Сергей А. Лебедев







Типы методов дистанционного зондирования





Методы дистанционного зондирования подразделяют на три типа: пассивные, полуактивные и активные.

- Пассивные методы основаны на регистрации теплового излучения (ИК и СВЧ) и естественного гамма-излучения с поверхности моря.
- Полуактивные методы основаны на облучении естественными и искусственными источниками электромагнитного излучения в широком спектральном диапазоне и в анализе сопоставления изменения спектрального состава отраженного сигнала.
- При использовании <u>активных методов</u> исследуемая водная поверхность облучается источниками излучения заданного спектрального состава с регистрацией или отраженного излучения, или флуоресценции, или комбинационного рассеяния.



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Поля и явления Мирового океана исследуемые дистанционными методами зондирования

Поля и явления Мирового океана	Параметры и характеристики	Датчик
		ИК-радиометр
Температура поверхности океана	Температура	СВЧ-радиометр
		спектрорадиометр
Соленость поверхности океана	Соленость	СВЧ-радиометр-интерферометр
1		поляриметрический СВЧ-радиометр
Уровень моря	Аномалии поля уровня, колебания уровня	альтиметр
		скаттерометр
Приводный ветер		СВЧ-радиометр
	Скорость и направление ветра	альтиметр
		радиолокатор с синтезированной
		апертурой (РСА)
	Распространение, положение кромки,	ИК-радиометр
	толщина, возраст, сплоченность,	СВЧ-радиометр
морские льды	скорость и направление дрейфа льдов и	PCA,
	т.п.	альтиметр
C	П	PCA,
состояние поверхности моря,	длина, высота и направление	СВЧ-радиометр
волнение	распространения поверхностных волн	альтиметр
	Цвет воды, концентрация хлорофилла,	спектрорадиометр
цвет воды, опопродуктивность	фитопланктона, концентрация взвеси	фотокамеры
	Поля и явления Мирового океана Температура поверхности океана Соленость поверхности океана Уровень моря Приводный ветер Корские льды Состояние поверхности моря, волнение Цвет воды, биопродуктивность	Поля и явления Мирового океанаПараметры и характеристикиТемпература поверхности океанаТемператураСоленость поверхности океанаСоленостьУровень моряАномалии поля уровня, колебания уровняУровень моряАномалии поля уровня, колебания уровняПриводный ветерСкорость и направление ветраМорские льдыРаспространение, положение кромки, толщина, возраст, сплоченность, скорость и направление дрейфа льдов и т.п.Состояние поверхности моря, волнениеДлина, высота и направление распространения поверхностных волн





Поля и явления Мирового океана исследуемые дистанционными методами зондирования

i. A	Поля и явления Мирового океана	Параметры и характеристики	Датчик	
		Скорость и направление течения,	ИК-радиометр	
	Морские течения, динамика	морфологическая структура, градиент	спектрорадиометр	
1	водных масс, фронтальные зоны	температуры		
			ИК-ралиометр	
Į,	Мезо/мелкомасштабные явления	Вихри, проявление внутренних волн,	спектрорадиометр	
	на морскои поверхности		РСА	
	Загрязнение нефтяными	Цвет воды, ослабление поверхностных	ИК-радиометр	
	углеводородами и поверхностно активными веществами	капиллярных волн	РСА	
	Рельеф дна	Формы рельефа дна мелководного ьеф дна шельфа, морфология дна Мирового океана		
		Глобальное поле силы тяжести и его временные вариации, вызванные перераспределениями атмосферных	акселерометр	Ň
	т разнтационное поле	масс, океанической циркуляцией, изменениям уровня моря за счет таяния полярного льда и т.д.	трехосный градиентометр	, T













Основные программы спутниковой альтиметрии

$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	Программа		Время активной работы,	Масса, <i>кг</i>		Параметры орбиты		
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$			месяц/гоо		Высота,		Наклонение,	Период
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $					перигей	апогей	градусы	повторяемости ² ,
$ \begin{array}{ c c c c c c } \hline GEOS.3 & 04/1975 - 12/1978 & 04/1975 - 04/1978 & 04/19$	Skylab-4 (орбита	льная станция)	05/1973 - 02/1974	20847	422	437	130	-
$\begin{array}{ c c c c c c c } SEAAT & 07/1978 - 09/1978 & 2300 & 761 & 765 & 108 & 17 & 33 \\ \hline 07/1978 - 10/1978 & 07/101 & 07/1978 & 07/101 & 07/1978 & 07/101 & 07/1978 & 07/101 & 07/1$	GEOS-3		04/1975 - 12/1978	341	817 858 1		115	-
$ \begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	OF A C A T		07/1978 - 09/1978	2200	7(1	7(5	100	17
$ \begin{array}{ c c c c c c } \hline \hline \begin{tabular}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	SEASAT		09/1978 - 10/1978	2300	/01	/05	108	3
	CEOSAT	геодезическая программа	03/1985 - 11/1986	(25	775	770	109.1	~23
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	GEUSAI	изомаршрутная программа	11/1986 - 12/1989	035	115	119	100,1	17
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	ГЕОИК 1 ¹ (Косм	10c-1660)	07/1985 - 10/1986	1500	1482	1525	73,6	-
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	ГЕОИК 2¹ (Косм	oc-1732)	03/1986 - 03/1986	1500	1480	1525	73,6	-
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	ГЕОИК 3¹ (Косм	oc-1803)	12/1986 - 12/1987	1500	1497	1504	82,6	-
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	ГЕОИК 4¹ (Косм	oc-1823)	03/1987 - 10/1987	1500	1479	1524	73,6	-
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	ГЕОИК 5 ¹ (Косм	oc-1950)	06/1988 - 07/1990	1500	1484	1522	73,6	-
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	ГЕОИК 6¹ (Косм	oc-2037)	09/1989 - 09/1990	1500	1485	1524	73,6	-
$\begin{array}{ c c c c c c c c c c c c c c c c c c c$	ГЕОИК 7¹ (Косм	oc-2088)	08/1990 - 03/1993	1500	1484	1524	73,6	-
$\begin{array}{ c c c c c c } \hline Para C & 04/1992 - 12/1993 \\ \hline Para D & 12/1993 - 04/1994 \\ \hline Para D & 12/1993 - 04/1994 \\ \hline Para B & 04/1994 - 03/1995 \\ \hline Para G & 04/1995 - 06/1996 \\ \hline Para G & 04/1995 - 06/1996 \\ \hline Para A & 08/1992 - 08/2002 \\ Poscidon & Para B & 09/2002 - 01/2006 \\ \hline Poscidon & Para B & 09/2002 - 01/2006 \\ \hline Poscidon & Para B & 09/2002 - 01/2006 \\ \hline Poscidon & Para B & 09/2002 - 01/2006 \\ \hline Poscidon & Para B & 09/2002 - 01/2006 \\ \hline Poscidon & Para B & 09/2002 - 01/2006 \\ \hline Poscidon & Para B & 09/2002 - 01/2006 \\ \hline Poscidon & Para B & 09/2002 - 01/2006 \\ \hline Poscidon & Para B & 09/2002 - 01/2006 \\ \hline Poscidon & Para B & 09/2002 - 01/2006 \\ \hline Poscidon & Para B & 09/2002 - 01/2006 \\ \hline Poscidon & Para B & 09/2002 - 01/2006 \\ \hline Poscidon & Para B & 09/2002 - 01/2006 \\ \hline Poscidon & Para B & 09/2002 - 01/2006 \\ \hline Poscidon & Para B & 00/1993 - 01/1995 & 1500 & 1479 & 1525 & 73,6 & - \\ \hline Poscidon & Para B & 02/2009 - 02/2012 & 2516 & 784 & 785 & 98,6 & 35 \\ \hline GFO-1 & 02/1998 - 10/2008 & 410 & 786 & 788 & 108,1 & 17 \\ \hline Posci & Para A & 12/2001 - 01/2009 \\ \hline Para B & 02/2009 - 02/2012 & 500 & 1337 & 1343 \\ \hline Para B & 02/2009 - 02/2012 & 7991 & 783 & 785 & 98,6 & 35 \\ \hline Posci & 03/2002 - 04/2012 & 7991 & 783 & 785 & 98,6 & 35 \\ \hline Posci & 01/2003 - Incromate Repress & 1000 & 593 & 610 & 94 & 183,8 \\ \hline Posci & Posci & 01/2003 - Incromate Repress & 510 & 1324 & 1335 & 66.04 & 10 \\ \hline Posci & Posci & 04/2010 - Incromate Repress & 510 & 1324 & 1335 & 66.04 & 10 \\ \hline Posci & Posci & 04/2010 - Incromate Repress & 510 & 1324 & 1335 & 66.04 & 10 \\ \hline Posci & Posci & Posci & Posci & 71 & 92.0 & -369 \\ \hline Posci & Posci & Posci & Posci & 71 & 92.0 & -369 \\ \hline Posci & Posci & Posci & Posci & 71 & 92.0 & -369 \\ \hline Posci & Posci & Posci & Posci & 71 & 92.0 & -369 \\ \hline Posci & Posci & Posci & Posci & 71 & 92.0 & -369 \\ \hline Posci & Posci & Posci & Posci & 71 & 92.0 & -369 \\ \hline Posci & Posci & Posci & Posci & Posci & 71 & 92.0 & -369 \\ \hline Posci & 71 & 92.0 & -369 \\ \hline Posci & Posci & Posci & Posci $		Фазы А, В	07/1991 - 03/1992			775	98,5	3
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $		Фаза С	04/1992 - 12/1993					35
$ \begin{array}{ c c c c c c c } \hline \hline$	ERS-1	Фаза D	12/1993 - 04/1994	2384	774			3
$ \begin{array}{ c c c c c c c } \hline \Phi_{33} \ G & 04/1995 - 06/1996 & 0 & 0 & 35 \\ \hline \mbox{Momental Matrix} & \Phi_{33} \ A & 08/1992 - 08/2002 & 2402 & 1331 & 1344 & 66,04 & 10 \\ \hline \mbox{Mass B} & 09/2002 - 01/2006 & 1479 & 1525 & 73,6 & - \\ \hline \mbox{FOIKS 1 (reo-HK) & 12/1994 - 07/1993 & 1500 & 1479 & 1526 & 73,6 & - \\ \hline \mbox{FOIK 1 (reo-HK) & 12/1994 - 07/1995 & 1500 & 1481 & 1526 & 73,6 & - \\ \hline \mbox{FOIL 1 (reo-HK) & 04/1995 - 06/2002 & 2516 & 784 & 785 & 98,6 & 35 \\ \hline \mbox{GFO-1} & 02/1998 - 10/2008 & 410 & 786 & 788 & 108,1 & 17 \\ \hline \mbox{Mass A} & 12/2001 - 01/2009 & 02/2012 & 500 & 1337 & 1343 & 66,2 & 10 \\ \hline \mbox{Mass B} & 02/2009 - 02/2012 & 500 & 1337 & 1343 & 66,2 & 10 \\ \hline \mbox{Mass A} & 01/2003 - nacrosnuec spess & 1000 & 593 & 610 & 94 & 183,8 \\ \hline \mbox{CryoSat-1} & 06/2008 - nacrosnuec spess & 510 & 1324 & 1335 & 66,04 & 10 \\ \hline \mbox{CryoSat-2} & 04/2010 - nacrosnuec spess & 510 & 1324 & 1335 & 66,04 & 10 \\ \hline \mbox{CryoSat-2} & 04/2010 - nacrosnuec spess & 510 & 1324 & 1335 & 66,04 & 10 \\ \hline \mbox{CryoSat-2} & 04/2010 - nacrosnuec spess & 510 & 1324 & 1335 & 66,04 & 10 \\ \hline \mbox{CryoSat-2} & 04/2010 - nacrosnuec spess & 510 & 1324 & 1335 & 66,04 & 10 \\ \hline \mbox{CryoSat-2} & 04/2010 - nacrosnuec spess & 510 & 1324 & 1335 & 66,04 & 10 \\ \hline \mbox{CryoSat-2} & 04/2010 - nacrosnuec spess & 510 & 1324 & 1335 & 66,04 & 10 \\ \hline \mbox{CryoSat-2} & 04/2010 - nacrosnuec spess & 510 & 1324 & 1335 & 66,04 & 10 \\ \hline \mbox{CryoSat-2} & 04/2010 - nacrosnuec spess & 510 & 1324 & 1335 & 66,04 & 10 \\ \hline \mbox{CryoSat-2} & 04/2010 - nacrosnuec spess & 510 & 1324 & 1335 & 66,04 & 10 \\ \hline \mbox{CryoSat-2} & 04/2010 - nacrosnuec spess & 510 & 1324 & 1335 & 66,04 & 10 \\ \hline \mbox{CryoSat-2} & 04/2010 - nacrosnuec spess & 510 & 1324 & 1335 & 66,04 & 10 \\ \hline \mbox{CryoSat-2} & 04/2010 - nacrosnuec spess & 513 & 963,6 & 965 & 99,3 & 14 \\ \hline \mbox{CryoSat-2} & 12/2011 - 00005 & 818004 a 10 00000 & 1347 & 73,6 & 17 \\ \hline \mbox{CryoSat-2} & 12/2011 - 00005 & 818004 a 10 000000 & 1347 & 73,6 & 17 \\ \hline \mbox{CryoSat-2} & 04/2010 - nacrosnuec sp$		Φ азы E^1, F^1	04/1994 - 03/1995					~168
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $		Фаза G	04/1995 - 06/1996					35
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	TOPEX/	Фаза А	08/1992 - 08/2002	2402	1221	1244	(())	10
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	Poseidon	Фаза В	09/2002 - 01/2006	2402	1331	1344	66,04	
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	ГЕОИК 8 ¹ (Косм	oc-2226)	01/1993 - 07/1993	1500	1479	1525	73,6	_
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	ГЕОИК 9 ¹ (Гео-И	ТК)	12/1994 - 07/1995	1500	1481	1526	73,6	_
GFO-1 02/1998 - 10/2008 410 786 788 108,1 17 Jason-1 $\frac{\Phi a3a A}{\Phi a3a C^1}$ 02/2009 - 02/2012 500 1337 1343 66,2 10 $\Phi a3a C^1$ 05/2012 - 07/2013 500 783 785 98,6 35 ENVISAT 03/2002 - 04/2012 7991 783 785 98,6 35 ICESsat 01/2003 - настоящее время 1000 593 610 94 183,8 CryoSat-1 06/2008 - настоящее время 510 1324 1335 66.04 10 CryoSat-2 06/2008 - настоящее время 510 1324 1335 66.04 10 CryoSat-2 06/2008 - настоящее время 510 1324 1335 66.04 10 GryoSat-2 04/2010 - настоящее время 720 720 -369 HaiYang-2A (HY-2A) 130маршрутная программа геодезическая программа 08/2011 - настоящее время 513 963.6 965 99.3 14 CAIKO (Poseidor-2) <td>ERS-2</td> <td></td> <td>04/1995 - 06/2002</td> <td>2516</td> <td>784</td> <td>785</td> <td>98,6</td> <td>35</td>	ERS-2		04/1995 - 06/2002	2516	784	785	98,6	35
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	GFO-1		02/1998 - 10/2008	410	786	788	108,1	17
Jason-1 Φ asa B 02/2009 - 02/2012 500 1337 1343 00,2 10 Φ asa C ¹ 05/2012 - 07/2013 500 1337 1343 00,2 10 ENVISAT 03/2002 - 04/2012 7991 783 785 98,6 35 ICESsat 01/2003 - настоящее время 1000 593 610 94 183,8 CryoSat-1 08.10.2005 - потерян при выводе на орбиту 650 720 92 ~369 OSTM/Jason-2 06/2008 - настоящее время 510 1324 1335 66.04 10 CryoSat-1 06/2008 - настоящее время 510 1324 1335 66.04 10 CryoSat-2 06/2008 - настоящее время 510 1324 1335 66.04 10 HiYang-2A номаршрутная программа 08/2011 - настоящее время 513 963.6 965 99.3 14 (HY-2A) 12/2011 - ошибка вывода на орбиту 1500 1347 73.6 17		Фаза А	12/2001 - 01/2009		1337		<u>66,2</u> <u>66,042</u>	10
$\Phi_{a3a} C^1$ 05/2012 - 0//2013 Image: constraint of the symbol of	Jason-1	Фаза В	02/2009 - 02/2012	500		1343		10
ENVISAT 03/2002 - 04/2012 7991 783 785 98,6 35 ICESsat 01/2003 - настоящее время 1000 593 610 94 183,8 CryoSat-I 08.10.2005 - потерян при выводе на орбиту 650 720 92 ~369 OSTM/Jason-2 06/2008 - настоящее время 510 1324 1335 66.04 10 CryoSat-2 04/2010 - настоящее время 720 717 92.0 ~369 HaiYang-2A (HY-2A) изомаршрутная программа геодезическая программа 08/2011 - настоящее время 513 963.6 965 99.3 14 CAUKO (Poseid-2) 12/2011 - ошибка вывода на орбиту 1500 1347 73.6 17		Фаза С ¹	05/2012 - 07/2013					~406
ICESsat 01/2003 - настоящее время 1000 593 610 94 183,8 CryoSat-1 $08.10.2005 -$ потерян при выводе на орбиту 650 72^{-1} 92 ~ 369 OSTM/Jason-2 $06/2008 -$ настоящее время 510 1324 1335 66.04 10 CryoSat-2 $04/2010$ - настоящее время 720 720 720 73.6 744 HaiYang-2A (HY-2A) $130MapupyThas программагеодезическая программа 08/2011 - настоящее время 513 963.6 965 99.3 144 CAUKO (Poseid-2) 12/2011- ошибка вывода на орбиту 1500 1347 73.6 17 $	ENVISAT	·	03/2002 - 04/2012	7991	783	785	98,6	35
CryoSat-1 08.10.2005 - потерян при выводе на орбиту 650 720 92 ~369 OSTM/Jason-2 06/2008 - настоящее время 510 1324 1335 66.04 10 CryoSat-2 04/2010 - настоящее время 720 717 92.0 ~369 HaiYang-2A (HY-2A) изомаршрутная программа геодезическая программа 08/2011 - настоящее время 713 963.6 965 999.3 14 CAUKO (Poseid2) 12/2011 - ошибка вывода на орбиту 1500 1347 73.6 17	ICESsat		01/2003 – настоящее время	1000	593	610	94	183,8
ОSTM/Jason-2 06/2008 - настоящее время 510 1324 1335 66.04 10 CryoSat-2 04/2010 - настоящее время 720 717 92.0 ~369 HaiYang-2A (HY-2A) нзомаршрутная программа геодезическая программа 08/2011 - настоящее время 513 963.6 965 99.3 14 CAJKO (Poseidon-2) 12/2011 - ошибка вывода на орбиту 1500 1347 73.6 17	CryoSat-1		08.10.2005 – потерян при выводе на	650	7:	20	92	~369
СтуоSat-2 04/2010 - настоящее время 720 71 92.0 ~369 НајУалд-2A (HY-2A) нзомаршрутная программа геодезическая программа 08/2011 - настоящее время 513 963.6 965 99.3 14 САДКО (Poseidon-2) 12/2011 - ошибка вывода на орбиту 1500 1347 73.6 17	OSTM/Jason-2		06/2008 – настоящее время	510	1324	1335	66.04	10
НајУаве-2A (HY-2A) изомаршрутная программа 08/2011 – настоящее время 513 963.6 965 99.3 14 САДКО (Poseidon-2) 12/2011 - ошибка вывода на орбиту 1500 1347 73.6 17	CrvoSat-2		04/2010 – настоящее время	720	7	17	92.0	~369
(HY-2A) геодезическая программа 08/2011 – настоящее время 513 963.6 965 99.3 14 × САДКО (Poseidon-2) 12/2011 - ошибка вывода на орбиту 1500 1347 73.6 17							72.0	14
САДКО (Pos eidon-2) 12/2011- ошибка вывода на орбиту 1500 1347 <u>73.6 17</u>	(HY-2A)	геолезическая программа	08/2011 – настоящее время	513	963.6	965	99.3	~168
	САЛКО (Poseida	pn-2)	12/2011- ошибка вывола на орбиту	1500	_13	47	73.6	17
SARAL/Altika 02/2013 – настоящее время 450 786 98.705 35	SARAL/Altika		02/2013 – настоящее время	450	7	86	98.705	35

¹ – геодезические программы (для российских программ в скобках указан спутник-носитель)



² – для изомаршрутных программ





Альтиметрическая программа спутника ICESat (Ice, Cloud and land Elevation Satellite)





Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Альтиметрическая программа спутника CryoSat







SAR Interferometer Radar Altimeter (SIRAL)





Будущие программы спутниковой альтиметрии

Программа		Время активной работы,	Масса, <i>кг</i>	са, Параметры орбить г				
		месяц/200		Высота,		Наклонение,	Период	1
				перигей	апогей	градусы	повторяемости ² ,	r.
HaiYang-2B	изомаршругная программа		513	063.6	965	00.3	14	
(HY-2B)	геодезическая программа	планируется на 2014	515	903.0	905	99.5	~168	à
Sentinel-3A - Oc	ean	планируется на 2015	2300	6	93	98.6	35	ų.,
Jason-3		планируется на 2015	500	13	36	66.0	10	
HaiYang-2C изомаршрутная программа			512	063.6 06	065	00.2	14	
(HY-2C)	геодезическая программа	планируется на 2015	планируется на 2015 515	903.0	903.0 903	77.0	~168	
Jason-CS		планируется на 2017	500	13	36	66.0	10	
HaiYang-2D	изомаршрутная программа		512	062.6	065	00.2	14	
(HY-2D)	геодезическая программа	планируется на 2019	515	903.0	905	99.5	~168	н.,
SWOT (Surface	Water and Ocean Topography)	планируется на 2019	500	13	36	66.0	10	
Sentinel-3C/D		планируется на 2021	2300	6	93	98.6	35	
GFO-2		планируется на 2021	410	786	788	108,1	17	

1 – геодезические программы (для российских программ в скобках указан спутник-носитель)

² – для изомаршрутных программ



Спутник Sentinel-3









Альтиметрическая программа спутника SWOT (Surface Water Ocean Topography)





Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Точность расчета высоты орбиты основные программы альтиметрических

измерений



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли»



Таруса, 2 – 6 марта 2015 г. © 2015, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев

Основные типы датчиков и точность измерения высоты морской поверхности

	and the second		1	1.12			1997 - 1914 - 1914 - 1914 - 1914 - 1914 - 1914 - 1914 - 1914 - 1914 - 1914 - 1914 - 1914 - 1914 - 1914 - 1914 -		
j.	Альтиметер	Рабочая частота, <i>ГГц</i>	Длительность импульса, <i>нс</i>	Частота повторения импульсов, <i>МГц</i>	Диаметр антенны, <i>м</i>	Угловое разрешение антенны , <i>град</i>	Спутник носитель	Высота орбиты, <i>км</i>	Точность расчета ВМП, <i>см</i>
	GEOSAT	13,5	3,125	500	1,3	1,2	GEOSAT	800	10
	RA	13,8	12,121 ¹ 3,03	1020	1,2	1,3	ERS - 1 ERS - 2	780	5,5
		13,575	3,125	4200		1,1			
	TOPEX NRA	5,3	<u>10</u> 3,125	1220	1,5	2,7	TOPEX/ Poseidon	1336	1,7
	Poseidon - 1	13,65	3,125	1718	1,2	1,1			3
	GFO-RA	13,5	3,125	500	1	2	GFO-1	880	3,5
	Poseidon - 2	13,575	3,125		1,2	1,28	Jason-1	1336	1,7
		5,3	10 3,125	2060		3,4			
		13,575	50				ENVISAT	800	1,8
	D 4 2		12,5	1795,33	³ 1,5	1,29			
	KAZ		3,125						
		3,2	6,25	448,83		5,5			4,5
		13,575	3,125			1,28			
	Poseidon-3	53	10	2060	1,2	3.4	Jason-2	ison-2 1336	1,7
		5,5	3,125			5,4			
		13,5	3,125			1,3			
	SADKO-2	5.3	10	2060	1,2	з 4 ГЕОИК-2	ГЕОИК-2 №11	1000	-
		0,0	3,125			-,.			
	AltiKa	13,75	0,1	3800	1	-	SARAL	780	-

1 - Первая для профилирования морских льдов и ледников Гренландии и Антарктиды, вторая – для измерения высоты морской поверхности







Геодезические и изомаршрутные программы











Высота морской поверхности Спутниковая альтиметрия



Помимо этого спутниковая альтиметрия позволяет анализировать:

- амплитуду скорости приводного ветра
- высоты волн
- состояние подстилающей поверхности

высота геоида или эквипотенциальная поверхность гравитационного поля Земли высота орбиты спутника высота спутника над поверхностью моря высота морской поверхности с учетом ряда поправок (dH_i) , связанных с прохождением радиосигнала через атмосферу, инструментальными ошибками и состоянием подстилающей поверхности: $H_{ssh} = H_{orb} - H_{alt} - \Sigma dH_i$ динамическая топография отклонения морской поверхности относительно геоида: $H_{dt} = H_{ssh} - H_g$



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.

 H_{dt}



Рабочая частота альтиметра



Зависимость ослабления электромагнитного излучения атмосферой от длины волны

Вертикальными пунктирными линиями показаны длины волн и рабочие частоты, а желтым цветом интервал длин волн и рабочих частот современных альтиметров





Определение расстояния от альтиметра до подстилающей поверхности



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Площадь сегмента отражения



Зависимость формы и площади сегмента подстилающей поверхности, с которого отражается зондирующий импульс альтиметра от времени

Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Форма отраженного импульса



Форма отраженного (а) одиночного импульса и результаты осреднения (б) 25-ти и (в) 100 импульсов и площадь сегмента (г)





© 2015, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев

K

Теоретическая модель формы отраженного импульса

При малых отклонения оси антенны от положения надира среднюю форму принятого альтиметром отраженного от морской поверхности сигнала, вывод которой базируется на модели некогерентного (по мощности) рассеяния радиоволн шероховатой поверхностью

 $P(t) = P_{FS}(t) * s_r(t) * q_s(t)$

- средняя мощность сигнала, отраженного плоской поверхностью

форма импульса, отраженного от плоской поверхности

- плотность вероятности распределения высот зеркальных точек

Модель Брауна построена в рамках следующих предположений:

- отражающая поверхность содержит достаточно большое число независимых отражающих элементов;
- статистики возвышений поверхности являются постоянными в пределах освещаемой радаром поверхности;
- отражение является скалярным процессом без эффектов поляризации;
- нормированное сечение обратного рассеяния является постоянным для всей освещаемой площади, т.е. в пределах диаграммы направленности не зависит от угла падения;
- эффектом Доплера можно пренебречь.



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Теоретическая модель формы отраженного импульса



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Анализ формы отраженного импульса



Форма импульса, отраженного от безграничной подстилающей поверхностью, аппроксимированная по формуле Брауна (красная линия) и осредненная за 1 с форма отраженного импульса для условий открытого океана (синяя линия).

Желтой областью выделена ширина переднего фронта отраженного импульса



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Значимая высота ветровых волн



Примеры модельных форм отраженного импульса для различной степени волнения морской поверхности

Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Скорость приводного ветра



Зависимость скорости приводного ветра на высоте 10 м от коэффициента обратного рассеяния для наиболее широко используемых алгоритмов

1. Brown (1979): $U_{10} = \exp\left[\left(10^{-(0,21+\sigma^0/10)}\right)\right]$ 2. Chelton & McCabe (1985): $U_{10} = 0,943 \cdot 10^{\left[\left(\sigma^{0}/10 - A\right)/B\right]}$ 3. Witter & Chelton (1991): $U_{10} = \sum_{n=0}^{5} A_n \left(\sigma^0\right)$ 4. Abdalla (2012): $U_{10} = \begin{cases} A_1 - B_1 \sigma^0 \\ A_2 \exp\left(-B_2 \sigma^0\right) \end{cases}$ 5. Young (1993): $U_{10} = A \sigma^0 + B$



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Поправки на влияние атмосферы

На прохождение радиоимпульса альтиметра сильно влияет состояние атмосферы, которое выражается в увеличении времени возврата зондирующего сигнала, что приводит к ошибке определения высоты спутника над поверхностью океана.

- Сухая» тропосферная поправка
 - рассеяние радиоимпульса молекулами газов, входящих в состав воздуха, и в первую очередь кислородом (2—3 м)

$$dh_{dry} = 2,277 \cdot P_{surf} (1+0,0026 \cos(2\varphi))$$

- Э Поправка на влажность
 - поглощение электромагнитного излучения водяным паром (<0,5 м)

$$dh_{wet} = W\left(1,723/T_{eff}\right) \Delta dh_{wet} = -5,0\Delta T_{18} + 7,3\Delta T_{21} - 0,9\Delta T_{37}$$
$$dh_{wet} = -\left(1,11645410^{-3}\int_{P_{sat}}^{P_{surf}} q \ dP + 17,66543928\int_{P_{sat}}^{Q} \frac{q}{T} \ dP\right) \times$$

- ×(1+0,0026 соѕ(φ)) Э Ионосферная поправка
 - рассеяние радиоимпульса альтиметра свободными электронами и ионами (0,02—0,2 м)



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Поправки на атмосферу и ионосферу







Изменчивость вдоль 092 трека спутника Jason-2 на 1 августа 2012 г. (150 цикл) величины «сухой» поправки (м), рассчитанной по данным моделей ЕСМWF и NCEP/NCAR (а); поправки на влажность (см), рассчитанной по данным моделей ЕСМWF, NCEP/NCAR и бортового многоканального микроволнового радиометра (б) и ионосферной поправки (см), рассчитанной по данным альтиметра, системы DORIS и по данным модели IRI2007 (в).



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Уточнение поправки на влажность







46°

Т_{еff} 18,7 ГГц Т_{еff} 23,8 ГГц

Т_{еff} 34,0 ГГц

44°

45°

Учет систематической ошибки

Для Каспийского моря анализ показал, что измерения высот морской поверхности, проводимые альтиметром спутника Jason-1, превышают измерения спутника TOPEX/Poseidon в среднем на 9,19±1,48 см, а спутника Jason-1 превышают измерения спутника Jason-2 в среднем на 8,85±0,84 см





Временная изменчивость аномалий уровня (см) Каспийского моря (а) в точке (50°49′56,7″ в.д. и41°26′5,7″ с.ш.), лежащей на 092 треке, по данным альтиметрических измерений спутников TOPEX/Poseidon и Jason-1 (а) и Jason-2 и Jason-1 (б)





Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.

Поправки на состояние подстилающей поверхности

Помимо учета влияния атмосферы на расчет высоты спутника необходимо учесть поправку, связанную с состоянием подстилающей поверхности



Поправка на электромагнитное смещение

> интенсивность отражения радиоволн меняется вдоль профиля длинных поверхностных волн, т.е. гребни волны отражают зондирующий радиоимпульс слабее, чем впадины

Различие между средним уровнем моря, его медианой и измеряемой величиной

$$dh_{emb} = F_1(h_{swh}, U_{10}) \approx F_1(h_{swh}, \sigma^0)$$

Э Поправка на асимметрию возвышений морской поверхности

 обусловлена отклонением распределений возвышений морской поверхности от распределения Гаусса



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Поправка на отклонение от положения надира

Отклонение альтиметра от положения надира при условии, что угол отклонения γ меньше углового разрешения антенны θ не изменяет геометрию отражения сигнала от подстилающей поверхности, а уменьшает θ



льтиметра в надире γ=0° (сплошная линия) и пр отклонении его от положения надира на γ=1°. (штриховая линия)

Шестая Межд Таруса, 2 – 6 м © 2015, ГЦ РА

Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Геофизические поправки

Позволяют исключить из данных спутниковой альтиметрии изменения высоты моря, обусловленные различными физическими явлениями

Поправка обратного барометра

 $dh_{inv} = -9,948 \left(P_s - P_0 \right)$

Э Приливные поправки

обусловлен воздействием приливообразующих сил на водную и твердую оболочки Земли

Э Полюсные приливы

- отклонение водной поверхности или твердой оболочки Земли, вызванное колебаниями положения ее полюса, которые обусловлены свободной эйлеровской прецессией
- Э Нагрузка на дно океанов и морей
 - приливы приводят к возрастанию массы столба воды единичного сечения и к появлению дополнительной нагрузки на дно и его прогибу (эффект нагрузки), а избыточная масса воды сама притягивает Землю (эффект самопритяжения) и тем самым вызывает дополнительные деформации земной коры



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.







Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Данные спутниковой альтиметрии

Данные альтиметрических измерений независимо от спутников разделяются на несколько типов: оперативные, промежуточные и окончательные данные.

> Ошибки расчета орбиты и поправок для разных типов данных спутника Jason-2

	Тип данных				
	Оперативные	Промежуточные	Окончательные		
Инструментальная ошибка	1.7 см	1.7 см	1.7 см		
Поправка на ионосферу	отсутствует	0.5 см	0.5 см		
Поправка на состояние подстилающей поверхности	2 см	2 см	2 см		
Поправка на отклонение от положения надира	2 см	1 см	1 см		
«Сухая» атмосферная поправка	отсутствует	0.7 см	0.7 см		
Поправка на влажность	1.2 см	1.2 см	1.2 см		
Альтиметр		3.3 см	3.3 см		
Высота орбиты	20-30 см	<4 см	2.5 см		
Точность расчета высоты морской поверхности		5 см	4.2 см		
Высота волны		10%			
Скорость ветра	2 м/с	1.7 м/с	1.7 м/с		





Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Оперативные данные

После поступления данных с борта спутника производится прогноз высоты орбиты и расчет поправок по соответствующим моделям. Таким образом, каждые 6–8 часов формируются OSDR данные.

Радиальная составляющая орбитальной ошибки прогноза высоты орбиты спутника ERS-2

	День прогноза	Точность прогноза высоты орбиты <i>(см)</i>	Среднеквадратичное отклонение прогноза от точной орбиты <i>(см)</i>
2	1	14.6	13.4
	2	19.1	17.9 🧐
	3	24.6	22.9
	4	31.5	29.0
	5	39.4	35.5

При этом следует учитывать, что прогнозируемая высота орбиты спутника содержит радиальную ошибку по сравнению с точными расчетами с применением данных навигационных систем и систем слежения.

Однако в этих данных могут отсутствовать некоторые поправки. Так OSDR данные не содержат «сухую» тропосферную, ионосферную поправку и поправку обратного барометра.



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Промежуточные данные

В течение последующих 1–2 недель прогнозируемая высота орбиты уточняется за счет радиальной составляющей, рассчитываемой по точкам пересечения (выравнивание высот орбит), что позволяет сформировать IGDR-данные. Это приводит к уточнению значений высот морской поверхности. Ошибка высоты орбиты в этом случае значительно ниже, что позволяет использовать IGDR-данные для исследования межгодовых аномалий уровня морей и океанов.

Окончательные данные

Окончательный вариант данных (GDR) получается в результате уточнения высоты орбиты по данным вектора положения спутника, полученным с наземных лазерных станций слежения или других спутников. Это повышает точность расчета высоты морской поверхности, что позволяет использовать спутниковую альтиметрию для решения не только океанологических, но и геодезических задач. GDR данные формируются примерно через 1–2 месяца после окончания цикла изомаршрутной программы спутника.



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Структура баз данных спутниковой альтиметрии



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.


Данные спутниковой альтиметрии

	Источник данных	Спутник	Данные	Организация базы данных	Тип данных	Способ получения данных	Доступ к данным	
		GEOS-3			GDR			
	Physical Oceanography DAAC	SEASAT	высота морской поверхности	вдоль трека	GDR	FTP	свободный	2
		TOPEX/ Poseidon			IGDR GDR			(† 1997) 1997 - Jack Britter, 1997 - 19
					MGDR	FTP, CD		
			аномалии высоты морской поверхности		QLGDR NRTSSHA	FTP		
			аномалии уровня моря		GDR			- ')
	Distributed Active Archive Center JET PROPULSION LABORATORY		высота морской поверхности		OSDR IGDR			
		Jason-1			GDR			- 1
			аномалии высоты морской поверхности		NRTSSHA			
k f		TOPEX/ Poseidon	аномалии уровня моря	данные н	а сетке	FTP, CD		
<u> </u>	NASA	GEOSAT	DI IGOTO MODELCOŬ HODODVIJOSTI	DION TROP	CDP	СD	платный	
		GFO-1	высота морской поверхности	вдоль трека	GDK	FTP	свободный	, J
		ГЕОИК	высота морской поверхности	GDR IGDR Вдоль трека IGDR GDR GDR	CDD	Интернет, СD	свободный	Ē.,
		GEOSAT			GDK			18 mar
		TOPEX/ Poseidon			IGDR MGDR			
		Jason-1			IGDR GDR			~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
		GFO-1			GDR			
		ERS-2	аномалии высоты морской поверхности	вдоль трека			свободный	1 A A
		TOPEX/ Poseidon			RGDR			
		GFO-1				Интернет		2
		Jason-1						
		ERS-2 TOPEX/ Poseidon						
		GFO-1		карты (изоб	ражения)			and a second
		Lason-1	4 1					
			1					I



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г. © 2015, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев



Данные спутниковой альтиметрии

	Источник данных	Спутник	Данные	Организация базы данных	Тип данных	Способ получения данных	Доступ к данным	
ł		GEOSAT GFO-1 ERS-1 (фазы СиG) ERS-2 TOPEX/ Poseidon	аномалии уровня моря	вдоль трека	GDR	FTP	свободный	3
	GSFC DAAC	SEASAT GEOSAT GFO-1 ERS-2 ENVISAT TOPEX/ Poseidon	аномалии уровня моря	данные н	а сетке	FTP	свободный	2
	ALTIMETRIE	ERS-1 ERS-2 ENVISAT TOPEX/ Poseidon Jason-1	высота морской поверхности	вдоль трека	IGDR GDR IGDR IGDR IGDR IGDR GDR MGRD IGDR	FTP FTP, CD, DVD FTP	условно свободный	j J
		ERS-1 ERS-2 ENVISAT TOPEX/ Poseidon Jason-1			GDR	FTP, DVD	свободный	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
	TURNETT INTUKATING GATURIAK	ERS-2 GFO-1 ENVISAT TOPEX/ Poseidon Jason-1	аномалин уровня моря	данные на сетке		FTP, DVD		
	1	1. 44						



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г. © 2015, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев



Спутниковая альтиметрия в океанологии



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Высота морской поверхности





Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.





Аномалии высот морской поверхности



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Уровень моря Динамическая топография





Синоптическая динамическая топография







Верификация синоптической динамической топографии







Верификация синоптической динамической топографии



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.





j,

Сезонная изменчивость динамической топографии



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г. © 2015, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев K



Сезонная изменчивость скоростей течений



Сезонная изменчивость геострофических скоростей течений на поверхности (см/с)

$$U_g = -\frac{g}{f} \frac{\partial h_{dyn}}{\partial y} \qquad V_g = \frac{g}{f} \frac{\partial h_{dyn}}{\partial x}$$

в Северном (красная линия), Среднем (синяя) и Южном (фиолетовая) Каспии по данным о альтиметрическим измерениям спутников Т/Р и J1/2 за 1993 2012 гг.

Сезонная изменчивость поля завихренности

$$\zeta = \frac{\partial V_g}{\partial x} - \frac{\partial U_g}{\partial y}$$

геострофических скоростей течений на поверхности в Северном (красная линия), Среднем (синяя) и Южном (фиолетовая) Каспии по данным альтиметрическим измерениям спутников Т/Р и J1/2 за 1993 2012 гг





Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Межгодовая изменчивость геострофических скоростей течений

Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли»



Межгодовая изменчивость среднемесячной геострофических екоростей течений (м/с) в различных частях Каспия и моря в целом по данным альтиметрических измерений спутника Т/Р и J1/2 за сентябрь 1992 г. декабрь 2012 г.



Таруса, 2 – 6 марта 2015 г. © 2015, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев

Межгодовая изменчивость завихренности геострофических скоростей течений



Межгодовая изменчивость среднемесячной завихренности геострофических скоростей течений (м/с) в различных частях Каспия и моря в целом по данным альтиметрических измерений спутника Т/Р и J1/2 за сентябрь 1992 г. декабрь 2012 г.





Уровень моря Климатическая изменчивость



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Уровень моря Климатическая изменчивость



В целом уровень Южного океана растет со средней скоростью около 0.24±0.026 см/год. В районе Южнотихоокеанского поднятия уровень падает со скоростью -0.21±0.05 см/год. В восточной части Африканско-Атлантической котловины уровень океана также падает только с более высокой скоростью -0.19±0.07 см/год. В районах северо-восточной части Аргентинской котловины, юго-восточной части Капской котловины (на стыке с котловиной Агульяс) и в центральной части Южноавстралийской котловины наблюдается падение уровня со скоростью более чем -0.11±0.03 см/год.



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Климатические изменения стока реки Дунай и уровня Черного моря



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Климатические изменения стока реки Дон и уровня Азовского моря



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Климатические изменения стока реки Волга и уровня Каспийского моря



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Климатические изменения уровня Балтийского моря



данных уровенных постов Стокгольм (Швеция) и Кронштадт (Россия)

Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Скорости СВДЗК в районе Балтийского моря







Климатические изменения уровня Балтийского моря



Межгодовая изменчивость уровня Балтийского моря по данных уровенного поста Стокгольм (Швеция) с учетом скорости СВДЗК

Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Климатические изменения уровня Балтийского моря



Межгодовая изменчивость уровня Балтийского моря по данным альтиметрических измерений спутников T/P and J1/2

Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Пространственно-временная изменчивость уровня Балтийского моря



Скорость межгодовой изменчивости уровня Балтийского моря (см/г)

Район	Средняя	Миним.	Максим.	
Ботнический залив	0.44±0.03	0.35	0.51	
Ботническое море	0.35±0.03	0.28	0.42	
Финский залив	0.35±0.06	0.26	0.49	
Рижский залив	0.37±0.03	0.32	0.43	
Центральная часть моря	0.28±0.02	0.23	0.38	
Датские проливы	0.28±0.02	0.21	0.31	
Пролив Каттегат	0.32±0.05	0.23	0.43	

1



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Продвижение паводка реки Волга по акватории моря



Изменчивость вдоль 092 трека спутников Т/Р и J1/2 средней скорость продвижения паводка реки Волга (км/день) по данным альтиметрических измерений в периоды подъема (а) и падения (б) уровня Каспия (а). Штриховая линия - средняя за 1993 2012 гг. скорость продвижения паводка. Желтым цветом выделены области суши.



Изменчивость вдоль 092 трека средней за 1993–2012 гг. скорости продвижения паводка реки Волга (км/день) по данным альтиметрических измерений спутников Т/Р и J1/2 и градиент АСТ (мГал/км), рассчитанных по модели EGM2008.



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Уровень моря. Цунами



Амплитуда волны цунами, рассчитанная по модели (верхний рисунок) и изменчивость уровня моря вдоль треков спутника Jason-1 (нижний рисунок) после подводного землетрясения в Индийском океане возле северозападного берега острова Суматры (Индонезия), произошедшего 26 декабря 2004 года

Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Уровень моря. Цунами





Амплитуда волны цунами, рассчитанная по модели (верхний рисунок) и изменчивость уровня моря вдоль треков спутника Envisat (левый рисунок) после подводного землетрясения в Тихом океана у восточного побережья острова Хонсю (Япония), произошедшего ______1 марта 2011 года





Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.

Уровень и температура поверхности моря Явления *El Niño* and *La Niña*





Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г. © 2015, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев

K

Уровень моря Планетарные волны







Уровень моря Сезонная и межгодовая изменчивость



линия) и данным гравиметрической

миссии спутника GRACE (красная

линия), усредненные по акватории

северного полушария

Изменчивость уровня моря рассчитанного по данным альтиметрических измерений спутников Jason-1/2 (пунктирная линия), стерического уровня, рассчитанного по данным профилирующих буев Арго (синяя линия), и уровня, рассчитанного по данным гравиметрической миссии спутника GRACE (красная линия) с 2005 по 2010 гг.



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.





Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли»

Скорость приводного ветра

Таруса, 2 – 6 марта 2015 г. © 2015, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев

Верификация данных о скорости ветра



Расположение треков изомаршрутных программ спутников ERS 1/2 и ENVISAT (синяя линия), спутников и GFO 1 (зеленая линия) и T/P и J1/2 (красная линия), данные альтиметрических измерений с которых использовались для верификации скорости ветра по данным метеостанций аэропорт Баку и Форт-Шевченко.





Двумерная диаграмма рассеяния скорости ветра по данным альтиметрических измерений и по данным метеостанций аэропорт Баку (а) и Форт-Шевченко (б). Прямыми пунктирными линиями показана линейная аппроксимация данных методом наименьших квадратов



Направления разложения скорости ветра по четырем квадрантах относительно нормали к береговой линии для метеостанции Форт-Шевченко и соответствующие им коэффициенты корреляции Стрелками показаны преобладающие направления ветра для каждого квадранта

Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



Сезонная изменчивость скорости ветра







Сезонная изменчивость скорости ветра (м/с) в Северном (а), Среднем (б) и Южном (в) Каспии по данным альтиметрических измерений спутника Т/Р и J1/2 в точках пересечения треков за января 1993 г. — декабрь 2012 г.



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.





Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г. © 2015, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев

KKV/



Межгодовая изменчивость скорости ветра

Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли»

Межгодовая изменчивость среднемесячной скорости приповерхностного ветра (м/с) в различных частях Каспия и моря в целом по данным альтиметрических измерений спутника Т/Р и J1/2 за сентябрь 1992 г. — декабрь 2012 г.



Таруса, 2 – 6 марта 2015 г. © 2015, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли»

Высоты ветровых волн

Таруса, 2 – 6 марта 2015 г. © 2015, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев

Верификация данных о высоте ветровых волн



Положение треков спутника ENVISAT (синий цвет), T/P и J1 (красный цвет) и спутника T/P после маневра орбиты 19 августа 2002 г. (штриховая линия) относительно волномерного поста Нефтяные камни.



Двумерная диаграмма рассеяния высоты ветровых волн по данным альтиметрических измерений (спутники ENVISAT (синий цвет) и J1 (красный цвет)) и по данным волномерного поста Нефтяные камни. Прямыми пунктирными линиями показана линейная аппроксимация данных методом наименьших квадратов – черным цветом для объединенных данных

ĸИ

Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.


Сезонная изменчивость высот волн







Сезонная изменчивость высоты волн (м) в Северном (а), Среднем (б) и Южном (в) Каспии по данным альтиметрических измерений спутника Т/Р и J1/2 в точках пересечения треков за января 1993 г. — декабрь 2012 г.



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



© 2015, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г. © 2015, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев

IKV



Межгодовая изменчивость высот волн

Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



© 2015, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев

Межгодовая изменчивость скорости ветра и высот волн



Межгодовая изменчивость среднегодовых величин высоты волн (зеленая линия) и скорости ветра (синяя линия) для всей акватории Каспия по данным альтиметрических измерений спутников Т/Р и J1/2 за период 1993–2012 гг.



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.



© 2015, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев

Толщина ледового покрова Арктики





Толщина ледового покрова Арктики в январе-феврале 2011 года по данным Interferometer Radar Altimeter (SIRAL) спутника CryoSat



Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г.







Шестая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли» Таруса, 2 – 6 марта 2015 г. © 2015, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев

