

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ЛЕДОВИТОСТИ ОХОТСКОГО И ЯПОНСКОГО МОРЕЙ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И АВИАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Работа выполнена в рамках РФФИ (грант № 11-05-90756-моб_ст) и при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (ГК № 8345).

Освоение Сахалинского шельфа осложняется влиянием различных погодных факторов. Наиболее важным из них является информация о ледовой обстановке (ледовитости акватории). В статье представлена оценка точности расчетов ледовитости Охотского и Японского морей по данным дистанционного зондирования Земли и авиационных наблюдений для зимних сезонов в период их совместного производства с 1970 по 1991 г. Анализ полученных данных показал, что разность спутниковых и авиационных наблюдений в Японском море в среднем за период с 1970 по 1991 г. составляет 12,4 тыс. км² (11,6% площади пролива). Разность спутниковых и авиационных наблюдений в Охотском море в среднем за период с 1971 по 1991 г. составляет 121 тыс. км² (8% площади моря). Корреляционный анализ спутниковых и авиационных рядов ледовой информации по Японскому и Охотскому морям показал, что ряды для Японского моря имеют невысокую корреляцию, коэффициент корреляции менялся в пределах от 0,16 (декабрь) до 0,39 (январь). Для Охотского моря ряды более коррелированы: коэффициент корреляции менялся в пределах от 0,72 до 0,96.

Ключевые слова: площадь ледяного покрова; дистанционное зондирование; обработка снимков (дешифрирование); шельф.

В соответствии с Энергетической стратегией РФ на период до 2020 г. подготовка запасов, освоение нефтяных и газовых месторождений на шельфе арктических, дальневосточных и южных морей выделяется как одно из наиболее перспективных направлений развития сырьевой базы нефтяной и газовой промышленности страны. В настоящее время значительная часть объемов добычи углеводородов уже находится в шельфах морей. Сахалинский шельф является наиболее подготовленным к началу добычи и организации поставок газа. Одним из основных источников поставок газа станет проект «Сахалин-3», ресурсы которого оцениваются на уровне 1,4 трлн м³. Для реализации этого проекта на шельфе Сахалина уже установлены четыре ледостойкие добывающие основания (платформы). Организация и развитие нефтегазовой добычи на шельфах арктических и дальневосточных морей осложняется комплексом географических и климатических факторов. На обустройство месторождений и их капиталоёмкость оказывают влияние условия окружающей среды: температура, ветер, видимость, глубина моря, ледовитость акваторий (один из главных показателей ледового режима определяется как процент покрытия льдом акватории моря) и др. Изменение погодных условий, смещение ледовых массивов, появление айсбергов являются факторами риска при добыче углеводородов. Поэтому при проектировании и эксплуатации платформ на шельфе необходима режимная и прогностическая информация о гидрометеорологической и ледовой обстановке, обобщенные сведения о пространственно-временных характеристиках основных климатических величин и морского льда за длительный период наблюдений.

Наиболее эффективным источником информации о перечисленных величинах являются данные дистанционного зондирования, роль которых существенно возросла в связи сокращением наземной сети гидрометеорологических станций и объемов авиационных наблюдений.

Получение необходимой информации тесно связано с использованием различных технологий по обработке

многолетних рядов спутниковых, аэровизуальных и наземных наблюдений, позволяющих выявить особенности динамики для большинства рассматриваемых параметров на заданной территории.

К таким технологиям, в первую очередь, можно отнести технологию проведения оперативного анализа и дешифрирования космических изображений. Дешифрирование снимков представляет собой один из самых важных и сложных процессов создания тематических карт, которые чаще всего являются основным средством организации и интерпретации данных дистанционного зондирования. Этот процесс обеспечивает представление данных в единой картографической проекции, позволяет комбинировать данные, полученные в различных спектральных диапазонах (космических изображений ИСЗ «METEOP-3М», TERRA, AQUA, NOAA, ERS-2, Envisat, IRS, QuikSCAT и TOPEX / Poseidon и др.).

Задачи интерпретации данных дистанционных неконтактных измерений чаще всего принадлежат к классу некорректных задач. Эта ситуация приводит к необходимости использования дополнительных данных. Поэтому в конце 1970-х гг. была принята концепция, согласно которой космическая система оперативного наблюдения Земли должна включать, как неотъемлемый элемент, подсистему сбора дополнительных (опорной и априорной) информации. Сбор подспутниковой информации проводится на постоянных, заранее выбранных тестовых участках специальных контрольно-калибровочных полигонов. В качестве дополнительной информации привлекаются прибрежные радиолокационные и авианаблюдения за льдом, попутные судовые наблюдения, сведения, получаемые при исследованиях на ледовых полигонах, и т.д. При обработке, анализе и интерпретации спутниковых изображений в спутниковой океанографии, по сравнению с другими направлениями космического землеведения, использование информации авиационного и наземного уровней сбора опорных данных имеет некоторые особенности.

Методы и возможности производства наблюдений за ледяным покровом на каждом этапе развития определяются соответствующими техническими возможностями. По способу производства наблюдений за ледяным покровом на дальневосточных морях весь исторический ряд наблюдений условно можно разделить на три этапа. Первый – это попутные (нерегулярные) морские наблюдения с 1928 по 1960 г.; второй – регулярные авиационные наблюдения с 1957 по 1992 г. и третий – спутниковые наблюдения с 1970-х гг. по настоящее время.

Естественно, что на каждом этапе наблюдения были различны как по частоте их производства, так и по точности определения пространственных характеристик. Поэтому возникает необходимость сопоставимости и оценки точности измерений параметров ледяного покрова, вычисленных различными методами. Это особенно важно на третьем этапе производства наблюдений, когда были прекращены авиационные наблюдения и их заменила спутниковая информация, которая имеет много преимуществ: расширенный обзор наблюдений и высокую повторяемость, большую точность привязки, оперативность использования. Но, к сожалению, спутниковые наблюдения не могут полностью заменить визуальные самолетные: не все элементы ледяного покрова определяются с необходимой точностью, дешифрирование снимков в значительной степени зависит от индивидуальных особенностей специалиста. Поэтому требуется оценка точности наблюдений, производимых методами дистанционного зондирования. Эта проблема и явилась предметом данного исследования.

Цель работы – оценка точности расчета ледовитости Охотского и Японского морей по данным дистанционного зондирования Земли и данным авианаблюдений за период их совместного производства с 1970 по 1992 г.

Для достижения поставленной цели требовалось выполнить следующие задачи:

- проанализировать основные особенности ледового режима Охотского и Японского морей;
- произвести сбор и обработку материалов ледовых и авиационных наблюдений статистическим методом;
- выполнить сравнительный анализ результатов обработки данных.

Исходные данные и методы их обработки. Для оценки точности расчетов ледовитости Охотского и Японского морей по данным дистанционного зондирования Земли и авиационных наблюдений были использованы результаты расчетов ежемесячной площади ледяного покрова для зимних сезонов в период с 1970–1971 по 1991–1992 гг.

На *первом этапе* вычисление площади ледяного покрова, оценка состояния льда внутри массива и определение местоположения его кромок производились по нерегулярным (попутным) судовым донесениям и эпизодическим данным ледовых авиационных разведок. Наиболее освещены наблюдениями были акватории судоходных трасс в проливе Лаперуза и на подходах к порту Магадан, а также районы традиционного зимнего промысла гидробионтов. За период с 1928–1929 по 1959–1960 гг. для Охотского моря со-

ставлено 360 карт фактической ледовой обстановки, по которым была вычислена площадь ледяного покрова. С помощью графиков годового хода разрозненные по времени наблюдения приводились к одной дате на середину месяца и вычислялись вполне сравнимые среднемесячные значения ледовитости [1].

В период безусловного наличия ледяного покрова в Охотском море (с декабря по май) для 50 месяцев (26% случаев) ежемесячные ледовые карты не были составлены по причине недостаточности исходной информации. Наиболее значительные пропуски относятся к начальному периоду наблюдений. Так, например, за весь сезон 1931–1932 гг. не удалось составить ни одной полной ледовой карты. По одной карте было составлено в ледовые сезоны 1930, 1933 и 1934 гг. [1]. Поэтому в этой работе за начало исходного ряда был принят ледовый сезон 1934–1935 гг. с полным комплектом ледовых карт. Имеющиеся отдельные пропуски данных в период с 1936 по 1951 г. (17% случаев) были восстановлены методом прямой интерполяции.

Второй этап – регулярные авиационные наблюдения за состоянием ледяного покрова с обязательным определением местоположения кромок льда – для Охотского моря продолжался с 1957 по 1992 г. Ледовые авиационные разведки проводились планомерно один раз в декаду. Они выполнялись с ноября по июнь и равномерно покрывали галсами (рис. 1) всю заполненную дрейфующим льдом акваторию моря [2].

При этом для решения специальных задач (обеспечение безопасности судоходства, промысла морского зверя, проектирования и обустройства морских нефтегазовых месторождений и т.д.) в этот период не исключалось проведение дополнительных наблюдений на ограниченных акваториях. Все карты ледовой обстановки, включая данные прибрежных наблюдений гидрометеорологических станций и постов, усреднялись для данной декады по всему морю.

Таким образом, минимальная дискретность карт ледовой обстановки на втором этапе исследований составляла одну декаду. Определенные на их основе характеристики ледяного покрова эквидистантны, что позволило получить надежные статистические характеристики. В исходный ряд наблюдений включены данные ежемесячных значений ледовитости Охотского моря для периода с 1960 по 2000 г., приведенные в работе.

Основу наблюдений *третьего этапа* составляют данные дистанционного зондирования Земли. Сканеры первого поколения с искусственных спутников Земли серий NOAA, «МЕТЕОР», «КОСМОС» и т.п., начиная с 1970 г., позволяли ежедневно получать черно-белое изображение ледяного покрова дальневосточных морей как в видимом диапазоне, так и в режиме радиолокации. С 2002 г. для Дальнего Востока основным инструментом мониторинга земной поверхности служит 36-канальный сканер MODIS с разрешением 250–1 000 м, установленный на спутниках TERRA (рис. 2) и AQUA.

Из-за сильного влияния облачности на точность определения границ массива льда дешифрирование спутниковых снимков в видимом диапазоне для получения расчетных характеристик ледяного покрова в рамках

всего моря на регулярной основе не производится. Для определения местоположения кромок ледяного массива и границ зон различной сплоченности внутри него япон-

ские исследователи с 1970 г. используют методику обработки данных радиолокационного зондирования, основанную на принципе распознавания образов.



Рис. 1. Карта галсов авиационной ледовой разведки Охотского моря [2]

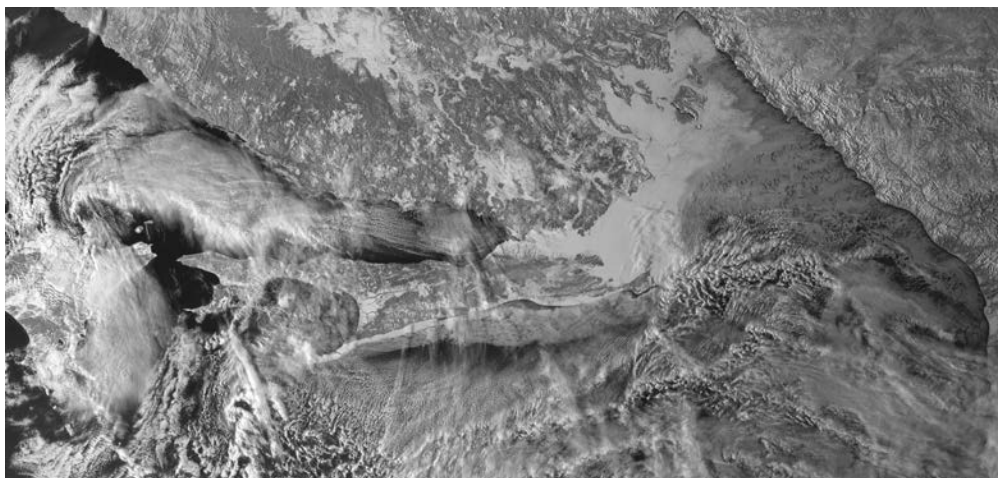


Рис. 2. Снимок со спутника TERRA

Полученные результаты в виде карт-схем (с выделенными штриховкой для черно-белых изображений или цветовой гаммой зонами различной сплоченности льда) с частотой от двух раз в неделю до двух раз в месяц выставляются национальными центрами обработки гидрометеорологической информации Японии (Japan Meteorological Agency) и США (National/Naval Ice Center) в Интернете [3, 4]. Таким образом, минимальная дискретность карт-схем ледовой обстановки на третьем этапе исследований составляла 3–4 сут. Однако в исходный ряд были включены только данные с месячной дискретностью, вычисленные как средние арифметические по результатам всех съемок, выполненных во второй декаде каждого календарного месяца ледового сезона.

Анализ результатов обработки данных. Для оценки точности расчета ледовитости дистанционного зондирования Земли и по данным авианаблюдений был выполнен сравнительный анализ результатов расчетов. Результаты анализа для каждого месяца ледового сезона представлены в графическом виде: для Японского моря (рис. 3–7), для Охотского моря (рис. 8–13).

Японское море. Декабрь. Средняя величина расхождения данных авиационных и спутниковых наблюдений в декабре (см. рис. 3) составляет 13,6 тыс. км² (12,7% площади пролива). Наибольшее расхождение отмечалось в ледовый сезон 1986–1987 гг., когда данные спутниковых и авиационных наблюдений отличались в 24 раза (соответственно 72 и 3 тыс. км²). Разброс данных в ледовый сезон 1986–1987 гг. можно объяс-

нить повышенной штормовой деятельностью, ежегодно наблюдаемой в Татарском проливе в предзимье, так как во время шторма молодой лед легко разрушается, намокает, становится «невидимым» и имеет схожие дешифровочные признаки с морской водой. Наименьшее расхождение данных в декабре отмечено в ледовые сезоны 1973–1974, 1976–1977 и 1984–1985 гг. Среднее расхождение данных для этих сезонов составляет $\pm 1,5$ тыс. км², что соответствует $\sim 1,5\%$ площади пролива. Абсолютный размах колебаний для всего ряда наблюдений составляет 90 тыс. км².



Рис. 3. Площадь ледяного покрова, вычисленная по спутниковым и авиационным наблюдениям в декабре за период с 1970 по 2010 г.

Январь. Среднее расхождение данных авиационных и спутниковых наблюдений в январе (см. рис. 4) составляет 14,3 тыс. км² (13,3% площади пролива). Наибольшее расхождение, так же как и в декабре, отмечается в ледовый сезон 1986–1987 гг., в котором площадь льда в Японском море по спутниковым данным и данным авиаразведки составляла соответственно 97 и 49 тыс. км². Наименьшее расхождение данных в январе отмечено в ледовые сезоны 1971–1972 гг. и 1982–1983 гг. Среднее расхождение данных для этих сезонов составляет $\pm 0,8$ тыс. км², что соответствует $\sim 0,7\%$ площади пролива. Абсолютный размах колебаний для всего ряда наблюдений меньше, чем в декабре, и составляет приблизительно 75 тыс. км².



Рис. 4. Площадь ледяного покрова, вычисленная по спутниковым и авиационным наблюдениям в январе за период с 1970 по 2010 г.

Февраль. Среднее расхождение данных авиационных и спутниковых наблюдений в феврале (см. рис. 5) достигает своего максимума и составляет 18,3 тыс. км² (17% площади пролива). Наибольшее расхождение отмечается в ледовый сезон 1985–1986 гг., в котором площадь льда в Японском море по спутниковым дан-

ным и данным авиаразведки отличались в 2 раза (соответственно 100 и 49,5 тыс. км²). Наименьшее расхождение данных в январе отмечено в ледовые сезоны 1980–1981 гг. и 1989–1990 гг. Среднее расхождение данных для этих сезонов составляет ± 2 тыс. км², что соответствует $\sim 1,9\%$ площади пролива. Абсолютный размах колебаний для всего ряда наблюдений составляет 74 тыс. км².

Март. Среднее расхождение данных авиационных и спутниковых наблюдений в марте (см. рис. 6) составляет 10,4 тыс. км² (9,7% площади пролива). Наибольшее расхождение данных, так же как и в феврале, отмечается в ледовый сезон 1985–1986 гг., в котором площадь льда в Японском море по спутниковым данным и данным авиаразведки отличались чуть более, чем в 2 раза (соответственно 71 и 32 тыс. км²).

Наименьшее расхождение данных в марте отмечено в ледовые сезоны 1972–1973, 1976–1977 и 1986–1987 гг. Среднее расхождение данных для этих сезонов составляет ± 2 тыс. км², что соответствует $\sim 0,8\%$ площади пролива. Абсолютный размах колебаний для всего ряда наблюдений составляет 62 тыс. км².

Апрель. Среднее расхождение данных авиационных и спутниковых наблюдений в апреле (см. рис. 7) самое минимальное и составляет 5,5 тыс. км² (5,1% площади пролива). Наибольшее расхождение данных отмечается в ледовый сезон 1984–1985 гг., в котором площадь льда в Японском море по спутниковым данным и данным авиаразведки отличались в 5 раз (соответственно 20 и 4 тыс. км²).



Рис. 5. Площадь ледяного покрова, вычисленная по спутниковым и авиационным наблюдениям в феврале за период с 1970 по 2009 г.

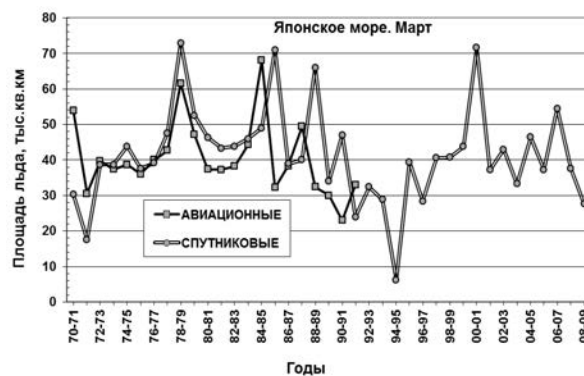


Рис. 6. Площадь ледяного покрова, вычисленная по спутниковым и авиационным наблюдениям в марте за период с 1971 по 2009 г.

Наименьшее расхождение данных в марте отмечено в ледовые сезоны 1974–1975 и 1982–1983 гг. Среднее расхождение данных для этих сезонов составляет $\pm 0,4$ тыс. км², что соответствует $\sim 0,4\%$ площади пролива.

Абсолютный размах колебаний для всего ряда наблюдений в три раза меньше, чем в декабре, и составляет 30 тыс. км². В среднем за весь период наблюдений (с 1971 по 1991 г.) разность данных составляет 12,42 тыс. км².

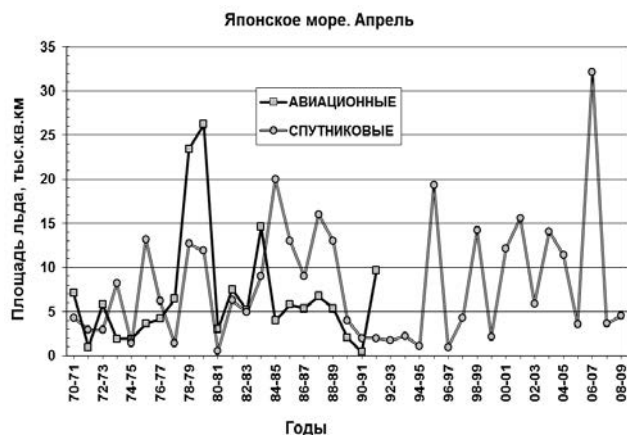


Рис. 7. Площадь ледяного покрова, вычисленная по спутниковым и авиационным наблюдениям в апреле за период с 1970 по 2009 г.

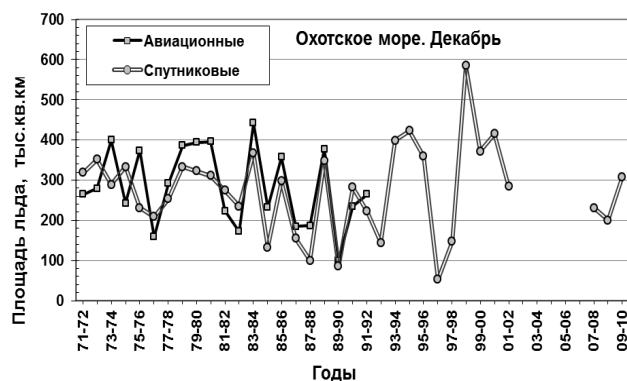


Рис. 8. Площадь ледяного покрова, вычисленная по спутниковым и авиационным наблюдениям в декабре за период с 1971 по 2010 г.

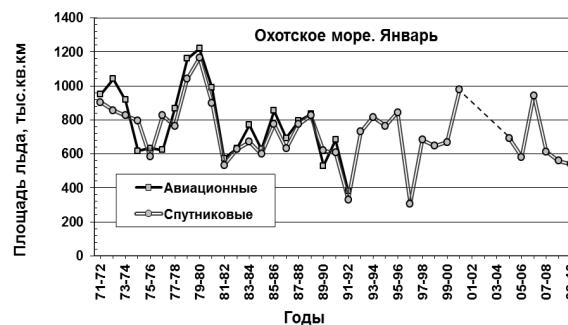


Рис. 9. Площадь ледяного покрова, вычисленная по спутниковым и авиационным наблюдениям в январе за период с 1970 по 2010 г.

В табл. 1 приведены сводные характеристики расхождений спутниковых и авиационных наблюдений в Японском море. Для оценки сопоставимости данных о ледовой обстановке, полученных из разных источников (авиаразведка, дешифрованные спутниковые снимки), проводился корреляционный анализ параллельных рядов ледовой информации. Результаты анализа свидетельствуют об их невысокой коррелированности, коэффициент корреляции менялся в пределах от 0,16 (декабрь) до 0,39 (январь).

Охотское море. Декабрь. Среднее расхождение данных авиационных и спутниковых наблюдений в декабре (рис. 8) составляет 65,2 тыс. км² (4,1% площади моря). Наибольшее расхождение отмечается в ледовый сезон 1974–1975 гг., когда данные спутниковых и авиационных наблюдений отличались на 142 тыс. км². Наименьшее расхождение данных в январе отмечено в ледовые сезоны 1981–1982 гг. Среднее расхождение данных для этого сезона составляет $\pm 3,3$ тыс. км², что соответствует $\sim 0,2\%$ площади акватории Охотского моря. Абсолютный размах колебаний для всего ряда наблюдений составляет 386 тыс. км². Наименьшее расхождение данных в декабре отмечено в ледовые сезоны 1988–1989 гг. Среднее расхождение данных для этого сезона составляет $\pm 14,5$ тыс. км², что соответствует $\sim 0,9\%$ площади акватории Охотского моря. Абсолютный размах колебаний для всего ряда наблюдений составляет 233 тыс. км².

Таблица 1

Расхождение спутниковых данных и данных авиационных наблюдений в Японском море за период с 1971 по 1991 г.

Японское море	ХІІ	І	ІІ	ІІІ	ІV	Среднее за сезон
Расхождение, тыс. км ²						
Среднее расхождение	13,6	14,3	18,3	10,4	5,5	12,4
Минимальное расхождение	1,6	0,8	1,8	0,6	0,3	1
Максимальное расхождение	69	48,4	50,6	38,8	16	44,6
Расхождение, % от общей акватории						
Среднее расхождение	12,7	13,3	17,0	9,7	5,1	11,6
Минимальное расхождение	1,5	0,7	1,7	0,6	0,2	0,9
Максимальное расхождение	64,2	45	47	36	14,9	41,5

Январь. Среднее расхождение данных авиационных и спутниковых наблюдений в январе (рис. 9) составляет 79,8 тыс. км² (4,9% площади моря). Наибольшее расхождение отмечается в ледовый сезон 1975–1976 гг., когда данные спутниковых и авиационных наблюдений отличались на 200 тыс. км².

Февраль. Среднее расхождение данных авиационных и спутниковых наблюдений в феврале (рис. 10) составляет 127,3 тыс. км² (7,9% площади моря).

Наибольшее расхождение отмечается в ледовый сезон 1975–1976 гг., данные спутниковых и авиационных наблюдений отличались на 323 тыс. км². Наименьшее расхождение в феврале отмечено в ледовые сезоны 1981–1982 гг. Среднее расхождение данных для этого сезона составляет $\pm 3,3$ тыс. км², что соответствует $\sim 0,2\%$ площади акватории Охотского моря. Абсолютный размах колебаний для всего ряда наблюдений достигает своего пика и составляет 529 тыс. км².



Рис. 10. Площадь ледяного покрова, вычисленная по спутниковым и авиационным наблюдениям в феврале за период с 1971 по 2010 г.

Март. Среднее расхождение данных авиационных и спутниковых наблюдений в марте (рис. 11) составляет 150,9 тыс. км² (9,4% площади моря). Наибольшее расхождение отмечается в ледовый сезон 1976–1977 гг., когда данные спутниковых и авиационных наблюдений отличались на 316 тыс. км². Наименьшее расхождение в марте отмечено в ледовые сезоны 1987–1988 гг. Среднее расхождение данных для этого сезона составляет $\pm 26,7$ тыс. км², что соответствует $\sim 1,7\%$ площади акватории Охотского моря. В марте абсолютный размах колебаний для всего ряда наблюдений составляет 421 тыс. км².

Апрель. Среднее расхождение данных авиационных и спутниковых наблюдений в апреле (рис. 12) составляет 198 тыс. км² (12,4% площади моря). Наибольшее расхождение отмечается в ледовый сезон 1976–1977 гг., когда данные спутниковых и авиационных наблюдений отличались на 300 тыс. км². Наименьшее расхождение в апреле отмечено в ледовый сезон 1989–1990 гг. Среднее расхождение данных для этого сезона составляет $\pm 66,4$ тыс. км², что соответствует $\sim 4,2\%$ площади акватории Охотского моря. Абсолютный размах колебаний для всего ряда наблюдений составляет 455 тыс. км².

Май. Среднее расхождение данных авиационных и спутниковых наблюдений в мае (рис. 13) составляет 105 тыс. км² (6,6% площади моря).



Рис. 11. Площадь ледяного покрова, вычисленная по спутниковым и авиационным наблюдениям в марте за период с 1971 по 2010 г.

Наибольшее расхождение отмечается в ледовый сезон 1978–1979 гг., когда данные спутниковых и авиационных наблюдений отличались на 229 км² (соответственно 471 и 700 тыс. км²). Наименьшее расхождение в мае отмечено в ледовый сезон 1984–1985 гг. Среднее расхождение данных для этого сезона составляет

$\pm 2,2$ тыс. км², что соответствует $\sim 0,2\%$ площади акватории Охотского моря. Абсолютный размах колебаний для всего ряда наблюдений составляет 289 тыс. км². В среднем, за весь период наблюдений (с 1971 по 1991 г.) разность данных в Охотском море составляет 121 тыс. км².



Рис. 12. Площадь ледяного покрова, вычисленная по спутниковым и авиационным наблюдениям в апреле за период с 1971 по 2010 г.

В табл. 2 приведены сводные характеристики расхождений спутниковых и авиационных наблюдений в Охотском море. Для оценки сопоставимости данных о ледовой обстановке, полученных из разных источников (авиаразведка, дешифрованные спутниковые снимки), так же как и для Японского моря, проводился корреляционный анализ параллельных рядов ледовой информации. Результаты анализа свидетельствуют об их высокой коррелированности, коэффициент корреляции менялся в пределах от 0,72 до 0,96. Корреляция значительно выше, чем для данных в Японском море. Это позволяет объединить имеющиеся данные (с небольшой корректировкой), полученные из разных источников, в один временной ряд.



Рис. 13. Площадь ледяного покрова, вычисленная по спутниковым и авиационным наблюдениям в мае за период с 1971 по 2010 г.

Таблица 2

Расхождение спутниковых данных и данных авиационных наблюдений в Охотском море за период с 1971 по 1991 г.

Охотское море	XII	I	II	III	IV	V	Среднее за сезон
Расхождение, тыс. км ²							
Среднее расхождение	62,5	79,8	127,3	127,7	198	105	127,2
Минимальное расхождение	14,4	3,3	3,3	26,7	66,6	2,2	19,5
Максимальное расхождение	142,2	203,3	323,3	315	380	228,9	364,8
Расхождение, % от общей акватории							
Среднее расхождение	4,1	4,9	7,9	11,7	12,4	6,6	8
Минимальное расхождение	0,9	0,2	0,2	1,7	4,2	0,2	1,2
Максимальное расхождение	8,9	12,7	20,2	56,9	23,7	14,3	22,8

Выводы:

1. Разность спутниковых и авиационных наблюдений в Японском море в среднем за период с 1971 по 1991 г. составляет 12,4 тыс. км² (11,6% площади пролива) с пределами колебаний от 1 до 45 тыс. км². Абсолютный размах колебаний уменьшается с декабря по апрель соответственно с 90 до 30 тыс. км².

2. По характеру образования (расхождений в данных) ошибок весь ряд наблюдений в Японском море можно разделить на два периода: первый – с расхождением данных в 7,7 тыс. км² (с 1971 по 1984 г.), второй – с расхождением данных в 21 тыс. км², что, вероятно, связано с изменением синоптической макроциркуляции на Дальнем Востоке. Корреляционный анализ спутниковых и авиационных рядов ледовой информации по Японскому морю показал, что ряды имеют невысокую корреляцию, коэффициент корреляции менялся в пределах от 0,16 (декабрь) до 0,39 (январь).

3. Разность спутниковых и авиационных наблюдений в Охотском море в среднем за период с 1971 по 1991 г. составляет 121 тыс. км² (8% площади моря) с пределами колебаний от 20 до 365 тыс. км². Абсолютный размах колебаний увеличивается с декабря по февраль – с 233 до 529 тыс. км², а затем уменьшается с февраля по май соответственно с 529 до 289 тыс. км², повторяя, таким образом, график годового хода общей ледовитости моря. Корреляционный анализ спутниковых и авиационных рядов ледовой информации по Охотскому морю показал их высокую коррелированность, коэффициент корреляции менялся в пределах от 0,72 до 0,96.

4. Анализ полученных в работе результатов позволяет сделать однозначный вывод: при анализе продолжительных рядов наблюдений, выполненных разными методами, для получения корректных результатов необходимо рассчитывать и вводить поправочные коэффициенты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крындин А.Н. Сезонные и межгодовые изменения ледовитости и кромки льда на дальневосточных морях в связи с особенностями атмосферной циркуляции // Труды ГОИН. 1964. Вып. 71. С. 5–80.
2. Плотников В.В., Якунин Л.П. Ледовые условия и методы их прогнозирования // Проект «Моря». Гидрология и гидрохимия морей. Т. IX: Охотское море. Вып. 1: Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеониздат, 1998. С. 291–340.
3. NEAR-GOOS Regional Real Time Database (Региональная оперативная база данных). URL: http://goos.kishou.go.jp/rttdb/img/goos-mail_white.gif, регистрация.
4. U.S. National Ice Center. URL: <http://www.natice.noaa.gov/ims/>, доступ свободный.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 23 ноября 2012 г.