

УДК 551.546

© В. В. Мелентьев

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
vv.melentyev@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВОЙ СВЧ-РАДИОМЕТРИИ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ АВИАУЧЕТА ГРЕНЛАНДСКОГО ТЮЛЕНЯ

Статья поступила в редакцию 07.12.2018, после доработки 01.02.2019

На примере беломорской популяции гренландского тюленя рассматриваются возможности совершенствования технологии авиаучета численности морских млекопитающих за счет использования данных спутниковой СВЧ-радиометрии, позволяющей выявить районы так называемых «горячих точек», где вероятность нахождения ледо-ассоциированных морских животных в период репродукции максимально вероятна, что позволяет повысить эффективность авиасъемки и существенно снизить расходы на ее проведение. Приводятся результаты многолетних авиаучетов морского зверя, проводившихся с борта летающих лабораторий ПИНРО Ан-26 «Арктика» и НИИ ГИПРО Рыбфлот Л-410 «Норд».

Ключевые слова: СВЧ-радиометрия, дистанционная аэрокосмическая диагностика, авиаучет, гренландский тюлень беломорской популяции.

© V. V. Melentyev

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St.-Petersburg, Russia

APPLICATION USE OF SATELLITE PASSIVE MICROWAVE SURVEY FOR THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF AIRBORNE CALCULATION OF NUMBER POPULATION OF HARP SEAL

Received 07.12.2018, in final form 01.02.2019

The study presents results of the development of the technology of airborne for calculations the number of population of harp seals (the White Sea population as example) by using satellite passive microwave survey that allow to select the “hot spot” zones — ice area where mass accumulation of ice-associated marine mammals at the season of mass-whelping should be most possible. Selection of these zones allows rise the efficiency and reduce the costs of airborne survey. Some examples of field observations that were fulfilled onboard of the research aircrafts PINRO Antonov-26 “Arktika” and NII GIPRO Rybflot L-410 “Nord” are also shown.

Keywords: passive microwave, remote sensing, airborne survey, the White Sea harp seal population.

1. Проблемы дистанционной диагностики морской поверхности как среды обитания ледовых форм морских млекопитающих. Расширяющееся освоение Мирового океана, интенсификация промысла рыбы и добычи морского зверя при общем снижении запасов биоресурсов и развитии многих других видов активного присутствия человека на море требует создания современных методов количественной документальной оценки численности промысловых и краснокнижных морских животных, обитателей разнотипных морских и пресноводных акваторий.

С советских времен в Российской Федерации существует система распределения ответственности за сохранение биоразнообразия разнотипных водоемов между различными ведомственными, академическими и ведущими образовательными центрами (ВУЗами) страны. Так, обязанности

Ссылка для цитирования: Мелентьев В.В. Использование спутниковой СВЧ-радиометрии для совершенствования технологии авиаучета гренландского тюленя // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2019. Т. 12, № 2. С. 88–92.

For citation: Melentyev V.V. Application use of satellite passive microwave survey for the development of technology of airborne calculation of number population of harp seal. *Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika*. 2019, 12, 2, 88–92.

DOI: 10.7868/S2073667319020102

контроля численности беломорской популяции гренландского тюленя были возложены на ряд ведущих институтов Минрыбхоза ПИНРО, СевПИНРО и НИИ ГИПРО Рыб Флот [1, 2]. Как показывает наш опыт тесного многолетнего взаимодействия с этими организациями, система управления хозяйственной деятельностью на море должна опираться на данные комплексных мультиспектральных многоуровневых инструментальных измерений [1, 2]. Соответственно, комплексность функционирования системы достигается сочетанием аэрокосмической информации со всей совокупностью контрольных и сопутствующих измерений и наблюдений *in situ*, осуществляемых с борта специализированных исследовательских и промысловых судов [2, 3].

Инструментальность предполагает переход от наблюдений к измерениям, использование измерительных датчиков, данные которых представляются в цифровом виде. Инструментальность — это возможность автоматизированной обработки данных прямо в полете и подготовки первого промежуточного продукта непосредственно на борту самолета.

Расширение спектрального диапазона, использование радиодиапазона и поляризационной селекции сигнала, применение активной радиолокации и пассивной СВЧ-радиометрии, компьютеризация обработки и дешифрирования многоуровневой информации — основные направления совершенствования системы комплексного аэрокосмического мониторинга водных экосистем в целях повышения достоверности и точности данных, передаваемых потребителям в оперативном режиме [1, 2].

Ниже обсуждаются некоторые результаты практического использования методов и средств СВЧ-диагностики морских акваторий в интересах рыбной отрасли, формулируется ряд предложений по совершенствованию схем учета ледовых форм морских млекопитающих (тюленей, моржей, китов и китообразных) за счет привлечения сантиметрового диапазона радиодиапазона.

2. Опыт использования данных СВЧ-радиометрии для совершенствования технологии авиаучета численности гренландского тюленя. Современные измерительные средства, размещаемые на борту научно-исследовательского судна, самолета-лаборатории и спутника, позволяют осуществлять фиксацию теплокровных животных, находящихся как на поверхности воды, так и под водой. Однако для учета запасов различных видов морских млекопитающих, рассеянных по всей акватории Мирового океана, численность которых может варьировать от единиц и десятков до сотен тысяч и даже миллионов особей (как в случае гренландского тюленя), поиск животных на бескрайних морских просторах — задача, в принципе, решаемая, но экономически бесперспективная.

Поэтому учет животных должен производиться во время их массового скопления при исполнении важнейших этапов жизненного цикла, к числу которых относится, прежде всего, период нагульных и репродукционных миграций, когда морские млекопитающие, преодолевая гигантские расстояния, собираются вместе для воспроизводства потомства в некоторых достаточно неплохо изученных частях морских акваторий. Однако местоположение таких зон скопления морских млекопитающих может меняться в зависимости от изменений климата, погодных условий и состояния самой водной среды. Так, гренландский тюлень для воспроизводства регулярно в строго определенные сезоны покидает центральный арктический бассейн и смещается в район залива Св. Лаврентия и о. Ян-Майен, а также в российские территориальные воды Белого и Баренцева морей, где и происходит краткий этап массовой щенки, линьки, лактации и выращивания детенышей [1, 2].

Ф. Нансен, по-видимому, первым в мире задался вопросом, по какой причине гренландский тюлень покидает Центральную Арктику, где «изобилие ледяного покрова», нет хищников и, соответственно, «отсутствует угроза для приплода», и почему уходит на репродукцию в окраинные арктические моря [1, 2].

Согласно развиваемой нами идеологии, ответ на этот вопрос следует искать в изучении специфических особенностей «экологии поведения» гренландского тюленя с использованием методов и средств аэрокосмического дистанционного зондирования. По нашему мнению, многомиллионная численность гренландского тюленя обусловлена, прежде всего, оптимальностью выбора для щенки областей Мирового океана. Эти области отличаются особыми характеристиками гидрологического режима, где в местах смешения морских и речных вод формируются поля сморози однолетнего дрейфующего припайного льда (*moving fast-ice* в английском варианте терминологии), обеспечивающие максимальную прочность льда и высокую устойчивость к внешним воздействиям. При этом выбор района щенки, типа максимально прочного льда и, соответственно, последующая успешность щенки определяются материнским инстинктом щенных самок, направленным на

сохранение приплода, волосяной покров которого в течение двух-трехнедельной его смены (линьки) не защищает детенышей, находящихся на стадии бельков, от гибели при переохлаждении при любом их контакте с водой. И именно эти отличительные особенности жизненных функций детенышей, а не какие-то другие особые причины [4], и заставляют ценных самок гренландского тюленя выбирать для организации детных (ценных) залежек наиболее прочные распресненные морские льды, обеспечивающие максимальную выживаемость приплода.

До самого последнего времени в качестве основного инструмента авиаучетных съемок распределения и численности беломорской популяции гренландского тюленя (а также и других теплокровных морских млекопитающих, щелящихся на льду) традиционно используются изображения инфракрасного диапазона – рис. 1, а, см. вклейку).

Анализ данных рис. 1 показывает, что в момент ИК-съемки в обследованном районе находились как взрослые животные, так и детеныши (различия в размере цели и ее яркости), которые располагаются на полях сморози тонкого и среднего однолетнего белого льда. При этом представленные на врезке данные авиасъемки видимого диапазона (рис. 1, б) фиксируют многочисленные следы подвижки и вращения ледяных полей, проявляющиеся в виде областей ледяной каши, тертого льда и свежих торосов. Тематическая обработка архивов многолетних авиаучетных съемок позволила выявить ряд основных закономерностей распределения ценных животных на льду. Оказалось, что ценные самки располагаются вблизи от края ледяных полей (2-3 корпуса) на менее притопленных и более сухих участках льда. А если они находятся на удалении от разводий, то выстраиваются линейно вдоль гряды свежих торосов. Однако в ряде случаев самки избегают полей сморози, казалось бы, вполне пригодных для щенки, что связано, по-нашему мнению, с присутствием в нем скрытых трещин и потенциальной угрозой разукрупнения и разрушения таких полей, и как следствие, поступления на них морской воды, губительной для детенышей. Чтобы проверить эту гипотезу, нами была предложена методология комплексного изучения «льда и тюленя» как системы [5], которая предполагала проведение синхронных экспериментов с привлечением самолета-лаборатории и спутниковой СВЧ-съемки (рис. 2 из работы [5], см. вклейку).

Работы выполнялись с использованием предложенного нами метода «горячих точек» [1, 2, 5], когда с борта самолета-лаборатории обследуются только области, потенциально пригодные для щенки, которые выявляются по данным спутниковой СВЧ-радиометрии. Так, 14 марта 2008 г., по нашей рекомендации, с борта самолета была обследована только часть акватории, расположенной к югу от пос. Варзуга. Малые кружки соответствуют выявленным здесь по данным самолетной ИК съемки группам одиночных животных, большие – самкам со щенками. И хотя, как известно, пространственное разрешение современных спутниковых СВЧ-радиометров невелико и не позволяет производить фиксацию малоразмерных целей, в том числе и морских животных, располагающихся на льду, однако, как видно из рис. 2, спутниковая СВЧ-съемка, осуществлявшаяся с помощью СВЧ-радиометра AMSR-E, позволяет не только производить обзорное картирование значительной части акватории Белого моря, но и обнаруживать участки открытой воды, разводья, трещины, и прочие области увлажненного дрейфующего льда, которые могут представлять опасность для нерепелинявшего приплода.

Поэтому анализ данных рис. 2 позволяет сделать вывод, что помимо обследованной с борта самолета Л-410 «Норд» области щенки, расположенной к югу от пос. Варзуги, поля сморози, потенциально пригодные для щенки, обозначенные как «Whelping zone», располагаются в «Бассейне» и Горле Белого моря на дрейфоразделе Зимнебережного течения, прижатого в момент съемки СВ-ветрами к Терскому берегу.

Как показано в наших работах [2–6], существенное улучшение технологии инструментального авиаучета гренландского тюленя беломорской популяции может быть достигнуто за счет привлечения данных спутникового радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) (рис. 3). И хотя РСА-съемка также не позволяет обнаруживать присутствие морского зверя на льду, она дает возможность производить подповерхностное зондирование морского льда и тем самым обнаруживать места, пригодные для щенки гренландского тюленя.

Анализ архива РСА-изображений ИСЗ «Энвисат» за 1998–2004 гг. показывает (рис. 4), что квазистационарные спиральные вихри, на которых формируются наиболее прочные льды, гарантирующие сохранность приплода, могут располагаться в различных частях Бассейна Белого моря и отличаться не только интенсивностью, но и направленностью. При этом в ряде случаев формируются дипольные образования.

Рис. 3. Спутниковое РСА-изображение акватории Белого моря — данные ИСЗ «Энвисат», 22 января 2004 г. А, В, С1, С2, С3, С4, С5 — акватории, обследованные в этот день с борта самолета-лаборатории НИИ ГИПРО Рыб Флот Л-410 «Норд». А — область квазистационарного вихря антициклональной направленности, формирующегося в Бассейне Белого моря, на котором в феврале 2004 года была обнаружена шенная залежка гренландского тюленя.

Fig. 3. Satellite “Envisat” SAR image of the White Sea, 22.01.2004. A, B, C1, C2, C3, C4, C5 — water areas that were investigated from the aircraft L-410.

A — quasi-stationary anticyclonic vortex, that was fixed by satellite and where the zone of mass accumulation of harp seals was revealed in February 2004.

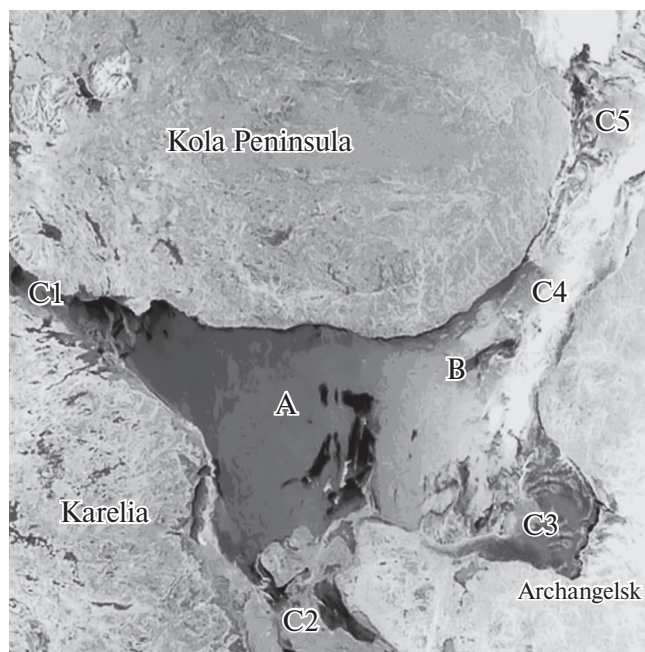
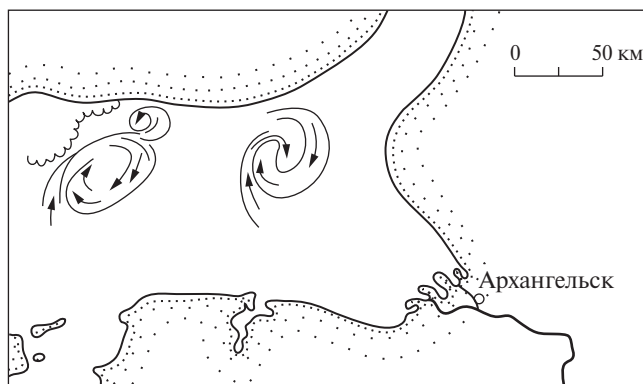


Рис. 4. Квазистационарные вихри различной интенсивности и направленности, формирующиеся в различных частях Бассейна Белого моря в зависимости от степени суровости зимы и гидрологического режима реки Северная Двина — результаты анализа архива РСА-изображений ИСЗ «Энвисат» за 1998–2004 гг.

Fig. 4. Quasi-stationary vortices with different orientation and intensity that were fixed in different part of the White Sea at the winter seasons 1998–2004 with different severity and different water flow of the r. Severnaya Dvina.



В рамках настоящей работы были исследованы также и архивы данных спутникового СВЧ-мониторинга акватории Белого моря, полученные в зимние сезоны различной степени суровости с помощью радиометра SSM/I, установленного на ИСЗ DMSP (рис. 5, см. вклейку).

Сравнительный анализ данных спутникового СВЧ-мониторинга, представленных на рис. 5, позволяет выявить районы потенциально пригодные для щенки гренландского тюленя, сосредоточенные в Бассейне и Горле Белого моря, которые под воздействием Ю, ЮВ и ЮЗ ветров выносятся в область Воронки, а также сделать вывод, что гидрометеорологические условия зимы 2003/04 гг. были более благоприятными для репродукции гренландского тюленя, чем зимы 2007/08 гг.

Таким образом, проведенные комплексные исследования показывают, что спутниковая СВЧ-радиометрия позволяет реализовать предложенный нами метод «горячих точек», «нацеливая» авиаучетные съемки на обследование тех районов, где располагаются участки неувлажненного дрейфующего льда, пригодного для щенки, и совершенствуя тем самым существующие технологии авиаучета численности гренландского тюленя, снижая себестоимость работ, повышая их эффективность и результативность.

В заключение отметим, что успешно начатые в СССР пионерские теоретические и экспериментальные исследования собственного теплового СВЧ-излучения системы «Земля—атмосфера», приоритет которых и сейчас признается и за рубежом, имели результатом запуск в Советском Союзе первого в мире ИСЗ, оснащенного комплексом мультиспектрального СВЧ-зондирования [1, 2]. Однако, к сожалению, в настоящее время для производства комплексных исследований ледовых форм морских млекопитающих и среды их обитания мы вынуждены пользоваться данными иностранных — американских и европейских спутников.

Благодарности. Хочу выразить благодарность доктору географических наук В.И. Чернооку, заведующему лабораторией дистанционных методов НИИ ГИПРО Рыбфлот, а в начале 1990-х гг. — заместителя директора Полярного Института морского рыбного хозяйства и океанографии в Мурманске, пригласившего автора статьи принять участие в работах, проводившихся ПИНРО по совершенствованию технологий авиаучета ледо-ассоциированных морских млекопитающих, а также всему коллективу возглавляемой В.И. Чернооком лаборатории, с которыми мне посчастливилось работать на авиаучетных съемках морского зверя на борту самолетов-лабораторий ПИНРО Ан-26 «Арктика» и Л-410 НИИ ГИПРО Рыбфлот «Норд».

Литература

1. Кондратьев К.Я., Мелентьев В.В., Назаркин В.А. Космическая дистанционная индикация акваторий и водосборов (микроволновые методы). СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 248 с.
2. Kondratyev K.Ya., Johannessen O.M., Melentyev V.V. High Latitude Climate and Remote Sensing. John Wiley-Praxis Series in Remote Sensing. PRAXIS Publishing Ltd. Chichester, West Sussex, England. 1996. Chichester, UK. 200 p.
3. Melentyev V. V., Pettersson L.H., Chernook V.I. Integrated satellite-airborne technology for monitoring ice cover parameters and ice-associated seals in the Arctic and perspectives of sea mammal global management. Proceedings of NATO Advanced Research Workshop "Integrated Technologies for Env. Monitoring and Information Production", Marmaris, Turkey, 10–14 September, 2001.
4. Melentyev V. V., Chernook V.I. White Sea winter hydrology and severe winter hydrological hazard, its effect on population number and migration features of harp seals: results of comprehensive study. Proc. of the Second Int. Conference "Marine Mammals of Holarctic". Irkutsk, Russia, 10–15 September, 2002, p. 181–183.
5. Melentyev V. V., Chernook V.I., Sandven S. The harp seal of the White Sea and pro-Baltic: habitat, its climatic and paleogeographic changeability, influence on the arrangement of population and whelping migration features. Proceedings of the 3rd Int. Conference "Marine Mammals of Holarctic", Koktebel, Crimea, 11–17 October, 2004, p. 376–379.
6. Melentyev V. V., Chernook V.I. Multi-Spectral Airborne and Satellite Survey as Component of the Spatial Information System for Monitor and Management of Wildlife Ecology. Chapter in the Monograph "Spatial Information Management in Wildlife Ecology" edited by Prof. F. Huettman, Institute of Arctic Biology, University of Alaska, USA. Springer, Japan. 2009, p. 212–265.

References

1. Kondratyev K.Ya., Melentyev V.V., Nazarkin V.A. Microwave remote sensing of the water bodies and watersheds. L., Gydrometeoizdat, 1992. 248 p.
2. Kondratyev K.Ya., Johannessen O.M., Melentyev V.V. High Latitude Climate and Remote Sensing. John Wiley-Praxis Series in Remote Sensing. PRAXIS Publishing Ltd., Chichester, West Sussex, England, 1996. 200 p.
3. Melentyev V.V., Pettersson L.H., Chernook V.I. Integrated satellite-airborne technology for monitoring ice cover parameters and ice-associated seals in the Arctic and perspectives of sea mammal global management. *Proceedings of NATO Advanced Research Workshop "Integrated Technologies for Env. Monitoring and Information Production"*, Marmaris, Turkey, 10–14 September, 2001.
4. Melentyev V.V., Chernook V.I. White Sea winter hydrology and severe winter hydrological hazard, its effect on population number and migration features of harp seals: results of comprehensive study. *Proc. of the Second Int. Conference "Marine Mammals of Holarctic"*, Irkutsk, Russia, 10–15 September, 2002, 181–183.
5. Melentyev V.V., Chernook V.I., Sandven S. The harp seal of the White Sea and pro-Baltic: habitat, its climatic and paleogeographic changeability, influence on the arrangement of population and whelping migration features. *Proceedings of the 3rd Int. Conference "Marine Mammals of Holarctic"*, Koktebel, Crimea, 11–17 October, 2004, 376–379.
6. Melentyev V.V., Chernook V.I. Multi-Spectral Airborne and Satellite Survey as Component of the Spatial Information System for Monitor and Management of Wildlife Ecology. *Spatial Information Management in Wildlife Ecology*. Ed. by Prof. F. Huettman, Institute of Arctic Biology, University of Alaska, USA, Springer, Japan, 2009, 212–265.

К статье Мелентьев В. В. Использование спутниковой свч-радиометрии...

Melentyev V. V. Application use of satellite passive microwave...

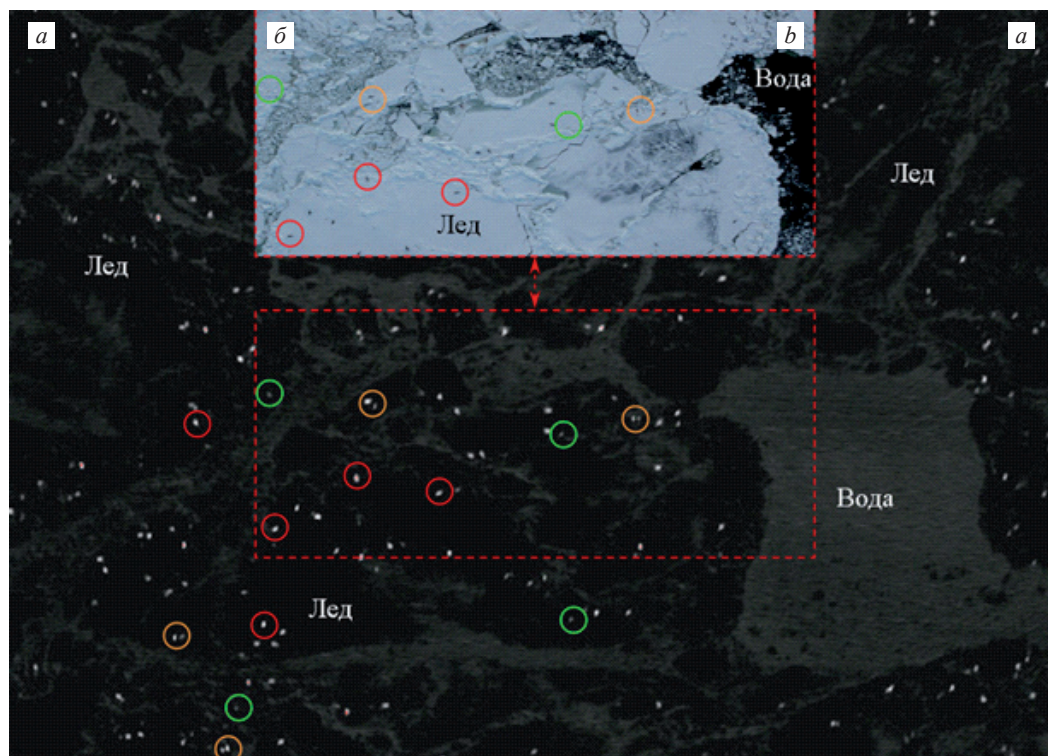


Рис. 1. Результаты ИК (а) и фотосъемки высокого разрешения (б) полей сморози однолетнего тонкого и среднего дрейфующего льда с располагающейся на них ценной залежкой гренландского тюленя, сформировавшейся в Горле Белого моря, в момент ее нахождения в районе о. Сосновец. Самолет-лаборатория НИИ ГИПРО Рыб Флот Л-410 «Норд», Н = 300 м. 28 апреля 2006 г.

Fig. 1. Results of IR (a) and visual (b) airborne survey of ice breccia with the whelping zone of the harp seals. “Neck” of the White Sea, research aircraft L-410 “Nord”, H = 300 m, 28.04.2006.

К статье Мелентьев В. В. Использование спутниковой свч-радиометрии...

Melentyev V. V. Application use of satellite passive microwave...

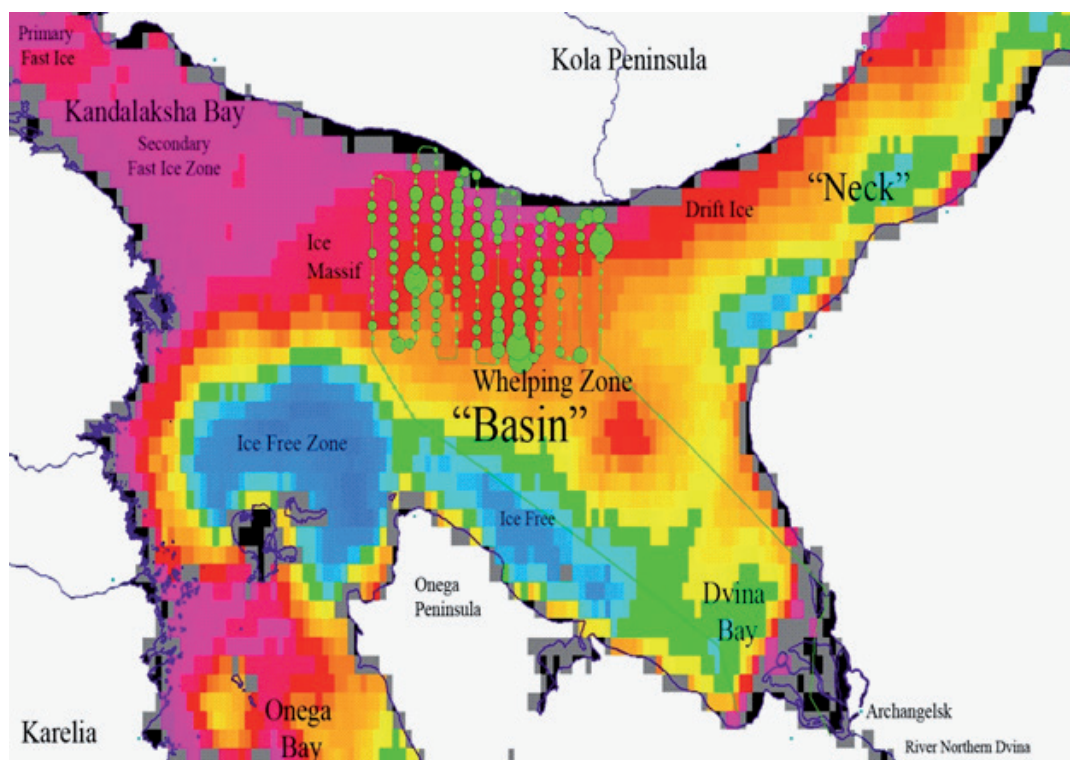


Рис. 2. Результаты комплексной авиаучетной съемки распределения беломорской популяции гренландского тюленя, проводившейся 14 марта 2008 г. синхронно с СВЧ-съемкой с ИСЗ «Аква». Различия уровня СВЧ-сигнала соответствуют различным градациям состояния морской поверхности: от голубого (открытая вода) до интенсивно красного (лед 10-балльной сплоченности).

Fig. 2. Results of multi-spectral airborne investigations the number population of Greenland seals White Sea population that were provided synchronous wit satellite "Aqua" survey, 14.03.2008. Differences of the color of signal are corresponded to the differences of the ice concentration: blue — open water, red — 10th compactness of the ice.

К статье Мелентьев В. В. Использование спутниковой свч-радиометрии...

Melentyev V. V. Application use of satellite passive microwave...

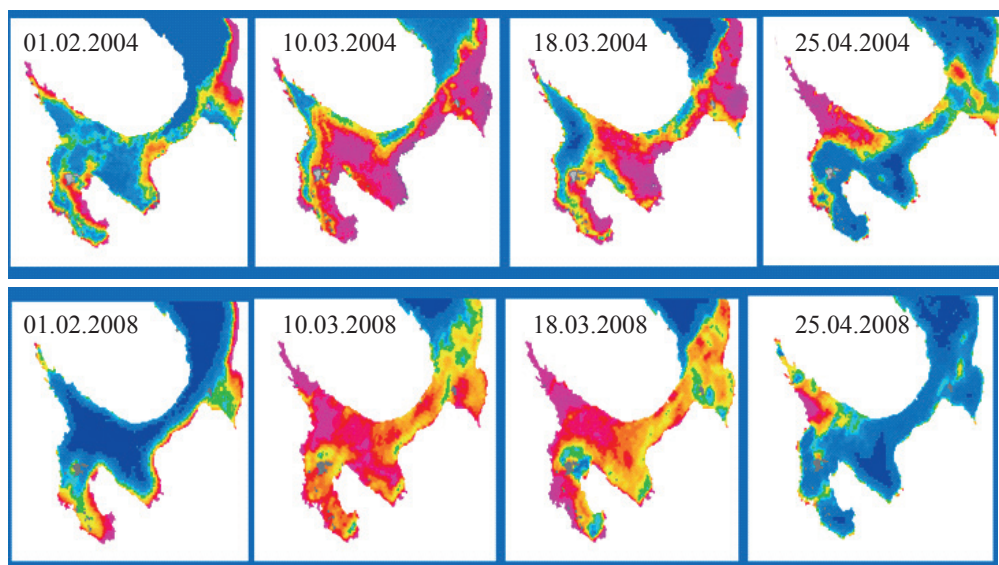


Рис. 5. Результаты СВЧ-съемки процессов ледообразования на акватории Белого моря в зимы различной суровости. ИСЗ DMSP, 2003/04 гг. — зима умеренной суровости, 2007/08 гг. — зима малой суровости. Различия уровня спутникового СВЧ-сигнала соответствуют различным градациям состояния морской поверхности: от голубого (открытая вода) до интенсивно красного (лед 10-балльной сплоченности).

Fig. 5. Results of satellite DMSP, microwave survey of different stages of ice formation (from the freeze-up till ice melting and destruction) in the White Sea, 2003/04 — moderate, 2007/08 — small severity of winter season. Differences of the color are corresponded to the different ice concentration (blue — open water, red — 10th compactness of the ice).