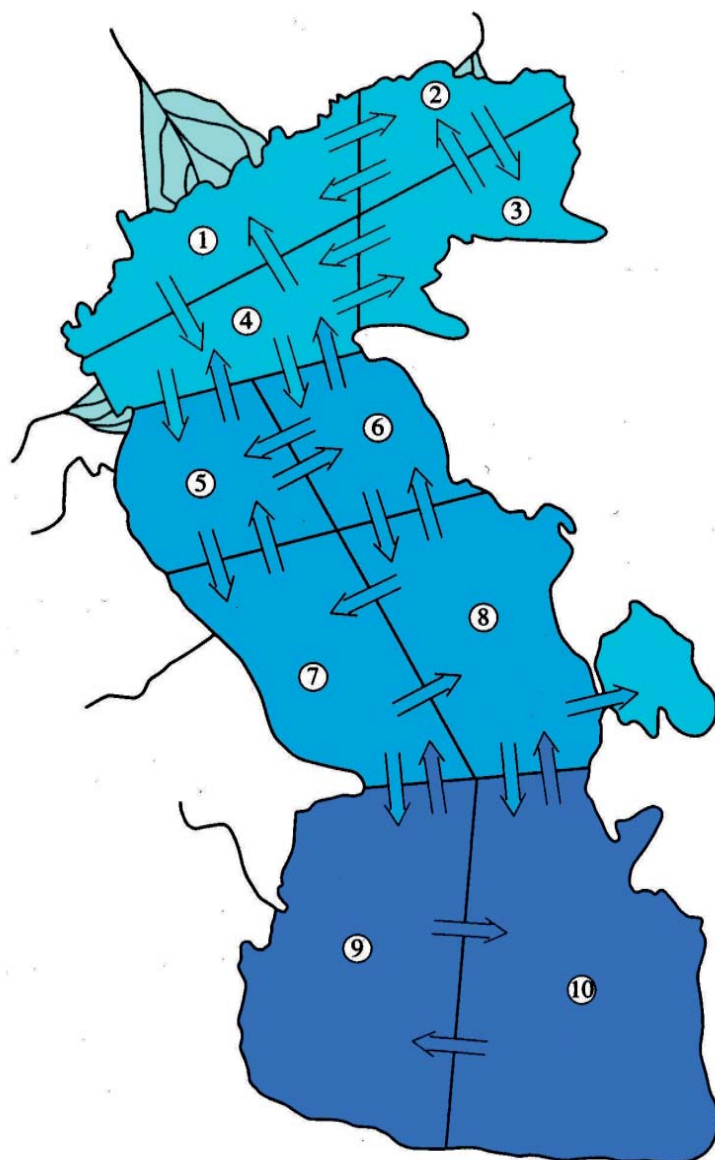


Рис. 1. Подразделение Каспийского моря на районы 1–10

Таблица 1. Морфометрические характеристики районов 1–10  
Каспийского моря

| Западные районы | Объем вод, V, км <sup>3</sup> | Средняя глубина, d, м | Восточные районы | Объем вод, V, км <sup>3</sup> | Средняя глубина, d, м |
|-----------------|-------------------------------|-----------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 1               | 159,5                         | 6                     | 2                | 120,3                         | 6                     |
| 4               | 114,1                         | 6                     | 3                | 147,0                         | 6                     |
| 5               | 7 012,0                       | 200                   | 6                | 1 892,0                       | 100                   |
| 7               | 15 412,0                      | 400                   | 8                | 4 624,0                       | 100                   |
| 9               | 37 764,0                      | 450                   | 10               | 6 456,0                       | 200                   |



**Таблица 2. Принятые для расчетов концентрации НУ, мг/л, в разные месяцы в водах основных притоков Каспийского моря (оценены при анализе данных из литературы)**

| Река  | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | Средняя за год |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|
| Волга | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,21           |
| Урал  | 0,09 | 0,09 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,09 | 0,13           |
| Терек | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30           |
| Сулак | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05           |
| Самур | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05           |
| Кура  | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25           |

*Примечание.* Только для рек Волга и Урал можно по имеющимся в литературе данным оценить сезонный ход концентраций НУ.

Повышенное загрязнение вод Южного Каспия по НУ связано с нефтедобычей и нефтеразведочным бурением, а также с активной вулканической деятельностью (грязевой вулканизм) в зоне нефтегазоносных структур [Кукса, 1994]. Преобладающее число пятен НУ, формирующих на поверхности моря так называемые слики (или области ее выплаживания), сосредоточено именно в Южном Каспии над глубинами 500–700 м в 30–40 км к востоку от свала глубин. Полоса распространения пятен НУ имеет ширину 50–60 км и вытянута в меридиональном направлении на 140 км, на севере и юге ее ширина уменьшается до 20 км. Плотность пятен существенно снижается в северном и восточном направлениях. Ряд пятен отмечен на мелководных участках, где глубины не превышают 100 м, а общее число наблюдаемых пятен – 423. В районах концентрирования пятен НУ на поверхности моря на его дне отмечены выступающие формы подводного рельефа (в виде вулканов или грифонов). Выделение НП из них происходит в течение 6–10 ч (оценено на основе измерений расстояний между сликами) [Иванов и др., 2007].

Выделяемые из вулканов (грифонов) НУ с пузырьками газа всплывают на поверхность, пузырьки лопаются, а пленка НУ остается на поверхности. Легкие фракции НУ быстро испаряются, а водорастворимые – переходят в раствор. Остаточная пленка имеет повышенную вязкость, перемещается по поверхности течениями, меняет свою конфигурацию, а в открытом море вовлекается в циклонический круговорот вод. Средняя площадь сликов на акватории Южного Каспия варьируется от 0,6 до 3,4, общая за отдельные сутки – от 19,3 до 127,2, а за все дни наблюдений составляет 544,3 км<sup>2</sup> [Иванов и др., 2004, 2007].

Диапазон оценок, по наблюдениям из космоса, для естественных выделений НП со дна в Южном Каспии составляет, т/сут: 4,7–43,7 (среднее 24,2) [Иванов, Затыгалова, 2007] и 6,8–44,5 (25,7) [Иванов и др., 2007], а по другим оценкам, – 100–150 (125) [Маилян, 1966]. Таким образом, среднее значение, по наблюдениям из космоса, составляет 25 [Иванов и др., 2007; Иванов, Затыгалова, 2007], а по другим оценкам, – 125 т/сут [Маилян, 1966].

Из результатов наблюдений следует, что слик длиной в несколько километров и шириной в сотни метров (общая площадь 1 км<sup>2</sup>, толщина пленки 10<sup>-3</sup>–10<sup>-4</sup> мм), существующий на поверхности ~1 сут и связанный с одним ис-

точником на дне, выделяет в воду до 400–500 кг НУ/сут [Иванов и др., 2007]. На основе этой информации и с учетом того, что таких сликов (пятен) НУ в Южном Каспии было зафиксировано 423, получим скорость общего их поступления в воду 169,2–211,5 (средняя 190,4) т/сут, а с учетом оцененной общей площади сликов (544,3 км<sup>2</sup>) этот диапазон возрастает до 217,7–272,2 (245,0) т/сут. Таким образом, сделанные по космическим наблюдениям оценки весьма ориентировочны: даже в одной серии наблюдений, оперируя разными характеристиками, получаем существенный разброс значений интересующего параметра.

Рассчитаем среднее значение скорости естественного выделения НП со дна, оперируя результатами наблюдений из космоса по всем представленным выше оценкам:  $(25+190,4)/2=107,7$ ;  $(25+245)/2=135$ ; и  $(107,7+135)/2=121,4$  т/сут.

Значение 121,4 т/сут фактически совпадает со средним 125 т/сут, полученным в [Маилян, 1966].

При расчете итоговых скоростей нагрузки по НУ на морские акватории надо учесть значения оцененных поступлений НП из конкретных источников за единицу времени и на единицу объемов исследуемых морских вод, на которые источники воздействуют. В расчетах нагрузки по НУ на морскую среду принималось во внимание условное среднее значение оцененного поступления НП (125 т/сут), оно соотносилось с оцененной условной плотностью расположения выявленных и перспективных нефтегазоносных структур (карты их распределения) и с имеющимися данными о потенциальных источниках загрязнения акваторий моря [Иванов и др, 2004, 2007], приходящимися на объемы воды в районах 1–10 Каспия (см. табл. 1).

Условно плотность распределения нефтегазоносных структур и расположения в море источников загрязнения морской среды в районах 1, 2, 3 и 10 принималась за 100% (итоговая нагрузка 125 т/сут), в районах 4, 9 – за 80% (100), в районе 5 – за 60% (75), в районах 7 и 8 – за 40% (50), в районе 6 – за 20% (25 т/сут). С учетом объемов воды в районах 1–10 (см. табл. 1) получим соответствующие скорости поступления НУ со дна моря в мелководных районах 1–4 –  $7,840 \times 10^{-4}$ ,  $1,039 \times 10^{-3}$ ,  $8,500 \times 10^{-4}$ ,  $8,760 \times 10^{-4}$  мг НУ/(л сут) соответственно. В этих районах объемы воды в течение года приняты неизменными, а приведенные выше расчетные скорости – средние для всего расчетного года. Для глубоководных районов 5–10 оцененные выше значения скоростей для всего столба воды соотносились с толщиной выделяемых верхнего и нижнего слоев, меняющихся по месяцам [Леонов, Чичерина, 2004]. Итоговые расчетные скорости поступления НП в морскую среду для верхнего и нижнего слоев в районах 5–10 показаны в **таблице 3**.

Для наиболее загрязненного района 9 при расчете нагрузки по НУ на акваторию было учтено реальное поступление НУ в поверхностный слой моря при нефтедобыче в районе «Нефтяные Камни», порядок которого ~32 тыс. т [Боев, Матвеев, 2008]. Это значение соотносилось с толщиной верхнего слоя этого района. Полученные для разных месяцев значения нагрузки суммировались с оцененными скоростями выделения НП со дна в этом районе моря (см. табл. 3). Таким образом, итоговые значения нагрузки по НП для поверхностного слоя района 9 для каждого месяца года (с января до декабря) составили  $1,449 \times 10^{-2}$ ,  $1,449 \times 10^{-2}$ ,  $7,245 \times 10^{-3}$ ,  $5,795 \times 10^{-3}$ ,  $4,348 \times 10^{-3}$ ,  $2,896 \times 10^{-3}$ ,  $2,896 \times 10^{-3}$ ,  $2,896 \times 10^{-3}$ ,  $2,932 \times 10^{-3}$ ,  $8,694 \times 10^{-3}$ ,  $1,449 \times 10^{-2}$ ,  $1,449 \times 10^{-2}$  мг НУ/(л сут) соответственно.

СЕКЦИЯ А3. Достижения и проблемы в моделировании изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов применительно для условий охотоморской Субарктики

Таблица 3. Принятые для расчетов скорости поступления НУ, мг/(л сут), из рассредоточенных источников для разных месяцев (здесь и в таблице 4 для глубоководных районов 5–10 Каспийского моря в числителе – данные для верхнего, в знаменателе – для нижнего слоя)

| Район | Январь                                           | Февраль                                          | Март                                             | Апрель                                           | Май                                              | Июнь                                             | Июль                                             | Август                                           | Сентябрь                                         | Октябрь                                          | Ноябрь                                           | Декабрь                                          |
|-------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 5     | $3,571 \times 10^{-4}$<br>$1,103 \times 10^{-5}$ | $3,571 \times 10^{-4}$<br>$1,103 \times 10^{-5}$ | $3,674 \times 10^{-4}$<br>$1,114 \times 10^{-5}$ | $2,139 \times 10^{-4}$<br>$1,126 \times 10^{-5}$ | $1,070 \times 10^{-4}$<br>$1,188 \times 10^{-5}$ | $7,131 \times 10^{-5}$<br>$1,258 \times 10^{-5}$ | $7,131 \times 10^{-5}$<br>$1,258 \times 10^{-5}$ | $7,138 \times 10^{-4}$<br>$1,258 \times 10^{-5}$ | $1,070 \times 10^{-4}$<br>$1,188 \times 10^{-5}$ | $3,674 \times 10^{-4}$<br>$1,114 \times 10^{-5}$ | $3,571 \times 10^{-4}$<br>$1,103 \times 10^{-5}$ | $3,571 \times 10^{-4}$<br>$1,103 \times 10^{-5}$ |
| 6     | $2,202 \times 10^{-4}$<br>$1,406 \times 10^{-5}$ | $2,202 \times 10^{-4}$<br>$1,406 \times 10^{-5}$ | $1,652 \times 10^{-4}$<br>$1,436 \times 10^{-5}$ | $1,321 \times 10^{-4}$<br>$1,468 \times 10^{-5}$ | $6,607 \times 10^{-5}$<br>$1,652 \times 10^{-5}$ | $4,406 \times 10^{-5}$<br>$1,888 \times 10^{-5}$ | $4,406 \times 10^{-5}$<br>$1,888 \times 10^{-5}$ | $4,406 \times 10^{-5}$<br>$1,888 \times 10^{-5}$ | $6,607 \times 10^{-5}$<br>$1,652 \times 10^{-5}$ | $1,652 \times 10^{-4}$<br>$1,436 \times 10^{-5}$ | $2,202 \times 10^{-4}$<br>$1,406 \times 10^{-5}$ | $2,202 \times 10^{-4}$<br>$1,406 \times 10^{-5}$ |
| 7     | $2,163 \times 10^{-4}$<br>$3,294 \times 10^{-5}$ | $2,163 \times 10^{-4}$<br>$3,294 \times 10^{-5}$ | $1,298 \times 10^{-4}$<br>$3,327 \times 10^{-5}$ | $8,651 \times 10^{-5}$<br>$3,371 \times 10^{-5}$ | $6,489 \times 10^{-5}$<br>$3,415 \times 10^{-5}$ | $4,326 \times 10^{-5}$<br>$3,507 \times 10^{-5}$ | $4,326 \times 10^{-5}$<br>$3,507 \times 10^{-5}$ | $4,326 \times 10^{-5}$<br>$3,507 \times 10^{-5}$ | $6,489 \times 10^{-5}$<br>$3,415 \times 10^{-5}$ | $1,298 \times 10^{-4}$<br>$3,327 \times 10^{-5}$ | $2,163 \times 10^{-4}$<br>$3,294 \times 10^{-5}$ | $2,163 \times 10^{-4}$<br>$3,294 \times 10^{-5}$ |
| 8     | $1,802 \times 10^{-4}$<br>$1,150 \times 10^{-5}$ | $1,802 \times 10^{-4}$<br>$1,150 \times 10^{-5}$ | $1,081 \times 10^{-4}$<br>$1,201 \times 10^{-5}$ | $7,209 \times 10^{-5}$<br>$1,272 \times 10^{-5}$ | $5,407 \times 10^{-5}$<br>$1,352 \times 10^{-5}$ | $3,604 \times 10^{-5}$<br>$1,545 \times 10^{-5}$ | $3,604 \times 10^{-5}$<br>$1,545 \times 10^{-5}$ | $3,604 \times 10^{-5}$<br>$1,545 \times 10^{-5}$ | $5,407 \times 10^{-5}$<br>$1,352 \times 10^{-5}$ | $1,081 \times 10^{-4}$<br>$1,201 \times 10^{-5}$ | $1,802 \times 10^{-4}$<br>$1,150 \times 10^{-5}$ | $1,802 \times 10^{-4}$<br>$1,150 \times 10^{-5}$ |
| 9     | $2,482 \times 10^{-4}$<br>$3,355 \times 10^{-6}$ | $2,482 \times 10^{-4}$<br>$3,355 \times 10^{-6}$ | $1,241 \times 10^{-4}$<br>$3,401 \times 10^{-6}$ | $9,930 \times 10^{-5}$<br>$3,424 \times 10^{-6}$ | $7,448 \times 10^{-5}$<br>$3,464 \times 10^{-6}$ | $4,965 \times 10^{-5}$<br>$3,547 \times 10^{-6}$ | $4,965 \times 10^{-5}$<br>$3,547 \times 10^{-6}$ | $4,965 \times 10^{-5}$<br>$3,547 \times 10^{-6}$ | $7,448 \times 10^{-5}$<br>$3,464 \times 10^{-6}$ | $1,489 \times 10^{-4}$<br>$3,385 \times 10^{-6}$ | $2,482 \times 10^{-4}$<br>$3,355 \times 10^{-6}$ | $2,482 \times 10^{-4}$<br>$3,355 \times 10^{-6}$ |
| 10    | $5,163 \times 10^{-4}$<br>$1,597 \times 10^{-5}$ | $5,163 \times 10^{-4}$<br>$1,597 \times 10^{-5}$ | $2,582 \times 10^{-4}$<br>$1,648 \times 10^{-5}$ | $2,065 \times 10^{-4}$<br>$1,675 \times 10^{-5}$ | $1,549 \times 10^{-4}$<br>$1,721 \times 10^{-5}$ | $1,032 \times 10^{-4}$<br>$1,822 \times 10^{-5}$ | $1,032 \times 10^{-4}$<br>$1,822 \times 10^{-5}$ | $1,032 \times 10^{-4}$<br>$1,822 \times 10^{-5}$ | $1,549 \times 10^{-4}$<br>$1,721 \times 10^{-5}$ | $3,098 \times 10^{-4}$<br>$1,630 \times 10^{-5}$ | $5,163 \times 10^{-4}$<br>$1,597 \times 10^{-5}$ | $5,163 \times 10^{-4}$<br>$1,597 \times 10^{-5}$ |

Для расчетов на CNPSi-модели для разных районов моря были заданы значения начальных концентраций НУ, соответствующих началу года (табл. 4). Уравнения модели решались методом Рунге–Кутты-4 с шагом по времени 0,1 сут., расчеты проведены для календарного года (1 января – 31 декабря) по оцененным ранее среднесезонным показателям состояния морской среды (температура, освещенность, прозрачность) и по вычисленным на гидродинамической модели значениям расходов воды, определяющим интенсивность ежемесячного горизонтального (двустороннего) и вертикального водообмена [Леонов, Чичерина, 2004].

Трансформация НУ в морской среде отличается сложностью, многофакторностью и разнообразием процессов, главные из которых – физический перенос, растворение и эмульгирование, окисление, деструкция, седиментация и биоседиментация, микробное разложение (биодegradация). Физический перенос действует на всех этапах присутствия НУ в морской среде, а биодegradация завершает разложение растворенной (наиболее долгоживущей) фракции НУ в морской среде [Немировская, 2004]. В этом исследовании, как и ранее [Леонов, Пищальник, 2005; Леонов, Фашук, 2006], учитывается только растворенная в воде фракция НУ, ее трансформация происходит при дегradации (потреблении) НУ-окисляющими бактериями B2, а дополнительные потери определяются переносом (по горизонтали и вертикали) водными массами.

В водах Северного Каспия обнаружена значительная численность бактерий B2, что свидетельствует об интенсивном развитии процессов

естественного самоочищения вод от нефти и ее производных, что в известной степени снижает негативное влияние загрязнения морской среды [Куликова, 2002].

**Таблица 4. Принятые для расчетов начальные концентрации НУ в районах 1–10 Каспийского моря**

| Западные акватории | НУ, мг/л            | Восточные акватории | НУ, мг/л            |
|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1                  | 0,10                | 2                   | 0,20                |
| 4                  | 0,10                | 3                   | 0,15                |
| 5                  | $\frac{0,10}{0,15}$ | 6                   | $\frac{0,10}{0,15}$ |
| 7                  | $\frac{0,10}{0,15}$ | 8                   | $\frac{0,10}{0,15}$ |
| 9                  | $\frac{0,25}{0,25}$ | 10                  | $\frac{0,20}{0,25}$ |

Изменение в течение года расчетных концентраций НУ и биомасс бактерий *B2* в районах 1–10 Каспийского моря показано на **рисунке 2**. С начала года содержание НУ в западных районах моря возрастает в среднем со скоростями  $(1,17–5,95) \times 10^{-3}$  мг НУ/(л сут). Максимум в этих районах оно достигает зимой (5,2–14,8 ПДК) на 91–125 сут. В восточных районах концентрации НУ увеличиваются со скоростями  $(0,84–3,97) \times 10^{-3}$  мг НУ/(л сут) и достигают зимой максимума (5,0–9,6 ПДК) на 83–128 сут. В летне-осенний период расчетные концентрации НУ везде <ПДК, а среднегодовые их значения для районов 1–10 составляют 1,7 ПДК, 2,1, 1,6, 1,4, 1,4, 2,0, 1,4, 1,3, 5,2 и 1,9 ПДК соответственно.

Снижение весной концентраций НУ в водах Каспийского моря связано с активизацией развития биомассы бактерий *B2*: их окислительная активность, оцененная по удельной скорости их роста ( $k$ ), характеризуется в северных районах моря как «очень высокая» ( $k=0,31–0,32$  сут<sup>-1</sup>), в южных – как «высокая» ( $k \sim 0,2$  сут<sup>-1</sup>), и в средней части – как «средняя» ( $k=0,1–0,2$  сут<sup>-1</sup>). Отметим, что распределение во времени максимальных и минимальных значений  $k$  в западных акваториях показывает одновременность проявления активности бактерий *B2*, а в восточных – экстремумы  $k$  «смещены» по времени (время активизации *B2* в этих по районам отличается) (**рис. 3**).

Результаты модельных расчетов показывают, что распределение рассмотренных в данном исследовании характеристик – концентраций НУ, биомасс бактерий *B2*, удельной скорости их роста  $k$ , биопroduкции и показателей окислительной активности *B2* (потребления НУ и  $O_2$ ), также как и выявленное ранее распределение биогенных веществ [Леонов, Чичерина, 2004], неоднородно по пространству и, очевидно, зависит от особенностей поступления НУ в экосистему моря (в частности, от временной характеристики этого процесса). Поэтому крайне желательно специально рассмотреть оцененные по результатам моделирования внутренние и внешние потоки НУ и составить ориентировочный баланс НУ по районам и для моря в целом.



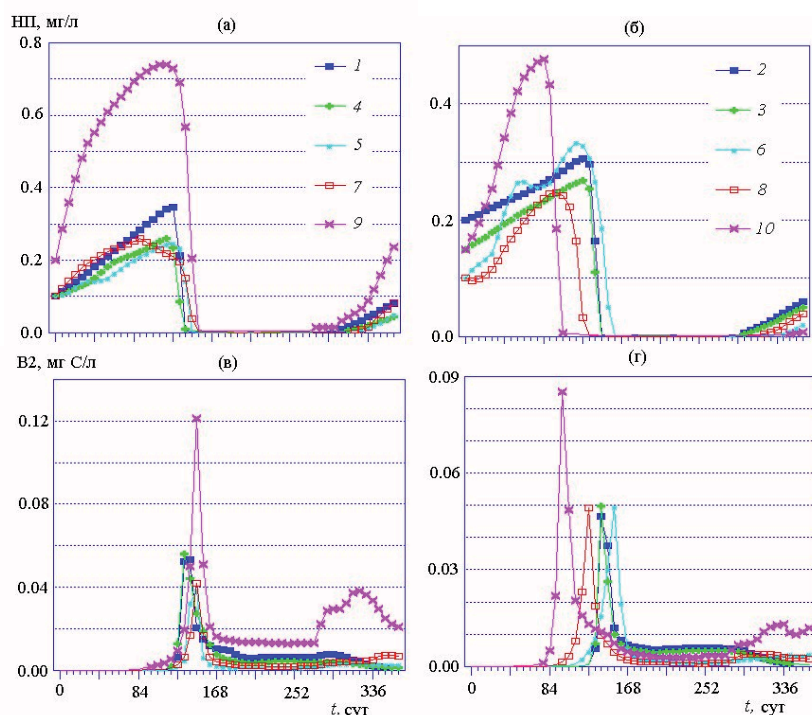


Рис. 2. Изменение в течение года расчетных концентраций  $H_2O_2$  (а, б) и биомассы  $H_2O_2$ -окисляющих бактерий B2 (в, г) в районах 1–10 Каспийского моря. Цифры около символов кривых – порядковый номер районов с севера на юг

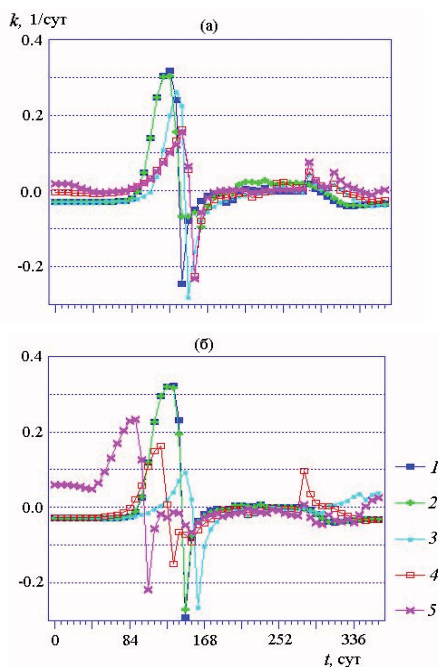


Рис. 3. Изменение удельных скоростей роста биомассы бактерий B2 в районах 1–10 Каспийского моря. Цифры 1–5 около символов кривых показывают соответственно западные районы 1, 4, 5, 7 и 9 (а) и восточные районы 2, 3, 6, 8 и 10 (б)

В Каспийское море основная масса ЗВ (включая и НУ) поступает в западные акватории моря (с речными водами и с городскими стоками), а прибрежными течениями они переносятся на юг в направлении доминирующего переноса вод. Активный водообмен (особенно зимой) между Средним и Южным Каспием происходит до траверза Кара-Богаз-Гола. Восточные акватории моря загрязняются в меньшей степени (здесь практически отсутствует речная сеть, на берегу нет крупных населенных пунктов). Однако крупномасштабная циркуляция вод в Каспийском море способствует достаточно однородному перераспределению ЗВ по его акватории [Кукса, 1994].

По результатам моделирования были составлены балансы НУ для верхнего слоя по районам 1–10 с учетом основных процессов, определяющих поступления НУ в водную среду и их последующую трансформацию (*табл. 5*). Анализ расчетных данных показал, что при раздельном рассмотрении районов моря выявляются существенные пространственные отличия в выраженности отдельных источников (процессов), что приводит к существенным невязкам в оценках баланса НУ. Например, влияние на нагрузку по НУ суммарно речного стока и других рассредоточенных источников (промышленных, муниципальных, сельскохозяйственных сточных вод) важно только для района 1 (42,4%); роль загрязнения морской среды в самом море – существенна для районов 9 (99,9), 2 и 3 (85,1–81,9%), и она менее значима для районов 5–8 (2,3–16,0%); роль переноса НУ из соседних районов важна для района 6 (91,9%), 4 (57,5%), 5 (50,9%) и 10 (37,3%), а вертикального переноса – для районов 7 (69,4%), 8 и 10 (53,5–54,9%).

Потери НУ преимущественно определяются их разложением/потреблением бактериями *B2*, наиболее значимыми в районах 1 и 10 (92,8–96,5%), 2 и 3 (84,2–88,3%), 5 и 9 (80,5–78,5%), 4 и 8 (70,9–75,3%), и менее значимыми в районах 6 и 7 (48,2–56,2%). Потери НУ определяются также выносом их течениями в соседние районы, который существенен для районов 7 (43,8%), 8 и 4 (24,5–29,1%), и менее значим для районов 9, 2 и 5 (15,6–19,5%), а также 3 и 6 (11,7–13,3%). В районе 6 существенны также потери НУ за счет процессов вертикального обмена (38,5%) (см. *табл. 5*).

Разная выраженность указанных процессов приводит к тому, что при рассмотрении районов моря по отдельности получаются большие различия между районами в количественной сбалансированности потоков НУ в поверхностном слое (между их поступлениями и последующей деградацией). Особенно высок дисбаланс указанных потоков в районах 6, 7, 5 и 9, невязка баланса в которых составляет 118,3, 47,5, 39,7 и 32,4% соответственно. Получена высокая сбалансированность процессов поступления и трансформации НУ только в районах 1 и 8 (3,4–3,5%), и несколько ниже она в районах 4 и 10 (7,4–10,8%) (см. *табл. 5*).

Анализ потоков НУ для районов Каспийского моря показал важную значимость пространственного фактора в выраженности отдельных процессов. Поэтому была сделана попытка составить балансы НУ по иному принципу – отдельно для укрупненных акваторий моря с объединением районов в северной, средней и южной частях моря, а также в его западной и восточной половинах (*табл. 6*).

Такая региональная компоновка полученных расчетных данных позволяет существенно снизить дисбаланс между оцениваемыми потоками НУ. Суммарное поступление НУ в Каспий возрастает от 309,18 (северная часть) до 1 444,10 (средняя часть) и до 3 068,55 тыс. т НУ/год (южная часть моря). В северной части моря нагрузка по НУ распределена между загрязнением мор-

ской среды (56,1%), переносом из соседних акваторий (28,0%) и речным стоком (15,9%). В средней части моря она определяется вертикальным обменом (55,7%) и переносом из соседних районов (39,1%), а в южной части – в основном загрязнением в море (85,8%). Потери НУ в северной и южной частях моря обеспечиваются в основном процессами разложения/потребления НУ бактериями *B2* (80,4–84,2%) и выноса течениями (14,3–15,8%). В средней части роль бактерий в трансформации НУ снижается до 64,0%, их вынос течениями увеличивается до 27,1% и становится ощутимым вклад вертикального обмена (8,9%). При таком подходе к составлению баланса НУ сбалансированность рассмотренных процессов в средней части моря, оцениваемая по невязке баланса НП, составляет 6,9%, а для северной и южной частей моря она несколько ниже при невязке баланса НУ 13,2 и 26,6% соответственно (см. табл. 6).

**Таблица 5. Расчетный баланс НУ, тыс. т НУ/год, для отдельных районов Каспийского моря (моделирование, верхний слой; здесь и в таблице 6 в скобках – в процентах суммы  $\Sigma$  потоков; прочерк – в северной части моря поток не учитывается, в средней и южной – учитывается итоговый поток либо в приходной, либо в расходной части баланса)**

| Составляющие баланса НУ           | Акватория моря   |                |                 |                 |                  |
|-----------------------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|
|                                   | северная         |                | средняя         |                 | южная            |
|                                   | Западные районы  |                |                 |                 |                  |
|                                   | 1                | 4              | 5               | 7               | 9                |
| Приход<br>с речным стоком*        | 46,657 (42,4)    | 1,737 (1,9)    | 0,452 (0,3)     | 0,092 (<0,1)    | 3,612 (0,1)      |
| загрязнение в море                | 45,654 (41,5)    | 36,492 (40,6)  | 27,399 (16,0)   | 18,258 (2,3)    | 2592,011 (99,9)  |
| перенос из соседних районов       | 17,735 (16,1)    | 51,588 (57,5)  | 87,365 (50,9)   | 229,668 (28,3)  | 0,025 (<0,1)     |
| вертикальный перенос              | –                | –              | 56,395 (32,8)   | 561,951 (69,4)  | –                |
| Σ потоков                         | 110,046 (100,0)  | 89,817 (100,0) | 171,611 (100,0) | 809,969 (100,0) | 2595,648 (100,0) |
| Потери                            |                  |                |                 |                 |                  |
| потребление бактериями В2         | 105,725 (92,8)   | 68,505 (70,9)  | 203,564 (80,5)  | 238,751 (56,2)  | 2801,666 (78,5)  |
| вынос в соседние районы           | 8,197 (7,2)      | 28,188 (29,1)  | 49,180 (19,5)   | 186,280 (43,8)  | 554,915 (15,6)   |
| вертикальный перенос              | –                | –              | –               | –               | 211,573 (5,9)    |
| Σ потоков                         | 113,922 (100,0)  | 96,693 (100,0) | 252,744 (100,0) | 425,031 (100,0) | 3568,154 (100,0) |
| Баланс/невязка,%                  | –3,9/3,5         | –6,9/7,4       | –81,1/39,7      | 384,9/47,5      | –972,6/32,4      |
| Модуль нагрузки, тыс. т НУ/У, км³ | 0,690            | 0,787          | 0,326           | 1,335           | 1,943            |
|                                   | Восточные районы |                |                 |                 |                  |
|                                   | 2                | 3              | 6               | 8               | 10               |
| Приход<br>с речным стоком*        | 0,868 (1,6)      | –              | –               | –               | –                |
| загрязнение в море                | 45,630 (85,1)    | 45,618 (81,9)  | 9,148 (8,1)     | 18,254 (5,2)    | 36,513 (7,8)     |
| перенос из соседних районов       | 7,148 (13,3)     | 10,052 (18,1)  | 104,200 (91,9)  | 143,811 (41,3)  | 174,948 (37,3)   |
| вертикальный перенос              | –                | –              | –               | 186,558 (53,5)  | 257,833 (54,9)   |
| Σ потоков                         | 53,646 (100,0)   | 55,670 (100,0) | 113,348 (100,0) | 348,623 (100,0) | 469,294 (100,0)  |
| Потери                            |                  |                |                 |                 |                  |
| потребление бактериями В2         | 59,800 (84,2)    | 62,637 (88,3)  | 149,273 (48,2)  | 271,599 (75,3)  | 406,629 (96,5)   |
| вынос в соседние районы           | 11,204 (15,8)    | 8,298 (11,7)   | 41,055 (13,3)   | 88,137 (24,5)   | 14,810 (3,5)     |
| вынос из моря                     | –                | –              | –               | 0,645 (0,2)     | –                |
| вертикальный перенос              | –                | –              | 119,365 (38,5)  | –               | –                |
| Σ потоков                         | 71,004 (100,0)   | 70,935 (100,0) | 309,693 (100,0) | 360,381 (100,0) | 421,439 (100)    |
| Баланс/невязка,%                  | –17,4/28,4       | –15,3/24,6     | –196,3/118,3    | –11,8/3,4       | 47,9/10,8        |
| Модуль нагрузки, тыс. т НУ/У, км³ | 0,446            | 0,379          | 0,399           | 0,479           | 0,913            |

\* Здесь и в таблице 6 этот поток учитывает суммарное поступление в море НУ с речными водами и из рассредоточенных источников (с промышленными, муниципальными, сельскохозяйственными сточными водами, сбрасываемыми непосредственно в речную сеть бассейна моря на участках прибрежной зоны).

Таблица 6. Расчетный баланс НУ, тыс. т НУ/год, для укрупненных районов  
и в целом для Каспийского моря (моделирование, верхний слой)

| Составляющие баланса НУ           | Акватория моря  |                  |                  |                  | Все море         |
|-----------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                   | северная        | средняя          | южная            | западная         | восточная        |
| Приход с речным стоком*           | 49,262 (15,9)   | 0,544 (<0,1)     | 3,612 (0,1)      | 52,550 (1,4)     | 0,868 (0,1)      |
| загрязнение в море                | 173,394 (56,1)  | 73,603 (5,1)     | 2632,136 (85,8)  | 2719,814 (72,0)  | 155,163 (14,9)   |
| перенос из соседних районов       | 86,523 (28,0)   | 565,044 (39,2)   | 174,973 (5,7)    | 386,381 (10,2)   | 440,159 (42,3)   |
| вертикальный перенос              | –               | 804,904 (55,7)   | 257,833 (8,4)    | 618,346 (16,4)   | 444,391 (42,7)   |
| Σ потоков                         | 309,179 (100,0) | 1444,095 (100,0) | 3068,554 (100,0) | 3777,091 (100,0) | 1040,581 (100,0) |
| Потери                            |                 |                  |                  |                  |                  |
| потребление бактериями B2         | 296,667 (84,2)  | 863,187 (64,0)   | 3208,295 (80,4)  | 3418,211 (76,7)  | 949,938 (77,0)   |
| вынос в соседние районы           | 55,887 (15,8)   | 364,652 (27,1)   | 569,725 (14,3)   | 826,760 (18,6)   | 163,504 (13,2)   |
| вынос из моря                     | –               | 0,645 (<0,1)     | –                | –                | 0,645 (<0,1)     |
| вертикальный перенос              | –               | 119,365 (8,9)    | 211,573 (5,3)    | 211,573 (4,7)    | 119,365 (9,7)    |
| Σ потоков                         | 352,554 (100,0) | 1347,849 (100,0) | 3989,593 (100,0) | 4456,544 (100,0) | 1233,452 (100,0) |
| Баланс/невязка, %                 | 43,4/13,2       | 96,3/6,9         | –921,0/26,6      | –679,4/16,6      | 192,9/17,1       |
| Модуль нагрузки, тыс. т НУ/Н, км³ | 0,572           | 0,673            | 1,659            | 1,378            | 0,580            |
|                                   |                 |                  |                  |                  | 0,880            |

СЕКЦИЯ А3. Достижения и проблемы в моделировании изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов применительно для условий охотоморской Субарктики



Более наглядное представление о сбалансированности процессов получено на основе соответствующей компоновки расчетных данных при подразделении моря на западную и восточную акватории. Поступление НУ в западную акваторию моря составляет 3 777,09 тыс. т НУ/год (на 72,0% оно обеспечивается загрязнением в море, на 16,4% – процессами вертикального обмена и на 10,2% – переносом из соседних районов). В восточную акваторию моря поступает 1 040,58 тыс. т НУ/год, и это количество на 42,7% обеспечивается вертикальным обменом, на 42,3% – переносом из соседних районов и на 14,9% – процессами загрязнения морской среды. Потери НУ в западной и восточной акваториях моря на 76,7–77,0% связаны с активностью бактерий *B2*, на 13,6–18,2% – выносом течениями в соседние районы и на 4,7–9,7% – с вертикальным обменом. Невязки баланса НУ для этих акваторий моря близки и составляют 16,6–17,1% (см. табл. 6).

Объединение информации для западной и восточной акваторий моря позволяет составить баланс по НУ для моря в целом. При этом следует исключить из рассмотрения составляющие баланса по переносу (выносу) НУ течениями между соседними акваториями моря. Таким образом, получаем, что за год в море поступает 3 991,13 тыс. т НУ (72,0% – за счет источников загрязнения в море и 26,7% – процессов вертикального обмена), а потери НУ составляют 4 699,73 тыс. т НУ/год (на 93,0% они связаны с процессами потребления НУ бактериями *B2* и на 7% – с вертикальным обменом). Таким образом, полученная невязка между приходной и расходной составляющими баланса НУ для всего моря составляет вполне приемлемую величину – 16,4% (см. табл. 6). Такая невязка баланса вполне допустима, так как она соответствует неопределенности исходной информации и точности метода оценки нагрузки по НУ на экосистему моря. Также следует принять во внимание, что в данном случае при расчетах рассматривалась лишь одна (растворенная в воде) фракция НУ, способная образовывать на поверхности моря нефтяные пленки, и не учитывалось ее потенциальное поступление в воду при трансформации других фракций НУ. Известно, что количество образующейся нефтяной эмульсии (пленки) по объему через некоторое время может превысить в 2–3 раза объем свежей порции НУ, попавшей в море. В зависимости от плотности исходной НУ время жизни их пятен составляет от суток до нескольких месяцев, а легкой НУ – от суток до нескольких суток [Иванов, 2007].

Полученная информация по балансу НУ, однако, дает основание для оценки сути проблемы загрязнения по НУ Каспийского моря. Прежде следует отметить, что авторам не известны работы, в которых приводится баланс по НУ для отдельных районов и Каспийского моря в целом, по крайней мере, по двум причинам. Главное – отсутствие у специалистов апробированного алгоритма (или модели) для расчетов, учитывающего весь набор факторов, влияющих на изменение концентраций НУ в морской среде. Вторая причина – разрозненность имеющихся данных и неопределенность информации, по которым следует оценивать нагрузку по НУ на экосистему водоема. Они вместе ставят под сомнение саму возможность корректного расчета такого баланса для отдельных районов и моря в целом. В данном исследовании для расчетов и оценки баланса веществ с учетом важнейших факторов среды использовалась CNPSi-модель [Леонов, 2008] – инструмент для водно-экологических исследований. Впервые для составления баланса НУ использованы имеющиеся данные не

только о поступлении в море НУ из внешних, но и таких источников, которые расположены в самом море и которые обеспечивают поступление значительных количеств НУ в морскую среду. Влияние таких источников на загрязнение моря оценивается на основе современных наблюдений со спутников, эти источники подразделяются на естественные (грифоны и подводные вулканы, выделения из которых формируют пленки НУ на поверхности моря) и промышленные (производственные комплексы по добыче НУ в море, в частности, в наиболее загрязненном районе 9 – «Нефтяные камни»). Разовое поступление НУ в морскую среду из последнего, оцененное в ~32 тыс. т [Боев, Матвеев, 2008], сопоставимо с годовым выносом в море НП со стоком Волги – 35 тыс. т [Лебедева, 2001]. Если допустить, что таких выбросов в течение года может быть несколько, то полученная в данном исследовании невязка в 16,4% будет легко компенсирована.

Значимость загрязнения морской среды НУ при составлении их балансов оценивалась по вычисленному для каждого района модулю нагрузки – соотношению суммарных количеств поступающих за год НУ в поверхностный слой в данный район и общего объема его вод (для глубоководных районов рассчитывался среднегодовой объем поверхностного слоя с учетом его изменения в отдельные месяцы). Расчеты показывают, что в северной части моря модуль нагрузки повышен в западных районах 1 и 4 (соответственно 0,690 и 0,787 тыс. т НУ/км<sup>3</sup>), загрязнение которых наиболее опасно своими последствиями из-за высокой биопродуктивности указанных районов. Пониженные значения модуля нагрузки характеризуют районы 2, 3, 5, 6 и 8 (0,326–0,479 тыс. т НУ/км<sup>3</sup>), а наиболее высокие они – в районах 7, 9 и 10 (0,913–1,943 тыс. т НУ/км<sup>3</sup>), отличающиеся высокими суммарными поступлениями НУ (см. табл. 5).

Укрупнение районов при составлении баланса НУ позволяет видеть, что модуль нагрузки по НУ на морскую среду возрастает (в 2,9 раза) с севера на юг (составляет 0,572, 0,673 и 1,659 тыс. т НУ/км<sup>3</sup> соответственно в северной, средней и южной частях моря) и снижается (в 2,4 раза) с запада на восток (1,378 и 0,580 тыс. т НУ/км<sup>3</sup> соответственно в западной и восточной частях моря). Такая компоновка районов показывает формальное распределение роли источников нагрузки по акваториям моря и соотношение количеств поступающих за год НУ на единицу объемов вод верхнего слоя (см. табл. 6).

Для всего моря модуль нагрузки по НП на экосистему составляет 0,88 тыс. т НУ/км<sup>3</sup>, который нивелирует все особенности пространственного распределения источников нагрузки, их значимость и последствия для отдельных районов моря. Теоретически можно контролировать только один внешний источник – речной сток (вместе с промышленными, муниципальными и сельскохозяйственными стоками), чтобы снизить его роль в нагрузке по НУ на водоем. Однако по отношению ко всему водоему количественно роль этого источника в нагрузке по НУ составляет всего 1,3%, а основное количество НУ (72%) поступает в морскую среду в самом море из неконтролируемых естественных (грифоны и подводные вулканы) и промышленных (сбросы из крупных промышленных комплексов) источников (см. табл. 6).

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКОСИСТЕМЫ ТАТАРСКОГО ПРОЛИВА (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

До 1991 г. концентрации НУ в водах открытой части Японского моря были в пределах 0,02–0,04 мг/л и, видимо, не превышали ПДК (0,05 мг/л). Загрязнение Японского моря происходило за счет поступления сточных вод с берега от промышленных и коммунальных предприятий, от морского транспорта и рыбодобывающего флота, потерь при перевозках нефти, за счет аварийных и эксплуатационных разливов нефтесодержащих вод с танкеров, нефтебаз, на территориях портов, сбросов льяльных и балластных вод, с речными водами. Наибольшие количества загрязнений поступают в бух. Золотой Рог и Амурский зал. (соответственно 259 и 117 млн. т м<sup>3</sup> сточных вод, или 55 и 25% общего их количества). Количество НУ, поступающих в Амурский залив, составляет, т/год: с дампингом грунта – 525, с речным стоком – 380, от транспорта – 70, с берега – 57, из атмосферы – 6 (соответственно 50,5, 37, 7, 5, 0,5%). Основное количество НУ (87,5%) обеспечивается поступлением при дампинге грунта и с речным стоком [Лебедева, 2001].

Отмечено высокое загрязнение шельфовых вод Сахалина, оно возрастает с юга на север. Загрязнение Татарского пролива происходит в результате сброса коммунальных и промышленных сточных вод городов, предприятий и сельскохозяйственных комплексов с западного побережья Сахалина, с речным стоком (с материка и с острова). Оцененное ежегодное поступление НУ с о. Сахалин в Татарский пролив составляет 100 т (68% со сточными водами населенных пунктов и предприятий). В последние годы наблюдается рост количеств НУ, выносимых в пролив с реками Сахалина [Лебедева, 2001].

Хроническое загрязнение НУ акваторий наблюдается вблизи морских портов западного побережья о. Сахалин. Например, на рейде Холмска в 1991–1994 гг. отмечалось загрязнение вод по НУ до 9 ПДК [Израэль и др., 1995]. Вблизи городов Углегорск, Томари и Александровска локальные загрязнения морских вод по НУ могли временно достигать сотен ПДК [Шапоренко, 1997].

В связи с загрязненностью морской среды и с поступлением значительных количеств НУ из индустриальных районов Приморья и Японии экологическую обстановку нельзя считать благополучной и в других районах Японского моря [Немировская, 1999]. Наблюдения со спутников выявили в Татарском проливе районы с постоянными источниками загрязнения морской среды, обнаруживаемого по нефтяным пятнам [Иванов, Затягалова, 2007]:

- прол. Невельского, по дну которого проложен нефтепровод с о. Сахалин на материк; по нефтепроводу круглогодично идет перекачка нефти (~1,5 млн. т нефти в год); периодически случаются утечки на морской части нефтепровода;
- порт Де-Кастри с нефтехранилищами и терминалом для танкеров; с декабря 2006 г. из порта осуществляются круглогодичные перевозки нефти супертанкерами;

- г. Александровск-Сахалинский – портовый рейд, устье р. Большая Александровка; загрязнения поступают от нефтебазы и из порта;

- г. Холмск, порт, паромная переправа на материк; загрязнение от города, нефтебазы, за счет активного торгового и рыболовного судоходства; при аварии дноуглубительного судна «Христофор Колумб» 8.09.2004 г. произошел разлив мазута и дизтоплива (вылилось ~200 т НУ).

Возрастающие в последние годы масштабы разработки и эксплуатации месторождений углеводородного сырья на шельфе Сахалина усиливают интерес к современным исследованиям условий загрязнения морской среды по НУ, их перераспределению и биотрансформации при океанологических условиях, характерных для шельфовых участков Сахалина. Первые исследования условий загрязнения морских вод шельфа Сахалина были связаны с оценками переноса и перераспределения НУ в связи с аварийными ситуациями (нефтяные разливы). Для имитации условий на шельфе Сахалина на модели рассматривались ситуации загрязнения морской среды – от постоянной утечки НУ ( $12\,720\text{ м}^3$  за 10 сут) до аварийных (залповых) разливов нефти ( $>75\,000\text{ м}^3/\text{сут}$ ), причем, имитировались сценарии для разных участков шельфа, в разные сезоны, при разных погодных условиях [Кочергин и др., 1998, 1999]. В рамках проекта «Сахалин-1» на модели имитировали вариант аварийного разлива нефти на акватории восточного шельфа Сахалина с учетом ее поступления в течение 3–21 сут с интенсивностью  $3\,400\text{ т/сут}$ ; при этом контролировалось распространение и протяженность пятна НУ, а также возможность выноса нефти и загрязнения ею береговой зоны [Патин, 2001].

Задача данного исследования – оценка потенциального загрязнения морской среды, получение фоновых концентраций НУ и воспроизведение условий их биотрансформации в водах Татарского пролива. Процессы биотрансформации НУ и их перенос водными массами завершают деградацию НУ и их рассредоточение в морской среде [Немировская, 2004]. В целом эти два процесса ответственны за самоочищение морской среды, в результате которого она освобождается от избытков НУ (в том числе – антропогенного происхождения). При определении предельно допустимых нагрузок на морскую среду по НУ в первую очередь должны приниматься во внимание скорости разрушения НУ за счет биodeградации и химического окисления [Ильинский, Семененко, 2001]. Исследования показали, что в естественных условиях длительность процесса самоочищения морской среды меняется от недели до года [Патин, 2001].

Условия функционирования экосистемы Татарского пролива изучались на основе характерных океанологических параметров морской среды (температура, освещенность, прозрачность воды, биогенная нагрузка, водообмен между соседними акваториями) с помощью CNPSi-модели [Леонов, 2008]. В результате этих работ оценены условия биотрансформации биогенных веществ, внутригодовые изменения их концентраций и биомасс микроорганизмов (гетеротрофных бактерий, фито- и зоопланктона) в трех районах Татарского пролива [Леонов и др., 2010]. В данной работе для этих районов приводятся полученные результаты моделирования сезонной динамики НУ и биомасс НУ-окисляющих бактерий *B2*, а также оцененные значения балансов НУ для выделенных районов Татарского пролива. Подразделение акватории пролива на районы 1–3 показано на *рисунке 4*, а их морфометрические характеристики приведены в *таблице 7*.



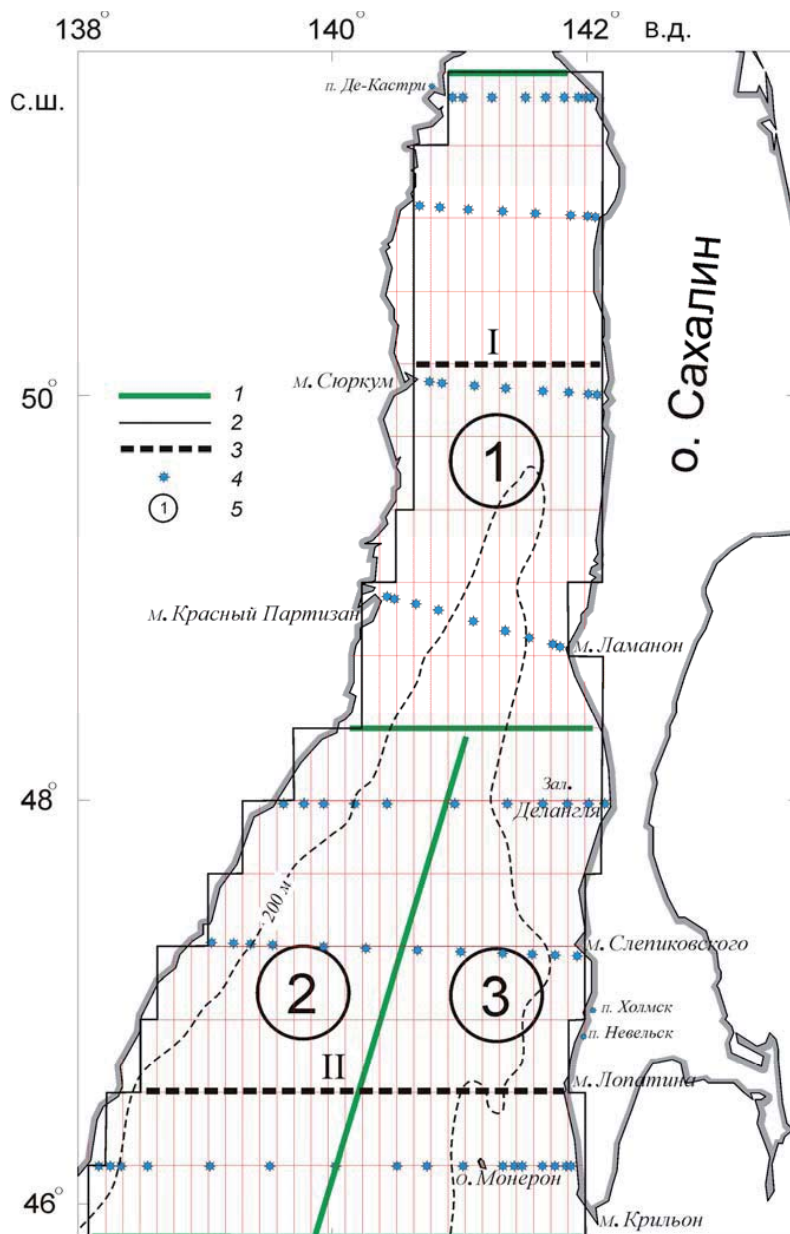


Рис. 4. Акватория Татарского пролива и ее подразделение на районы 1–3 (1 – границы районов, 2 – границы расчетной сетки, 3 – положение станций на стандартных разрезах, 4 – океанографические станции, 5 – номера районов)

Таблица 7. Морфометрические характеристики выделенных районов в Татарском проливе

| Номер региона                         | 1     | 2      | 3      |
|---------------------------------------|-------|--------|--------|
| Средняя глубина, м                    | 119,0 | 789,0  | 503,0  |
| Площадь зеркала, тыс. км <sup>2</sup> | 38,6  | 25,4   | 25,2   |
| Объем вод, тыс. км <sup>3</sup>       | 4,593 | 20,041 | 12,676 |

Район 1 имеет наименьшую среднюю глубину ( $d=119$  м) и объем водных масс ( $V=4,593 \times 10^3$  км<sup>3</sup>) при площади зеркала воды ( $S=38,6 \times 10^3$  км<sup>2</sup>), район 2 – наибольшую среднюю глубину ( $d=789$  м) и объем водных масс ( $V=20,041 \times 10^3$  км<sup>3</sup>). Площади зеркала воды в районах 2 и 3 практически равны –  $S=(25,2-25,4) \times 10^3$  км<sup>2</sup>. Нагрузка по НУ на районы 1–3 оценивалась в численных экспериментах на модели: были подобраны такие значения скоростей поступления НУ в водную среду, при которых итоговое их содержание в конце лета – начале осени было в разных районах в пределах 1–4 ПДК, что подтверждается наблюдениями.

Ежемесячное загрязнение морских вод по НУ в районе 1 со стоком Амура и в районах 2–3 за счет водообмена на юге с районами Японского моря невелико, учитывая низкие значения соотношений расход воды/объем воды в районах 1–3. Основное количество НУ поступает в поверхностный и подповерхностный слои соответственно при загрязнении вод отходами морского транспорта и при естественном выделении НУ из донных осадков в водную среду (по 0,762 г НУ/(м<sup>3</sup> год), или 1 332,83–1 740,06 тыс. т НУ/год) (табл. 8).

**Таблица 8. Расчетные значения потоков НУ, участвующих в нагрузке по НУ поверхностного слоя (числитель – г НУ/(м<sup>3</sup> год), знаменатель – тыс. т НУ/год; потоки: 1 – перенос из внешних водных объектов, 2 – вынос в соседние районы, 3 – привнос из соседних районов, 4 – загрязнение морской среды за счет судоходства и морского транспорта)**

| Район | Поток                                 |                                        |                                        |                                          |
|-------|---------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
|       | 1*                                    | 2                                      | 3                                      | 4                                        |
| 1     | $\frac{1,346 \times 10^{-4}}{0,1638}$ | $\frac{8,670 \times 10^{-5}}{0,2002}$  | $\frac{2,371 \times 10^{-5}}{0,0413}$  | $\frac{7,624 \times 10^{-1}}{1\,740,06}$ |
| 2     | $\frac{1,420 \times 10^{-4}}{0,4214}$ | $\frac{1,244 \times 10^{-1}}{64,0226}$ | $\frac{3,981 \times 10^{-4}}{0,8313}$  | $\frac{7,624 \times 10^{-1}}{1\,357,69}$ |
| 3     | $\frac{2,382 \times 10^{-5}}{0,0375}$ | $\frac{3,200 \times 10^{-4}}{0,7089}$  | $\frac{1,254 \times 10^{-1}}{64,0420}$ | $\frac{7,624 \times 10^{-1}}{1\,332,83}$ |

\* Для района 1 – из р. Амур, для районов 2 и 3 – из Японского моря.

На рисунке 5а, б показаны изменения в течение года соответственно расчетных концентраций НУ и биомасс  $B_2$  в районах 1–3 Татарского пролива, а на рисунке 6 – показана динамика значений удельной скорости роста бактерий  $B_2$  ( $\tau B_2$ ).

С начала года содержание НУ в водах районов 1–3 увеличивается от 0,05 мг НУ/л со скоростями  $1,509 \times 10^{-3}$ ,  $1,506 \times 10^{-3}$  и  $1,174 \times 10^{-3}$  мг НУ/(л сут) соответственно до 200, 152 и 156 сут. К этому времени содержание НУ превышает значение ПДК в районах 1–3 соответственно в 6,4, 4,3 и 4,5 раза. Затем происходит снижение концентраций НУ в районах 1–3 соответственно до 0,111, 0,009 и 0,015 мг НУ/л (к 240, 202 и 189 сут), после чего начинается формирование второго в году максимума концентраций НУ. В районах 1 и 2 он достигается к 269 и 262 сут (соответственно 0,142 и 0,101 мг НУ/л), а в районе 3 – на 293 сут (0,258 мг НУ/л). К 308–346 сут содержание НУ в районах 1–3 снижается до 5–6 мкг НУ/л, и до конца года оно остается таким низким в районе 3, а в районах 2 и 1 возрастает – соответственно до 0,0162 и 0,101 мг НУ/л. Полученные расчетные концентрации НУ в водах Татарского пролива близки имеющимся измерениям. Отметим, что в водах Татарского пролива в

целом выше расчетные концентрации НУ и шире диапазон их изменения в течение года, чем в водах зал. Анива (Охотское море) [Леонов, Пищальник, 2005]. Это связано не столько с перераспределением концентраций НУ в водах Татарского пролива, сколько с заданными условиями нагрузки по НУ на районы 1–3 Татарского пролива.

Развитие биомасс бактерий *B2* начинается в районе 3 со 118 сут, а в районах 1 и 2 соответственно на 43 и 19 сут позднее. В течение года в водах районов 1–3 образуется по два максимума *B2*. Первый отмечается в указанных районах соответственно на 219, 190 и 173 сут (0,0291, 0,0294 и 0,0517 мг С/л), а значения их удельной скорости роста  $\tau B2=0,252$  сут<sup>-1</sup> свидетельствуют о высокой окислительной активности бактерий *B2*.

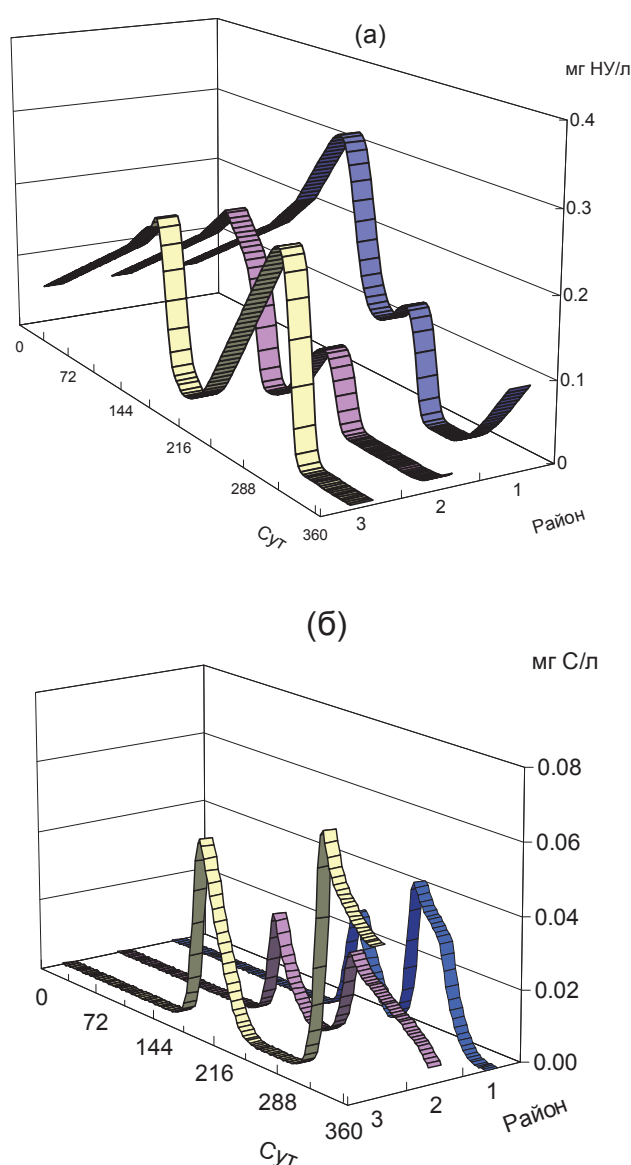


Рис. 5. Внутригодовая динамика расчетных концентраций НУ (а) и биомасс НУ-окисляющих бактерий *B2* (б) в поверхностном слое в районах 1-3 Татарского пролива Японского моря

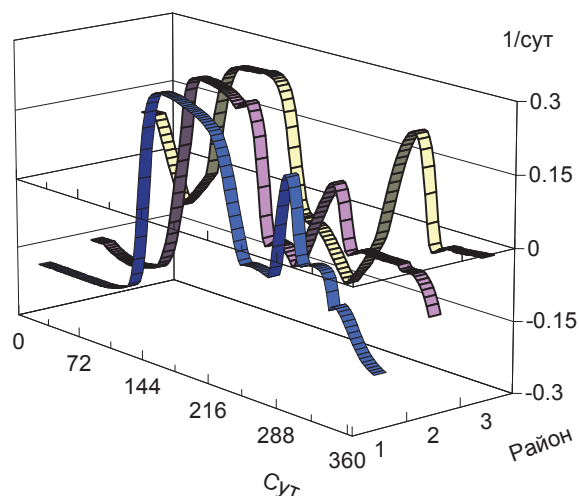


Рис. 6. Расчетная внутригодовая динамика удельной скорости роста биомассы бактерий *B2* в поверхностном слое в районах 1–3 Татарского пролива Японского моря

Образование второго максимума биомасс *B2* в районах 1–3 приходится соответственно на 286, 279 и 312 сут (0,0436, 0,0272 и 0,0663 мг С/л). Повышенные значения  $\tau_{B2}$  в районах 1–3 отмечаются на 10–14 сут раньше – соответственно на 276, 267 и 296 сут (0,158, 0,115 и 0,213 сут<sup>-1</sup>). Окислительная активность бактерий *B2* при формировании их второго максимума в районах 1–2 и 3 характеризуется грациями «средняя» и «высокая» соответственно.

Результаты моделирования позволяют увязать расчетные концентрации НУ как потенциального компонента загрязнения морской среды и биомасс *B2* с оцененными внешними и внутренними потоками НУ при составлении их баланса и анализе условий биотрансформации веществ в водах Татарского пролива. Следует отметить, что экспериментальные исследования в целом не обнаруживают корреляции между значениями микробной минерализации НУ и их содержанием в акваториях северных морей [Ильинский, Семененко, 2001].

Выделены изменения скорости потребления НУ (ПНУ) бактериями *B2* в зависимости от среднемесячной температуры воды  $T_w$  в водах районов 1–3. Активность бактерий *B2* в зависимости от  $T_w$  возрастает только от мая к июлю–августу; к августу–сентябрю она снижается; затем к октябрю–ноябрю, когда  $T_w$  снижается, ПНУ возрастает и уменьшается к концу года при общем снижении  $T_w$ . Наибольшие скорости ПНУ бактериями *B2* получены для районов 1 (октябрь) и 3 (ноябрь–декабрь) (при  $T_w=6,5$  и  $4,9-3,4^\circ\text{C}$  соответственно). В эти месяцы повышены скорости поступления НУ в районы 1 (0,093 мг НУ/(л мес), или 0,003 мг НУ/(л сут)) и 3 (0,090–0,077 мг НУ/(л мес), или 0,003–0,0025 мг НУ/(л сут)).

Значения ПНУ бактериями *B2* характеризуют их окислительную активность. Выявленные два повышенных значения ПНУ бактериями *B2* соответствуют по времени максимумам биомасс *B2* в районах 1–3. В январе–апреле практически нет потребления НУ бактериями *B2* из-за низких  $T_w$ . В районе 1 основное ПНУ бактериями *B2* происходит в июле–ноябре, а в районах 2 и 3 – в июне–декабре. В районах 1 и 2–3 при снижении биомассы бактерий *B2* (соот-



ветственно в августе и в августе–сентябре) выделяются периоды пониженной активности бактерий *B2* в отношении ПНУ.

За год бактерии *B2* в районах 1–3 потребляют в поверхностном слое 1,379, 1,183 и 2,694 мг НУ/л, что соответствует средним скоростям  $9,01 \times 10^{-3}$ ,  $5,53 \times 10^{-3}$  и  $1,26 \times 10^{-2}$  мг НУ/(л сут) (учитывая продолжительность активности *B2* в районах 1 и 2–3 – 5 и 7 месяцев, или 153 и 214 сут). Значения потребления кислорода бактериями *B2* использованы в качестве дополнительного критерия их окислительной активности. Для океанографических условий Татарского пролива и заданного режима загрязнения его водной среды по НУ оцененное количество  $O_2$ , требуемое на окисление 1 мг НУ, составляет 2,815 мг  $O_2$ .

## ВЫВОДЫ

Для отдельных морских экосистем имеются, как правило, отдельные разрозненные наблюдения за изменением концентраций НУ, которые практически невозможно использовать для характеристики их сезонной динамики и особенностей трансформации в морской среде. Для большинства морских водоемов отсутствуют также надежные сведения о нагрузке по НУ на морские экосистемы. Использование математического моделирования показало, что оценка сезонной динамики концентраций НУ и особенностей их биотрансформации в морской среде должна проводиться для каждого морского водоема строго индивидуально с учетом условий формирования внешней нагрузки по НУ на морские экосистемы.

В связи с расширением и активным развитием за последние годы производственной деятельности по эксплуатации морских месторождений нефтяных углеводородов на шельфе Сахалина необходимо совершенствовать систему оперативных спутниковых наблюдений за состоянием загрязненности нефтяными углеводородами акваторий дальневосточных морей и, в частности, шельфа Сахалина и Охотского моря. При этом следует обратить внимание, что по результатам таких наблюдений необходимо не просто отмечать присутствие нефтяного загрязнения в том или ином районе, а иметь возможность переводить фиксируемое загрязнение в количественные оценки значений концентраций нефтяных углеводородов (или определять потенциальную нагрузку на морскую среду). Подобные спутниковые наблюдения в настоящее время регулярно проводятся на Каспийском море, что позволяет с помощью математического моделирования проводить расчеты и выявлять потенциальное негативное воздействие, определяемое повышенной нагрузкой за счет хозяйственной деятельности, на природную морскую среду.

Зарубежный опыт эксплуатации морских месторождений нефтяных углеводородов, а также события в Мексиканском заливе за прошедший год показали, что разработка морских месторождений нефтяных углеводородов потенциально опасна своими масштабами загрязнения морской среды. К таким ситуациям надо готовиться заранее, чтобы оперативно разрешать проблемы, связанные с ликвидацией последствий загрязнения морской среды.

Становится очевидным, что морские экосистемы, на акватории которых ведутся масштабные разработки месторождений углеводородного сырья, должны стать объектами специальных международных исследований условий потенциального загрязнения морских экосистем и разных сценариев их лик-

видации. Специально сформированная группа специалистов, владеющих методикой кратко- и долгосрочного прогноза состояния морской среды, должна разработать разные сценарии возможных разномасштабных загрязнений морских акваторий нефтяными углеводородами и их реализации на компьютерах для составления серии прогностических решений и получения четких рекомендаций по ликвидации последствий таких событий для сохранения экологического потенциала морской среды и состояния качества морских акваторий.

## ЛИТЕРАТУРА

- Боев А. Г., Матвеев А. Я. Радиолокационный метод оценки параметров нефтяных загрязнений морской поверхности // Исследования Земли из космоса. 2008. № 5. С. 29–36.
- Иванов А. Ю. Стики и пленочные образования на космических радиолокационных изображениях // Исследования Земли из космоса. 2007. № 3. С. 73–96.
- Иванов А. Ю., Востоков С. В., Ермошкин И. С. Картографирование пленочных загрязнений морской поверхности по данным космической радиолокации (на примере Каспийского моря) // Исследования Земли из космоса. 2004. № 4. С. 82–92.
- Иванов А. Ю., Голубов Б. Н., Затыгало В. В. О нефтегазоносности и разгрузке полземных флюидов в южной части Каспийского моря по данным космической радиолокации // Исследования Земли из космоса. 2007. № 2. С. 62–81.
- Иванов А. Ю., Затыгало В. В. Картографирование пленочных загрязнений моря с использованием космической радиолокации и географических информационных систем // Исследование Земли из космоса. 2007. № 6. С. 46–63.
- Израэль Ю. А., Цыбань А. В., Панов Г. В. и др. Современное состояние экосистем морей Российской Федерации // Метеорология и гидрология. 1995. № 9. С. 6–21.
- Ильинский В. В., Семенов М. Н. Распространение и активность углеводородокисляющих бактерий в центральном полярном бассейне, Карском и Белом морях // Опыт системных океанологических исследований в Арктике. М.: Науч. мир, 2001. С. 364–373.
- Кочергин И. Е., Богдановский А. А., Будаева В. Д. и др. О технологии моделирования нефтяных разливов на восточном шельфе Сахалина в рамках проведения оценки их воздействия на окружающую среду // Сб. науч. тр. ДВНИГМИ. Владивосток: Дальнаука. 1998. Вып. 1. С. 171–183.
- Кочергин И. Е., Богдановский А. А., Мишуков В. Ф. Характеристики вероятных сценариев разлива нефти для сахалинского шельфа по результатам моделирования // Сб. науч. тр. ДВНИГМИ. Владивосток: Дальнаука. 1999. Вып. 2. С. 218–229.
- Кукса В. И. Южные моря (Аральское, Каспийское, Азовское и Черное) в условиях антропогенного стресса. СПб.: Гидрометеиздат, 1994. 320 с.
- Куликова В. Ю. О самоочищении Северного Каспия от нефтяного загрязнения // Биология внутренних вод: проблемы экологии и биоразнообразия. Борок. 2002. С. 124–131.
- Лебедева Е. С. Загрязнение шельфа морей России // Геоэкология шельфа и берегов морей России. М.: Ноосфера, 2001. С. 289–359.
- Леонов А. В. Моделирование природных процессов на основе имитационной гидроэкологической модели трансформации соединений C, N, P, Si: Учебное пособие // Южно-Сахалинск: Сахалинский гос. ун-т, 2008. 168 с.
- Леонов А. В., Пицальник В. М. Анализ условий трансформации нефтяных углеводородов в морских водах и моделирование процесса в заливе Анива // Вод. ресурсы. 2005. Т. 32. № 6. С. 712–726.
- Леонов А. В., Пицальник В. М., Чичерина О. В. Трансформация биогенных веществ в водах Татарского пролива (Японское море): анализ результатов математического моделирования // Вод. ресурсы. 2010. Т. 37. № 1. С. 35–59.
- Леонов А. В., Фацук Д. Я. Биотрансформация нефтяных углеводородов в Каркинитском заливе Черного моря // Вод. ресурсы. 2006. Т. 33. № 3. С. 311–326.

**Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья**

*Леонов А. В., Чичерина О. В.* Роль микроорганизмов в трансформации соединений органических элементов в экосистеме Каспийского моря: оценка с помощью математического моделирования // Вод. ресурсы. 2004. Т. 31. № 4. С. 436–450.

*Маилян Р. А.* Загрязнение Каспийского моря и его отрицательное влияние на рыбную и другие отрасли народного хозяйства // Загрязнение Волго–Каспия и перспективы рыбного хозяйства. Астрахань, 1966. С. 49–62.

Научные основы устойчивого и регионального распределения промысловых объектов Каспийского моря. М.: ВНИРО, 1998. 167 с.

*Немировская И. А.* Углеводороды в экосистеме Японского моря // Геохимия. 1999. № 1. С. 44–50.

*Немировская И. А.* Углеводороды в океане (снег–лед–вода–взвесь–донные осадки). М.: Науч. мир, 2004. 328 с.

*Патин С. А.* Нефть и экология континентального шельфа. М.: ВНИРО, 2001. 247 с.

*Шапоренко С. И.* Загрязнение прибрежных морей России // Вод. ресурсы. 1997. Т. 24. № 3. С. 320–327.

Ф. Лефевр<sup>1</sup>, А. Л. Сальман<sup>2</sup> (a.salman@es-pas.com)

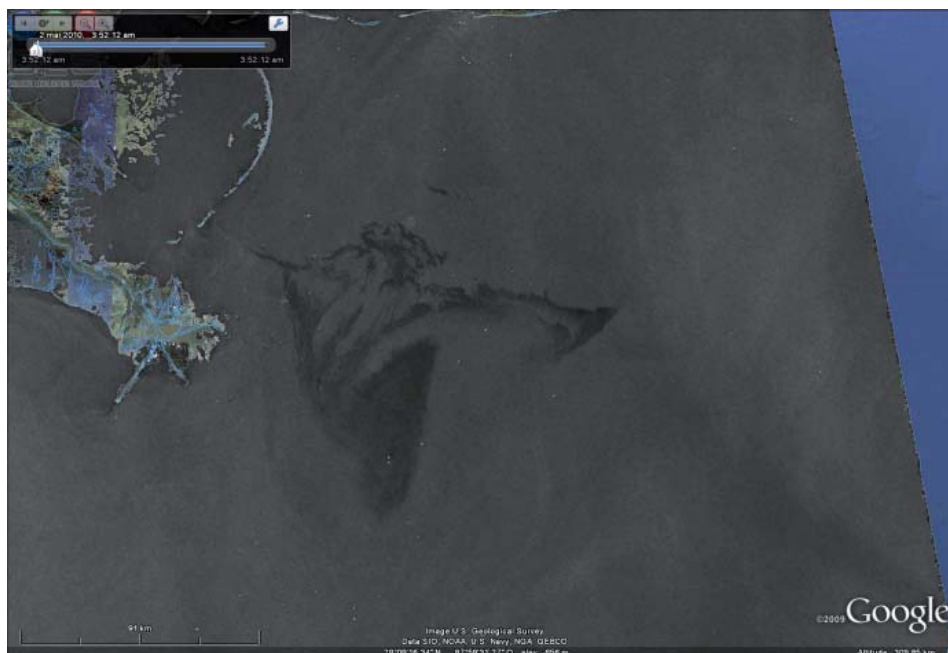
<sup>1</sup> Компания CLS; <sup>2</sup> ЗАО «ЭС-ПАС»

## Использование данных дистанционного зондирования Земли, морских буев и математических моделей при аварийных разливах нефти

Французская компания CLS (филиал французского Национального центра космических исследований CNES и Французского исследовательского института освоения моря IFREMER) оказывает своим клиентам комплексные услуги при устранении последствий аварийных разливов нефти, обеспечивая обнаружение нефтяного пятна, наблюдение за его перемещениями и предсказание его дальнейшего дрейфа.

Обнаружение нефтяного пятна и оценка масштабов чрезвычайной ситуации производятся путем обработки радиолокационных спутниковых изображений и выявления на них контуров загрязнения. С помощью морских дрейфующих буев, оснащенных передатчиками спутниковой системы определения местоположения и сбора данных Argos, производится постоянный мониторинг перемещений нефтяного пятна. Спутниковые данные о ветре и поверхностных течениях, а также математические модели дрейфа позволяют точно описывать состояние морской среды и предсказывать дальнейшее развитие чрезвычайной ситуации.

Технология обнаружения нефтяных разливов базируется на обработке изображений, получаемых со спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой. Возможность получать радиолокационные изображения в любое время суток и при любой погоде позволяет организовать постоянный мониторинг обстановки в зоне морских нефтяных разработок.

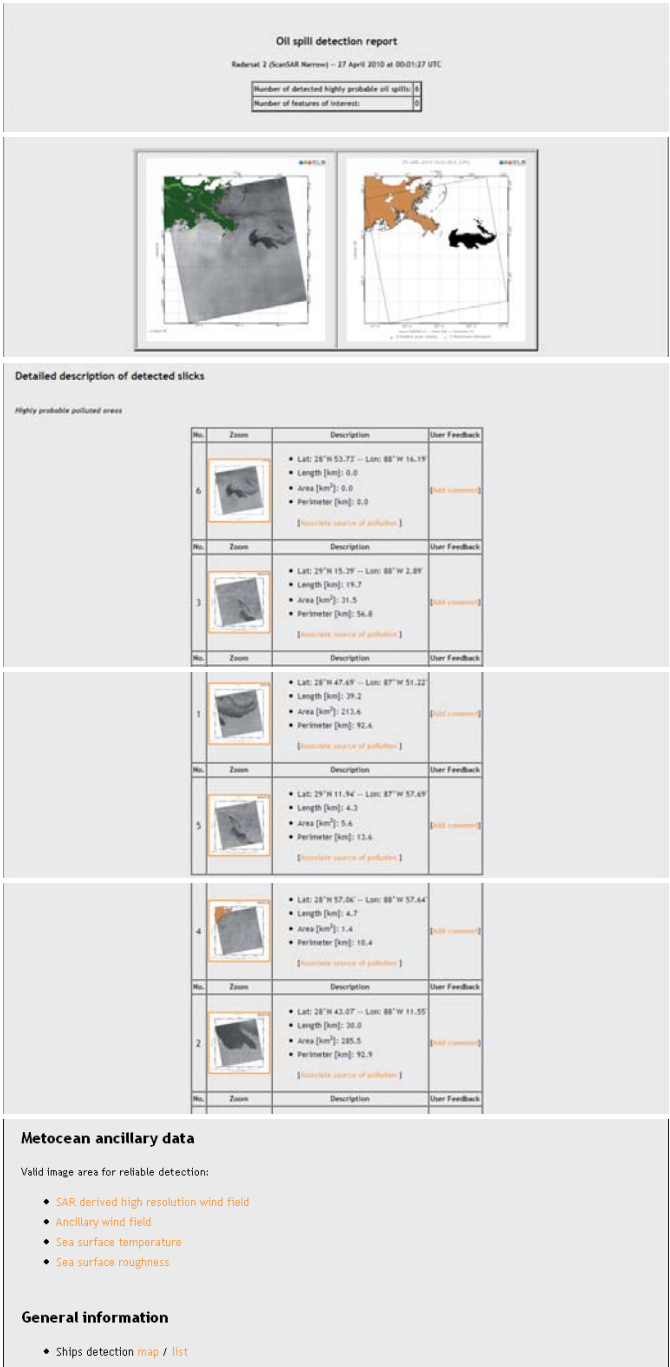


СЕКЦИЯ А3. Достижения и проблемы в моделировании изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов применительно для условий охотоморской Субарктики



# Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья

При обеспечении такого мониторинга компания CLS регулярно формирует отчеты об обнаружении разливов нефти, содержащие информацию о результатах обработки радиолокационных изображений. В отчет помещаются сведения обо всех нефтяных пятнах, обнаруженных на поверхности воды, приводится детальное описание каждого обнаруженного пятна, дается информация о метеорологических и океанографических условиях в исследуемой зоне, указываются данные об обнаруженных морских судах и прочие важные сведения.

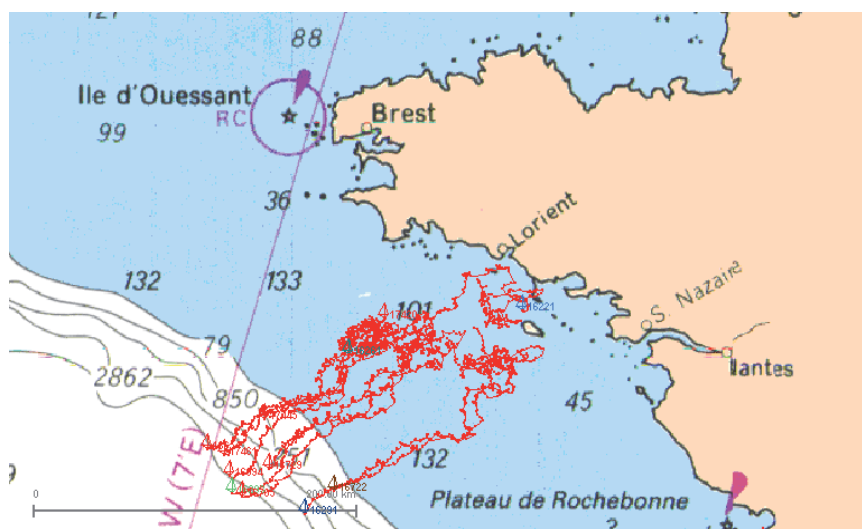


Сформированный отчет об обнаружении нефтяных пятен незамедлительно предоставляется в распоряжение организаций, обеспечивающих ликвидацию последствий техногенных катастроф. При этом ответственные лица срочно оповещаются о создавшейся ситуации с использованием всех доступных средств связи.

Для слежения за перемещениями нефтяного пятна используются дрейфующие буи спутниковой системы Argos. Буи, оснащенные спутниковыми радиомаяками, помещаются в эпицентр загрязнения и начинают дрейфовать вместе с пятном под действием ветра и поверхностных течений.

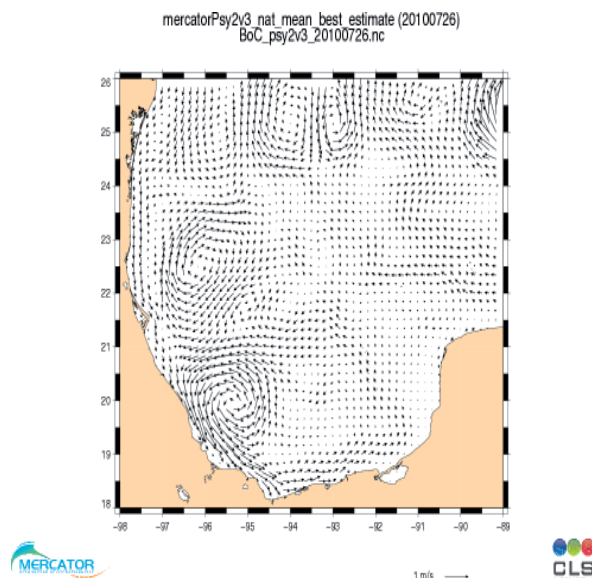


Радиомаяк каждого буя периодически отправляет на спутники короткие сообщения с координатами буя, определенными с помощью встроенного приемника GPS. Спутниковая система, принимает, обрабатывает и передает конечному пользователю через сеть Internet информацию о перемещениях всех буев, позволяя дистанционно оценивать дрейф нефтяного пятна.

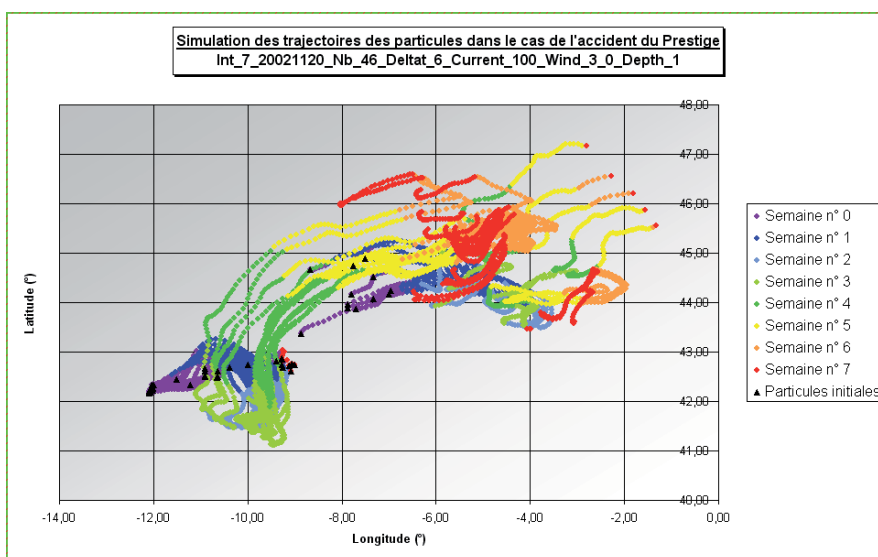


Прогнозирование развития кризисной ситуации и предсказание ее возможных последствий выполняются на основе метеорологических и океанографических данных с использованием математических моделей дрейфа.

Регулярно формируется семидневный прогноз метеорологической обстановки (ветер, волнение), оперативно предоставляемый конечному пользователю. Наряду с этим каждый час рассчитывается трехдневный прогноз морских поверхностных течений с двухминутным временным разрешением.



Информация о начальном положении нефтяного пятна, поверхностных течениях, температуре воды, ветре над морской поверхностью и глубине океана в исследуемой зоне закладывается в математическую модель. Расчеты корректируются с учетом данных, поступающих от буев системы Argos, дрейфующих вместе с пятном, а также с использованием результатов обработки спутниковых радиолокационных снимков. В результате формируется прогноз дрейфа нефтяного пятна.



Службы компании CLS предоставляют оперативные услуги по выявлению и мониторингу кризисных ситуаций в двух режимах. Прежде всего организуется постоянное наблюдение за морской акваторией путем регулярной обработки радиолокационных изображений, получаемых с космических аппаратов. При этом проводятся лишь работы по выявлению разливов нефти в исследуемой зоне. Отчеты о результатах работ предоставляются заказчику с низкой периодичностью (например, раз в неделю).

В случае обнаружения нефтяного пятна работа всех служб переводится в режим чрезвычайной ситуации. В этом режиме реализуется весь комплекс мероприятий: наблюдение за перемещениями пятна с помощью радиолокационной спутниковой съемки, слежение за буями, дрейфующими вместе с пятном, прогнозирование развития кризисной ситуации. Информация предоставляется всем заинтересованным службам с высокой периодичностью (например, раз в сутки).



Интенсивная разработка нефтяных месторождений на российском шельфе приводит к стремительному повышению риска катастрофического загрязнения морских акваторий. В связи с этим представляется необходимой организация периодического мониторинга тех зон, где подготовка и реализация нефтяных проектов проводятся особенно активно. Технологии, разработанные компанией CLS и уже достойно зарекомендовавшие себя во многих странах, могли бы с успехом использоваться в рамках такой деятельности на территории Российской Федерации.



Макото Кашиваи (kashiwai@mua.biglobe.ne.jp)

Исследовательское бюро рыбопромысловой океанографии “Oyashio-Ya”  
(Япония)

## Измерение завихренности с регистрирующими буйами

Хотя наблюдение за динамикой океана с помощью регистрирующих буйев становится весьма важным, методы анализа могут извлечь максимальную пользу из преимуществ данного метода. Для наблюдения за параметрами поля течения, такими, как завихренность, в теоретических основах необходимо использовать Лагранжеву природу наблюдений дрейфа. В докладе изложены теоретические основы измерения завихренности одним регистрирующим дрейфующим буйком, используя координаты линии его движения.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Использование буйев, регистрирующих с помощью спутника, для наблюдения за океаном, стало основным методом непосредственного мониторинга динамики океана. Основные преимущества мониторинга буйев регистрирующих с помощью спутника:

- 1) Они всегда находятся в воде, даже при плохой погоде;
- 2) Следуют за траекторией водных потоков;
- 3) Значительно дешевле, чем наблюдение на кораблях.

Используя преимущества спутниковой системы регистрации, сбор данных о Мировом океане был расширен как с точки зрения сезонов и погодных условий, так и с точки зрения географического покрытия.

Однако преимущество 2), т. е. Лагранжево измерение, используется не полностью, и иногда рассматривается в качестве недостатка, особенно при измерении поля скоростей. Это происходит только лишь потому, что океанографы привыкли использовать систему координат, закрепленную к неподвижной земле и, следовательно, им непривычно использовать Лагранжевы данные.

Каваи (1976) описал теоретические основы и метод измерения поля скоростей с помощью данных, регистрируемых плавающими на поверхности буйками. Методом Каваи характерные значения поля скоростей, которыми являются дивергенция, завихренность и снос, могут считаться средними значениями по всей дистанции, пройденной буйками. Чтобы получить единую величину дивергенции, или завихренности, в концентрированном поле течения, его метод требует наличия минимум трех буйев и, следовательно, заданная величина дивергенции, или завихренности является средней величиной для треугольника из трех буйев. Чтобы получить детальную структуру поля течения, необходимо выпустить большое количество буйев. Это происходит из-за того, что в методе Каваи не используются все данные, регистрируемые буйками, не полностью Лагранжевые, но так же и Декартовы пространственные координаты, и теорема среднего значения для расчета скорости.

В данном докладе я хочу предложить основы по измерению завихренности одним буйком, с применением координат линий тока.

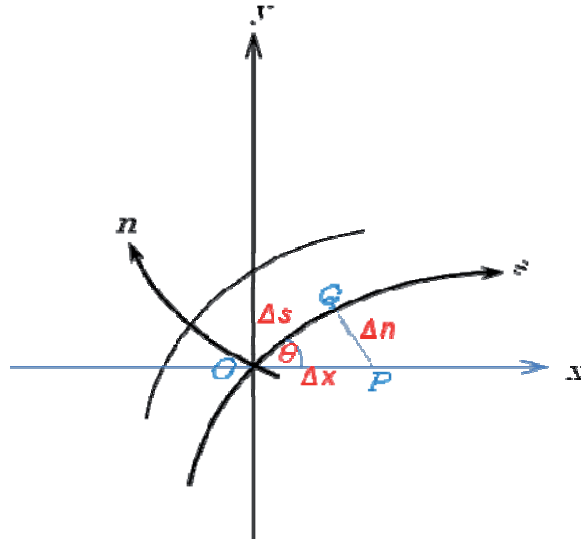
## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИХРЕННОСТИ ОДНИМ РЕГИСТРИРУЮЩИМ БУЙКОМ

### 2.1. Преобразование координат, согласно Н. Ertel

Рассматривая физические свойства  $f$  на линии тока  $s$  с нормалью  $n$ , мы получим:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta f}{\Delta x} &= \frac{f_Q - f_O}{\Delta x} = \frac{\{(f_P - f_O) - (f_P - f_Q)\}}{\Delta x} = \frac{\left\{ \left( \frac{\partial f}{\partial n} \right) \cdot \Delta n - \left( \frac{\partial f}{\partial s} \right) \cdot \Delta s \right\}}{\Delta x} \\ &= \frac{\left\{ \left( \frac{\partial f}{\partial n} \right) \cdot (\Delta x \cdot \sin \theta) - \left( \frac{\partial f}{\partial s} \right) \cdot (\Delta x \cdot \cos \theta) \right\}}{\Delta x} \\ &= \cos \theta \frac{\partial f}{\partial n} - \sin \theta \frac{\partial f}{\partial s} \end{aligned} \quad (1)$$

Это называется преобразованием Эртеля (Watanabe, 1966).



### 2.2. Завихренность в координатах линии тока

Применяя преобразование Эртеля, завихренность может быть выражена в координатах линии тока:

$$\begin{aligned} \text{Завихренность } \zeta &= \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (V \cdot \sin \theta) - \frac{\partial}{\partial y} (V \cdot \cos \theta) \\ &= V \cdot \frac{\partial \theta}{\partial s} - \frac{\partial V}{\partial n}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $V$  – скорость вдоль линии тока.

### 2.3. Кинематика буйка

Обозначим радиус линии тока:  $r_s$ , угловая скорость линии тока:  $\omega_s$ , радиус буйка:  $r_b$ , угловая скорость буйка:  $\omega_b$ , завихренность  $\zeta$ , записанная в ур. (2), может быть записана как:

$$\zeta = V \cdot \frac{\partial \theta}{\partial s} - \frac{\partial V}{\partial n} = \frac{V}{r_s} - \omega_b = \omega_s - \omega_b \quad (3)$$

Ур. (3) показывает, что завихренность можно вычислить, регистрируя данные лишь одного буйка: измеряя угловую скорость линии тока и угловую скорость вращения буйка.

Угловая скорость линии тока может быть вычислена по траектории буйка из зарегистрированных данных. Угловая скорость вращения буйка можно измерить компасным сенсором, установленным на буюк.

## ЛИТЕРАТУРА

- Kawai, Hideo (1976): Convergence/divergence and physics of particles in the ocean. In *Physical Oceanography II*, ed. T. Teramoto, pp. 103–155, Tokyo University Press.
- Watanabe, Tsugio (1966): *Modern metrological survey method*, pp. 302, Giho-Do, Tokyo.

## **РЕКОМЕНДАЦИИ**

### **Первой открытой Международной конференции «Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья», проведенной в г. Южно-Сахалинске 5–6 апреля 2011 года**

Цель конференции состояла в ознакомлении с практическими решениями разнообразных задач геофизики, мониторинга окружающей среды, управления возобновляемых и минеральных ресурсов, представляющих интерес для населения, добывающих, строительной, транспортной отраслей промышленности и Правительства Сахалинской области. После представления и обсуждения докладов Первой открытой Международной конференции «Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья» собравшиеся специалисты пришли к нижеследующим рекомендациям. Они предназначены населению Сахалинской области, властям РФ, ученым и специалистам, решающим вопросы организации исследований, строительства и эксплуатации технологических объектов в условиях субарктических регионов.

С учетом задач развития уровня жизни населения, промышленности, геофизических рисков, опыта применения новейших методов мониторинга окружающей среды, минимизации последствий техногенных и природных инцидентов Первая открытая Международная конференция рекомендует Правительству Сахалинской области поддерживать полезные усилия для развития территории в указанных направлениях:

1) Опыт применения новых технологий измерений и расчетов в области мониторинга геофизических явлений, морских экосистем и технологических процессов в условиях охотоморской Субарктики показывает их эффективность, производительность, надежность и перспективность применения для населения и промышленных нужд Сахалинской области на примерах прозвучавших докладов. В своей итоговой части рекомендации конференции подразделяется на следующие направления: НИОКР, эксплуатация промышленных объектов и мониторинг параметров окружающей среды; морские экосистемы; строительство и энергетика; международное сотрудничество; взаимодействие с федеральными структурами; создание рабочей группы на постоянной основе; издание трудов Первой открытой Международной конференции; проведение следующей – в 2013 г.

2) Признано, что в интересах населения и промышленности Сахалинской области необходимо продолжить научные исследования и опытно-конструкторские работы по сейсмологии и геодинамике Сахалинской области, предвестникам землетрясений, мониторингу вулканов, измерениям морских параметров реального времени в связи с задачами предупреждения цунами, обеспечения рыбных промыслов, изменений берегов Сахалина, организации измерений собственных движений крупных инфраструктурных объектов на шельфе и на суше. В частности, более подробно рекомендации по направлениям работ распределяются следующим образом.



3) По разработке темы предвестников землетрясений по ионосферным возмущениям необходимо установить станцию в г. Охе (ОЦП по сейсмоукреплению зданий и сооружений...). Создать с участием ИМГиГ ДВО РАН целевую группу для приложения теоретических основ и исследования сейсмической составляющей в оценке значимости ионосферных сигналов перед землетрясениями на технологической основе пробной работы станций Роскосмоса на Сахалине. Для начала работы межведомственной группы в срок до конца текущего года необходимо разработать тематику, научно-производственную программу, рассчитать и подать в Правительство финансовую заявку для поддержки работ целевой группы сроком до 5 лет начиная с 2011 г. Предложить японской стороне установку как минимум двух ионосферных станций на о. Хоккайдо для продолжения цепи станций на Сахалине и более полного охвата ионосферными наблюдениями сейсмоопасного региона.

4) Мониторинг вулканов Курильской гряды также требует отдельного внимания и усиления наблюдений за ними. Объем выброса пепла вулканом Сарычева (июнь 2009 г.) сопоставим с выбросом исландским вулканом Эйяфьятлайокудль, что заставляет поставить вопрос обеспечения мониторинга вулканов Курильской гряды (36 действующих из 60) измерительной техникой и поддержки усилий ИМГиГ ДВО РАН по исследованию вулканов Курильской гряды.

5) По измерениям уровня моря требуется организация совместно с Сахалингидрометом, СКБ САМИ, ИМГиГ ДВО РАН дополнительных постоянных автоматических постов наблюдений на основе показанных на конференции систем реального времени, включая новые возможности для постановки в портах Пригородное, Де-Кастри, платформах Витязь, Орлан, Моликпак.

6) Отдельным вопросом стоят наблюдения за припаем в период любительского лова на льду восточного побережья острова Сахалин. Технически возможна организация непрерывного мониторинга целостности припая по заказу МЧС Сахалина.

7) Вопросы изменения побережья Сахалина требуют проведения дополнительных исследований в части развития опыта, накопленного ИМГиГ в этом вопросе, и соответствующей поддержки Правительством Сахалинской области. Рекомендовать Правительству Сахалина оказать содействие ДВНИГМИ (Росгидромет) в вопросах документального сопровождения при строительстве стационарных пунктов наблюдений за уровнем моря на Курильских островах.

8) При разработке строительства вертодрома в Северо-Курильске в свете последних событий и новых данных после разрушительного цунами 2011 г. в Японии необходимо предусмотреть перенос вертодрома в цунами-безопасное место.

9) Высокоточные измерения собственных движений крупных объектов инфраструктуры, прежде всего энергетики и нефтегазового комплекса Сахалинской области, с помощью спутниковых методов могут позволить выявить ранние изменения их целостности в сейсмоопасных районах Сахалина. Правительству рекомендуется принять решение по вопросу орга-

низации первого в России мониторинга собственных движений крупных инфраструктурных промышленных объектов Сахалинской области.

10) За период 2008–2011 гг. разработаны спутниковые технологии наблюдений морских параметров окружающей среды для рыболовства в условиях Сахалино-Курильского региона. Накопленный опыт и результаты позволяют организовать наблюдения условий промысла, таких, как измерения поверхностных течений, параметров окружающей среды от орудий океанского лова до прибрежных, включая реки. Они показали свою эффективность и готовы к применению – например, для задач штаба лососевой путины Сахалина с 2012 г. путем развертывания и организации наблюдений в 45–55 точках в океане, побережье и на реках совместно с организацией спутниковых регулярных измерений. Для организации работ необходим заказ от Федерального агентства по рыболовству и Правительства Сахалинской области.

11) Наблюдения морских млекопитающих спутниковыми метками требуют своего продолжения и развития. Кроме ведущихся исследований и успехов по спутниковому мечению серых китов в 2010–2011 гг., необходимо рассмотреть поддержку исследований другого краснокнижного вида – гренландского кита, а также белух и ластоногих в связи с увеличением численности и влияния на рыболовные ресурсы.

12) Назрела необходимость развития конкурентных спутниковых российских услуг на примере успешной эксплуатации АРГОС с 1999 г. в ДВ регионе (отраслевая система контроля рыболовного флота, передача данных с удаленных районов и автономных измерительных комплексов). Кроме АРГОС показала свою успешность и система связи ИРИДИУМ, имеющая надежные перспективы по применению в науке и хозяйственном комплексе Сахалинской области. В то же время разрешение его применения в России выходит за рамки работы конференции. Важность решения вопроса по ИРИДИУМу состоит в том, что отсутствие современной спутниковой телефонии и передачи данных с автономных измерительных платформ делает невозможным применение современных измерительных комплексов для нужд населения, науки и промышленности Сахалинской области. В частности, это касается измерительных систем с обратной связью, интеллектуальных платформ, систем подледных измерений, применимых в условиях Охотского моря. Пути создания отечественной технологической системы связи состоят в постепенной реанимации и развитии системы КУРС либо замены ее на новую – на основе АИС (автоматический идентификатор судов) для задач науки и промышленности Сахалинской области. Правительству Сахалинской области рекомендуется обсудить этот вопрос с Роскосмосом на основе имеющегося соглашения о сотрудничестве.

13) В рамках международного взаимодействия Правительству области рекомендуется рассмотреть вопрос организации наблюдений течений и волнения радиоантеннами, перекрывающих всю площадь залива Анива и частично пролив Лаперуза. На этой основе возможно создание совместной с Японией системы наблюдения за параметрами окружающей морской среды по обеспечению безопасности, погрузки и транспортировки углеводородов от терминалов порта Пригородное, по всему заливу Анива

и части пролива Лаперуза. Установка радиоантенн станет основой системы наблюдений реального времени и прогноза движений воды в районе на несколько суток вперед для оценки и принятия обоснованных решений.

14) Правительству Сахалинской области рекомендуется решить вопрос о привлечении консультационной рабочей группы (7 человек) по оценке изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов Сахалинской области. Такую группу рекомендуется привлечь по найму, на профессиональной и регулярной основе. В организации ее работы необходим учет опыта последних событий, методов их предсказания и реагирования властей на них: Невельское землетрясение 2007, извержение вулкана Сарычева 2009, Чилийское землетрясение и цунами 2010, катастрофа Дип Хурайзн 2010, Японское землетрясение и цунами 2011. Предусмотреть обсуждение с рабочей группой количества, специализации, плана-графика подготовки молодых специалистов по перспективным направлениям развития новейших методов наблюдений по заданию Правительства Сахалинской области.

15) В работе конференции приняли участие представители компаний и исследовательских организаций России, Великобритании, Канады, Норвегии, США, Украины, Франции и Японии. Правительству Сахалинской области рекомендуется опубликовать материалы конференции отдельным сборником на русском и английском языках тиражом не менее 500 экземпляров. При выборе материалов для публикации рекомендуется учитывать пять признаков:

- научная и технологическая новизна, состоятельность технологий и методов;
- применимость в субарктических условиях;
- надежность, экономическая эффективность, перспективность, технологическая применимость на ДВ РФ;
- участие или перспективы привлечения российских компаний и организаций при внедрении методов и продуктов в эксплуатацию;
- опыт использования технологий и методов в условиях Охотского моря.

Материалы сборника печатаются на основе озвученных 34 докладов и присланных материалов по трем основным направлениям (*прил. 1*). В работе конференции приняли участие 83 человека, представляющие Сахалинское правительство, Областную думу, 39 российских и зарубежных институтов, организаций и компаний (*прил. 2*). Следующую конференцию рекомендуется провести в 2013 г. в Южно-Сахалинске. Время проведения – уточнить рабочей группе.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Организаторы Первой открытой Международной конференции считают своим долгом выразить благодарности следующим активным участникам подготовки, проведения и издания настоящих материалов: А. О. Бобкову, О. Н. Дегтяревой, Д. И. Касьяну, Е. Н. Морозову, И. А. Мухортиковой, И. А. Паршиной, Д. А. Сергееву, Т. М. Сергеенко, Т. Г. Стаценко.

По завершении конференции участниками были собраны денежные средства в размере 33 000 рублей, которые впоследствии были конвертированы и переданы Генеральному консулу Японии в городе Южно-Сахалинске господину Такаюки Коикэ в помощь пострадавшим от землетрясения.



Приложение 1

ПРОГРАММА

Первой открытой Международной конференции  
«Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений,  
экосистем и технологических процессов при изучении и освоении  
природных ресурсов субарктического Охотоморья»

г. Южно-Сахалинск

5–6 апреля 2011 года

Гостиница «Мегапалас»  
Конференц-зал «Сапфир»

Тематика презентаций/докладов

**A1.** Современные проблемы геофизики, океанографии, биологии субарктического Охотоморья и прилегающих вод, методы их решений.

**A2.** Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья.

**A3.** Достижения и проблемы в моделировании изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов применительно для субарктических условий Охотского моря.

5 апреля 2011 года

| Время                                                                                                                                    | Тема выступления                                                                                                  | Докладчик                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10:00–10:15                                                                                                                              | Вступительное слово представителя Правительства Сахалинской области                                               | <u>Сергей Петрович Вильямов</u> , заместитель председателя Правительства Сахалинской области                        |
| <i>Секция A1. Современные проблемы геофизики, океанографии, биологии субарктического Охотоморья и прилегающих вод, методы их решений</i> |                                                                                                                   |                                                                                                                     |
| 10:15–10:45                                                                                                                              | Проблема сейсмической опасности в Сахалинской области: новые подходы к ее решению                                 | Борис Вульфович Левин, член-кор. РАН, д. ф.-м. н., <u>Николай Иванович Тихонов</u> , д. ф.-м. н., ИМГиГ ДВО РАН     |
| 10:45–11:15                                                                                                                              | Уникальность Охотского моря вызывает существенные вопросы и вызовы для наблюдений                                 | Prof. Makoto Kashiwai, University of Tokyo (Japan), Head Chair, Fisheries Oceanography Research Studio “Oyashio-Ya” |
| 11:15–11:30                                                                                                                              | <b>Кофе-брейк</b>                                                                                                 |                                                                                                                     |
| 11:30–12:00                                                                                                                              | Развитие прогноза цунами спустя 5 лет после Индонезийской катастрофы                                              | Василий Владимирович Титов, Ph. D, PMEL NOAA, США                                                                   |
| 12:00–12:30                                                                                                                              | Научные разработки АРГОС. CLS интегрированный сервис на АРГОС системе, экспертной океанографии и радарных снимках | CLS (France)                                                                                                        |
| 12:30–14:00                                                                                                                              | <b>Перерыв</b>                                                                                                    |                                                                                                                     |

**МАТЕРИАЛЫ ПЕРВОЙ ОТКРЫТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
(Южно-Сахалинск, Россия, 5–6 апреля 2011 г.)**

| Время                                                                                                                                                                       | Тема выступления                                                                                                                                                                   | Докладчик                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Секция А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики</b> |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 14:00–14:20                                                                                                                                                                 | Пилотный проект комплексного диагноза для предвестников землетрясений из космоса: результаты и перспективы                                                                         | Юрий Матэвич Урличич, д. т. н., проф., Алексей Александрович Романов, д. т. н., проф., <u>Александр Алексеевич Романов</u> , д. т. н. (Роскосмос), Геннадий Афанасьевич Кантаков, к. г. н. (НПО ДЭКО)                                                                                                                                         |
| 14:20–14:40                                                                                                                                                                 | Мониторинг подвижек грунта посредством радарных спутниковых снимков для нефтегазовой отрасли                                                                                       | Fabien Lefevre and CLS team (France)                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 14:40–15:00                                                                                                                                                                 | Инструментальные измерения цунами на тихоокеанском побережье России                                                                                                                | <u>Георгий Владимирович Шевченко</u> , д. ф.-м. н. (ИМГиГ ДВО РАН), Татьяна Николаевна Ивельская, к. ф.-м. н. (ГУ «Сахалинское УГМС» Росгидромета)                                                                                                                                                                                            |
| 15:00–15:20                                                                                                                                                                 | Проявления Тохоку цунами 11–12.03.2011 на тихоокеанском побережье России                                                                                                           | Георгий Владимирович Шевченко, д. ф.-м. н. (ИМГиГ ДВО РАН), <u>Татьяна Николаевна Ивельская</u> , к. ф.-м. н. (ГУ «Сахалинское УГМС» Росгидромета)                                                                                                                                                                                            |
| 15:20–15:40                                                                                                                                                                 | Разработка и применение оперативных наблюдений для предупреждения цунами в Тихом и Индийском океанах                                                                               | <u>Robert Anthony Lawson</u> (SAIC, USA) Tsunami Program Leader                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 15:40–16:00                                                                                                                                                                 | Дрифтерная технология контроля Мирового океана                                                                                                                                     | Сергей Владимирович Мотыжев, д. т. н. и др. (Морской гидрофизический институт НАН Украины, НПФ Марлин-Юг, Украина)                                                                                                                                                                                                                            |
| 16:00–16:20                                                                                                                                                                 | Профилирующие буи: технология и возможные применения в Охотском море                                                                                                               | Проф. Стивен Райзер, <u>Алисон Грей</u> (Университет штата Вашингтон, USA)                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 16:20–16:40                                                                                                                                                                 | Аквалог – новая платформа измерений океанографических параметров для Балтийского, Японского и Охотского морей                                                                      | <u>Александр Григорьевич Островский</u> , к. г. н., Андрей Георгиевич Зацепин, д. ф.-м. н., Дмитрий Анатольевич Швовев, Соловьев Владимир Александрович, Цибульский Андрей Львович, ИО Ширшова                                                                                                                                                |
| 16:40–17:00                                                                                                                                                                 | <b>Кофе-брейк</b>                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 17:00–17:20                                                                                                                                                                 | Мониторинговый океанский ВЧ радар для энергетической промышленности                                                                                                                | Don Barrick, Ph. D., Laura Pederson, <u>Chad Welan</u> , Codar Ocean Sensors (USA)                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 17:20–17:40                                                                                                                                                                 | Наблюдения течения Соя ВЧ радарами в 2003–2010 гг.                                                                                                                                 | <u>Naoto Ebuchi</u> , Prof. D. Sc., Yasushi Fukamachi, Ph. D., Kay I. Ohshima, Prof., D. Sc., Masaaki Wakatsuchi, Prof., D. Sc. ILTS, Hokkaido University (Japan)                                                                                                                                                                             |
| 17:40–18:00                                                                                                                                                                 | Методологии и программные средства для анализа спутниковой информации и мониторинга природных условий применительно к задачам промышленной деятельности в ледовитых и других морях | Леонид Петрович Бобылев, к. ф. м. н., Владимир Александрович Волков, к. г. н., Владимир Николаевич Кудрявцев, д. ф.-м. н., Дмитрий Викторович Поздняков, д. ф.-м. н., <u>Виталий Юрьевич Александров</u> , д. ф.-м. н., Елизавета Валериановна Заболотских, к. ф.-м. н., Ола Матиас Йоханнесен, проф. (Norway), Стайн Сандвен, проф. (Norway) |

**Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья**

| Время       | Тема выступления                                                                                                                                                                                                                                           | Докладчик                                                                                     |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 18:00–18:20 | Мониторинг движения торосистых ледяных полей, взломанного припая с применением буев дрейфтеров АРГОС и спутниковых снимков среднего разрешения Терра-МОДИС для обеспечения безопасности морских операций в западной части Охотского моря в весенний период | <u>Тамбовский Виктор Сергеевич</u> , Бобков Алексей Олегович, Экологическая компания Сахалина |
| 18:20–18:40 | Использование радарных снимков для обнаружения судов и судовой проводки в Охотском море в декабре 2010 года                                                                                                                                                | Fabien Lefevre and CLS team (France)                                                          |
| 18:40–19:00 | Система передачи данных об уровне моря в режиме реального времени                                                                                                                                                                                          | Дущенко Петр Васильевич, ГУ «Сахалинское УГМС» Росгидромета                                   |

**6 апреля 2011 года**

| Время                                                                                                                                                                            | Тема выступления                                                                                                        | Докладчик                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Секция А2. Новые методы наблюдений и Примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики</b>      |                                                                                                                         |                                                                                                                                                              |
| 10:00–10:20                                                                                                                                                                      | Происхождение углеводородов в нефтегазовых акваториях (на примере Охотского, Баренцева и Балтийского морей)             | Инна Абрамовна Немировская, д. г.-м. н., ИО РАН им. Ширшова                                                                                                  |
| 10:20–10:40                                                                                                                                                                      | Мониторинг выброса нефти на Дипвотер Хурайзн с помощью полиэтиленовых мембранных устройств                              | Jeffrey Short, Ph. D., JWS Consulting, LLC, USA                                                                                                              |
| 10:40–11:00                                                                                                                                                                      | Аппаратурный комплекс для экологического мониторинга акустических шумов на шельфе о. Сахалин                            | Александр Николаевич Рутенко, д.ф.-м.н., ТОИ ДВО РАН                                                                                                         |
| 11:00–11:20                                                                                                                                                                      | <b>Кофе-брейк</b>                                                                                                       |                                                                                                                                                              |
| 11:20–11:40                                                                                                                                                                      | Перспективы изучения миграций западной популяции серых китов методом спутниковой телеметрии                             | Валентин Юрьевич Ильяшенко, к. б. н. и др., Институт Северцова РАН (Россия)                                                                                  |
| 11:40–12:00                                                                                                                                                                      | Результаты мечения морских млекопитающих в Охотском море, цели, задачи, результаты и перспективы                        | Дмитрий Михайлович Глазов, к. б. н. и др., Институт Северцова РАН (Россия)                                                                                   |
| 12:00–12:20                                                                                                                                                                      | Особенности движения пятнистых тюленей между Сахалином и Хоккайдо по спутниковому мечению                               | Mari Kobayashi (Presented by Kashiwai) Tokyo University, Abashiri (Japan)                                                                                    |
| 12:20–12:40                                                                                                                                                                      | CLS (France)                                                                                                            | CLS (France)                                                                                                                                                 |
| 12:40–14:00                                                                                                                                                                      | <b>Перерыв</b>                                                                                                          |                                                                                                                                                              |
| <b>Секция А3. Достижения и проблемы в моделировании изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов применительно для условий охотоморской Субарктики</b> |                                                                                                                         |                                                                                                                                                              |
| 14:00–14:20                                                                                                                                                                      | Перспективы развития оперативной технологии прогноза разливов нефти на восточном шельфе о. Сахалин                      | Юрий Николаевич Волков, к. ф.-м. н., Евгений Викторович Карасев, к. г. н., <u>Олег Владимирович Соколов</u> , Александр Федорович Ломакин, к. г. н., ДВНИГМИ |
| 14:20–14:40                                                                                                                                                                      | Океанские модели и дрейфовые модели с использованием данных <i>in situ</i> , численные модели и дистанционные измерения | Fabien Lefevre et al. CLS (France)                                                                                                                           |

**МАТЕРИАЛЫ ПЕРВОЙ ОТКРЫТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
(Южно-Сахалинск, Россия, 5–6 апреля 2011 г.)**

| Время       | Тема выступления                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Докладчик                                                                                                                                                                                  |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 14:40–15:00 | О гидрофизическом методе оперативного прогноза цунами на примере Курильского цунами 15 января 2009 года                                                                                                                                                                                                                                         | <u>Юрий Павлович Королёв</u> , к. ф.-м. н., ИМГиГ ДВО РАН, Татьяна Николаевна Ивельская, к. ф.-м. н., СахУГМС                                                                              |
| 15:00–15:20 | Прямые вычислительные эксперименты в регламенте оперативного прогноза цунами и морских наводнений                                                                                                                                                                                                                                               | Василий Николаевич Храмушин, к.т.н., ИМГиГ ДВО РАН, СахГУ                                                                                                                                  |
| 15:20–15:40 | Особенности математического моделирования процессов поступления нефтяных углеводородов в морские водоемы и их последующей трансформации (на примере Каспийского моря и акваторий Сахалина)                                                                                                                                                      | Александр Васильевич Леонов, д.г.-х.н., ИО РАН                                                                                                                                             |
| 15:40–16:00 | Модель экосистемы базового уровня с и без эффекта поступления железа для Охотского моря                                                                                                                                                                                                                                                         | Michio J. Kishi, Prof. and Takeshi Okunishi, Hokkaido University, National Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Research (Japan), <b><i>Presented by Makoto Kashiwai</i></b> |
| 16:00–16:20 | Модель ЭКОПАС Охотского моря - перспективный инструмент для исследования функционирования экосистемы                                                                                                                                                                                                                                            | Владимир Иванович Радченко, к. б. н., Росрыболовство                                                                                                                                       |
| 16:20–16:40 | <b>Кофе-брейк</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                            |
| 16:40–17:00 | Геолого-геоморфологические аспекты оценки ресурсов побережья о. Сахалин                                                                                                                                                                                                                                                                         | Виктор Викторович Афанасьев, к. г. н., ИМГиГ ДВО РАН                                                                                                                                       |
| 17:00–17:20 | Проблемы мониторинга вулканической активности на Курильских островах                                                                                                                                                                                                                                                                            | Александр Викторович Рыбин, к. г.-м. н. и др., ИМГиГ ДВО РАН                                                                                                                               |
| 17:20–18:30 | <b>Заключительная часть Первой открытой Международной конференции.</b><br>Подготовка и обсуждение заключительного документа для властей, промышленности, науки и населения Сахалинской области, РАН, МЧС, Росгидромета. Решение о публикации трудов совещания в русско-английской версии. Решение о проведении следующего совещания в 2013 году |                                                                                                                                                                                            |
| 18:30       | В проекте – подписание меморандума между Сахалинской областью и CLS (Франция)                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                            |
| 19:00       | Фуршет («Мегапалас», 10-й этаж)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                            |



**СПИСОК  
приглашенных организаций**

1. АРГОС (CLS, Франция)
2. ВНИРО (Москва)
3. Газпром
4. Газфлот
5. ДальТИСИЗ
6. ДВНИГМИ (Владивосток)
7. ДВО РАН (Владивосток)
8. Джей Дабл ю Эс Консалтинг ЛЛС (США)
9. ДЭКО
10. Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН (Москва)
11. ИМГиГ ДВО РАН (Южно-Сахалинск)
12. Институт низких температур Хоккайдского университета (Япония)
13. Кодар Оушен Сенсорз (США)
14. ЗАО «Российские космические системы» (Москва)
15. НПФ Марлин-Юг (Украина)
16. МетОушен (Канада)
17. ПМЕЛ (США)
18. НК Роснефть
19. Росрыболовство
20. САИК (США)
21. Сахалинская энергия
22. Токийский университет (Япония)
23. СахГУ
24. СахНИРО
25. СахНИПИ
26. Сахалинрыбвод
27. СЛИ
28. ТОИ ДВО РАН
29. Центр Нансена (Санкт-Петербург)
30. ЭС-ПАС (Москва)
31. ЭКС
32. Эксон Нефтегаз Лимитед

**RECOMMENDATIONS**  
**of the First Open International Conference “Advanced Assessment**  
**Methods of Changing in Geophysics, Ecosystems and Technological**  
**Processes in Study and Natural Resources Development of Subarctic**  
**Okhotomor’e”, which took place in Yuzhno-Sakhalinsk**  
**on April 05–06, 2011**

The purpose of conference consisted of acquaintance with practical decisions of various tasks of geophysics, monitoring of environment, management of renewable and mineral resources, being of interest for the population, mining, building and transport industries and the government of Sakhalin region. After submitting and discussion of reports of the First Open International Conference “Advanced Assessment Methods of Changing in Geophysics, Ecosystems and Technological Processes in Study and Natural Resources Development of Subarctic Okhotomor’e”, the audience reached to the following recommendations. They are destined for the population of Sakhalin region, authorities of the Russian Federation, scientists and specialists, who solve the organizational questions of researches, construction and operation of technological facilities in the Subarctic region conditions.

With consideration for tasks of the development of the population living standards, industry, geophysical risks, experience of application of the latest methods of the environment monitoring, minimization of consequences of technogenic and natural incidents, the first open international conference recommends the government of Sakhalin region to support and develop useful efforts for development of the territory in the following directions:

1) The experience of application of new technologies of measurements and calculations in the field of monitoring of the geophysical phenomena, marine ecosystems and technological processes in conditions of the Okhotomor’e SubArctic demonstrates their efficiency, productivity, reliability and perspective of application for the population and industrial needs of Sakhalin region based on the examples of the reports made. In its final part, recommendations of the conference are subdivided into the following directions: NIOKR (research and development activities), operation of industrial facilities and environment parameters monitoring; marine ecosystems; construction and energy; international cooperation; cooperation with federal authorities; creation of the working group on continuing basis; printing of papers of the first international open conference, organization of the next conference in 2013.

2) It was acknowledged that for the benefit of the population and industry of Sakhalin region it is necessary to continue scientific researches and development works on seismology and geodynamics of Sakhalin region, earthquake precursors, volcano monitoring, measurements of marine parameters of the real time in connection with the tasks of warning of tsunami and fishing industry, changes of coasts of Sakhalin, organizations of measurements of intrinsic motions of large infrastructural objects on the shelf and on land. In particular, more elaborately recommendations regarding directions of works are distributed as follows.

3) Regarding development of the subject of earthquake precursors according to ionospheric disturbances it is necessary to set the station in Okha town (regional

purpose-oriented programme regarding seismic strengthening of buildings...). To create with the participation of the Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far-Eastern branch of the Russian Academy of Sciences a target group for the application of theoretical bases and researches of the seismic constituent in the estimation of relevance of ionosphere signals before earthquakes on the technological basis of the trial operation of stations of Roskosmos (Russian corporation of rocket space engineering and information systems) on Sakhalin. For the beginning of work of an interdepartmental group on time to the end of this year it is necessary to develop a subject area, scientific production program, to calculate and submit to the Government a financial application to support works of the target group within 5 years, since 2011.

4) Volcano monitoring of the Kurils ridge also requires separate attention and extension of their monitoring. The volume of ejection of ashes by the Sarychev volcano (June, 2009) is comparable with ejection by the Icelandic volcano Eyyafyatlayokudl, that compels to put a question to provide volcano monitoring of the Kurils ridge (36 active volcanos of 60) with instrumentation technology and supports of efforts of the Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far-Eastern branch of the Russian Academy of Sciences on exploration of the Kurils ridge volcanoes.

5) Regarding measurements of the sea level the organization is required jointly with Sakhalingidromet (Sakhalin Hydrometeorological Agency), Special design bureau of the marine researches automation aids (SKB SAMI) of the Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far-Eastern branch of the Russian Academy of Sciences of the additional permanent automatic observation stations on the basis of the real-time systems which were demonstrated at the conference, including new possibilities of their arrangement in the ports of Prigorodnoye, De-Kastri, on the drilling platforms Vityaz, Orlan, Molikpaq.

6) Observation over the shore ice during the period of amateur fishing on ice of the eastern coastal side of the Sakhalin Island is a separate question of the monitoring. Organization of the continuous monitoring of the shore ice integrity is technically possible by the order of the Sakhalin EMERCOM.

7) Questions of changing the seashore of Sakhalin require additional exploration regarding the development of experience accumulated by the Institute of Marine Geology and Geophysics in this question and the proper support of the Sakhalin regional Government. It is recommended to the Sakhalin Government to assist to Far East Hydro Meteorology Research Institute (Roshydromet) in questions of documentary maintenance during construction of the steady-state observation stations over the sea level on the Kuril Islands.

8) It is necessary to foresee the transfer of the heliport to a tsunami safety place in development of the heliport construction in Severo-Kurilsk in the light of the last events and new information after the destructive tsunami of 2011 in Japan.

9) High-accuracy measurements of inherent motions of infrastructure large facilities, first and foremost the power engineering and oil and gas complex of Sakhalin region, by satellite methods can reveal early changes of their integrity in seismic hazardous districts of Sakhalin. The government is recommended to make a decision regarding organization of the first in Russia inherent motion monitoring of large infrastructural industrial facilities of Sakhalin region.

10) Within the period 2008–2011 satellite supervision technologies of the environment marine parameters for fishing in the conditions of Sakhalin-Kuril region have been developed. The accumulated experience and results allow to organize observations of conditions of fishing including measurement of surface flows, the environment parameters beginning from ocean instruments to off-shore ones, including rivers. They proved their efficiency and are ready for application, for example, for the purposes of the headquarters of the salmon fishing season of Sakhalin from 2012 by deployment and organization of observations in 45–55 points in the ocean, coastal and on rivers simultaneously with organization of the satellite regular measurements. To organize the works an order is needed from the Fishing Agency of the Sakhalin regional Government.

11) The supervision of marine mammals with satellite marks requires its continuation and development. Except for the conducted explorations and successes regarding satellite tagging of grey whales in 2010-2011, it is necessary to consider the support of explorations of another species from the Red Book – the bowhead whale, as well as white whales and fin-footed mammals in connection with the increase of their number and influence on fishing resources.

12) It is a long-felt need to develop competitive satellite Russian services on the example of successful operation of ARGOS from 1999 in Far-Eastern region (a branch-wise control system of the fishing fleet, data communication from remote districts and autonomous measurement complexes). Aside from ARGOS the IRIDIUM communication system has proved its success as well, with reliable prospects for its application in science and economic complex of Sakhalin region. At the same time, the permission of its application in Russia is beyond the work of the conference. The importance of the resolution of the issue to use IRIDIUM consists of the fact that the absence of modern satellite telephony and data communication from autonomous measurement platforms makes it impossible to use modern measurement complexes for the needs of population, science and industry of Sakhalin region. In particular, it concerns the measurement systems with feedback, intellectual platforms, systems of subglacial measurements applicable in the conditions of Sea of Okhotsk. The ways of creation of the domestic technological communication network consist of gradual reanimation and development of the KURS system or its substitution to a new one – on the basis of ASI (automatic ships' identifier) for the purposes of science and industry of Sakhalin region. The Sakhalin region government is recommended to discuss this issue with Roskosmos within the framework of the available cooperation agreement.

13) Within the framework of international cooperation the Government of the region is recommended to consider the question of organization of observations of currents and sea disturbances with the help of radio antennas, which can overlap all the area of the Aniva Bay and partly La Perouse Strait. On this basis it is possible to create jointly with Japan the observation system over the marine environment parameters to ensure safety, loadings and transportation of oil hydrocarbons from the terminals of the port of Prigorodnoye, along the whole Aniva Bay and part of La Perouse Strait. Erection of radio antennas will become a basis of the observation system of the real time and forecast of water motions in the district for a few days ahead for estimation and making the grounded



decisions.

14) The Sakhalin region government is recommended to decide a question regarding the involvement of a consultative working group (7 persons) on evaluation of changes of geophysical phenomena, ecosystems and technological processes during exploration and natural resources development of Sakhalin region. It is recommended to involve such a group for hire, on professional and regular basis. In organization of its work it is necessary to take into account the experience of the latest events and the response of authorities to them: Nevelsk earthquake in 2007, eruption of Sarychev volcano in 2009, Chilean earthquake and tsunami in 2010, catastrophe of “Deepwater Horizon” in 2010, Japanese earthquake and tsunami in 2011. It is necessary to foresee a discussion with the working group regarding a number, directions, time schedule of preparation of young specialists on upcoming trends for development of the latest observation methods according to the task of the Sakhalin region government.

15) The representatives of companies and research organizations of Russia, Great Britain, Canada, USA, Ukraine, France and Japan took part in the conference. The Sakhalin region government is recommended to publish materials of the conference as a separate collection in Russian and English with the number of printed copies no less than 500. It is recommended to take into account five factors after the consent of authors for publication, during selection of materials for publication:

- scientific and technological novelty, consistency of technologies and methods;
- applicability in subarctic conditions;
- reliability, economic efficiency, perspective, technological applicability in the Far-Eastern region of the Russian Federation
- participation or prospects of involvement of the Russian companies and organizations during introduction of methods and products into operation;
- experience of the use of technologies and methods in conditions of Sea of Okhotsk.

Materials of the reports are formed on the basis of 34 papers provided and received materials in three basic directions. 83 participants took part in the conference, who represented the Sakhalin government, the Regional Duma, 39 Russian and foreign institutions, organizations and companies. It is recommended to conduct the next conference in 2013 under the aegis of the Sakhalin region government in Yuzhno-Sahalinsk. The working group is to fix the time of the conference.

## ABSTRACTS

### ***A1. Geophysics, Oceanography, Biology modern problems of the Subarctic Okhotomor'e and vicinities, their solutions***

#### **THE PROBLEM OF SEISMIC HAZARD IN SAKHALIN REGION: NEW APPROACHES TO SOLUTION**

**B. V. Levin**, CM RAS, DSc

**Ivan Nikolaevich Tikhonov**, DSc

Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far-Eastern  
branch of the Russian Academy of Sciences, 1B, Nauki street,  
Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russian Federation

+74242791517

**tikhonov@imgg.ru**

**www.imgg.ru**

Sakhalin region lies within the Pacific seismic zone and is one of the most earthquake-prone regions of Russia. Sakhalin is characteristic with the presence of a large number of critical and specifically critical buildings (for instance, offshore oil and gas platforms, oil and gas pipelines, LNG plant), which raise the degree of a seismic risk, dominating in comparison with other natural risks.

The level of the original seismic hazard in the territory of Sakhalin region is estimated in points of macroseismic scale MSK-64 on base of the maps of a general seismic risk zoning (OCP-97, maps A, B, C). According to these maps, the intensity of tremor under average periods of repetition  $T=500$ , 1 000 and 5 000 years makes from 8 to 10 points in Sakhalin and from 9 to 10 points in the Kuril Islands.

The first part of the report reviews the problems of making of new maps of general seismic risk zoning of the territory of the Russian Federation (OCP-2012). These works are being conducted by the working group of seismologists of Russia under the direction of V. I. Ulomov. One of the authors of the report is a participant of these works on the territory of Sakhalin region.

In 2011 the montages of new maps should be analyzed and constructed. Their basis includes the uniform methodology, which is based on lineament-domain-focal model of earthquake sources. Unlike the existing normative maps OCP-97, the new ones will contain estimations of a seismic hazard in a more exact (semi-point) presentation, as well as in parameters of peak ground accelerations with due account for spectral patterns. Renewing of the earthquake catalogues, elaboration of zone models of earthquake sources, use of the regional models of ground movements fading etc. – all these will promote a more realistic estimation of the original seismic hazard in the territory of Russia, and in Sakhalin region, in particular.

A significant place in the report is devoted to the following rank of zoning – detailed zoning. In recent years, the seismologists of Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Science offered a methodology of undertaking of these works and the pilot studies were carried out in Russia for improvement the OCP-97 maps in the territory of

20 towns of Sakhalin region and specifically critical buildings. The evaluations of seismic hazard degree in most cases turned out to be 1 point below in comparison with evaluations of OCP-97, which will greatly reduce the cost of construction of different facilities.

The final part of the report is dedicated to the new methodology of medium- and short-term forecasts of strong earthquakes elaborated by one of the authors. The algorithms realizing the given methodology are used at present during the expert prognosis evaluation of the seismic situation in the Kuriles' and Sakhalin areas. The practical relevance of the developments is confirmed by a number of successful forecasts and, in particular, justified with the forecast of a destructive Nevetsk earthquake in 2007.

### **THE UNIQUENESS OF THE SEA OF OKHOTSK CALLING UNIQUE SCIENTIFIC QUESTIONS AND CHALLENGES IN OBSERVATION**

**Prof. Makoto Kashiwai**

University of Tokyo (Japan), Head Chair, Fisheries  
Oceanography Research Studio "Oyashio-Ya"

**kashiwai@mua.biglobe.ne.jp**

The Sea of Okhotsk has unique features and roles among waters of North Pacific Subarctic:

- 1) Site of the watermass modification;
- 2) Dynamic interaction with SAG;
- 3) Marginal sea at the windward of strong and cold winter monsoon from Cold Pole;
- 4) Wide energy spectrum range of energy containing eddies, including basin-scale, sub-basin-scale gyres, meso-scale gyres, tidal vortices, etc.;
- 5) Quick and large rise/fall of isopycnal surfaces by response of eddies to the driving forces having short time-scale changes: storm, tide, SAG variability, etc.;
- 6) Coexistence of upwelling and downwelling;
- 7) Vertical current by secondary current structure generated by bottom topography and sub-basin-scale gyres etc.;

These geophysical phenomena are calling new scientific questions that demand challenges in observation:

A) How in the seasonal changes of and interactions among waters ?

(a) EKC water: i.e. water-mass before entering the Sea of Okhotsk;

(b) Kuril waters: i.e. water-mass exchanging with EKC, Okhotsk, and Oyashio;

(c) Okhotsk waters:

(d) Oyashio water:

B) How is the seasonal changes of and interaction among the basin-scale and sub-basin scale circulations in the Sea of Okhotsk and SAG ?

C) How is the interannual change of strength and coldness of winter monsoon over the Sea of Okhotsk?

- (a) Time of occurrence, correspondence between wind direction, strength and coldness;
- (b) Regional difference within SAG;
- D) What determines the balance between general basin-scale circulation and activity of smaller scale gyres?
- E) What happens during the time evolution of sub-basin-scale gyres?
- F) How can we evaluate vertical transport of materials by upwelling/downwelling occurring in the Sea of Okhotsk?
- G) How can we observe the current structure include secondary flows by bottom topography?

**SPATIO-TEMPORAL CHANGES OF THE CHEMICAL  
PARAMETERS AND CHLOROPHYLL IN THE SEA OF  
OKHOTSK**

**Andrew Grigor'evich Andreev**, PhD

POI DOV RAN V. I. Il'ichev Oceanological Institute 43,  
Baltiyskaya street, Vladivostok, 690041, Russian Federation  
+74232313092

**andreev@poi.dvo.ru**

**www.poi.dvo.ru**

The growth of carbon dioxide content in the atmosphere and climate change impact of the physical and chemical parameters in the waters of the Okhotsk Sea. Our study is aiming to detect the changes in the chemical parameters and chlorophyll in the waters of the Okhotsk Sea induced by natural and anthropogenic factors. It is revealed that between 1950 and 2005 there was a tendency to decreased surface salinity and decreased dissolved oxygen and increased temperature in the intermediate waters of the Okhotsk Sea. It is shown that the variations of the Alaska Gyre water volume transport are responsible for the observed temperature/salinity and chemical parameters interannual changes in the Okhotsk Sea. Decrease of diatom biomass due to warming could significantly reduce the biological productivity in the Okhotsk Sea. The role of Okhotsk Sea as a sink for the atmospheric CO<sub>2</sub> will be significantly decreased. For the northern Okhotsk Sea area the changes in chlorophyll concentration will be determined by impact of climate change on cloudiness and solar radiation. Due to low carbonate content of the sediments (less than 1%) the Okhotsk Sea probably could not be considered as important agent able to neutralize the seawater acidification forced by atmospheric CO<sub>2</sub> growth.



### ***TSUNAMI FORECAST PROGRESS FIVE YEARS AFTER INDONESIAN DISASTER***

***Vasily Vladimirovich Titov***, PhD

NOAA/Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL), 7600  
Sand Point Way, NE Seattle, WA 98115, USA

+12065264536

***Vasily.Titov@noaa.gov***

***www.pmel.noaa.gov***

Almost five years after the 26 December 2004 Indian Ocean tragedy, tsunami warnings are finally benefiting from decades of research toward effective model-based forecasts. Several tsunamis since 2005 demonstrated substantial progress in creating a tsunami-resilient global society. Since the 2004 tsunami, two seminal advances have been (i) deep-ocean tsunami measurements with tsunameters and (ii) their use in accurately forecasting tsunamis after the tsunami has been generated. Using direct measurements of deep-ocean tsunami heights, assimilated into numerical models for specific locations, greatly improves the real-time forecast accuracy over earthquake-derived magnitude estimates of tsunami impact. Since 2003, this method has been used to forecast tsunamis at specific harbors for different events in the Pacific and Indian Oceans.

Recent tsunamis illustrated how this technology is being adopted in global tsunami warning operations. The U. S. forecasting system was used by both research and operations to evaluate the tsunami hazard. The tests demonstrated the effectiveness of operational tsunami forecasting using real-time deep-ocean data assimilated into forecast model

### ***CLS INTEGRATED SERVICES BASED ON THE ARGOS SYSTEM, OCEANOGRAPHY EXPERTISE AND RADAR IMAGERY***

***G. Weller*** and the CLS team

CLS (Collecte Localisation Satellites), France

Contact: Garance Weller (gweller@cls.fr)

C.L.S. (<http://www.cls.fr>)

Direction Océanographie Spatiale Parc technologique du Canal  
8-10, rue Hermès 31520 Ramonville St-Agne – France

+33(0)5 61394821

Fax +33(0)561393782

CLS is a French company, created in 1986. The core activity is the commercial operation of satellite systems for positioning, data collection, ocean observation and surveillance. CLS develops added-value applications and services based on satellite remote-sensing data in the following main sector of activities:

- environmental surveillance
- sustainable management of marine resources,
- maritime security
- oil and gas

Examples from current applications in the Sea of Okhotsk and vicinities are provided.

***A2. New observations methods and applications for changing assessment in geophysics, ecosystems and technological processes in the Okhotomor'e SubArctic***

***THE PILOT PROJECT OF THE COMPLEX DIAGNOSIS FOR EARTHQUAKE PRECURSORS FROM SPACE: RESULTS AND PERSPECTIVES***

Yuri Matevich Urlicich, DSc., Professor\*

Alexey Aleksandro Romanov, DSc., Professor\*

***Alexander Alexeevich Romanov***, DSc\*

Gennady Afanas'evich Kantakov\*\*, PhD, FEEC Ltd.

OJC Russian Corporation of Rocket Space Engineering & Information Systems 53, Aviamotornaya street, Moscow, 111250, Russian Federation

+74956739934

**romulas@mail.ru**

**www.rniikp.ru**

\*\*FEEC Ltd., office 404, Mira ave., Yuzhno-Sakhalinsk, 693004, Russian Federation

+74242733221

**deco@sakhalin.ru**

**www.decoltd.ru**

The experiment of the earthquake precursors monitoring from space have fulfilled in the period of the preparation and strong earthquake (M6.3) on Sakhalin Island at the 2<sup>nd</sup> august 2007.

The meteorological data (relative humidity and temperature near surface, anomaly clouds relying on TERRA/AQUA information, thermal anomalies of OLR from NOAA, total electron content variations based on GLONASS/GPS and ionosphere vertical structure tomography reconstructions on COSMOS satellites data were analyzed.

The synchronism and localization of the anomalies, a spatially in F<sub>2</sub>-layer of ionosphere, registered by the different methods allow supposing the existence of their common source, possibly, the earthquake preparation process explained in the framework of developed complex model for «lithosphere-atmosphere-ionosphere» coupling. Thus, ionosphere state monitoring is very important research way of the phenomenon of the seismic event precursors.

If the permanent decreasing of the amount of the low-orbit navigation satellites will be taken into account the special satellite development with 150/400 coherent signals transmitter on-board is extremely necessary for further ionosphere researches. The transmitter could be made using microminiature technique, so its dimensions and energy consumption would be rather small. If those equipment characteristics have been taken into account the TNS-0 platform could be used as a basis for special small satellite for ionosphere earthquake precursors monitoring. It allows decreasing the costs of creation, launch and time for the development.

The further development of the satellite ionosphere tomography technique necessary for ionosphere earthquake precursors monitoring is possible in two perspective but connected ways.

From one hand it is really important to solve the problem of phase ambiguity for the measurements. It allows significantly simplifying the data processing procedure. From the other hand if we remove the receiving segment to the satellite we make possible the global ionosphere reconstruction in the satellite orbit plane.

The first problem might be solved with the aid of the proposed method of the multifrequency ionosphere sounding which theoretically allows calculating the absolute TEC on the ray-path between "source and receiver" upon phase signal characteristics.

The second problem might be solved with the aid of the new generation satellite equipment creation which allows developing satellite segment of the perspective system using small satellites. And the ionosphere state could be reconstructed for 15-100 min time period depends on the satellites amount (5-36).

The modeling results of the different ways of the perspective tomography system space segment realization are showing that the errors of the vertical distributions of the ionosphere electron concentration will be less than 30%.

#### **GROUND DISPLACEMENT MONITORING USING RADAR SATELLITE IMAGES FOR THE OIL AND GAS INDUSTRY**

**F. Lefèvre** and the CLS team

CLS (Collecte Localisation Satellites), France

Fabien Lefèvre (fabien.lefevre@cls.fr)

C.L.S. (<http://www.cls.fr>)

Direction Océanographie Spatiale Parc technologique du Canal  
8-10, rue Hermès 31520 Ramonville St-Agne – France

+33(0)561393745

Fax +33(0)561393782

Altamira Information, part of CLS Group, is an experienced earth observation company providing ground movement measurements with millimetric precision using satellite images. Based on radar imageries and especially InSAR expertise, Altamira Information provides useful services for the Oil and Gas industry for:

- Onshore: reservoir monitoring, CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> storage, pipeline monitoring, monitoring of LNG terminals and refinery monitoring.
- Offshore: platform monitoring and detection of oil slicks...

We will illustrate our talk by presenting the InSAR technology and the services dedicated to the Oil and Gas industry.

**TSUNAMI TOOL MAKING MEASUREMENTS AT THE PACIFIC  
COAST OF RUSSIA**

**Georgy Vladimirovich Shevchenko.** \* DSc

Tatiana Nikolaevna Ivel'skaya \*\*, PhD

Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far-Eastern  
branch of the Russian Academy of Sciences, 1B, Nauki street,  
Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russian Federation

+74242791517

**shevchenko@imgg.ru**

**www.imgg.ru**

\*\*SU «Sakhalinskoe UGMS» Roshydromet 78, Zapadnaya  
street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russian Federation

+74242722820

**t\_ivelskaya@sakhugms.ru**

**www.sakhmeteo.ru**

Long waves toolmaking measurements are main source of  
precise data which unveil tsunami characteristics (heights and  
periods of waves, oscillation duration and so on), what are essential  
for understanding the physics of natural hazards, developing  
methods for its near real-time and long-term forecasts.

IMG&G FEB RAS about 40 years ago developed and  
implemented deployment of the bottom hydrostatic pressure sensors  
near the South Kuril Islands (these measurements are continued  
now). There were pioneer researches and recently that kind of the  
measurement method was develop worldwide.

Recently, rapidly growing network of telemetry recorders  
Service Tsunami Warning is growing. During 2009–2010 years  
several tsunamis were recorded, among which the most interest  
were the waves from earthquakes off Samoa (29.09.2009) and  
Chile (27.02.2010). Both are characterized by a large tsunami time  
shift between the arrival of the first and highest waves (3–4 hours)  
and longer duration of intense oscillations – 14–16 hours. These  
circumstances are very important for prevention contrameasures,  
in particular when a signal OFF alarm tsunami should be issued.  
Tsunamis are manifested in various frequency bands. Samoa  
tsunami has been a high-frequency, increasing energy fluctuations  
observed in the range from 5 to 20 minutes. That is unusual for a  
tsunami from remote sources. Chilean tsunami was characterized by  
periods from 5 minutes to 2 hours, but the biggest was an increase  
in wave energy at periods of 30 to 80 minutes. These differences  
are due to the peculiarities of formation of the wave process at the  
tsunami source.

**MARCH 11–12, 2011 SANRIKU TSUNAMI IMPACT ON THE PACIFIC COAST OF RUSSIA**

Georgy Vladimirovich Shevchenko\*, DSc.

**Tatiana Nikolaevna Ivel'skaya** \*\*, PhD

Institution of the Russian Academy of Sciences, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far-Eastern branch of the Russian Academy of Sciences, 1B, Nauki street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russian Federation

+74242791517

**shevchenko@imgg.ru**

**www.imgg.ru**

\*\*SU «Sakhalinskoe UGMS» Roshydromet 78, Zapadnaya street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russian Federation

+74242722820

**t\_ivel'skaya@sakhugms.ru**

**www.sakhmeteo.ru**

The digital records obtained by deep-water DART stations and coastal telemetric gauges of Tsunami Warning Service and information related tsunami run-up by visual observations on the coasts of Kuril Ridge, Sakhalin Island and Primorye are considered. On Pacific coasts of Kuril Islands the tsunami heights reached 2 – 3.5 m, a tsunami alert was declared. The quality tsunami records were obtained on the coasts on Sakhalin Island and Primorye, but the tsunami was not dangerous in these areas.

**DEVELOPMENT AND FIELDING OF AN OPERATIONAL TSUNAMI WARNING CAPABILITY FOR THE PACIFIC AND INDIAN OCEANS**

**Robert Lawson**

SAIC (USA) Vice President

Ocean Technology Division, Manager Director, International Tsunami Buoy Program

Science Applications International Corporation 4025 Hancock Street, San Diego CA 92110

+18588261166

**ROBERT.A.LAWSON@saic.com**

**www.saic.com/tsunami/**

This presentation addresses the development, evolution and fielding of SAIC Tsunami Warning Buoy systems since the devastation of the December 26, 2004 Sumatra tsunami. SAIC leveraged its extensive experience in oceanographic sensing to produce an enhanced and reliable deep water sensor that could meet emerging international requirements. This led to the development of the first SAIC Tsunami Buoy (STB) which was deployed Oct. 25, 2006. Just three weeks later, it was put to the test during the November 15, 2006, Kuril Islands tsunami. Throughout that event, the tsunami buoy system showed excellent correlation with a NOAA DART buoy located close by. Subsequent analysis revealed that the STB matched DART operational capabilities and performed flawlessly.



As a result of the successes of this project, SAIC received a license from NOAA to build tsunami systems using DART technology. Since then, SAIC has provided tsunami warning buoys for Russia (1), Thailand (1), Australia (9), India (3), and China (2). Recently through a technology transfer and license agreement with NOAA PMEL, SAIC successfully produced the first commercial next-generation Easy-to-Deploy (ETD) DART tsunami assessment buoy system. The first ETD DART was deployed in the Coral Sea in late August 2010, and the system has been working perfectly since then. The smaller, gravity launched ETD DART is designed to be deployed by a vessel as small as a commercial fishing boat, requiring fewer trained personnel and only a few minutes of deployment time. This adds another important tsunami buoy option depending on oceanographic conditions.

#### **DRIFTING TECHNOLOGY OF THE WORLD'S OCEAN MONITORING**

Lunev E. G.

**Sergey Vladimirovich Motyzhev**, DSc.

Tolstosheev A. P., PhD

Marine Hydrophysical Institute, National Academy of Sciences of Ukraine, "NPF Marlin-Yug" LLC 2, Kapitanskaya street, Sebastopol, 99011, Ukraine, &fax: +380692540450

**marlin@marlin-yug.com**

**www.marlin-yug.com**

"Research-and-production company Marlin-South" LLC (<http://marlin-yug.com/index.php>) was organized in 1996 by the group of employees of the Marine Hydrophysical Institute of National Academy of Sciences of Ukraine for practical application of oceanographic works of the scientific studies' results with regard to development and use of the drifting technology. At present, the measuring surface drifting buoys with satellite communication (drifters) became one of the components of the global system of the ocean and near-water atmosphere monitoring. By now, the formation of the observation networks in the world ocean has been completed. The networks consist of almost 1 600 drifters, which provide for average observation density by contact methods not worse than 500×500 km.

Further efforts of the developers of the technology are focused on improvement of the measuring capabilities of the network, improvement in data delivery efficiency and cost cutting for measuring operations.

We have designed and introduced hardware and software systems for data transmission and determination of the buoys' location through satellite systems "Argos-2", "Argos-3", "Iridium", "Cospas-Sarsat", "Kurs" (Russia) and GPS, as well as through cellular communication and GPS. There have been created more than 50 designs of drifting buoys and ice markers, which are used by many countries to carry out works in the world ocean according to the national and international programmes. The technology and equipment for functional test of the buoys before, during and after

their start have been developed. From 1999 the systematic drifting on-line monitoring of the Black Sea has been performed in course of which the unique data about variability of the upper layer and near-water atmosphere in a broad range of space-time scales have been received. For the first time the drifters in the Caspian and Baltic Seas have been used.

New buoy systems for the pilot projects of the international Data Buoy Cooperation Panel (DBCP) have been developed and tested. Drifting experiments in the seas surrounding Sakhalin are being conducted together with Ecological Company of Sakhalin and Far-Eastern Ecological Centre, as well as the technology for solution of important onshore issues is being applied.

#### **METOCEAN DATA SYSTEMS, REVIEW OF PRODUCTS & SERVICES**

Tony Chedrawy, MetOcean Data Systems (Canada)  
P. Eng., MBA, President and CEO  
21 Thornhill Drive, Dartmouth NS, Canada, B3B 1R9  
**tony@metocean.com**  
**www.metocean.com**  
+19024682505 ext. 226  
Fax +19024684442

#### **ICE DRIFT MONITORING OF BROKEN FAST ICE FLOES USING SURFACE ICE-MARKER BUOYS WITH ARGOS TERMINAL AND TERRA-MODIS SATELLITES IMAGES FOR PROVIDING OF SAFETY MARINE OPERATIONS IN THE WEST OF OKHOTSK SEA IN SPRING**

**Victor Sergeevich Tambovsky,**

Alexey Olegovich Bobkov,  
Ecological Company of Sakhalin (ECS) 63, Rozhdestvenskaya street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693007, Russian Federation  
+74242425556, 425558  
Fax +74242425554  
**www.ecs.sakhalin.ru**  
**tambovsky@ecs.sakhalin.ru**

Duration of open water period on the area of offshore exploration and production oil and gas fields on the north and northeast Sakhalin offshore limits with 4.5–5 months. Except ships and marine equipment limits this period can be decreased owing to natural phenomenon such as ice return to the work area.

In 2001–2008 the marine operation in conjunction with an Ice Monitoring have allowed operations to be continued and risks of return of ice floes to the work area where the marine operation of Sakhalin 2 and Sakhalin5 Projects have started have been reduced.

In the spring 2009 ice drift investigations were conducted using ice-marker buoys with ARGOS terminal deployed on the broken fast ice floes in the Sakhalin Bay, because these floes are the most dangerous ice formation within returning ice. Hourly monitoring of ice floes position in conjunction with Satellite Ice Monitoring have allowed to obtain ice drift data of broken fast ice floes.

**CODAR SEASONDE HF RADAR SYSTEM OCEAN  
MONITORING FOR THE ENERGY INDUSTRY**

Don Barrick, PhD

Laura Pederson

**Chad Welan**

Codar Ocean Sensors (CODAR)

1914 Plymouth Street, Mountain View, California 94043 USA

+14087738240

**chad@codar.com**

**www.codar.com**

Large-scale 2-D surface current maps are an invaluable data asset to have in areas of offshore energy production and transportation. The SeaSonde HF RADAR has been providing continuous, real-time ocean surface current and wave measurements to the offshore industry for well over a decade. Along the U.S. coastline, over 100 SeaSondes are now supplying data to NOAA Integrated Ocean Observing System (IOOS) and National Data Buoy Center (NDBC) for real-time use by the U.S. Coast Guard for search and rescue operations and by NOAA Hazmat for marine spill response. In the Gulf of Mexico, six long-range shore-based SeaSondes provided Deepwater Horizon responders with surface current maps covering over 100,000 km<sup>2</sup> that extended over 200 km from shore. High resolution SeaSondes, like those installed along the San Francisco Bay, monitor more complex waterways around urban centers and are used in spill response readiness exercises and were used operationally during the Cosco Busan spill. Most recently, the Norwegian Clean Seas Association for Operating Companies (nofo.no) has funded, via the Norwegian company CodarNOR, development of a rapid response unit for helicopter deployment in remote locations. The applications for SeaSondes in the energy industry have not been limited to marine spill response but have also included platform deployment/operations planning, ocean modeling, vessel traffic safety management, and offshore renewable energy studies.

**OBSERVATION OF THE SOYA WARM CURRENT BY HF-  
RADAR**

**Naoto Ebuchi**, Prof., DSc.

Yasushi Fukamachi, PhD.

Kay I. Ohshima, Prof., DSc.

Masaaki Wakatsuchi, Prof., DSc.

ILTS, Hokkaido University (Japan)

Институт низких температур, Университет Хоккайдо  
N19-W8, Кита-ку, Саппоро 060-0819, Япония

+81117065470,

Факс +81117067142

**ebuchi@lowtem.hokudai.ac.jp**

**<http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/english/index.html>**

In order to monitor variations in the Soya Warm Current (SWC), three High Frequency (HF) radar stations were installed around the

Soya/La Perouse Strait in August 2003. The radar emits radio wave of 13 MHz and covers a range of approximately 70 km from the coast. Comparisons of the observed current velocity with drifting buoy and shipboard ADCP data showed good agreement with root-mean-square differences of 20 cm/s. It is shown that the HF radars clearly capture seasonal variations of the SWC. The velocity of the SWC reaches its maximum, approximately 1 m/s, in summer, and weakens in winter. The velocity core is located 20 to 30 km from the coast, and its width is approximately 50 km. The almost same seasonal cycle was repeated in these eight years August 2003. The surface transport by the Soya Warm Current shows a significant correlation with the sea level difference along the strait, as derived from coastal tide gauge records. The cross-current sea level difference, which is estimated from the sea level anomalies observed by the Jason-1 altimeter and a coastal tide gauge, also exhibits variation in concert with the surface transport and along-current sea level difference. In addition to the annual variation, the SWC exhibited subinertial variations with a period of 5–20 days.

**MULTISENSOR REMOTE SENSING OF THE  
HYDROMETEOROLOGICAL PHENOMENA AND PROCESSES  
IN THE SEA OF OKHOTSK: PROBLEMS, METHODS OF  
RESOLVING AND RESULTS**

**Leonid Moiseevich Mithik, DSc.**

Irina Alexandrovna A Gurvich

Vyacheslav Anatol'vich Dubina

Maya L'vovna Mitnik

Mikhail Konstantinovich Pichugin

Elena Sergeevna Khazanova

POI FEB RAS V. I. Il'ichev Oceanological Institute 43,  
Baltyiskaya street, Vladivostok, 690041, Russian Federation

+74232312854

[mitnik@poi.dvo.ru](mailto:mitnik@poi.dvo.ru)

[www.poi.dvo.ru](http://www.poi.dvo.ru)

The net of the standard hydrometeorological observations on the shore and sporadic shipborn measurements in the open areas of the Sea of Okhotsk do not provide operational monitoring of the atmosphere and ocean parameters fields, which 've influence on the fishery, offshore and transporation. Images in visual and infra bands by AVHRR (NOAA satellites) and MODIS Spectroradiometer (Terra and Aqua) improve significantly the analysis of atmospheric processes by cloudiness field and allow to monitor the sea ice in the absence of clouds. Active and passive sensing in the microwave range monitors atmosphere-ocean system, regardless of most forms of cloudiness and precipitation. This report focuses on applications of microwave data obtained from radiometer AMSR-E (Aqua), SAR ASAR (Envisat) and PALSAR (ALOS), QuikSCAT scatterometer and ASCAT, in combination with other types of satellites (Terra and Aqua MODIS, NOAA AVHRR, Landsat) and contact information for the study:

fields of surface wind, vapor content of the atmosphere, water content clouds and precipitation in marine weather systems (synoptic scale cyclones, the intense mesoscale cyclones, cold invasion);  
formation and development of ice cover in the Sea of Okhotsk and the Sea of Japan;  
eddies, internal waves, currents and other dynamic entities;  
oil pollution.

Restoring the ocean-atmosphere system is performed by algorithms developed in the POI. The examples are presented of multi-sensing of the Sakhalin Bay in January 2011, the polar cyclones off the north coast of Okhotsk Sea ice off the coast of Sakhalin, eddies, internal waves, and oil pollution in the Aniva Bay, near the Kuril Straits and others.

**METHODOLOGIES AND TOOLS FOR ANALYSIS OF  
SATELLITE INFORMATION FOR MONITORING OF NATURAL  
CONDITIONS FOR SUPPORT OF INDUSTRIAL ACTIVITY IN  
THE ICE-COVERED AND OTHER SEAS**

*Leonid Petrovich Bobylev, PhD,  
Vladimir Alexandrovich Volkov, PhD ,  
Vladimir Nikolaevich Kudryavtsev, DSc,  
**Dmitry Viktorovich Pozdnyakov, PhD,**  
Vitaly Yur'evich Alexandrov, PhD,  
Elizaveta Valerianovna Zabolotskikh, PhD,  
Dmitry Alexandrovich Petrenko*

Scientific Foundation "Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre" (NIERSC)

7, 14th Line Street, office 49, Vasilievsky Island, St. Petersburg,  
199034, Russian Federation, &Fax: +78123245102

**vladimir.volkov@niersc.spb.ru**

**www.niersc.spb.ru**

At NIERSC the methodology and tools for monitoring of natural conditions for support of industrial activity in the Arctic seas based on satellite information are being developed. These are the advanced approaches for radar imaging of ocean phenomena in the coastal zone, a methodology for monitoring of Polar Lows in the Arctic, some algorithms and tools for automatic classification of the sea ice, advanced methods for calculation of chlorophyll concentration, suspended minerals and dissolved organic matter and assessment of primary production.

Application of developed approaches for analysis of SAR images of coastal zones allows to quantify observed phenomena. The developed methodologies permit, in particular:

- to retrieve the near surface wind velocity field and identify/investigate specific features of atmospheric boundary layer transformation in the coastal zone and dangerous atmospheric events (e. g. polar lows);
- to detect surface contaminations caused by biogenic and artificial films including oil spills, to discriminate them from their look-alike, and determine quantitative properties of surface contaminations;



- to retrieve surface velocity current field, and to identify zones of surface current convergence and divergence which are associated with zones of enhanced biological productivity;

- to retrieve parameters of dominant surface wave field, – significant wave height and wave directions;

Methodology for monitoring Polar Lows in the Arctic is based also on using satellite passive microwave measurement data and advanced algorithms for atmospheric water vapor retrievals. High temporal resolution of such radiometers as Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I) onboard DMSP series satellites and Advanced Microwave Scanning Radiometer – Earth Observing Mission (AMSR-E) onboard Aqua satellite allows tracking these short living events, which sometimes cannot be registered by other instruments. Availability of high accuracy algorithms for atmospheric parameter retrievals makes it possible to get not only qualitative but also quantitative information about such dangerous events.

Algorithms for automatic classification of the sea ice are based on a neural network approach and makes it possible to retrieve from SAR images the information about up to 4 type of ice cover.

At the Nansen Center, we developed a methodology and realized it in form of software packages for determination from ocean colour satellites (SeaWiFS, MODIS, MERIS) of such marine and lacustrine water quality parameters as phytoplankton chlorophyll, suspended minerals and dissolved organic matter. Also developed and realized for a number of water bodies are methodologies of establishment of multi-year trends of variations of the above parameters through employing the procedure of statistically reliable averaging of satellite ocean colour data over months, seasons and years.

Developed are computer codes for animation of space and time variations in the field of water quality parameters, which is important for expert analysis of processes unfolding in the targeted aquatic environment. Presently, we are developing a methodology for a quantitative assessment of primary production rates in optically complex waters.

#### **USE OF RADAR IMAGERY TO DETECT AND MONITOR VESSEL ROUTES IN THE OKHOTSK SEA (DECEMBER 2010)**

**F. Lefèvre** and the CLS team

CLS (Collecte Localisation Satellites), France

Direction Océanographie Spatiale Parc technologique du Canal  
8-10, rue Hermès 31520 Ramonville St-Agne – France

+33(0)561393745

Fax +33(0)561393782

**fabien.lefevre@cls.fr**

**<http://www.cls.fr>**

Radar satellites (synthetic aperture radars) allow the detection of objects at the sea surface. In particular ships, ice sheets, icebergs are detected and monitored by radar imagery. During December 2010, ships were icebound in the Okhotsk. CLS monitored these ships in delayed time by the mean of satellite radar technology by the Vigisat team of CLS. We will present these radar imageries

and their interpretations. Then we will discuss a service based on the expertise of CLS that will allow a real time monitoring of ice conditions in order to improve safety of ships at sea in iced seas.

***PROFILING FLOATS: PRESENT TECHNOLOGY AND  
POTENTIAL APPLICATIONS IN THE SEA OF OKHOTSK***

Stephen Riser\*, Professor

Alison Gray\*\*

\*University of Washington,

\*\*School of Oceanography

1501 NE Boat Street Marine Sciences Bldg Seattle, WA 98105

+12065434357

[alison@ocean.washington.edu](mailto:alison@ocean.washington.edu)

[www.ocean.washington.edu](http://www.ocean.washington.edu)

The international Argo program has maintained an array of more than 3 000 profiling floats in the global ocean for much of the past decade, with more than 25 countries collaborating in this effort. These floats have provided reliable estimates of temperature and salinity in the upper 2 000 m of the world ocean at 10 day intervals and have led to the publication of more than 700 scientific papers. Since the year 2000 several of these floats have been deployed in the Sea of Okhotsk, by both Russian and Japanese scientists. These deployments have begun to show the pathways of mixing and flow from north to south, and outflow through the Kuriles.

Modern versions of these floats feature ice-detection and avoidance software as well as biogeochemical sensors capable of measuring dissolved oxygen, nitrate, particulate carbon, chlorophyll, and pH reliably over periods as long as 5 years. An array of floats equipped with these sensors could provide important information on the linkages between physical and biogeochemical processes in the Sea of Okhotsk over seasonal and interannual time scales. The costs of such floats are significantly lower than the collection of analogous shipboard data, and the instruments can be deployed from nearly any kind of vessel, including fishing boats

**MULTIPARAMETRIC TETHERED PROFILER SURVEYS IN THE  
BALTIC, BLACK, CASPIAN AND JAPAN SEAS**

**Alexander Grigor'evich Ostrovsky**, PhD

Andrey Georgievich Zatsepin, DSc

Dmitri Anatol'evich Shvov

Vladimir Alexandrovich Soloviev

Andrey L'vovich Tsibulsky

P. P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of  
Sciences 36, Nakhimovsky prospect, Moscow 177997, Russian  
Federation

+74991246392

Факс +74991245983

**osasha@ocean.ru**

**www.ocean.ru**

The tethered profiler *Aqualog* was built for multidisciplinary monitoring of the environmental conditions in the outer shelf and continental slope waters. The profiler *Aqualog* is a self-propelled device. It is designed to carry on profiling up to near-surface layer of the ocean. So far the typical depth range of *Aqualog*'s operation was 5–800 m. There are magnetic switches on the profiler that determine locations of the special movement limiters at the mooring line thereby defining the profiling depth range automatically. The profiler can be deployed from rather small ship. Also it can be mounted on a pre-deployed mooring line by a diver and then it can be started by a magnetic key in the water. The profiler can work in conditions of rather strong horizontal flow up to 0.8 m/s when the mooring line is inclined by 10–15° from the vertical axis. It has an energy resource sufficient for profiling the water column in the programming regime for up to several months.

The custom measurement instruments are high-precision, stable and fast-response. When the carrier is moving with the speed of 0.1 m/s the vertical profiles are measured with a vertical resolution of 0.05–0.2 m for pressure, conductivity and temperature (RDI Citadel CTD, RBR XR620 CTD, Idronaut 320 CTD, SBE 49 CTD, SBE 52 CTD, SBE 19plus CTD), 0.6 m for the current velocity (RDI DVS, Nortek Aquadopp) and 0.8 m for the dissolved oxygen (AANDERAA Oxygen Optode 4330F, Idronaut Oxygen Sensor, SBE 43F). Optional sensors such as turbidimeter and fluorimeter can be connected via CTD probe.

The feasibility studies in the Baltic, Black, Caspian, and Japan Seas have shown that the profiler *Aqualog* is a useful tool for multidisciplinary investigations and environmental monitoring of the shelf waters as well as deeper waters over the continental slope.

**SEA LEVEL DATA RELAYING REAL-TIME SYSTEM**

***Petr Vasil'evich Dushenko***

SI «Sakhalinskoe UGMS» Roshydromet 78, Zapadnaya street,  
Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russian Federation  
+74242722820  
**peter@sakhugms.ru**  
**www.sakhmeteo.ru**

In the frame of Federal Task Program (FTP) "Reduction of risks and mitigation of natural and technological disasters in the Russian Federation (RF)" Sakhalin Hydromet reconstructed onshore tide gauges stations of the Tsunami Warning Service in the Sakhalin Oblast'. Reconstruction is accompanied with relaying and measuring equipment aiming to collect sea level and temperature data.

For the data transmission the special controllers for relaying data (SCRD) are used which were provided from FTP sources. SCRDs allow to transmit data in the real-time mode by different ways: satellite link, ADSL or GPRS. The switching functions between main and spare channels are enabled, including store data function. Recently in the Tsunami Center the sea level fluctuations are monitored with 1 minute discretion.

**ORIGIN OF HYDROCARBON IN OIL AND GAS BEARING  
WATER AREAS (SEA OF OKHOTSK, BARENTS, BALTIC SEAS)**

***Inna Abramovna Nemirovskaya***, DSc

P. P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of  
Sciences 36, Nakhimovsky prospect, Moscow 177997, Russian  
Federation  
+74991246392  
Факс +74991245983  
**nemir@ocean.ru**  
**www.ocean.ru**

When exploring, developing and using of oil-gas deposits, the environmental monitoring studies, including determination of a hydrocarbon contamination of these regions are conducted. The analysis of the published expert estimations has shown that the amount of anthropogenic hydrocarbons entering from all sources into the World ocean is comparable (in the absence of large-scale accidents) with their annual flow coming from the bottom (from the annual flow of HC of  $1.3 \times 10^6$  t., at average about 600 thousands t, i. e. 46% of the whole volume, happens due to natural seepage of HC. So, the natural hydrocarbon background in the areas with oil and gas deposits turned out to be, in separate cases, higher than for other areas.

There is an original methodology of HC analysis developed based on determination of not only their concentration, but also of their origins. For the first time, the interdisciplinary system approach has found a use to study the regularities of HC behaviour on a quantitative and qualitative levels. Also, different markers of HC composition were used in comparison with the suspended materials, total lipid fraction and general content of organic material ( $C_{org}$ ). In this

case they use a combination of several analytical methods defining aliphatic hydrocarbons (AHC) including alkanes and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAC). The correlation of individual HC enables to set the dynamic of HC under the influence of natural (physical, chemical and biological) processes and anthropogenic factors (external contaminant sources of the environment). The peculiarities of such an approach are stated in detail and are confirmed by multiple studies of HC in different migration forms in the oil and gas bearing areas of the Sea of Okhotsk (shelf of Sakhalin), Barents (Shtokman deposit) and Baltic (Kravtsovsk deposit) seas. The generality and differences of HC depending on the deposit's nature, geo- and hydrological conditions, their background features have been determined.

**MONITORING OIL FROM THE DEEPWATER HORIZON  
BLOWOUT USING POLYETHYLENE MEMBRANE DEVICES**

**Jeffry Short**, PhD.

JWS Consulting, LLC 19315 Glacier Highway, Juneau, Alaska,  
99801 USA

+019072093321

**jwsosc@gmail.com**

The Deepwater Horizon blowout in the Gulf of Mexico caused the largest accidental oil discharge in history, releasing ~700,000 m<sup>3</sup> at a seawater depth of 1,500 m. Turbulence induced by release of oil mixed with methane and other low molecular mass hydrocarbons near 160°C at a pressure differential exceeding 100 atmospheres into cold seawater at much lower pressure caused natural dispersion of the oil into a distribution of droplets that began ascending toward the sea surface. The rate of ascent depends on droplet size and is limited by terminal Stokes velocities. Addition of chemical oil dispersants near the point of discharge increased the proportion of smaller oil droplet sizes by an indeterminate amount. The terminal velocity of oil droplets smaller than about 100 µm is sufficiently slow that lateral advection by mid-water currents dominated, transporting some fraction of the released oil as mid-water "oil plumes". These plumes moved along density isopleths generally parallel to the bathymetry, toward the northeast and southwest, driven by barotropically-driven currents. Some of the oil apparently associated with sinking inorganic or organic material that transported it to the seafloor.

Detection of the subsurface oil plumes was based mainly on measurements of particle sizes, fluorescence and mass-spectrometry of light hydrocarbons, supported by grab samples and visual photography. While adequate for detecting low concentrations of oil at the instant of sampling for the discrete water mass sampled, more sensitive passive sampling methods provide a time-integrated indication of contamination within considerably larger effective sample volumes of seawater. This inherent sensitivity recommends their use for evaluating the longer-term persistence of oil on the seafloor after the oil discharge ended on 15 July 2010.



To evaluate the persistence of traces of oil in the water column to the southwest of the wellhead, we deployed arrays of polyethylene membrane devices (PEMDs) for ~5 days during late Aug-early Sep 2010. The PEMDs we used consist of 0.5 m × 0.03 m × 0.1 mm strips of pre-cleaned polyethylene that can concentration polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) from ambient seawater by factors of 104 – 106, allowing detection of individual PAH below 1 ng/L and of oil below 1 ug/L. The PEMDs were deployed at 100 m depth intervals from the seasurface to the seafloor on mooring lines located in a grid from 16–60 km from the wellhead. After retrieval the PEMDs were analyzed for dibenzothiophenes, because these compounds are found in most crude oils, including MC-252, and are largely removed from most refined oil products in the US.

Our results indicated little oil remained in the region we sampled. The highest concentrations were associated with the sea surface and the sea floor, where oil concentrations may have reached 10 ug/L, whereas oil concentrations were likely less than 1 ug/L in the intervening water column. These low oil concentrations reflect the combined effects of microbial degradation, advection and continued dilution through dispersion. We also conclude that PEMDs provide a sensitive yet inexpensive approach for monitoring trace-level hydrocarbon contamination, corroborating results from applications in Prince William Sound following the 1989 Exxon Valdez oil spill, and in the Athabasca River watershed following development of the Canadian tar sands industry.

#### ***HARDWARE SYSTEM FOR ECOLOGICAL MONITORING OF ACOUSTIC NOISES AT THE SHELF AREA OF SAKHALIN ISLAND***

***Alexander Nikolaevich Rutenko***, DSc

POI DVO RAS

V. I. Il'ichev Oceanological Institute 43, Baltyskaya street,  
Vladivostok, 690041, Russian Federation

+74232313092

***rutenko@poi.dvo.ru***

***www.poi.dvo.ru***

Three hardware systems for monitoring of noises and parameters of seismic-acoustic signals in the north-eastern shelf of the Sakhalin Island in two traditional areas of annual feeding of the Okhotsk-Korean population of the gray whales, entered in the RF Red Book. These acoustic measuring facilities were designed and manufactured by the Pacific oceanological institute of the Far-Eastern branch of the Russian Academy of Sciences with financial support from "Exxon Neftegaz Limited", "Sakhalin Energy" and "Rosneft". The main acoustic measuring device is the self-contained undersea acoustic recorder – APAR which provides for continuous measurements of the bottom variations of acoustic pressure in the frequency range of 2-15000 Hz. From 2006 the acoustic measurements are performed in 16 points, located on the borders and inside of the coastal Piltun and Offshore areas of grey whales' feeding in a summer-autumn period by means of APAR.

For the organization of monitoring, parameters of seismic-acoustic signals, on the eastern border of the coastal Piltun area at the time of installation by "Sakhalin Energy" of the offshore platform "PA-B" and subsea pipeline, as well as during performance of 4-D seismic explorations on Piltun-Astokhskoye field, APAR were equipped with analog and digital telemeter channels which provided the transmission of acoustic signals measured in frequency ranges of 10-5000 Hz and 2-2000 Hz to the onshore receiving center. For real-time monitoring of the acoustic impulse parameters generated during performance by "Rosneft" of seismic-acoustic explorations on "Lebedinskoye" field, the digital acoustic recorders connected with the onshore station by means of 2.5 km long cable lines have been developed and used successfully. These recorders provided the measurements of acoustic pressure variations in the frequency range of 2-1400 Hz and dynamic range not less than 135 dB (24 digit ADC was used).

**THE PERSPECTIVES OF THE GREY WHALE WESTERN  
POPULATION RESEARCHING OF THE MIGRATIONS BY  
SATELLITE TAGGING**

**Valentin Yur'evich Il'yashenko** et al., PhD,

A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS 33,  
Leninsky prospect, Moscow 119071 Russian Federation

+74959547553

Fax +74959545534

**valpero53@gmail.com**

**www.sevin.ru**

As a result of commercial whaling gray whale was destroyed in the XVII century in the Atlantic, in the XIX century, its stock have been undermined and in the North Pacific, where usually there are three populations – "Japanese" (destroyed), "Western" or "the Okhotsk-Korean" (pre stock amount of the natural population was about 2 thousands) and "East" or "the Alaska-California" (pre stock amount – about 16–18 thousands species).

By the beginning of XX century the number of the eastern population was reduced to 2 thousands, after the banning of the commercial whaling, it increased by 1988 to 21.5 thousands in 1998 – to 22–32 thousand, which apparently exceeded the capacity of the environment habitat and, at the present time, it stabilized at 14–21 thousands species. Western population, apparently, was also wiped out, although individual meetings noted till the mid of XX century off the coast of China, Korea, Japan, as well as in summer, feeding period, the Kuril Islands. Just during the maximum quantity of Eastern population of gray whales in 1920 rediscovered in 1983 off the coast of Sakhalin in amount of 20. However, since then the vast majority of researchers believe that the restoration of the relic of the western population is beginning. To the date, its population is estimated of 120–150 individuals, with a regular appearance a new adults. Some whales do not meet every year, some individuals have ceased to meet. Migration routes and wintering places are unknown.

Modern methods of research – genetic, photo identification, as well as direct observations showed that complete isolation between these populations is absent. Moreover, there is reason to believe that the restoration of the Sea of Okhotsk side of the population area is not due (or not only) can be preserved specimens of relict populations, as a result of resettlement of the eastern population in historic habitat. An example of long-distance migratory eastern population grey whales may serve a gray whale spotting off the coast of Israel and Spain in May 2010, i.e. within the area extinct Atlantic population.

Search feeding areas, identify migration routes and wintering sites need to implement by objective methods. Tagging in October 2010, thirteen old male from Sakhalin was possible to trace its migration to the North America shores – in the natural habitat limits of the the eastern population ([www.sevin.ru/ExpeditionsRAS/Gray\\_whale/Gray\\_whale.html](http://www.sevin.ru/ExpeditionsRAS/Gray_whale/Gray_whale.html)).

This fact only confirms the lack of isolation between the different parts of the habitat area of gray whales in the North Pacific and the presence of common wintering sites. But we can not exclude that some individuals continue or begin to use historical wintering south of the Sea of Okhotsk. Given the intensity of exploitation of shallow waters – fisheries and aquaculture in Japan, Korea, China, oil and gas offshore development in the Okhotsk Sea, the identification of key habitats in the habitat of western gray whales using satellite telemetry and tagging is a priority and will promote measures for its recovery at the national level of states in the habitat area and international cooperation.

#### **THE MARINE MAMMALS TAGGING RESULTS IN THE SEA OF OKHOTSK: OBJECTIVES, TASKS AND PERSPECTIVES**

**Dmitry Glazov** et al, PhD

A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS 33,  
Leninsky prospect, Moscow, 119071, Russian Federation  
+74959547553  
Fax +74959545534  
[glazov@gmail.com](mailto:glazov@gmail.com)  
[www.sevin.ru](http://www.sevin.ru)

#### **MOVEMENTS PATTERNS OF THE SPOTTED SEALS BETWEEN HOKKAIDO AND SAKHALIN BY SATELLITE TAGGING MARY KOBAYSHI**

**(Presented by Prof. Makoto Kashiwai)**

Tokyo University of Agriculture, Bio-Industry Faculty  
198 Yasaka, Abashiri, Hokkaido, 099-2422 Japan  
+81152483912  
Fax +81152483920  
[m3kobaya@bioindustry.nodai.ac.jp](mailto:m3kobaya@bioindustry.nodai.ac.jp)  
<http://www.nodai.ac.jp/english/>

The numbers of spotted seals are increased because of decreasing in hunting recent years. Moreover, the number of

migrate individuals on the Sea of Japan around Hokkaido where little migrated once is increased every year at the present time because of a decrease in the drift ice. In addition there is the tendency that visiting period is early and the returning period is delay, new haul-out are made and the expansion of the visit place to south. In the Rebun Island, the spotted seals habit all around year and birth at the Todo Island is confirmed now.

Then we put the satellite tags at Bakkai bay on the nine spotted seals to investigate the movement patterns around Hokkaido, JAPAN. As results, there are two patterns of summer habitats; east of Sakhalin (n=2) and Tatar Strait (n=1), two patterns of breeding area; on drift ice of the Okhotsk (n=1) and of the Tatar Strait (n=1), and three patterns of movement patterns around the sea of Japan; stay around Bakkai bay (n=3), coming and going between Bakkai bay and Rumoi (n=4), and going more southern area and stay until going back the summer habitat (n=2). So we concluded that the spotted seals which come to the sea of JAPAN around Hokkaido mixed Sakhalin group with Tatar Strait group of summer habitat, and also use the breeding sites both drift ice of the Okhotsk and Tatar Strait.

#### **OCEANOGRAPHY OF SHANTARSKIY ARCHIPELAGO AND ADJACENT BAYS AS THE LAST SHELTER FOR ARCTIC WHALES IN THE SEA OF OKHOTSK**

**Natalia Vasil'evna Shlyk**, PhD

Konstantin Anatol'evich Rogachev, DSc

POI FEB RAS V. I. Il'ichev Oceanological Institute 43, Baltyiskaya street, Vladivostok, 690041, Russian Federation

+74232312854

+74232312158

Факс+74232312573

shl@poi.dvo.ru

www.poi.dvo.ru

Experimental researches of water circulation in Shantarskiy Archipelago and adjacent bays have not been carried out yet. Marine and satellite observations are compared in this work. Data of visible channels of radiometer AVHRR with spatial resolution 1.1 km (satellites of series NOAA), and data of the 1<sup>st</sup> (visible) channel of radiometer MODIS with resolution of 250 meters (satellites Aqua and Terra) were used. Processing of satellite data was carried out with the help of software tools developed in centre of multiple access regional satellite monitoring of environment at FEB RAS. Sea observations include data on direct observation of currents, data of satellite buoys Argos provided by *Ecological Company of Sakhalin*, and observations of salinity, temperature, and pressure obtained by POI in different years. We studied connection between distribution and concentration of zooplankton and oceanographic conditions at place of feeding of Arctic whales in bays of Shantarskiy Archipelago. Water masses in the studied district have direct influence on taxonomic composition of zooplankton available as catch for whales. Dense accumulation of Pteropods (*Limacina helicina*) and Copepods (*Calanus glacialis*) were detected at the southern border of cold and

dense shelf waters. Results of direct observations show that tidal currents are the main mechanism of formation of short-term, but dense accumulation of Pteropods in Academy Bay which attracts the biggest predators of the Sea of Okhotsk. Satellite observations show that water running into bays adjacent to the Archipelago forms anticyclonic circulation. Such circulation accumulates significant part of river flow. During observation over drifting storms Argos detected anticyclonic circulation on the surface of Sakhalin bay with period of 3–8 days. Drifter residence time within the vortex was about one month. Obtained data on circulation in Sakhalin bay are compared with similar observations carried out by us in adjacent Academy bay. Characteristics of circulation in Academy bay are obtained on the basis of satellite observations for trajectory of single ice floes and anchored buoys. Results of these observations are compared with a simple model that allows to establish nature of circulation and its main characteristics.

#### **ARGOS SCIENTIFIC APPLICATIONS**

**G. Weller** and the CLS team  
CLS (Collecte Localisation Satellites), France  
Direction Océanographie Spatiale  
Parc technologique du Canal 8-10, rue Hermès  
31520 Ramonville St-Agne – France  
+33(0)561394821  
Fax +33(0)561393782  
**gweller@cls.fr**  
**<http://www.cls.fr>**

Ranging from the simple animal tracking by satellite to a sophisticated Wildlife Information System, CLS has a panel of services dedicated to the environmental surveillance. Illustration of applications and ongoing projects will be done through this session.

#### ***A3. Successes and Problems in the Modeling of Changes in the Geophysics, Ecosystems and Technological Processes in the Environment of the Okhotomor'e SubArctic***

##### **DEVELOPMENT OF THE PERSPECTIVES FOR THE OPERATIONAL TECHNOLOGY MODELING AN OIL SPILLS MOVEMENT FORECAST AT EASTERN SHELF OF SAKHALIN**

Yury Nikolaevich Volkov, PhD  
Evgeny Victorovich Karasev, PhD  
**Oleg Vladimirovich Sokolov**  
Alexander Fedorovich Lomakin, PhD  
SI FERHRI 24, Fontannaya street, GSP, Vladivostok, 690990,  
Russian Federation  
+74232434088  
Fax +7423243-40-54  
**ekarasev@ferhri.ru**  
**<http://rus.ferhri.ru>**



The problems of developing middle-term forecast technology based on the automated hydrometeorological service for customers are considered. The objective is to ensure the forecast characteristics of water movement during possible oil spills on the shelf. The proposed technology is based on a combination of a single set of advanced hydrodynamic models forecast: atmospheric (WRF), ocean currents (ROMS), waving (WaveWatch III, SWAN) and oil distribution, taking into account the different physical, physico-chemical factors.

The results of work gained at the first stage of developing technology are demonstrated.

#### ***OCEAN MODELS AND DRIFT MODELS USING IN SITU DATA, NUMERICAL MODELS AND SATELLITE DATA***

***F. Lefèvre*** and the CLS team.

CLS (Collecte Localisation Satellites), France

Direction Océanographie Spatiale Parc technologique du Canal 8-10, rue Hermès 31520 Ramonville St-Agne – France  
+33(0)561393745

Fax +33(0)561393782

***fabien.lefevre@cls.fr***

***http://www.cls.fr***

For over 30 years, CLS has been operating the Argos satellite-based system. This system is used to track object at sea (oil spills, boxes, iceberg, ships...) by deploying buoys and collecting their drifting locations. Ocean-observing satellites are now operational and naturally occupy a major place in programs designed to manage and predict ocean and climate change. The measured remote sensing data are used to describe the surface conditions of the ocean that have an impact on the drifting objects. The associated Earth Observations (EO) remote sensing products are now distributed in real time and have been shown to be extremely valuable for different industrial applications at sea.

CLS is also actively involved in the development of operational oceanography systems. These systems integrate remote sensing data with in-situ data and ocean models to provide a real time description and prediction of the ocean state.

Based on these different techniques, CLS actually offers a fully integrated service to track and forecast the drift of object at sea.

We will illustrate our talk by presenting drift services and the different elements which are based on satellite technology. We will conclude by highlighting the benefits of using such services for the Oil and Gas industry.

**ABOUT HYDRO-PHYSICAL METHOD OF THE REAL-TIME  
TSUNAMI FORECAST**

**Yury Petrovich Korolev**,\* PhD.

Tatiana Nikolaevna Ivel'skaya\*\*, PhD

\*Institution of the Russian Academy of Sciences, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far-Eastern branch of the Russian Academy of Sciences, 1B, Nauki street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russian Federation

+74242791517

**yury@imgg.ru**

**www.imgg.ru**

\*\*SI «Sakhalinskoe UGMS» Roshydromet 78, Zapadnaya street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russian Federation

+74242722820

**t\_ivel'skaya@sakhugms.ru**

**www.sakhmeteo.ru**

The review of the events related to announcement of the tsunami alerts in the northern part of the Pacific Ocean since 1986 was given. The way and algorithm of estimation of the form of the predicted tsunami on the basis of data about the ocean level in the offshore points in the real time mode have been described. To predict tsunami it is necessary to get seismological information only about the time of the main shock and coordinates of the earthquake focus.

The results of the numerical modeling of the operative prediction process of Simushir tsunami in 2006, 2007 and 2009 for the northern part of the Pacific Ocean were presented. All the experiments recorded rather good coincidence of the calculated and registered forms of tsunami. The quality of coincidence is sufficient for decision making about announcement of the tsunami alert under different mutual location of the tsunami centre, stations of the ocean level measurement and points for which the prediction is made. The tsunami initial phase is predicted correctly: rise or depression of the level.

The results of modeling of the operative prediction of the weak Simushir tsunami in 2009 in the stations of the Kuril Islands showed that the tsunami estimation form rather well agrees with the form of the registered tsunami. For the first time it has been shown that based on the limited level information in a remote point it is possible to predict tsunami of long duration, on the basis of which one can estimate the tsunami alert duration. The possibility of prediction in the Kuril Islands' stations according to the data of the ocean level measurement stations located on the ocean side of the Kuril-Kamchatka trench has been confirmed.

**THE DIRECT COMPUTATIONAL EXPERIMENTS IN THE OPERATIONAL SERVICE FOR TSUNAMI AND SEA SURGE FORECASTING**

**Vasily Nikolaevch Khramushin**, PhD

Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far-Eastern branch of the Russian Academy of Sciences, 1B, Nauki street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russian Federation

+74242791517

**www.imgg.ru**

**Khram@Mail.ru**

Sakhalin State University 290, Lenina street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693008, Russian Federation

+74242253724

**Khram@sakhgu.ru**

In the process of alarm at the disastrous tsunami in Chile in 2010 and in Japan in 2011 holds prognostic direct numerical simulation of the tsunami, for early and with sufficient certainty to determine the dynamics of tsunami waves along the coast of Sakhalin and the Kuril Islands. In this paper briefly discusses the technical features of the formulation and conduct computational experiments on the modeling of long-wave processes in the open ocean and coastal shallows, are determined by the minimum required initial conditions, and highly efficient algorithms, put in support of the quality of the calculations. The results of simulation are compared with observations of sea level at many hydro stations in the Pacific Ocean, the results of new refining calculations performed in order to adapt predictive computational experiments to the conditions of use in the rules of the operational service of a hazard warning for tsunamis, storm surges and extreme flows in seaports and coastal shallows.

**IMPORTANT DETAILS OF THE MATHEMATICS MODELING OF THE OIL HYDROCARBONS DISCHARGE IN THE MARINE BASINS AND FOLLOWING TRANSFORMATION (CASPIAN SEA AND SEA OF OKHOTSK PARTS EXAMPLE)**

**Alexander Vasil'evich Leonov**, DSc

P. P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences 36, Nakhimovsky prospect, Moscow 177997, Russian Federation

+74991246392

Факс +74991245983

**leonov@ocean.ru**

**www.ocean.ru**

Shown an experience of the information using, regarding containing hydrocarbons in the inflows and marine ecosystems aiming reproduction in the model conditions for oil pollution and development of the oil degradation. Examples from Caspian Sea as well different parts of the Sea of Okhotsk are demonstrated.

**A LOWER TROPHIC ECOSYSTEM MODEL WITH AND WITHOUT IRON EFFECT IN THE OKHOTSK SEA**

**Michio J. Kishi\*, Prof. and Takeshi Okunishi\*\***

**(Presented by Prof. Makoto Kashiwai)**

\*Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Minato-cho 3-1-1, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan

\* Frontier Research Center for Global Change, 3173-25 Showamachi, Kanazawa-ku, Yokohama 236-0001, Japan

\*\* National Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Research Agency, Fukuura 2-14-4, Kanazawa-ku, Yokohama, Kanagawa, 236-8648 Japan

\*Hokkaido University, N10, E5, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-0810 Japan

Tel&Fax +81117062323

**mjkishi@nifty.com**

**<http://homepage3.nifty.com/mjkishi>**

A three dimensional ecosystem – physical coupled model including iron effect is applied to the Okhotsk Sea. In order to clarify the iron origin, the ecosystem model (KKYS-Fe) is modified by adding four iron compartments to Kawamiya et al. (1995)'s model (KKYS). We hypothesized that the iron-supply to sea water are clarified into four processes: atmospheric loadings from Northeastern Asia, riverine input from the Amur River, solution from sediment and recirculation process of zooplankton and bacteria. The simulation was conducted for 1year from 1 January 2001 to 31 December 2001 by using KKYS-Fe and KKYS. After a spring boom, KKYS can not reproduce surface nitrate distribution, while KKYS-Fe shows good agreement with that in the Northwestern Pacific because of iron limitation of phytoplankton growth. During spring bloom, the main source of iron on sea surface is from the atmosphere. The atmospheric iron=contributed 59% of the source of iron for the primary production in the Okhotsk Sea. These results were published in Continental Shelf Res., 27, 2080-2098.

**THE OKHOTSK SEA ECOPATH – A PROMISING TOOL FOR STUDYING THE ECOSYSTEM FUNCTIONING**

**Vladimir Ivanovich Radchenko**, PhD

Federal Agency on Fishery 12, Rozhdestvensky boulevard, Moscow 107996, Russian Federation

Fax +74956281904

**vlrad@mail.ru**

**<http://www.fish.gov.ru>**

During the 1980s–2000s, integrated marine expeditions have collected enormous datasets characterizing the various aspects of the composition, structure, and functioning of the far-eastern sea ecosystems. At present, improving of methodology of the ecosystem studies remains an urgent task of fisheries science.

The Sea of Okhotsk ecosystem provides the basis of national fisheries: 50–65% of the total catch in 2000s. The Sea of Okhotsk is experiencing the risks of anthropogenic pollution, especially oil,

in relation with the oil and gas fields development on the northeast Sakhalin Island shelf, and petroleum hydrocarbons are the strongest toxicants for most species of marine aquatic life. Ecosystem study based on data collected prior to the intensive offshore oil and gas fields development is of undoubted interest to obtain reference values of the ecosystem parameters.

ECOPATH is a balance model of ecosystem trophic structure, which was widely acknowledged in the methodology for compiling and processing data on trophic relationships in marine ecosystems. Its advantage over the block model is the ability to use a large amount of data, assimilating data into a single logical architecture. It quantifies the dominant trophic links, and focuses on the ways of the dominant mass transfer, sorting them by importance to assess the functioning of the ecosystem as a whole. Progressive model possibilities include better capabilities in the result visualization, in data preparation for comparisons and interpretations, and higher calculation speed.

The presented Okhotsk Sea ECOPATH covers the Russian exclusive economic zone and the neutral waters, 1520.4 km<sup>2</sup> in total. Total biomass (excluding detritus) was distributed with a density of 590.1 g/m<sup>2</sup> in the simulated Sea of Okhotsk ecosystem. There is somewhat higher than in previously developed western Bering Sea models. The consumers' biomass in the Sea of Okhotsk ecosystem is supported by the flow of organic matter from the first trophic level, the intensity of which is estimated at 6567.70 g/m<sup>2</sup>. About 56.4% of this flow is provided by primary production, 26.1% – by pelagic detritus, and 17.5% – by benthic detritus.

Total production of ecosystem is characterized by very large value – 12.19 tons/km<sup>2</sup> per year. Such assessment for the western Bering Sea ecosystem is of below half. The estimated production flows in the detritus pool are the same significantly different between the two ecosystems: 8.54 tons for the Sea of Okhotsk, 3.47 and 4.52 for the western Bering Sea models. In the contrast, the metabolism (respiration) expenses differ slightly that emphasizing the similarity of abundance and productivity indices of the marine fauna. The fishery stocks composition are also similar. Average trophic level of catch is 3.5 in the Okhotsk Sea, while 3.6 – in the western Bering Sea.

Structure-composing functional groups (phytoplankton, copepods, macrozooplankton, pollock, herring, flatfish, forage fish, cephalopods, infauna and epifauna, shrimp, seals, and baleen whales) in the both ecosystems are characterized by similar indices of relative abundance. Pacific cod, zoarcids, Pacific halibut, and arrowtooth flounder among the fishes, as well as toothed whales and sea lions are dominated carnivorous species, whose density is higher in the western Bering Sea. Greenland turbot, jellyfish, and king crabs are more abundant in the Okhotsk Sea. As it is evident from the trophic structure pattern, macrozooplankton resources are more significant for pelagic fishes and invertebrates (pollock, salmon, herring and forage fish, squid, and jellyfish) in the Okhotsk Sea. Large zooplankton contributes more than 60% in the diets of these functional groups.

Sea of Okhotsk ecosystem undergoes recent warming with the maximal average SST and minimal ice extent in the first half of 2000's.



Several trends have developed in the biota against this background, continuing until the present time: the growth of walleye pollock stocks, reaching a maximum level of Pacific salmon approaches, and benthic communities stabilization. Some cooling is predicted due to changes in the atmospheric circulation pattern in the coming years.

Volume of primary and secondary production in the Sea of Okhotsk ecosystem was assessed for “favorable” and “unfavorable” years. Average phytoplankton production is estimated at  $695.6 \cdot 10^6$  tC per year, or  $457.5 \text{ gC/m}^2$ . Proceeding from the TeraScan data, the chlorophyll-a concentration decreased about 8.8% in unfavorable years. Range of zooplankton “real” production oscillation was  $\pm 17.4\%$  that is equal to 1.54 billion metric tons of raw weight. Changes in primary production are not so sensitive for phyto- and euryphagous zooplankton, as the secondary production decrease for planktivorous species. Copepods and large zooplankton contribute more than 75% in food rations of Pacific herring (99%), walleye pollock (94.8%), forage fish group (89.1%), jellyfishes (81.7%), Pacific salmon (80.2%), and Pacific sardine (79.3%). Cyclic variability of mentioned species abundance level has been observed, which is related to the climate and oceanographic regime changes. They consume about 347 million metric tons of zooplankton annually that comes to 12% of secondary production in the Sea of Okhotsk in the “cold” years and 6% – in “warm” years, and implies twofold food supply worsening for the listed species/specific groups. In groundfish community, negative influence would be more sensitive for species with zooplankton portion in food rations more than 20%: small flatfish, sea perches, sculpins, and eel-pouts, especially their early life stages. Negative effect will strengthen by shrinking of favorable oceanographic conditions zone on sea shelf.

#### **GEOMORPHOLOGICAL PROBLEMS OF USING COASTALS OF SAKHALIN (THEORY OF INTEGRATED COASTAL ZONE MANAGEMENT)**

**Victor Victorovich Afanas'ev**, PhD

Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far-Eastern  
branch of the Russian Academy of Sciences, 1B, Nauki street,  
Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russian Federation

+74242791517

**vvasand@mail.ru**

**www.imgg.ru**

Geomorphological problems of using coastals of Sakhalin are considered against world tendencies of protection and a sustainable development of a coastal zone of the seas and oceans.

The main tasks of complex management of a natural zone are a combination of methods of realization of modern approaches and strategy of development of resources of a coastal zone of Sakhalin. Ways of possible achievement of strategic targets are shown and the critical estimation is given the developed realities of wildlife management. Propose solutions of optimization in different directions of coastal using, taking into account geomorphologic features and dynamics of coast.

### **PROBLEMS OF THE VOLCANOES ACTIVITY MONITORING AT THE KURIL ISLANDS**

**Alexander Victorovich Rybin et al.**, PhD

Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far-Eastern branch of the Russian Academy of Sciences, 1B, Nauki street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russian Federation

+74242791517

**rybin@imgg.ru**

**www.imgg.ru**

The Kuril Islands consist from more than 68 Quaternary volcanic bases, among which 36 are active and potentially dangerous. During the historical period (about 300 years for the Kuril Islands) documented 29 strong and catastrophic eruptions. In the XX century. the most active and productive in terms of erupted volcanos were located at the Middle and North Kuril Islands. The same trend continued in the current century.

For the Kurile volcanic eruption characterized by the most dangerous explosive type in which the radius of the impact zone can reach up to 25–30 km. Such eruptions are often accompanied by the formation of scorching clouds, pyroclastic; mud and debris flows, the length can reach several kilometers.

Recently, the population on the Kuril Islands resides only on the southern (Kunashir, Iturup, Shikotan) and northern (Paramushir and Shumshu) Islands, almost all residential settlements (except those located on the Shikotan) are located in areas of volcanic hazards. In recent decades, due to the expansion of air travel and geography, the statistics of impacts of volcanic ash to aircrafts was grown. Along the Kuril Islands are the largest number of airlines connecting the North American continent with the East Asian region.

In world practice for prediction of volcanic eruptions using remote integrated geophysical and geochemical methods, yielding a wealth of information about the dynamics of the subsoil beneath volcanoes and allowing a high degree of probability to predict eruptions. For the territory of the Kuril Islands such a system for predicting eruptions and reduce the risk of them not yet exist.

Currently, the SVERT group (Sakhalin Volcanic Eruptions Response Team) have to collect and analyze all available information on active volcanoes and to issue on this basis daily reports. The basis for the daily monitoring data are data from high orbit meteorological satellites TERRA (radiometer MODIS) and NOAA (radiometer AVHRR).

For more detailed observations and forecast eruptions must be considered re-base of station equipment aiming digital registration options and on this basis, remote monitoring systems primarily for volcanoes Tyatya, Mendeleev, Ivan the Terrible, Baransky, Chirip – Bogdan Khmel'nitsky, Ebeko, Chikurachki and Alaid, as the most dangerous for the population of the Kuril Islands. To ensure public safety the Kuril Islands from volcanic eruptions is necessary to establish a comprehensive monitoring system for noted above most dangerous volcanoes.

# СОДЕРЖАНИЕ

Вступительное слово заместителя председателя Правительства Сахалинской области Сергея Петровича Вильямова (стр. 3)

## *Секция А1. Современные проблемы геофизики, океанографии, биологии субарктического Охотоморья и прилегающих вод, методы их решений*

**Левин Б. В., Тихонов И. Н.** Проблема сейсмической опасности в Сахалинской области: новые подходы к ее решению (стр. 6)

Левин, Б. В. Проблема сейсмической опасности в Сахалинской области: новые подходы к ее решению [Текст] / Б. В. Левин, И. Н. Тихонов // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 6–16.

**Кашиваи М.** Уникальность Охотского моря, поднимающая серьезные научные вопросы, и необходимость наблюдений (стр. 17)

Кашиваи, М. Уникальность Охотского моря, поднимающая серьезные научные вопросы, и необходимость наблюдений [Текст] / М. Кашиваи // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 17–32.

**Андреев А. Г.** Пространственно-временная изменчивость концентраций химических параметров и хлорофилла в водах Охотского моря (стр. 33)

Андреев, А. Г. Пространственно-временная изменчивость концентраций химических параметров и хлорофилла в водах Охотского моря [Текст] / А. Г. Андреев // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 33–42.

**Немировская И. А., Шельтинг С. К., Сивков В. В., Верховская З. И., Артемьев В. А.** Происхождение углеводородов в нефтегазоносных акваториях (на примере Охотского, Баренцева и Балтийского морей) (стр. 43)

Происхождение углеводородов в нефтегазоносных акваториях (на примере Охотского, Баренцева и Балтийского морей) [Текст] / И. А. Немировская, С. К. Шельтинг, В. В. Сивков и др. // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 43–63.

**Шорт Дж. В.** Мониторинг нефти после взрыва нефтяной платформы Deepwater Horizon с помощью мембранных фильтров из полиэтилена (стр. 64)

Шорт, Дж. В. Мониторинг нефти после взрыва нефтяной платформы Deepwater Horizon с помощью мембранных фильтров из полиэтилена [Текст] / J. W. Short // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 64–69.

**Радченко В. И.** Модель Экопас – перспективный инструмент для сравнительного исследования функционирования экосистем Охотского и Берингова морей (стр. 70)

Радченко, В. И. Модель Экопас – перспективный инструмент для сравнительного исследования функционирования экосистем Охотского и Берингова морей [Текст] / В. И. Радченко // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 70–81.

**Ильяшенко В. Ю.** Перспективы изучения миграций западной популяции серых китов методом спутниковой телеметрии (стр. 82)

Ильяшенко, В. Ю. Перспективы изучения миграций западной популяции серых китов методом спутниковой телеметрии [Текст] / В. Ю. Ильяшенко // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 82.

**Рыбин А. В., Чибисова М. В.** Проблемы мониторинга вулканической активности на Курильских островах (стр. 83)

Рыбин, А. В. Проблемы мониторинга вулканической активности на Курильских островах [Текст] / **А. В. Рыбин, М. В. Чибисова** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 83–89.

**Лефевр Ф., Сальман А. Л.** Интегрированные услуги компании CLS, базирующиеся на спутниковой системе Argos, океанографической информации и радиолокационной спутниковой съемке (стр. 90)

Лефевр, Ф. Интегрированные услуги компании CLS, базирующиеся на спутниковой системе Argos, океанографической информации и радиолокационной спутниковой съемке [Текст] / **Ф. Лефевр, А. Л. Сальман** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 90–99.

***Секция А2. Новые методы наблюдений и примеры их применения для оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов охотоморской Субарктики***

**Романов А. А., Романов А. А., Урличич Ю. М., Кантаков Г. А.** Результаты исследований и перспективы развития систем мониторинга ионосферы Земли (стр. 100)

Результаты исследований и перспективы развития систем мониторинга ионосферы Земли [Текст] / **А. А. Романов, А. А. Романов, Ю. М. Урличич, Г. А. Кантаков** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 100–118.

**Лефевр Ф., Сальман А. Л.** Мониторинг вертикальных смещений объектов на поверхности Земли с помощью радиолокационной спутниковой съемки (стр. 119)

Лефевр, Ф. Мониторинг вертикальных смещений объектов на поверхности Земли с помощью радиолокационной спутниковой съемки [Текст] / **Ф. Лефевр, А. Л. Сальман** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 119–127.

**Шевченко Г. В., Ивельская Т. Н.** Инструментальные измерения цунами на тихоокеанском побережье России (стр. 128)

Шевченко, Г. В. Инструментальные измерения цунами на тихоокеанском побережье России [Текст] / **Г. В. Шевченко, Т. Н. Ивельская** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 128–137.

**Ивельская Т. Н., Шевченко Г. В.** Цунами 11 марта 2011 года на тихоокеанском побережье России (стр. 138)

Ивельская, Т. Н. Цунами 11 марта 2011 года на тихоокеанском побережье России [Текст] / **Т. Н. Ивельская, Г. В. Шевченко** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 138–146.

**Лоусон Р. А., Грэхем Д., Сталин С., Мейнинг К., Тагава Д., Лоуренс-Славас Н., Хиббинс Р., Ингэм Б.** От исследований к коммерческой эксплуатации: легкий в установке буй предупреждения цунами нового поколения (стр. 147)

От исследований к коммерческой эксплуатации: легкий в установке буй предупреждения цунами нового поколения [Текст] / **Р. А. Лоусон, Д. Грэхем, С. Сталин и др.** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 147–158.

**Островский А. Г., Зацепин А. Г., Соловьев В. А., Цибульский А. Л., Швоев Д. А., Лобанов В. Б.** Опыт применения заякоренного зонда-профилографа «Аквалог» в целях мультидисциплинарных океанологических исследований (стр. 159)

Опыт применения заякоренного зонда-профилографа «Аквалог» в целях мультидисциплинарных океанологических исследований [Текст] / **А. Г. Островский, А. Г. Зацепин, В. А. Соловьев и др.** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 159–169.

**Лунев Е. Г., Мотыжев С. В., Толстошеев А. П.** Дрифтерная технология контроля Мирового океана (стр. 170)  
Лунев, Е. Г. Дрифтерная технология контроля Мирового океана [Текст] / **Е. Г. Лунев, С. В. Мотыжев, А. П. Толстошеев** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 170–179.

**Тамбовский В. С., Бобков А. О.** Мониторинг движения ледяных полей взломанного припая с применением буев-дрифтеров, оснащенных терминалом АРГОС, и спутниковых снимков Терра-МОДИС для обеспечения безопасности морских операций в западной части Охотского моря в весенний период (стр. 180)

Тамбовский, В. С. Мониторинг движения ледяных полей взломанного припая с применением буев-дрифтеров, оснащенных терминалом АРГОС, и спутниковых снимков Терра-МОДИС для обеспечения безопасности морских операций в западной части Охотского моря в весенний период [Текст] / **В. С. Тамбовский, А. О. Бобков** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 180–188.

**Лефевр Ф., Александров В. Ю., Сальман А. Л.** Использование радиолокационных изображений для обнаружения судов и мониторинга ледовой обстановки в Охотском море (стр. 189)

Лефевр, Ф. Использование радиолокационных изображений для обнаружения судов и мониторинга ледовой обстановки в Охотском море [Текст] / **Ф. Лефевр, В. Ю. Александров, А. Л. Сальман** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 189–198.

**Тамбовский В. С., Бобков А. О., Кантаков Г. А.** Результаты исследования поверхностных течений поплавокными буями-дрифтерами, оснащенными терминалом АРГОС, в Охотском море в 2008–2011 гг. (стр. 199)

Тамбовский, В. С. Результаты исследования поверхностных течений поплавокными буями-дрифтерами, оснащенными терминалом АРГОС, в Охотском море в 2008–2011 гг. [Текст] / **В. С. Тамбовский, А. О. Бобков, Г. А. Кантаков** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 199–205.

**Душенко П. В.** Система передачи данных об уровне моря в режиме реального времени Центра цунами ГУ «Сахалинское УГМС» (стр. 206)

Душенко, П. В. Система передачи данных об уровне моря в режиме реального времени Центра цунами ГУ «Сахалинское УГМС» [Текст] / **П. В. Душенко** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 206–209.

**Рутенко А. Н.** Аппаратурный комплекс для экологического мониторинга акустических шумов на шельфе о. Сахалин (стр. 210)

Рутенко, А. Н. Аппаратурный комплекс для экологического мониторинга акустических шумов на шельфе о. Сахалин [Текст] / **А. Н. Рутенко** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 210–211.

**Рожнов В. В., Глазов Д. М., Черноок В. И.** Современные методы исследования морских млекопитающих в Охотском море: цели, задачи, результаты и перспективы (стр. 212)

Рожнов, В. В. Современные методы исследования морских млекопитающих в Охотском море: цели, задачи, результаты и перспективы [Текст] / **В. В. Рожнов, Д. М. Глазов, В. И. Черноок** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 212–213.

**Черноок В. И., Глазов Д. М., Рожнов В. В., Грачев А. И., Болтнев А. И., Васильев А. Н., Назаренко Е. А., Соловьев Б. А.** Метод летней авиасъемки тюленей в прибрежной зоне Охотского моря (стр. 214)

Метод летней авиасъемки тюленей в прибрежной зоне Охотского моря [Текст] / **В. И. Черноок, Д. М. Глазов, В. В. Рожнов и др.** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 214.



**Глазов Д. М., Черноок В. И., Назаренко Е. А., Шпак О. В., Соловьев Б. А., Рожнов В. В., Мухаметов Л. М.** Численность и распределение белух в акватории Белого моря в марте 2008 и 2010 гг. (стр. 215)

Численность и распределение белух в акватории Белого моря в марте 2008 и 2010 гг. [Текст] / **Д. М. Глазов, В. И. Черноок, Е. А. Назаренко и др.** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сая., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сая., 2011. – С. 215.

**Бурканов В. Н., Алтухов А. В., Эндрюс Р., Дэвис Р., Оливиер П.** Опыт использования архивной телеметрии для изучения питания сивуча на Курильских островах (стр. 216)

Опыт использования архивной телеметрии для изучения питания сивуча на Курильских островах [Текст] / **В. Н. Бурканов, А. В. Алтухов, Р. Эндрюс и др.** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сая., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сая., 2011. – С. 216–217.

**Эбучи Н., Фукамачи Я., Ошима К. И., Вакацучи М.** Наблюдение за теплым течением Соя при помощи высокочастотного радиолокатора в 2003–2010 годах (стр. 218)

Наблюдение за теплым течением Соя при помощи высокочастотного радиолокатора в 2003–2010 годах [Текст] / **Н. Ибучи, Я. Фукамачи, К. И. Ошима, М. Вакацучи** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сая., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сая., 2011. – С. 218–226.

**Сальман А. Л., Лефевр Ф.** Использование спутниковой системы Argos в рамках научных исследований (стр. 227)

Сальман, А. Л. Использование спутниковой системы Argos в рамках научных исследований [Текст] / **А. Л. Сальман, Ф. Лефевр** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сая., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сая., 2011. – С. 227–238.

#### *Секция А3. Достижения и проблемы в моделировании изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов применительно для условий охотоморской Субарктики*

**Соколов О. В., Волков Ю. Н., Вражкин А. Н., Крохин В. В.** Перспективы создания объединенной оперативной автоматизированной гидрометеорологической прогностической системы (стр. 239)

Перспективы создания объединенной оперативной автоматизированной гидрометеорологической прогностической системы [Текст] / **О. В. Соколов, Ю. Н. Волков, А. Н. Вражкин, В. В. Крохин** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сая., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сая., 2011. – С. 239–242.

**Гордеев С. И., Волошина В. Н.** Прогнозирование землетрясений островов (стр. 243)

Гордеев, С. И. Прогнозирование землетрясений островов [Текст] / **С. И. Гордеев, В. Н. Волошина** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сая., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сая., 2011. – С. 243–246.

**Титов В.** Развитие прогнозирования цунами после индонезийской катастрофы PMEL (стр. 247)

Титов, В. Развитие прогнозирования цунами после индонезийской катастрофы PMEL 247 [Текст] / **В. Титов** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сая., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сая., 2011. – С. 247–250.

**Храмушин В. Н.** Прямые вычислительные эксперименты в регламенте оперативного прогноза цунами и морских наводнений (стр. 251)

Храмушин, В. Н. Прямые вычислительные эксперименты в регламенте оперативного прогноза цунами и морских наводнений [Текст] / **В. Н. Храмушин** // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сая., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сая., 2011. – С. 251–261.

**Королев Ю. П., Ивельская Т. Н.** Гидрофизический способ краткосрочного прогноза цунами. Анализ недавних событий (стр. 262)

Королев, Ю. П. Гидрофизический способ краткосрочного прогноза цунами. Анализ недавних событий [Текст] / Ю. П. Королев, Т. Н. Ивельская // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 262–272.

**Леонов А. В., Чичерина О. В., Семеняк Л. В.** Особенности математического моделирования процессов поступления нефтяных углеводородов в морские водоемы и их последующей трансформации (на примере Каспийского моря и акваторий Сахалина) (стр. 273)

Леонов, А. В. Особенности математического моделирования процессов поступления нефтяных углеводородов в морские водоемы и их последующей трансформации (на примере Каспийского моря и акваторий Сахалина) [Текст] / А. В. Леонов, О. В. Чичерина, Л. В. Семеняк // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 273–294.

**Лефевр Ф., Сальман А. Л.** Использование данных дистанционного зондирования Земли, морских буев и математических моделей при аварийных разливах нефти (стр. 295)

Лефевр, Ф. Использование данных дистанционного зондирования Земли, морских буев и математических моделей при аварийных разливах нефти [Текст] / Ф. Лефевр, А. Л. Сальман // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 295–299.

**Кашиваи М.** Измерение завихренности с регистрирующими буйами (стр. 300)

Кашиваи, М. Измерение завихренности с регистрирующими буйами [Текст] / М. Кашиваи // Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья : Материалы Первой открытой междунар. конф. (Ю-Сах., 5–6 апр. 2011 г.). – Ю-Сах., 2011. – С. 300–302.

**Рекомендации** Первой открытой Международной конференции «Перспективные методы оценки изменений геофизических явлений, экосистем и технологических процессов при изучении и освоении природных ресурсов субарктического Охотоморья» (стр. 303)

**Приложение 1.** Программа Первой открытой Международной конференции (стр. 308)

**Приложение 2.** Список приглашенных организаций (стр. 312)

**Recommendations** of the First Open International Conference “Advanced Assessment Methods of Changing in Geophysics, Ecosystems and Technological Processes in Study and Natural Resources Development of Subarctic Okhotomor’e” (стр. 313)

**Abstracts** (стр. 317)

*Научное издание*

Перспективные методы оценки изменений геофизических  
явлений, экосистем и технологических процессов  
при изучении и освоении природных ресурсов  
субарктического Охотоморья

Материалы Первой открытой Международной  
конференции (г. Южно-Сахалинск, Россия,  
5–6 апреля 2011 года)

Подписано к печати 05.12.2011. Формат 84×108/16.  
Усл. печ. л. 22. Тираж 500 экз.

---