

Сергей А. Лебедев



Геофизический Центр РАН



Институт космических исследований РАН

Спутниковая альтиметрия Белого и Баренцева морей



Седьмая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли»
Таруса, 24– 29 февраля 2016 г.

© 2016, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев



Белое море

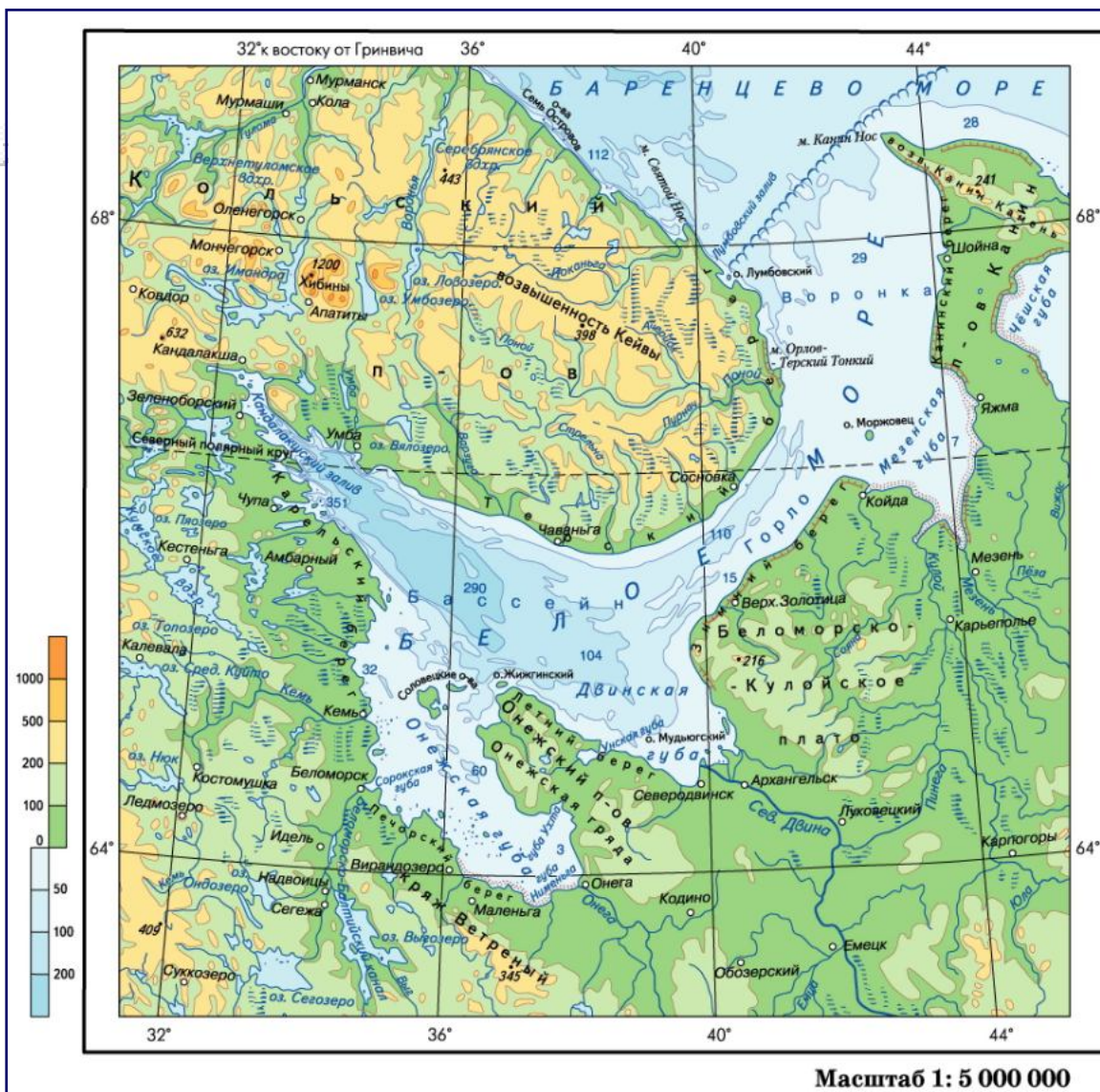


Седьмая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли»
Таруса, 24– 29 февраля 2016 г.

© 2016, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев



Белое море



Белое море относится к внутренним морям. Его площадь равна 90 873 км², объем — 5 115 км³, средняя глубина — 67 м, наибольшая глубина — 351 м.

По форме береговой линии и характеру дна в море выделяется семь районов: Воронка, Горло, Бассейн и заливы: Кандалакшский, Мезенская губа, Двинская губа, Онежская губа.



Белое море

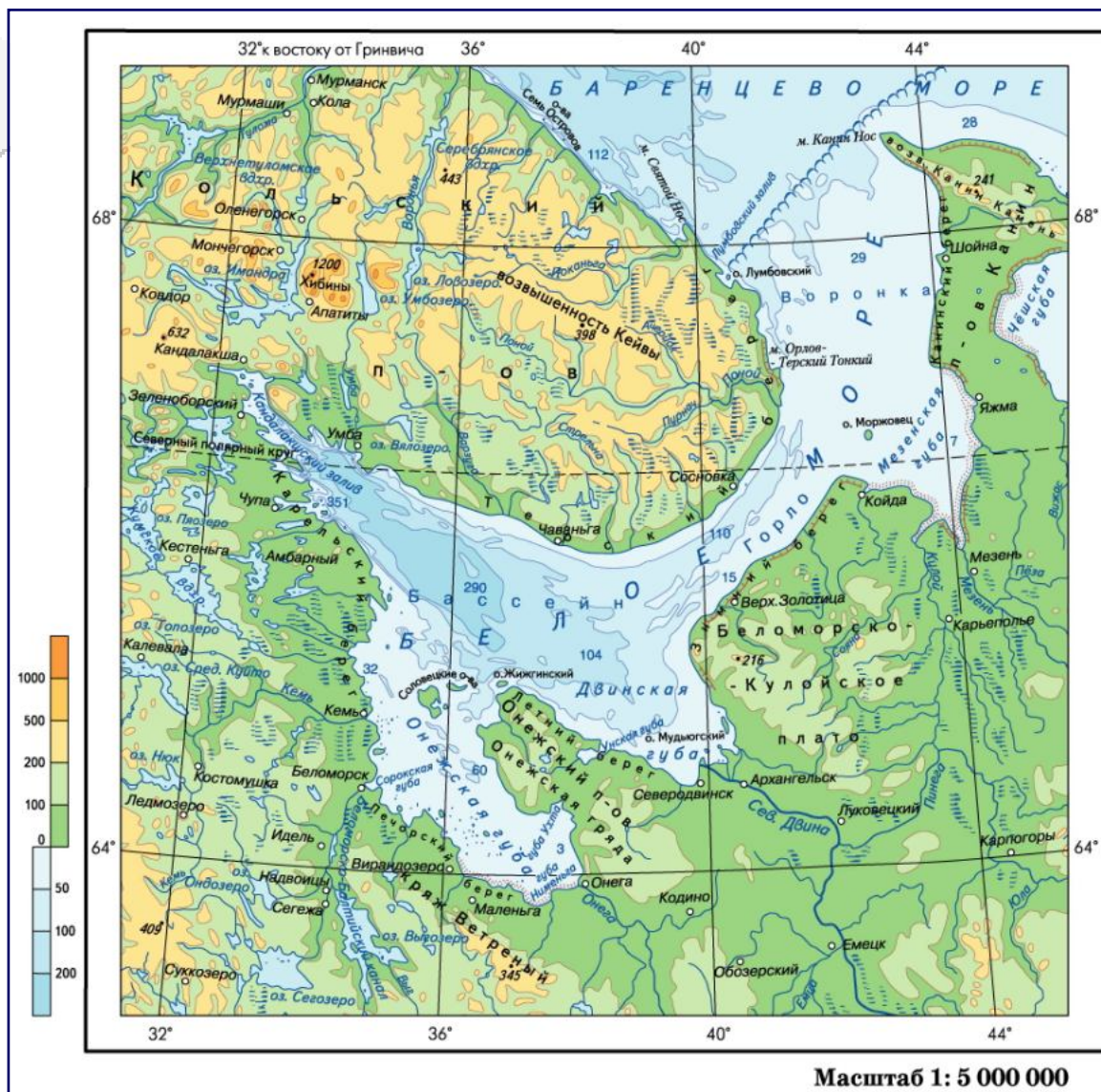
Самые глубокие районы моря – Бассейн и Кандалакшский залив.

Довольно плавно уменьшаются глубины от устья к вершине Двинского залива.

Несколько приподнято над чашей Бассейна дно мелководного залива Онежская губа.

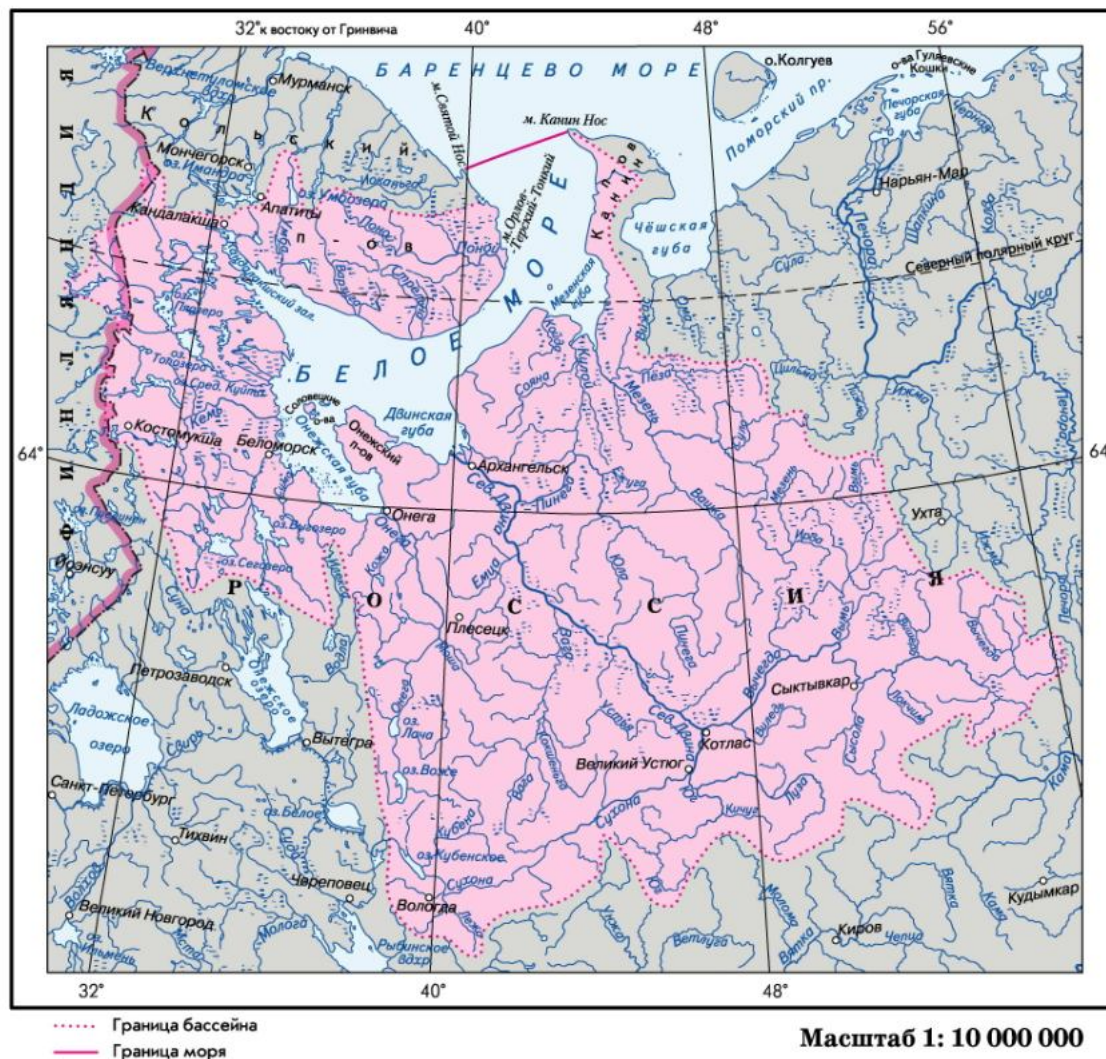
Дно Горла моря представляет собой подводный желоб глубиной от 50 до 100 м.

Северная часть моря наиболее мелководна. Глубины ее не превышают 50 м. Дно здесь весьма неровное, особенно в Мезенском заливе. Этот район усеян множеством банок.



Белое море

БАССЕЙН БЕЛОГО МОРЯ



Площадь водосбора
Белого моря —
729 000 км², что в 8 раз
превышает площадь
акватории моря и
является наибольшим
показателем для всех
окраинных морей
Северного Ледовитого
океана.

Впадающие в Белое
море реки ежегодно
приносят около 215 км³
пресной воды.

Более 3/4 всего стока
приходится на реки,
впадающие в заливы:
Онежская губа,
Двинская губа и
Мезенская губа



Белое море

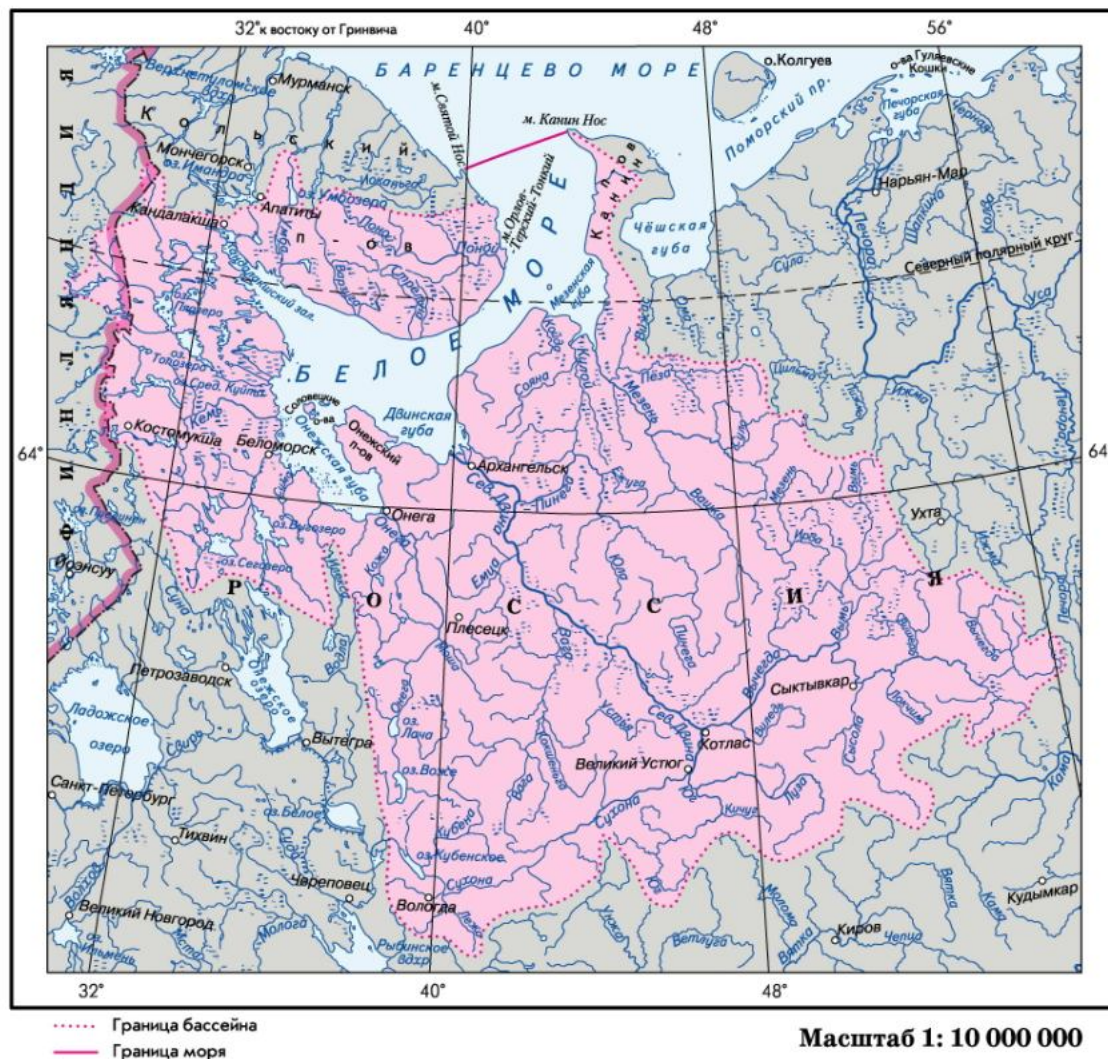
В многоводные годы
реки: Северная Двина
вносит около $170 \text{ км}^3/\text{год}$,
Мезень – $38 \text{ км}^3/\text{год}$,
Онега – $27 \text{ км}^3/\text{год}$.

Впадающие на западном
побережье моря реки
Кемь и Выг дают
соответственно 12 км^3 и
 11 км^3 воды в год.

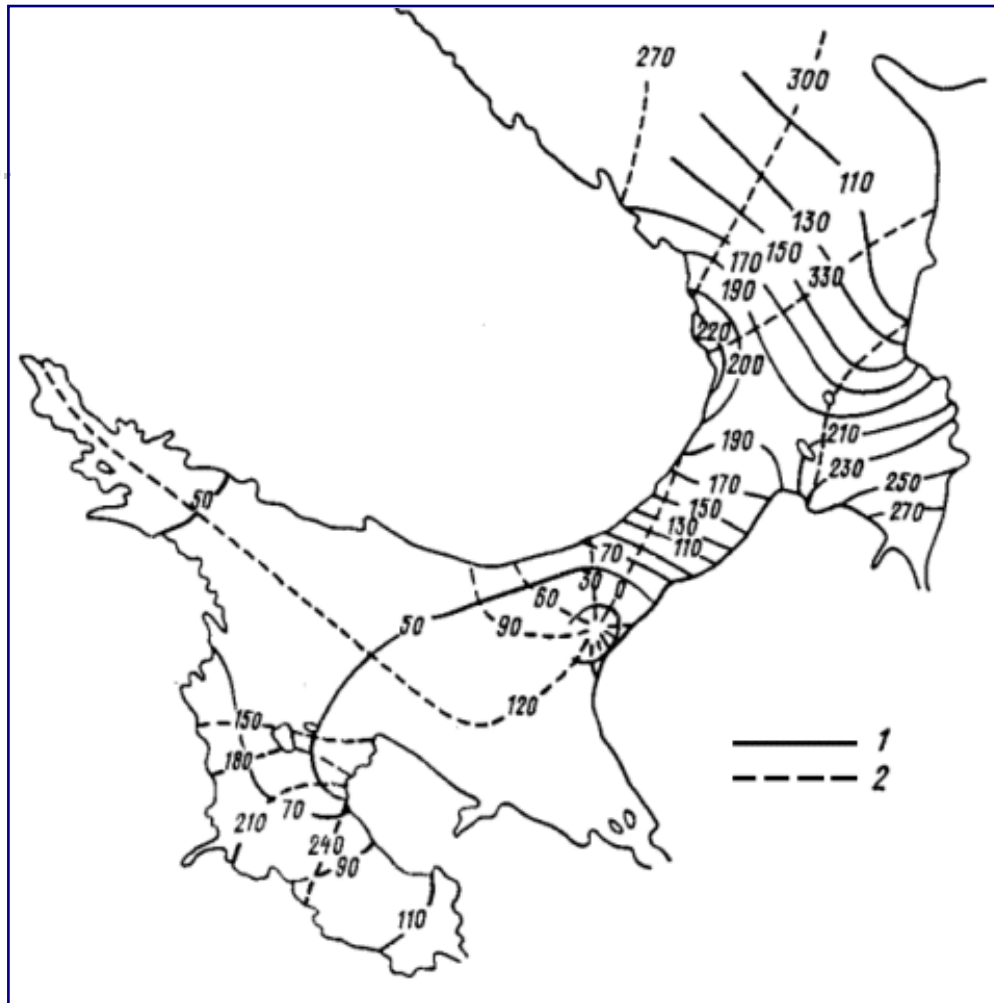
Другие реки дают всего
9% стока.

Максимум стока
наблюдается весной и
составляет 40% годового
стока. Для моря в целом
максимальный сток
приходится на май,
минимальный – на
февраль – март. За год
возобновляется более 2/3
всей массы глубинной
беломорской воды.

БАССЕЙН БЕЛОГО МОРЯ



Приливной режим

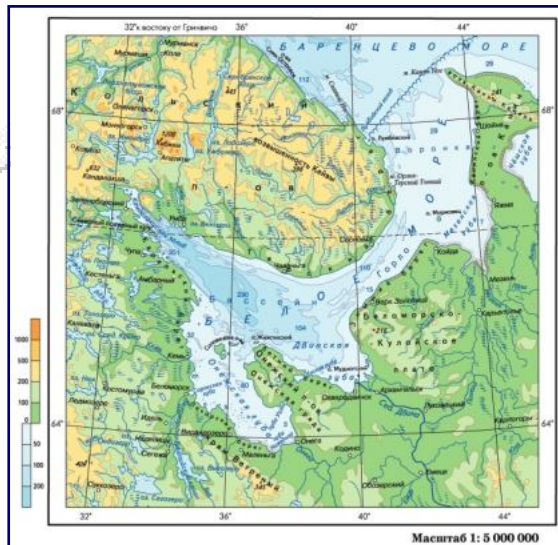


Изоамплитуда (1) и изофаза (2) приливной волны M_2 в Белом море (Kowalik and Proshutinsky, 1993)

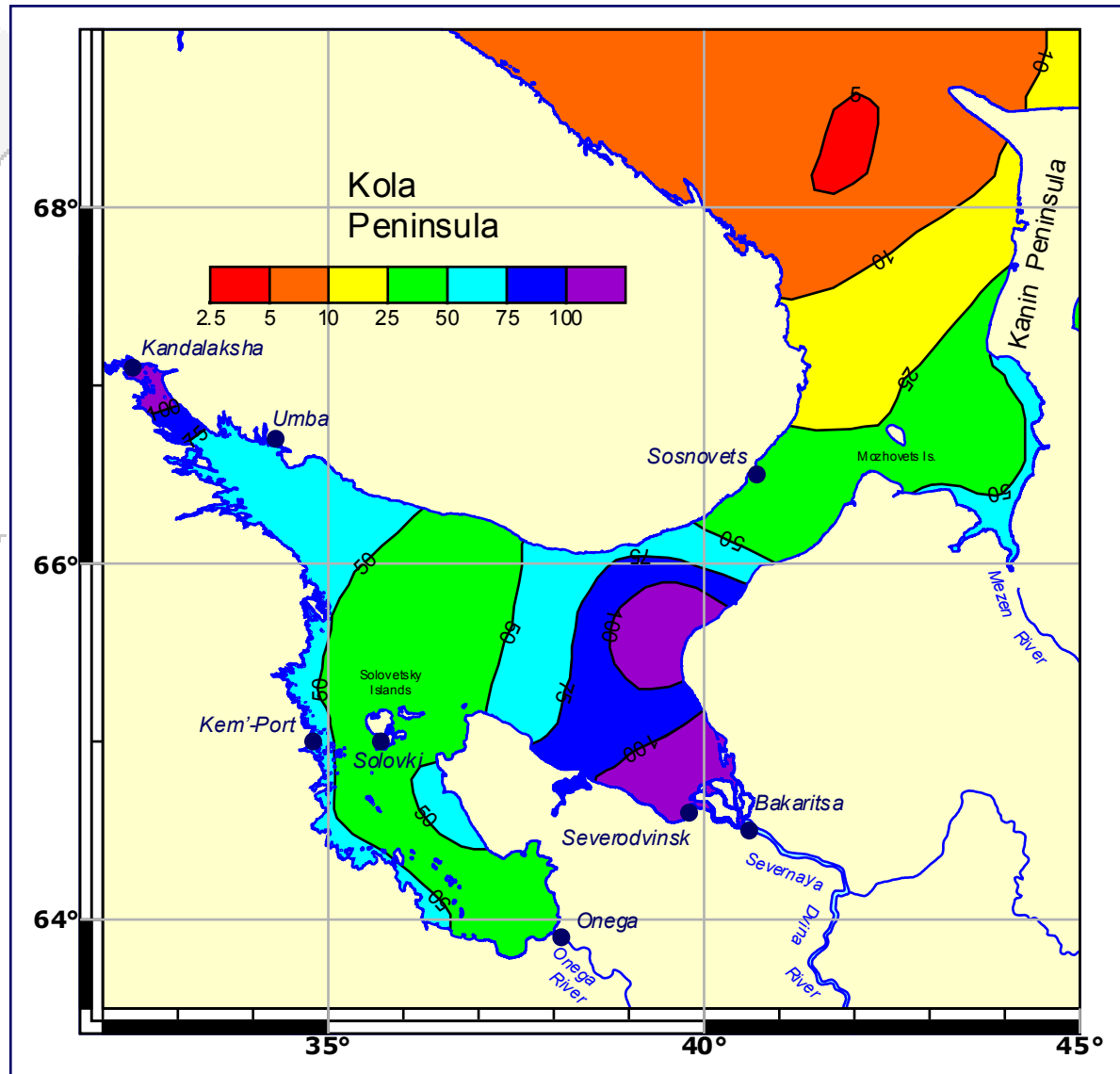
В Белом море хорошо выражены приливы. Поступательная приливная волна из Баренцева моря распространяется вдоль оси Воронки до вершины Мезенского залива. Проходя поперек входа в Горло, она вызывает волны, проходящие через Горло в Бассейн, где они отражаются от берегов. Сложение отраженных от берегов и набегающих волн создает стоячую волну, которая создает приливы в Горле и Бассейне Белого моря. Они имеют правильный полусуточный характер. Благодаря конфигурации берегов и характеру рельефа дна, наибольшая величина прилива (около 7,0 м) наблюдается в Мезенском заливе, у Канинского берега, Воронки и у о. Сосновец, в Кандалакшском заливе она несколько превышает 3 м. В центральных районах Бассейна, Двинском и Онежском заливах приливы меньше.



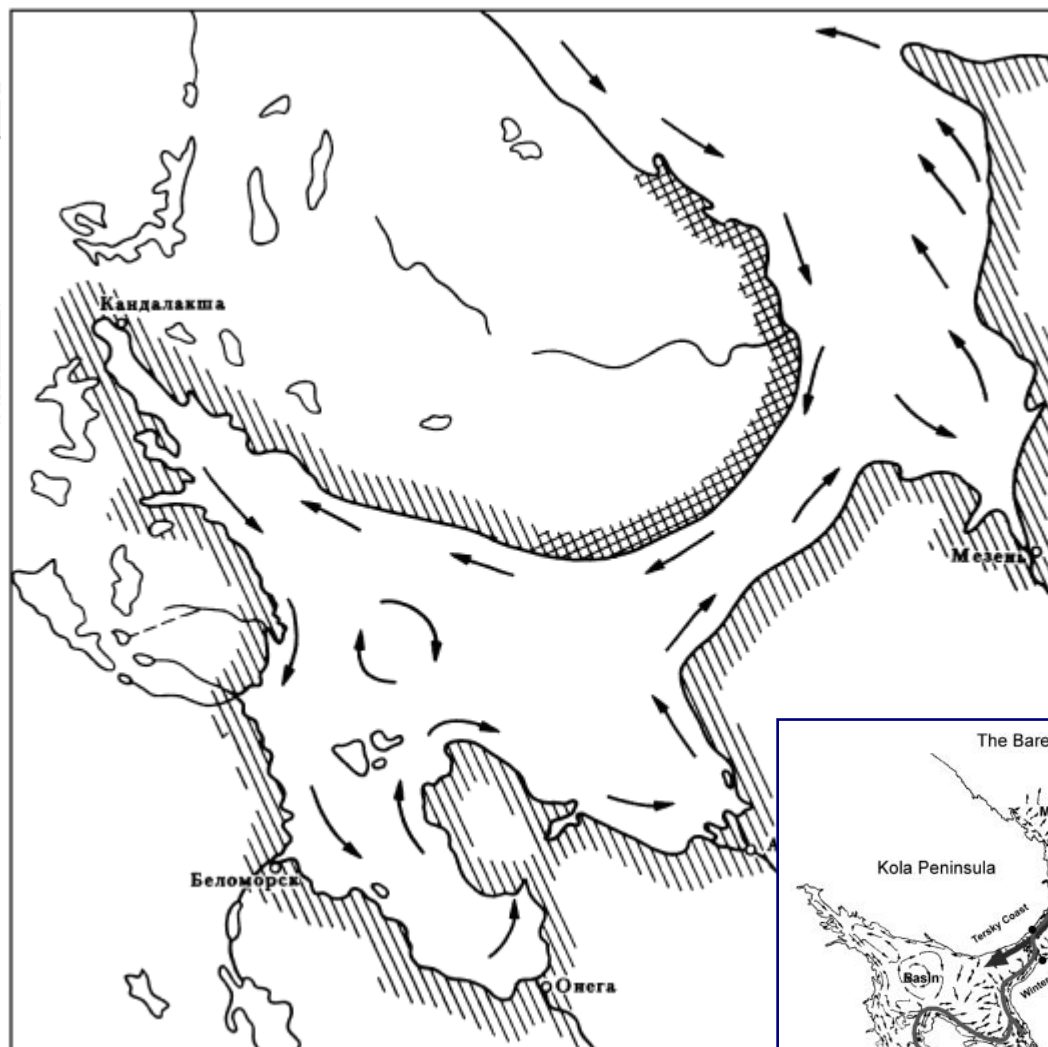
Приливной режим



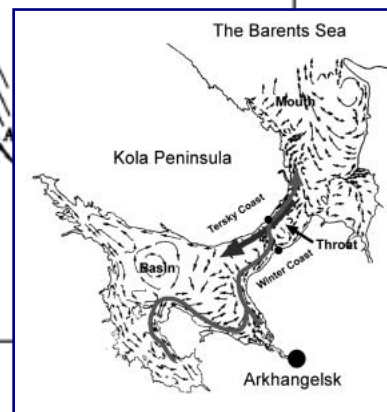
Отношение в %
суммы амплитуд
нелинейных гармоник
к сумме амплитуд
основных волн
прилива (Май, 2004)



Горизонтальная циркуляция



Горизонтальная циркуляция вод Белого моря складывается под совокупным воздействием ветра, речного стока, приливов, компенсационных потоков, поэтому она разнообразна и сложна в деталях. Результирующее движение образует направленное против часовой стрелки перемещение вод, свойственное морям Северного полушария.

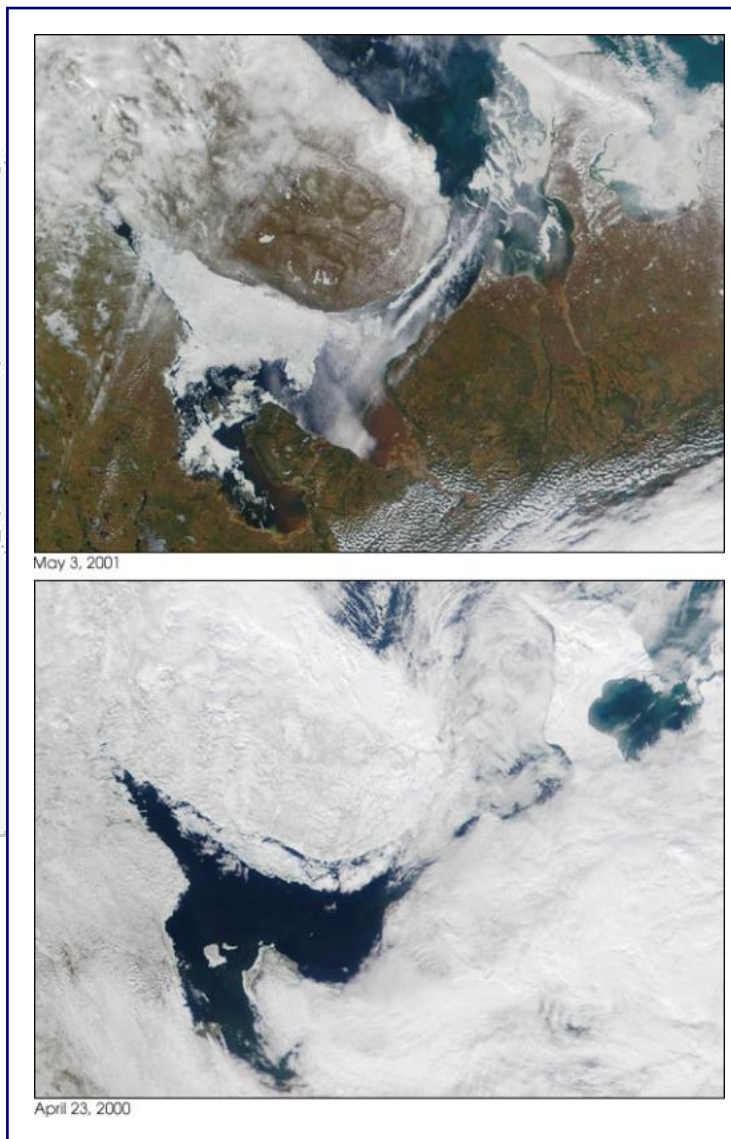


Ледовая обстановка

Каждую зиму Белое море покрывается льдом, который совершенно исчезает весной, поэтому оно относится к морям с сезонным ледяным покровом (рис. 23).

Раньше всего (примерно в конце октября) лед появляется в устье Мезени, а позднее всего (в январе) у Терского берега Воронки и Горла. Лды Белого моря на 90% плавучие. Все море покрывается льдом, но это не сплошной покров, а постоянно дрейфующий лед, местами сгущенный, а местами разреженный под влиянием ветров и течений. Весьма существенная черта ледового режима Белого моря — постоянный вынос льда в Баренцево море. С ним связаны полыньи, постоянно образующиеся среди зимы, которые быстро затягиваются молодым льдом.

Спутниковые изображения Белого моря спектратрадиометра MODIS 3 мая 2000 (верхний снимок) и 23 апреля 2000 (нижний снимок).



Баренцево море

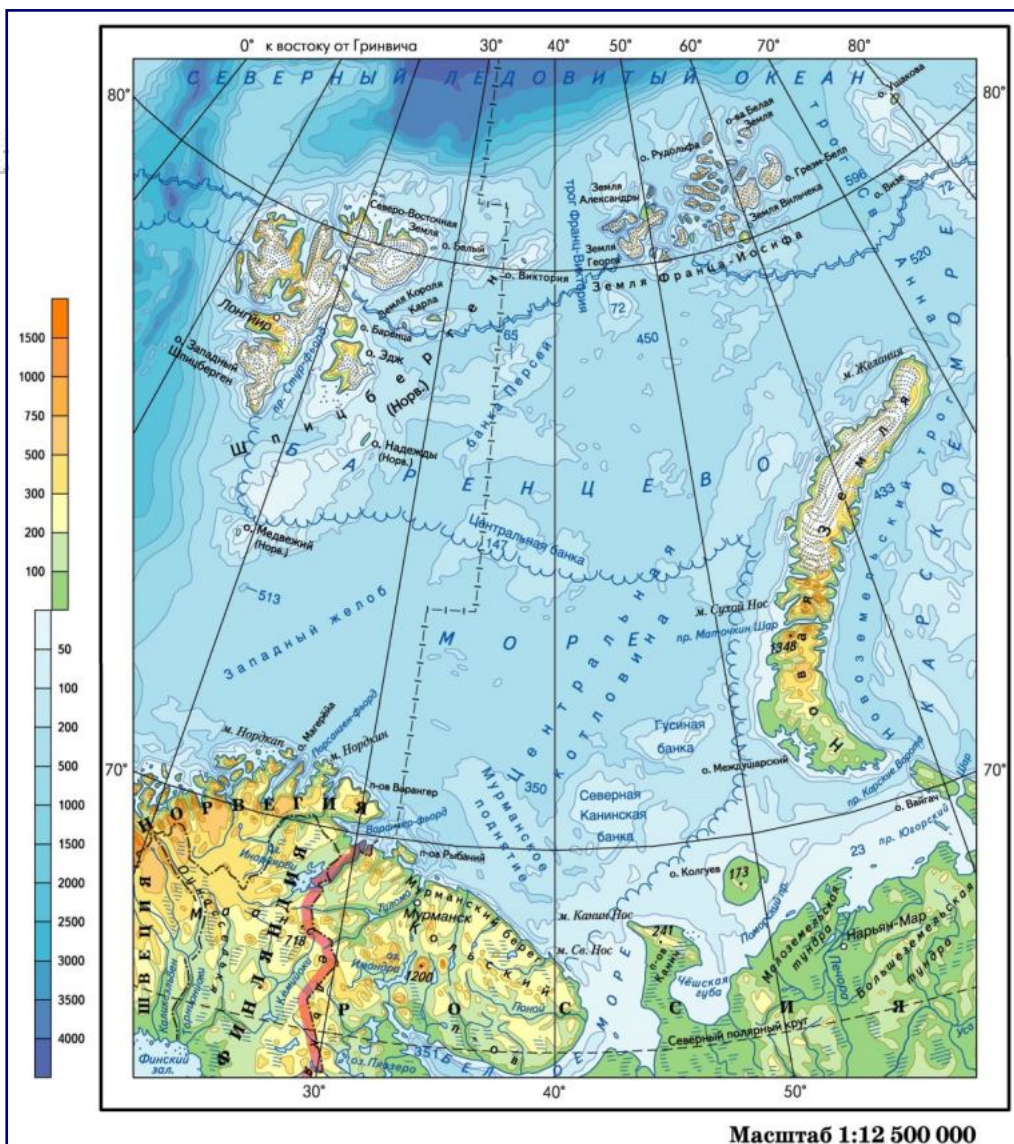


Седьмая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли»
Таруса, 24– 29 февраля 2016 г.

© 2016, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев



Баренцево море



Баренцево море расположено на северо-европейском шельфе, почти открытое к Центральному арктическому бассейну и открытое к морям Норвежскому и Гренландскому, оно относится к типу материковых окраинных морей.

Это одно из самых больших по площади морей.

Его площадь — 1 424 000 км²,
объем -- 316 000 км³,
средняя глубина — 222 м,
наибольшая глубина — 513 м.



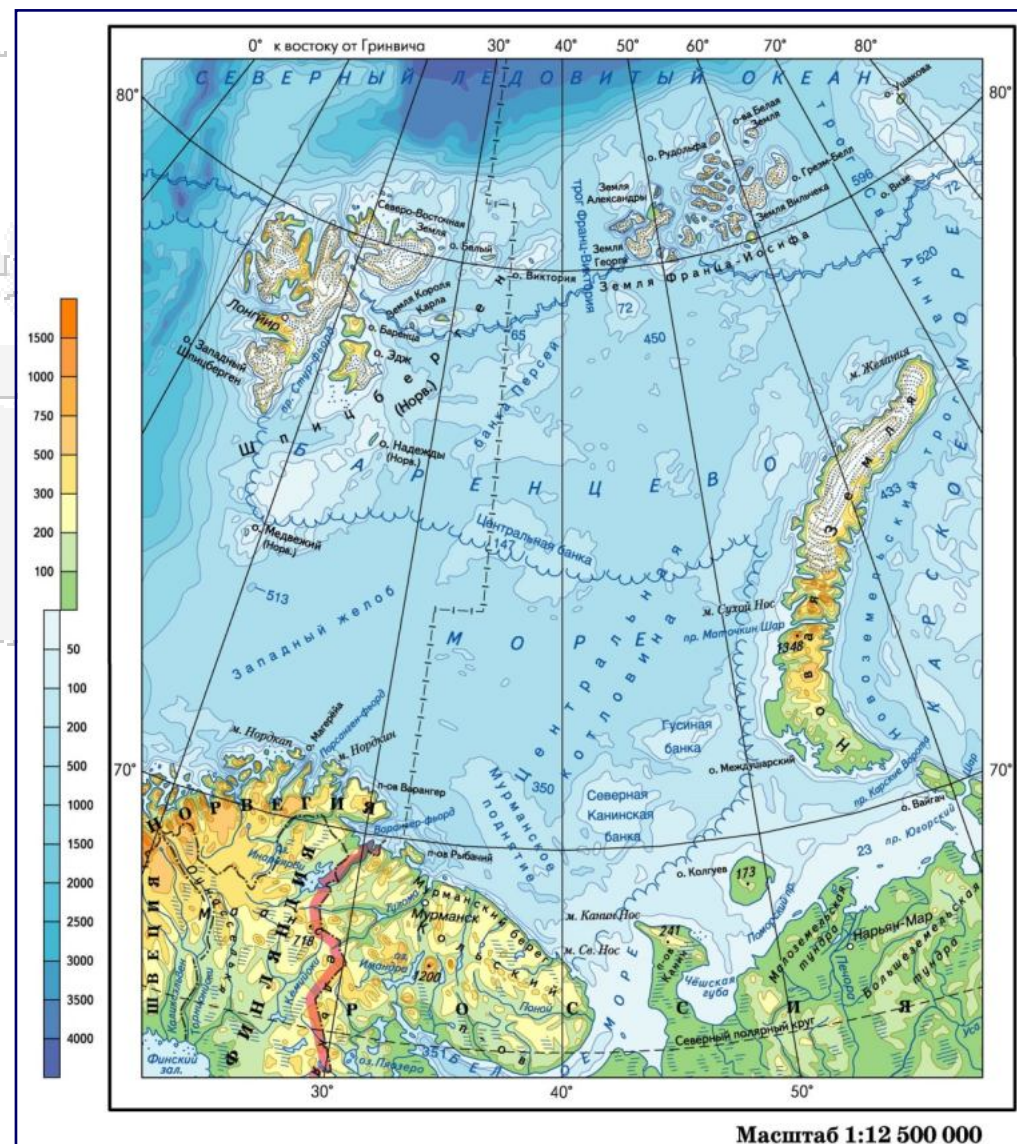
Баренцево море

Дно Баренцева моря — сложно-расчлененная подводная равнина, несколько наклоненная к западу и северо-востоку. Наиболее глубокие районы, в том числе и максимальная глубина, находятся в западной части моря.

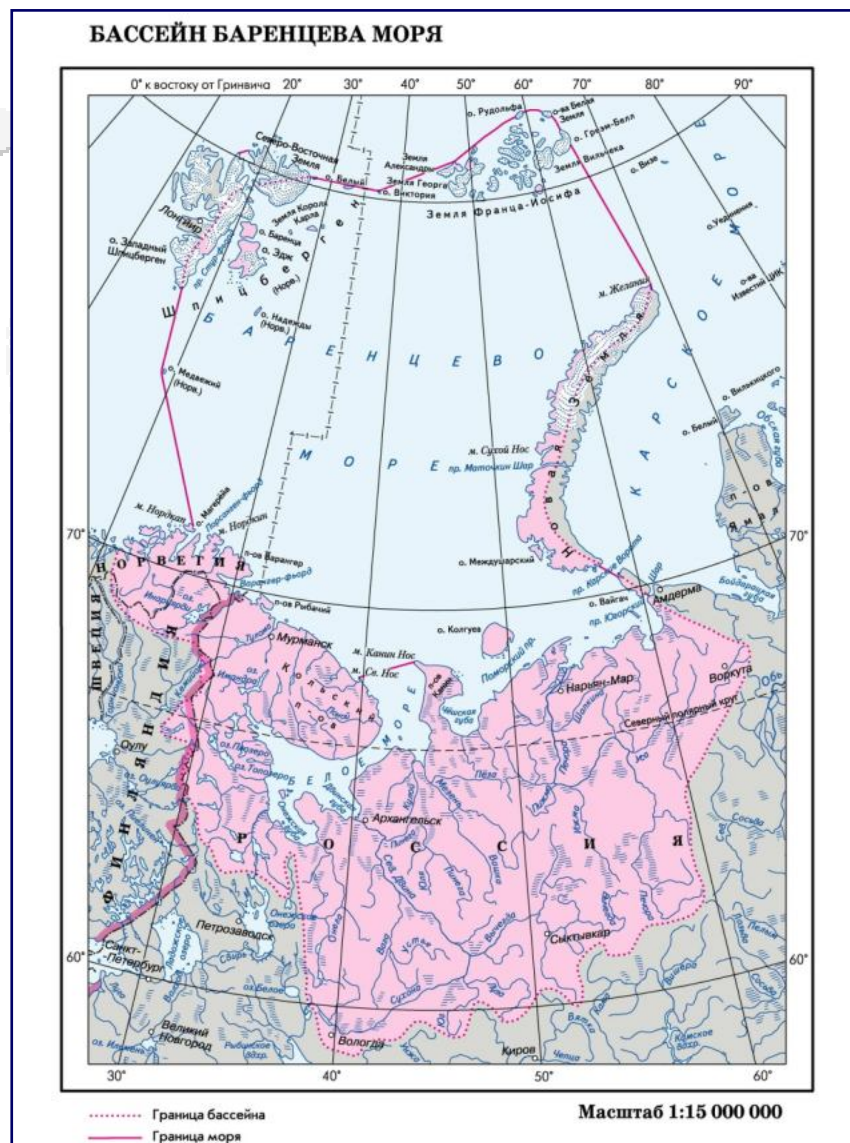
Для рельефа дна, в целом, характерно чередование крупных структурных элементов — подводных возвышенностей и желобов, имеющих разные направления, а также существование многочисленных мелких (3–5 м) неровностей на глубинах менее 200 м и террасовидных уступов на склонах.

Разность глубин в открытой части моря достигает 400 м.

Пересеченный рельеф дна существенно сказывается на гидрологических условиях моря.



Баренцево море



Площадь водосбора Баренцева моря составляет 668 000 км².

Общий речной сток по отношению к площади и объему моря невелик и равен в среднем 163 км³/год.

На 90% он сосредоточен в юго-восточной части моря. В этот район несут свои воды самые крупные реки Баренцевоморского бассейна.

Река Печора сбрасывает в средний по водности год около 130 км³ воды, что составляет примерно 70% всего берегового стока в море за год. Сюда же впадают и несколько мелких рек.

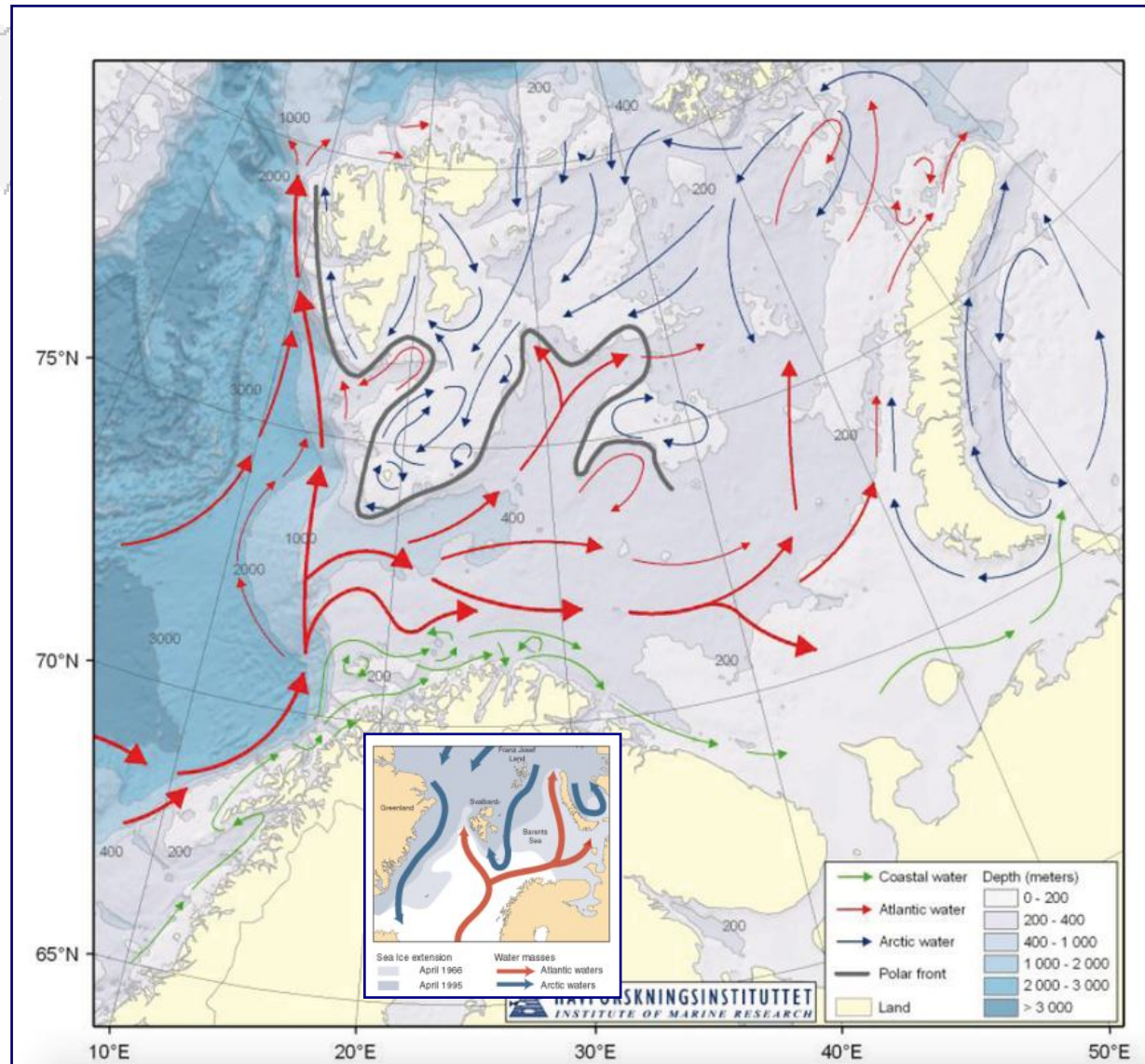
На северное побережье Норвегии и берег Кольского полуострова приходится всего около 10% стока. Здесь в море стекают небольшие реки горного типа.



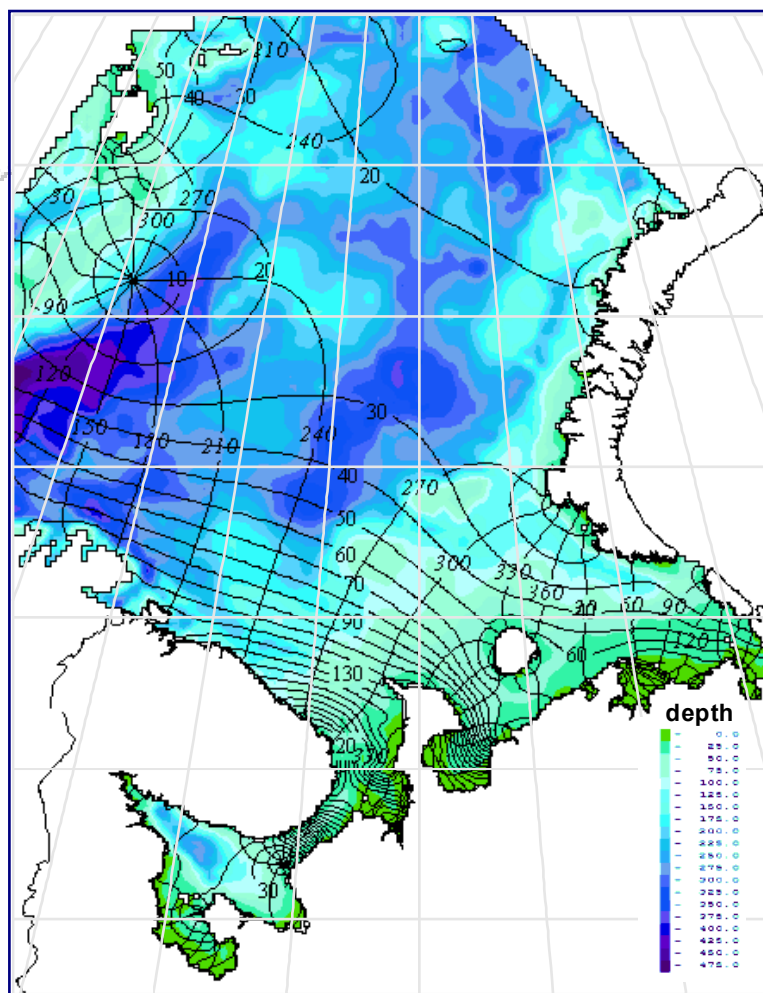
Баренцево море

Водообмен с соседними морями имеет большое значение в водном балансе Баренцева моря. В течение года в Баренцево море поступает (и столько же выходит из него) около $74\,000\text{ км}^3$ воды, что составляет примерно четверть общего объёма воды в море. Наибольшее количество воды ($59\,000\text{ км}^3$ в год) несёт тёплое Нордкапское течение.

Примерно $2\,000\text{ км}^3/\text{год}$ воды вытекает из Баренцева моря в Белое море, и около $2\,200\text{ км}^3/\text{год}$ поступает обратно.



Приливной режим



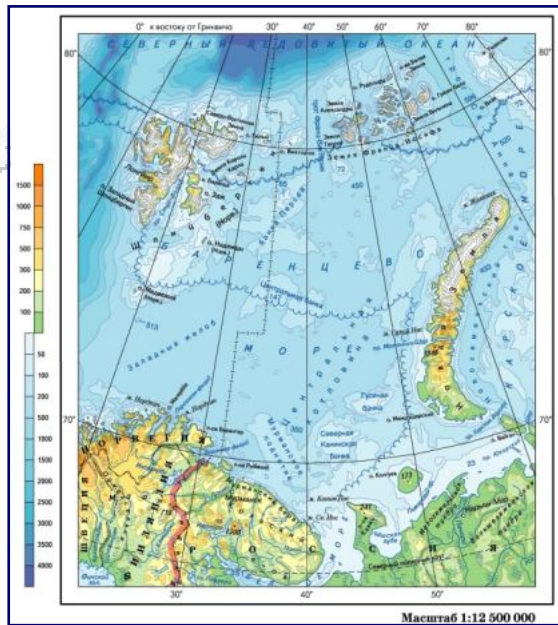
Котидальная карта приливной волны
М. Белого и Баренцева морей
(Зильберштейн и др., 2000)

Приливы в Баренцевом море вызываются атлантической приливной волной, которая поступает в море с запада между Нордкапом и Шпицбергенем и движется на восток до Новой Земли, и приливной волной, приходящей из Северного Ледовитого океана. Вследствие этого у северо-восточных берегов Шпицбергена и у Земли Франца-Иосифа происходит интерференция атлантической и северной волн.

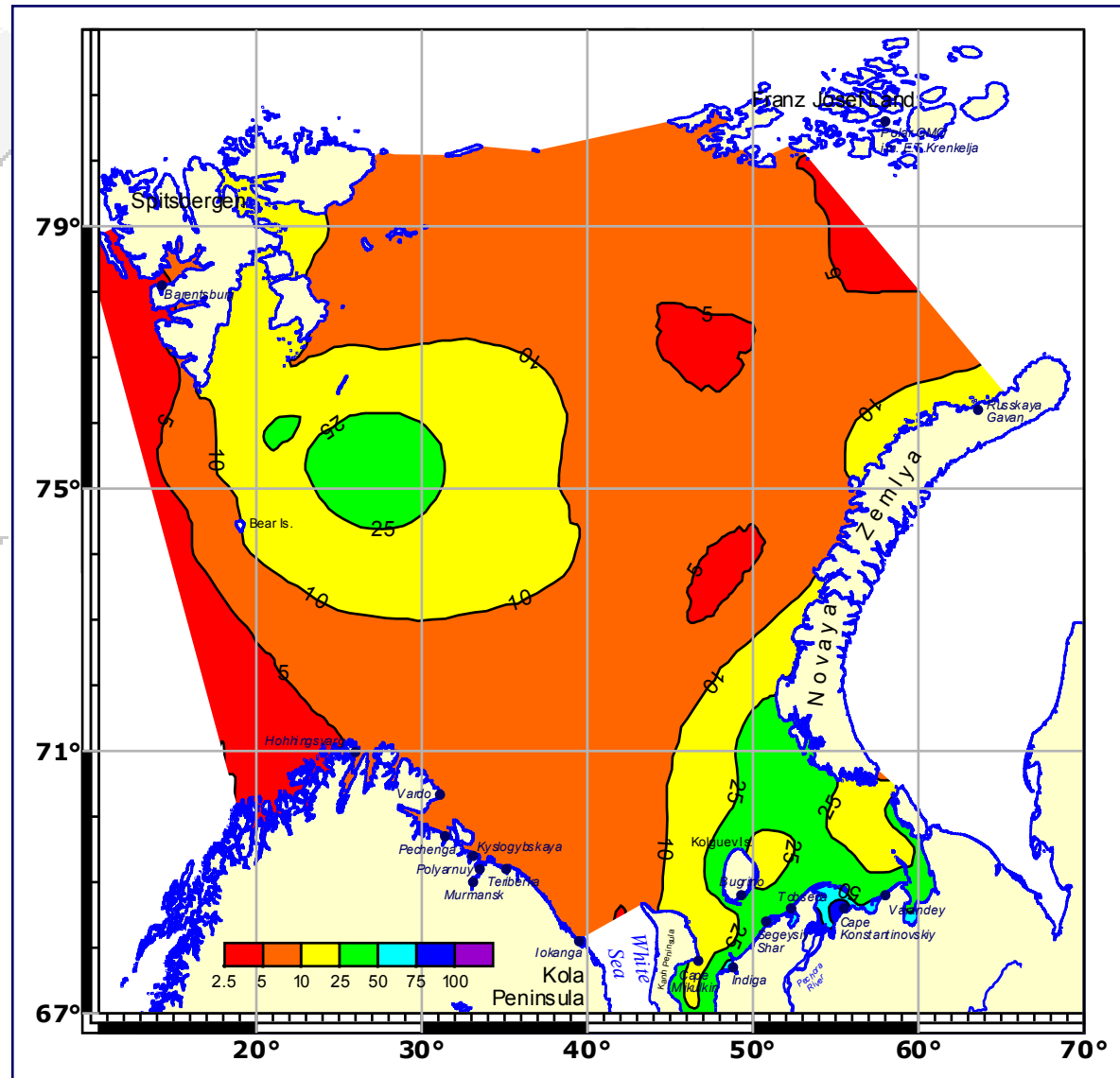
Высота подъема уровня при приливе у Мурманских берегов достигает 3 м. На севере и северо-востоке высота приливов уменьшается и у берегов Шпицбергена равна 1–2 м, а у южных берегов Земли Франца-Иосифа всего 40–50 см. Это объясняется особенностями рельефа дна, конфигурацией берегов и интерференцией приливных волн, приходящих из Атлантического и Северного Ледовитого океанов, которые в одних районах увеличивают, а в других уменьшают величину прилива.



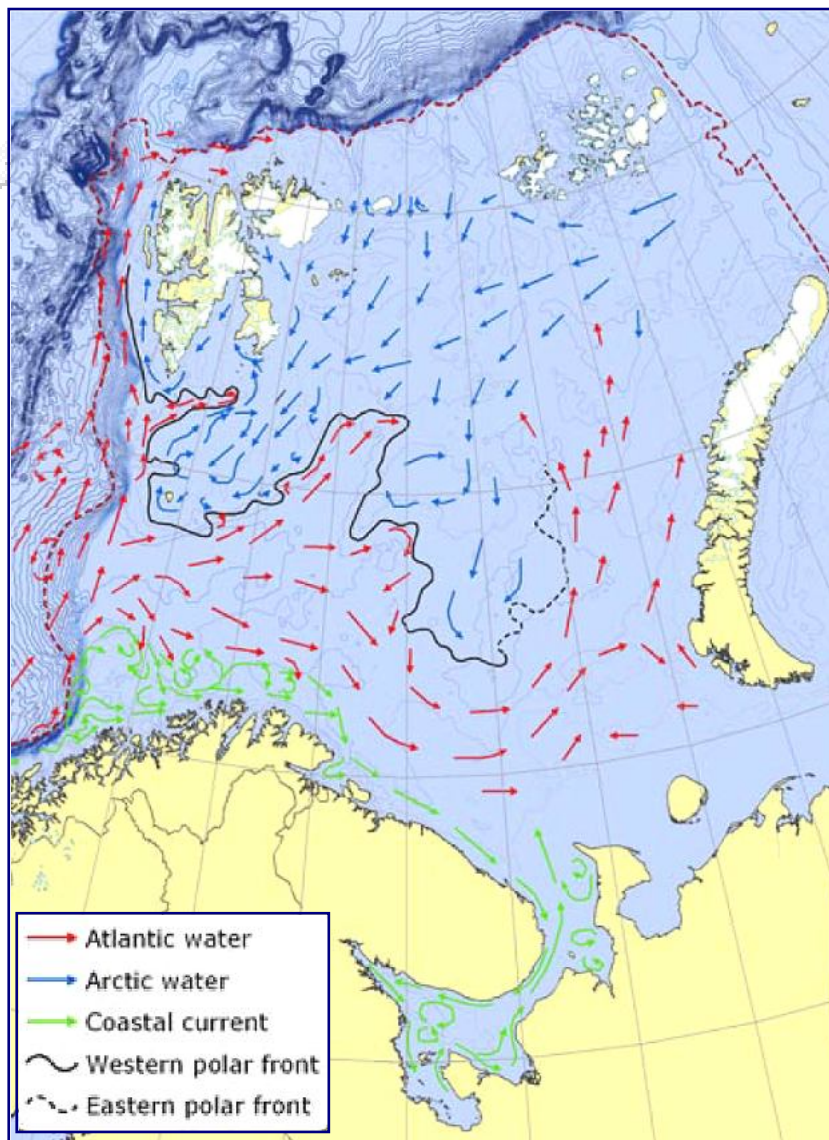
Приливной режим



Отношение в %
суммы амплитуд
нелинейных гармоник
к сумме амплитуд
основных волн
прилива (Май, 2004)

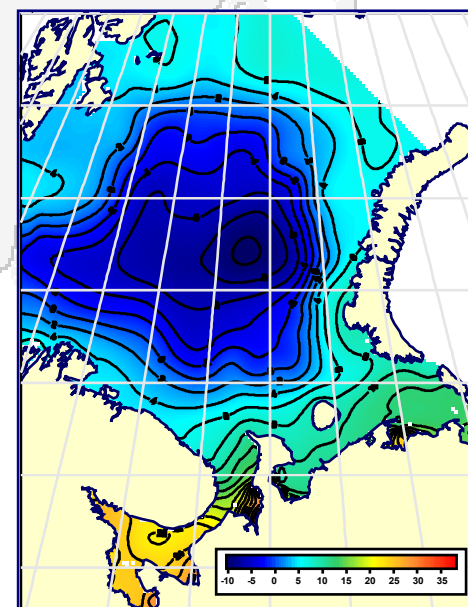


Горизонтальная циркуляция



Общая циркуляция вод Баренцева моря формируется под совокупным влиянием ветровой обстановки, притока вод из соседних бассейнов, приливов, рельефа дна и других факторов, поэтому она сложна и изменчива во времени.

Как и в других морях Северного полушария, здесь существует общее движение поверхностных вод против часовой стрелки, осложненное различными по направлениям и скоростям течениями.



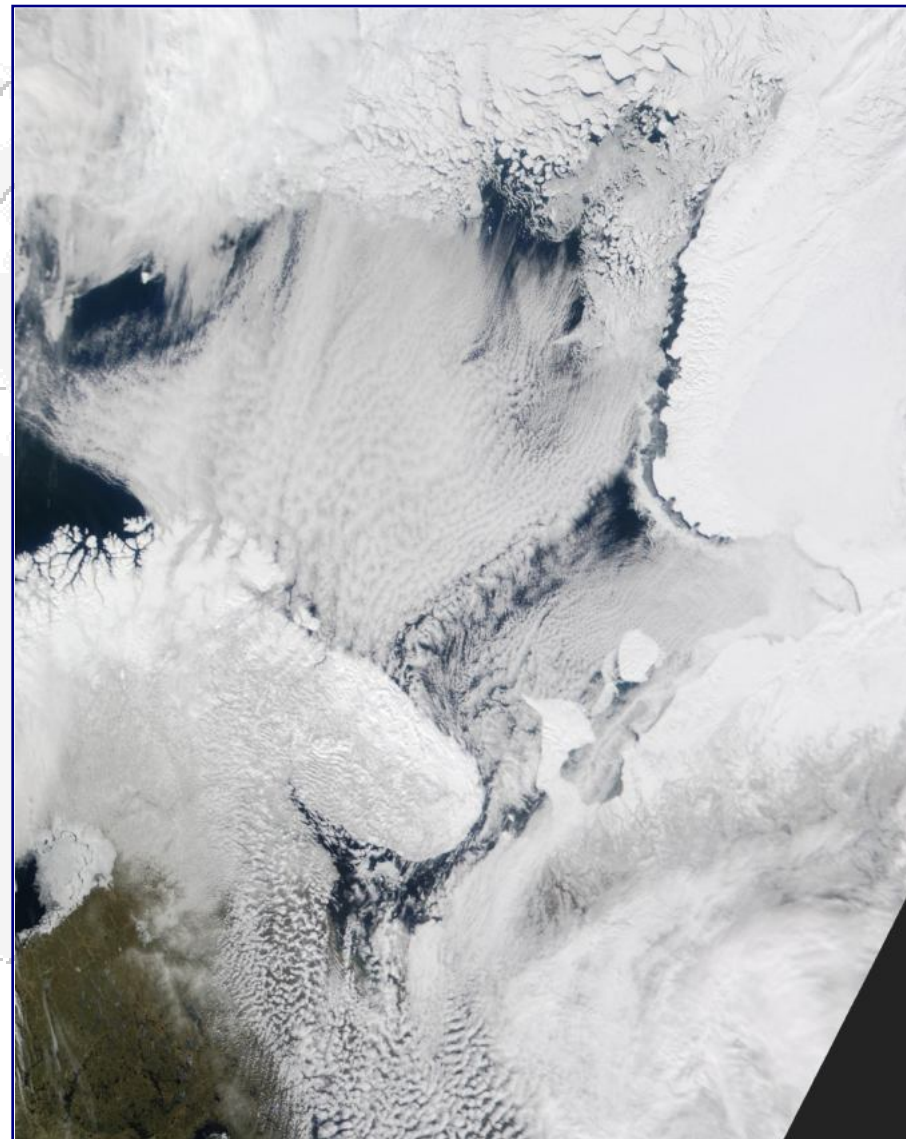
Средний климатический уровень Белого и Баренцева морей по данным модели Лаборатории прикладных морских исследований Гидрометцентра РФ (Зильберштейн и др., 2000)



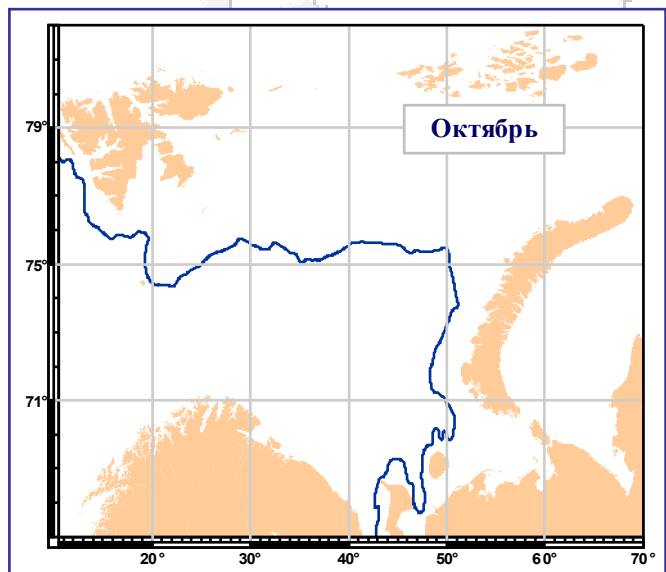
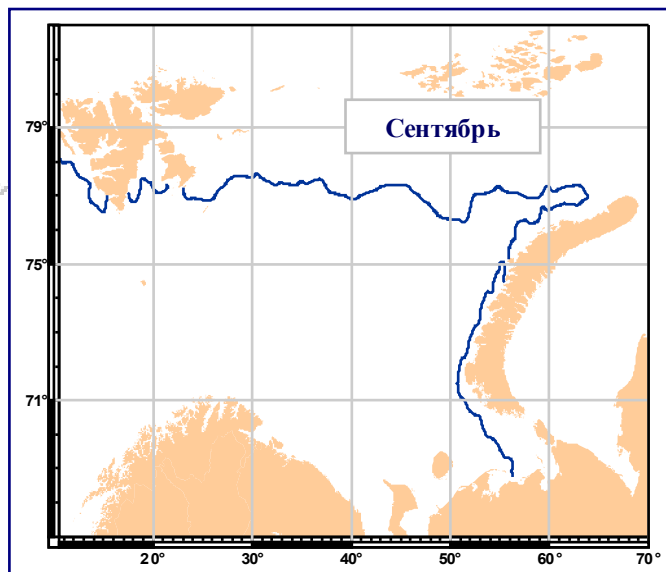
Ледовая обстановка

Баренцево море относится к числу ледовитых, но это единственное из арктических морей, которое никогда полностью не замерзает. Ежегодно около 1/4 его поверхности не покрывается льдом в течение круглого года. Это объясняется притоком в его юго-западную часть теплых атлантических вод, не позволяющих воде охлаждаться до температуры замерзания и служащих своеобразным барьером для льдов, надвигающихся с севера. Вследствие слабых течений из Карского моря в Баренцево море льдов оттуда незначителен. Таким образом, в Баренцевом море наблюдаются льды местного происхождения. В центральной части и на юго-востоке моря это однолетние льды, которые образуются осенью и зимой, а весной и летом растаивают. Лишь на крайнем севере и северо-востоке, куда спускаются отроги океанического ледяного массива, встречаются старые льды, в том числе и арктический пак.

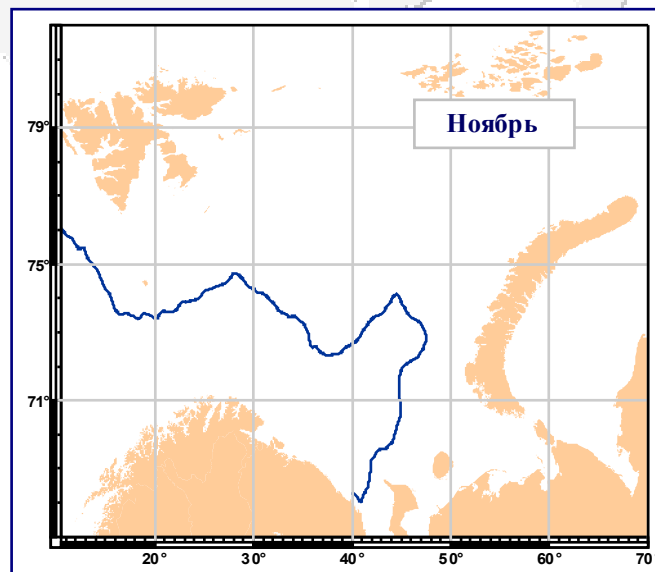
Спутниковое изображение Баренцева моря
спектро радиометра MODIS на 23 апреля 2000.



Ледовая обстановка



Льдообразование в море начинается на севере в сентябре, в центральных районах в октябре и на юго-востоке в ноябре. В море преобладают плавучие льды, среди которых встречаются айсберги. Обычно они встречаются у Новой Земли, Земли Франца-Иосифа и у Шпицбергена, так как айсберги образуются от ледников, спускающихся к морю с этих островов. Изредка айсберги течениями выносятся далеко к югу, вплоть до Мурманского побережья. Обычно айсберги не превышают 25 м в высоту и 600 м в длину.



Климатическое положение кромки льда в Баренцевом море по данным ИК и СВЧ-радиометрии.

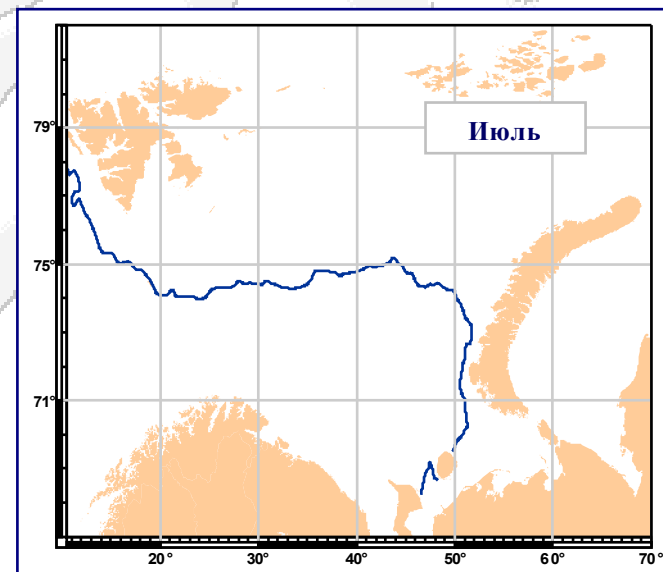
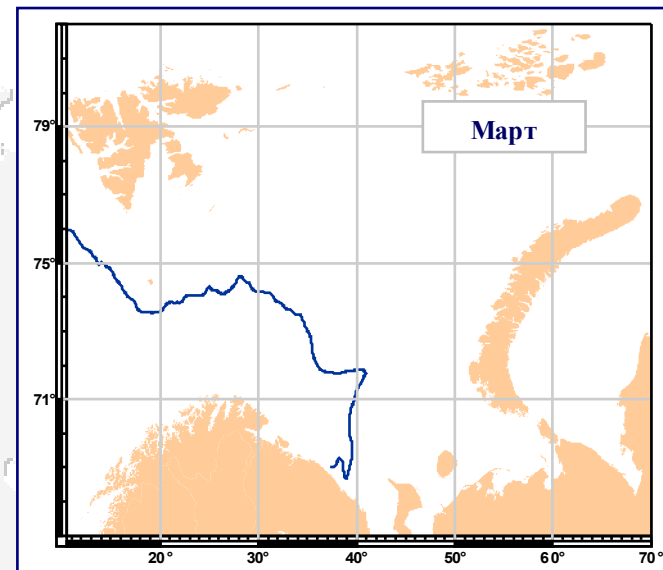


Ледовая обстановка

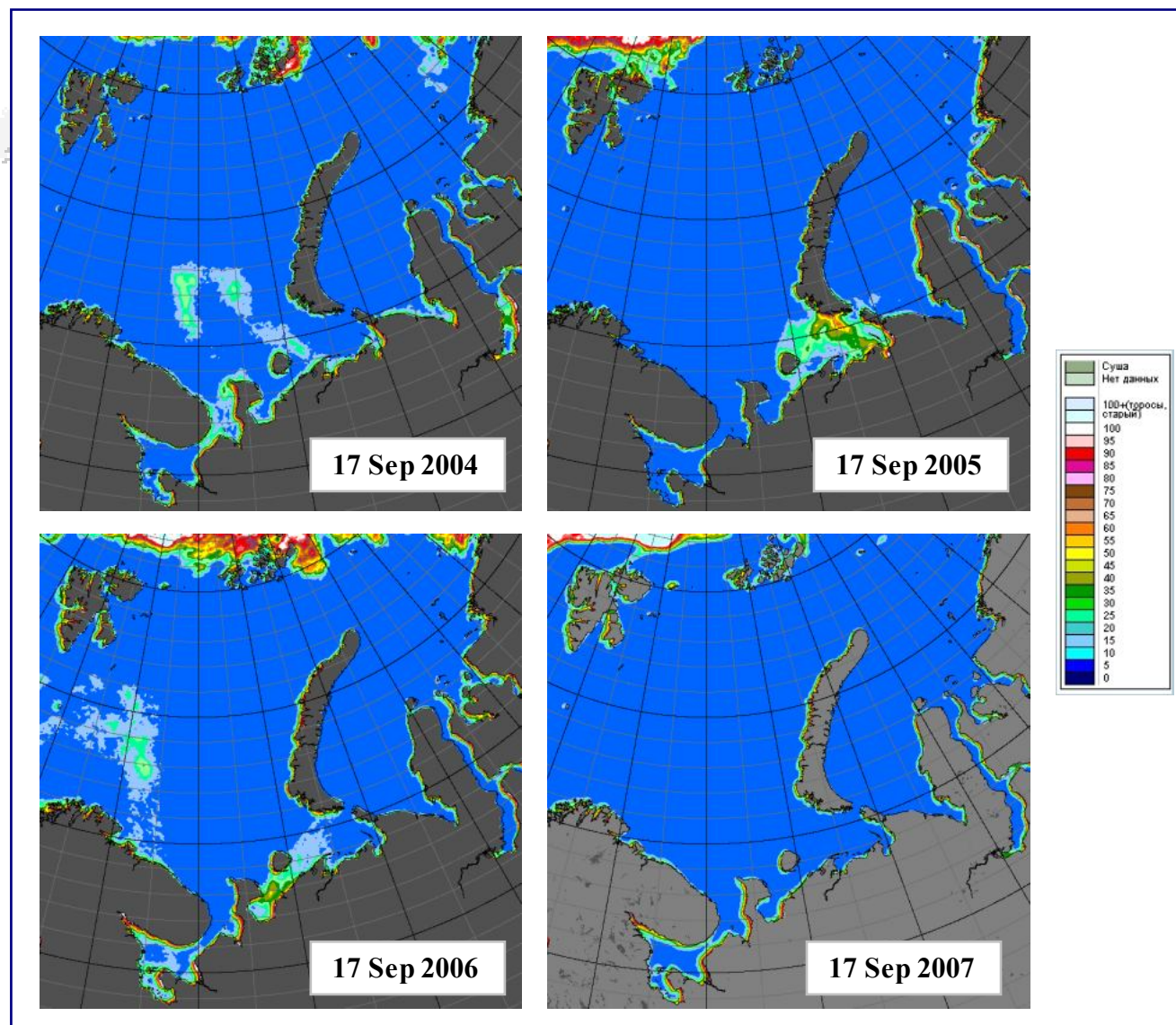
Припай в Баренцевом море развит слабо. Сравнительно небольшие площади он занимает в Канинско-Печорском районе и у Новой Земли, а у Мурманских берегов встречается только в губах. В юго-восточной части моря и у западных берегов Новой Земли всю зиму сохраняются заприпайные полыньи. Наибольшее распространение льдов в море наблюдается в апреле. В этом месяце они покрывают до 75% его площади. Толщина ровного морского льда местного происхождения в большинстве районов не превышает 0,7–1,0 м. Наиболее толстые льды (до 150 см) встречаются на северо-востоке, в районе м. Желания.

В весенне-летнее время однолетние льды быстро тают. В мае южные и юго-восточные районы освобождаются ото льдов, а к концу лета почти все море очищается ото льдов, за исключением районов, прилегающих к Новой Земле, к Земле Франца-Иосифа и восточным берегам Шпицбергена. Ледовитость Баренцева моря изменяется от года к году, что связано с различной интенсивностью Нордкапского течения, характером крупномасштабной атмосферной циркуляции, общим потеплением или похолоданием Арктики в целом.

Климатическое положение кромки льда в Баренцевом море по данным ИК и СВЧ-радиометрии.



Межгодовая изменчивость ледовой обстановки



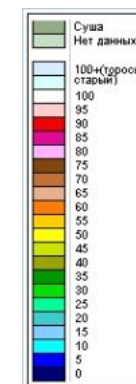
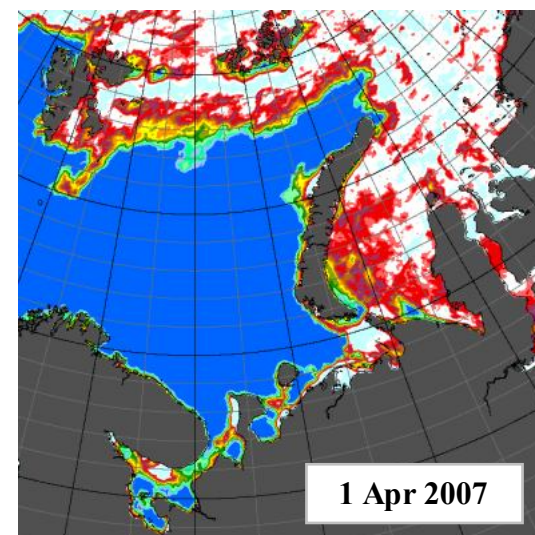
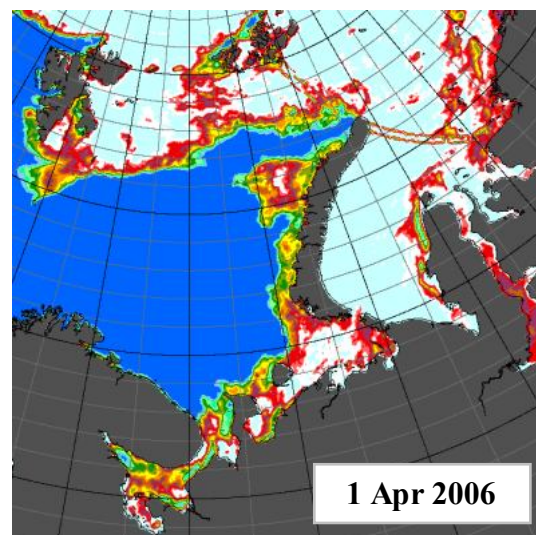
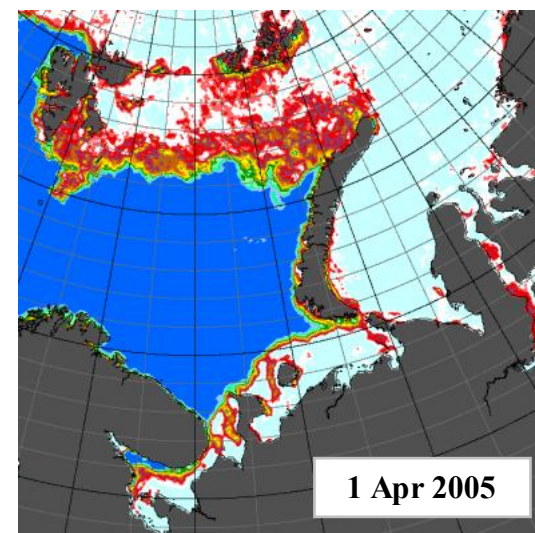
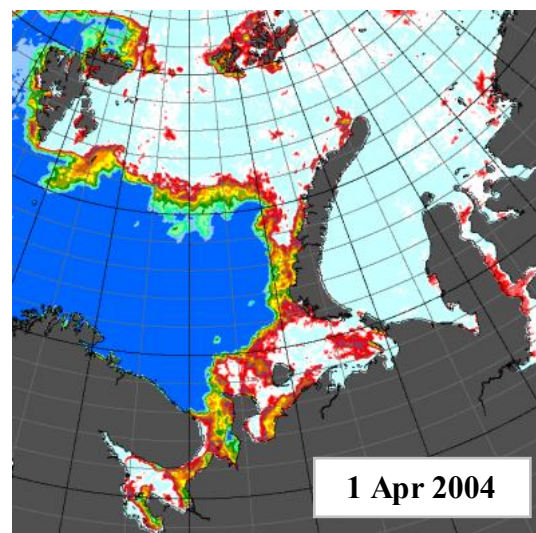
Сплоченность
морского льда в
Белом и Баренцевом
морях в сентябре по
данным ИК и СВЧ-
радиометрии.



Межгодовая изменчивость ледовой обстановки



Сплоченность
морского льда в
Белом и Баренцевом
морях в апреле по
данным ИК и СВЧ-
радиометрии.



Особенности уровенного режима Белого и Баренцево морей



Седьмая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли»
Таруса, 24– 29 февраля 2016 г.

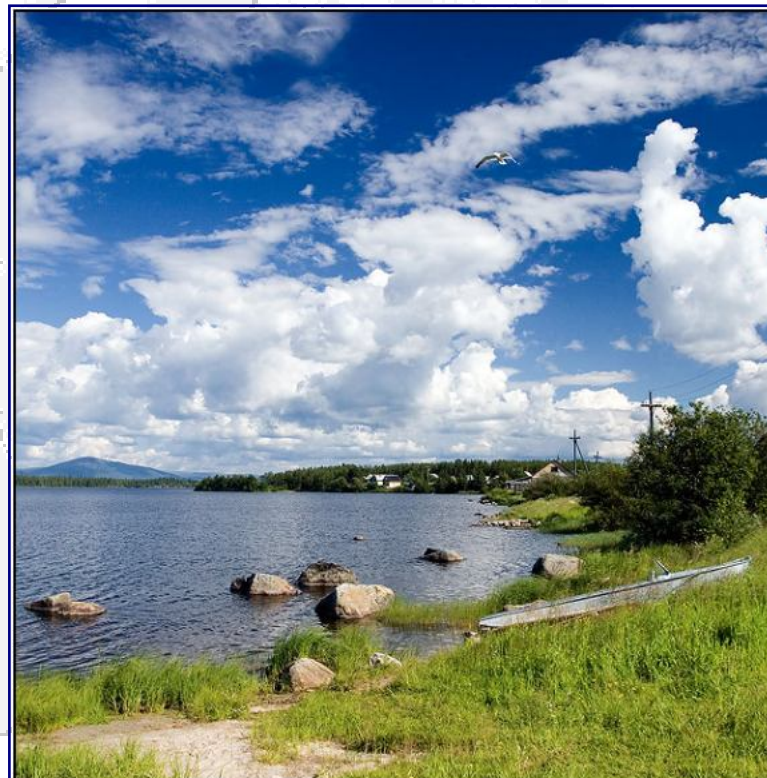
© 2016, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев



Особенности уровня режима Баренцева и Белого морей

На уровень режим Баренцева и Белого морей оказывают сильное влияние следующие факторы:

- ➔ Приливы и остаточная приливная циркуляция,
- ➔ Вертикальные движения земной коры,
- ➔ Штормовые нагоны,
- ➔ Циркуляция,
- ➔ Сезонные изменений уровня моря, обусловленные речным стоком и измерениями термохалинной структуры,
- ➔ Ледовый режим.



Вертикальные движения земной коры

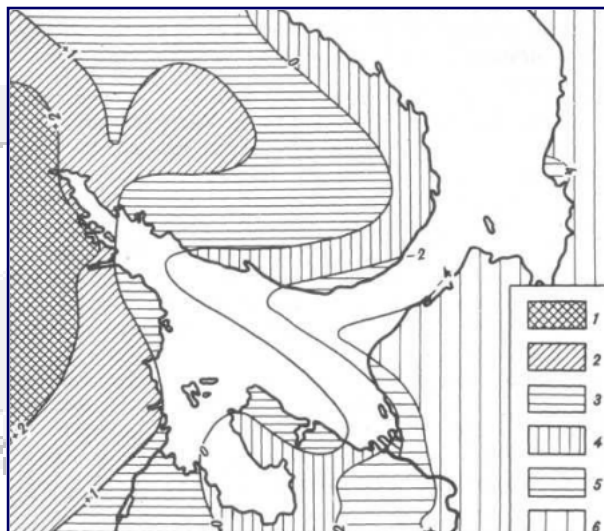
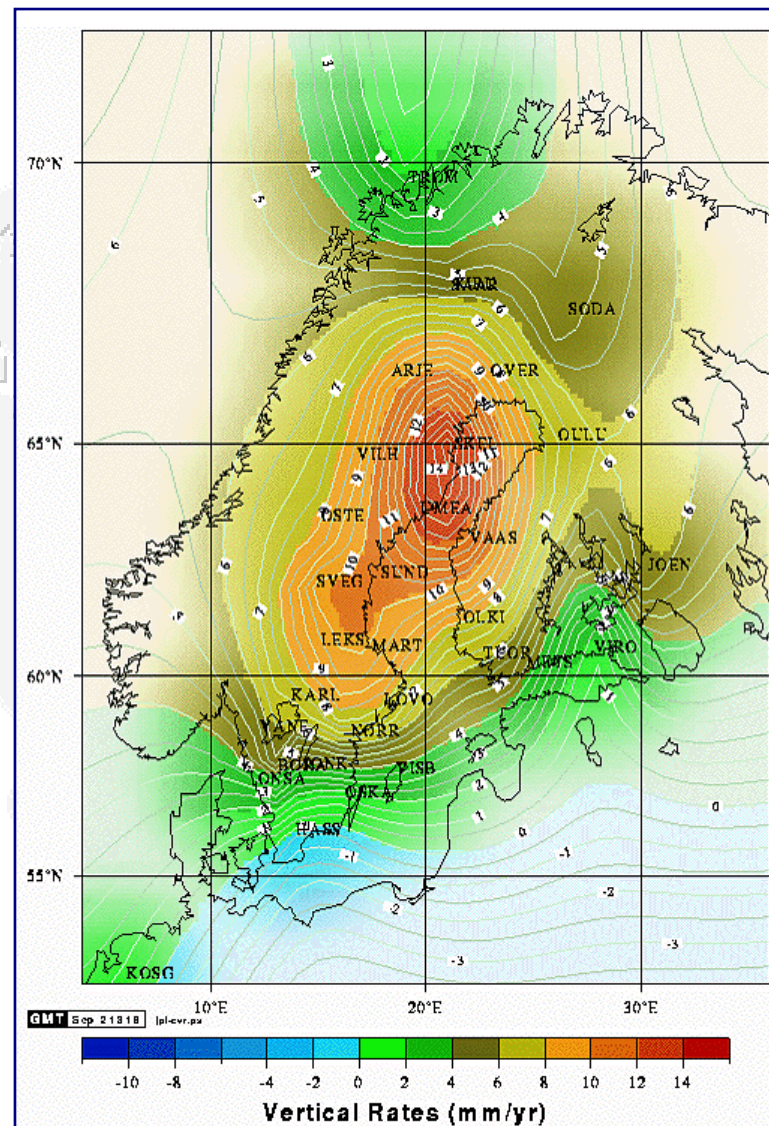


Схема современных вертикальных движений земной коры в районе Белого моря. Области поднятия и опускания - скорости, мм/год:

- 1 - области поднятия 4-6 мм/год;
2 - области поднятия 2-4 мм/год;
3 - области поднятия 0-2 мм/год;
4 - области опускания 0-2 мм/год;
5 - области опускания 2-4 мм/год;
6 - области опускания 4-6 мм/год.

Вертикальные движения земной коры по данным проекта BIFROST (1996).



Штормовые нагоны



Уровень Белого моря испытывает периодические полусуточные приливные колебания и неперiodические сгонно-нагонные изменения. Наибольшие нагоны наблюдаются в осенне-зимний сезон при северо-западных и северо-восточных ветрах. Подъем уровня может достигать 75–90 см. Самые сильные сгоны отмечаются зимой и весной при юго-западных ветрах. Уровень в это время понижается на 50–75 см.

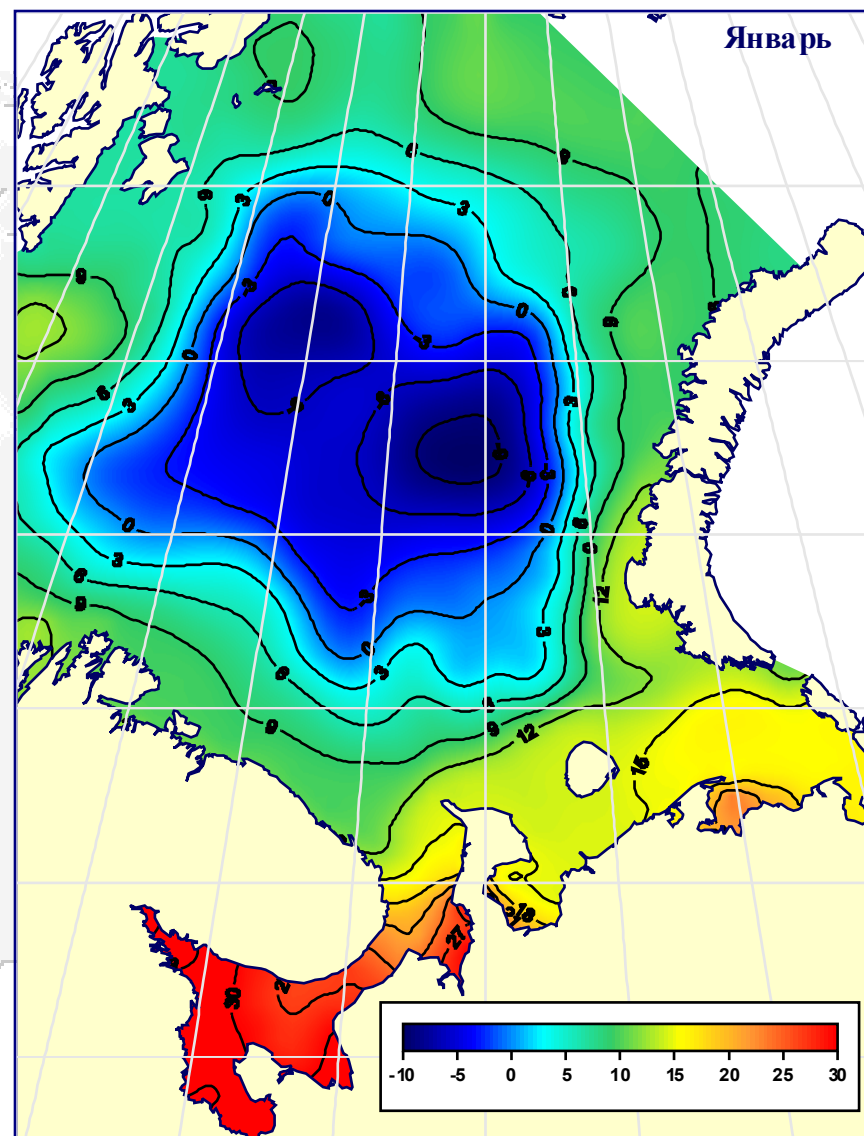
Сильные и продолжительные ветры вызывают сгонно-нагонные колебания уровня в разных районах Баренцева моря. Они наиболее значительны (до 3 м) у Кольского побережья и у Шпицбергена (порядка 1 м), меньшие величины (до 0,5 м) наблюдаются у берегов Новой Земли и в юго-восточной части моря.



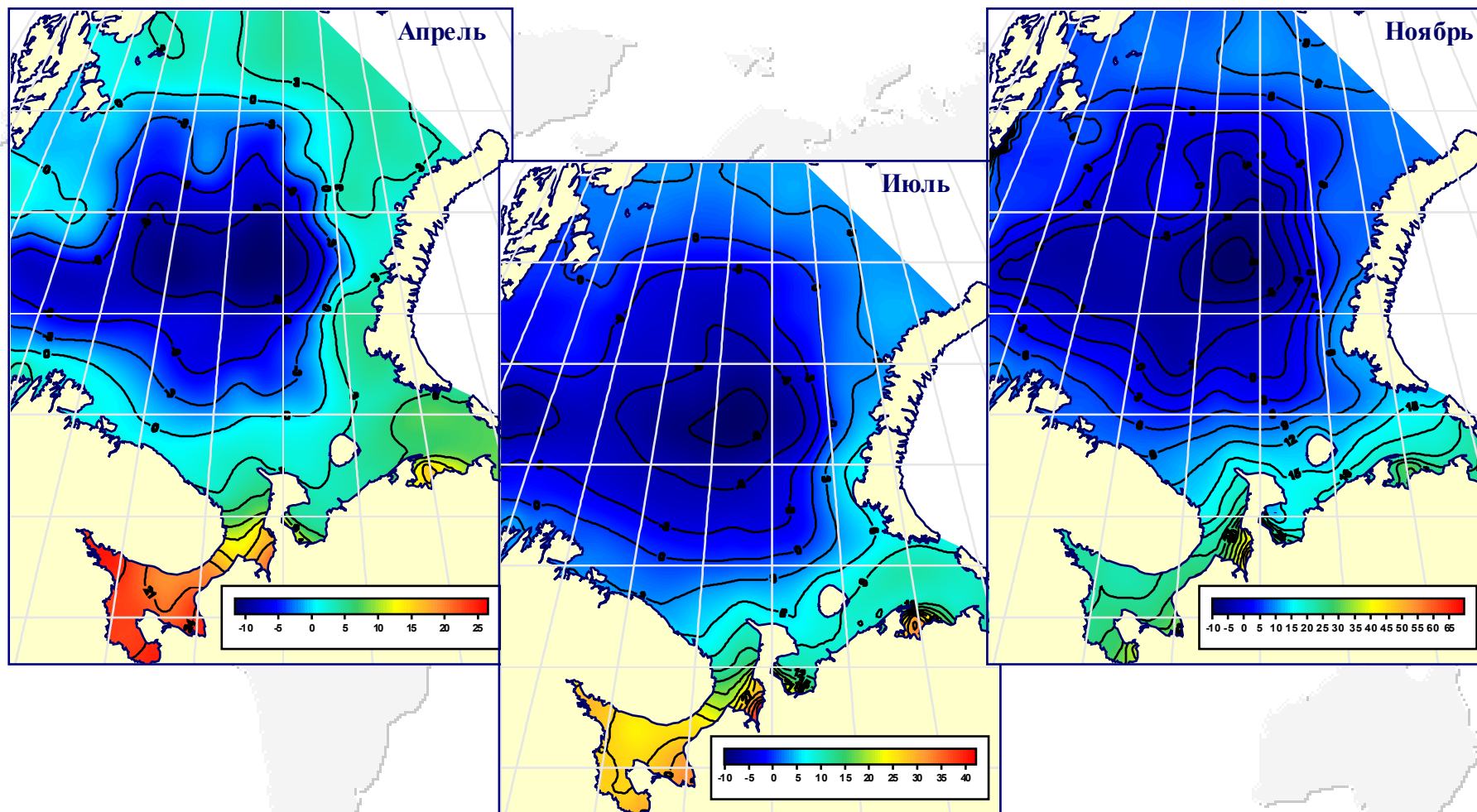
Сезонные изменения уровня

Сезонный ход уровня Белого моря характеризуется его низким положением зимой, некоторым повышением от весны к лету и сравнительно быстрым ростом от лета к осени. В октябре он достигает наивысшего положения, за которым следует его снижение.

Сезонные изменения уровня Баренцева моря, вызванные главным образом совокупным воздействием атмосферного давления и ветров, а также внутригодовым ходом температуры и солености воды. Здесь наблюдается зональный режим сезонного хода уровня. Для него характерно смещение максимума положения уровня на зиму (ноябрь–декабрь), а минимума на весну (май–июнь). Разница между максимальным и минимальным положением среднего уровня в Мурманске может достигать 40–50 см.



Сезонные изменения уровня

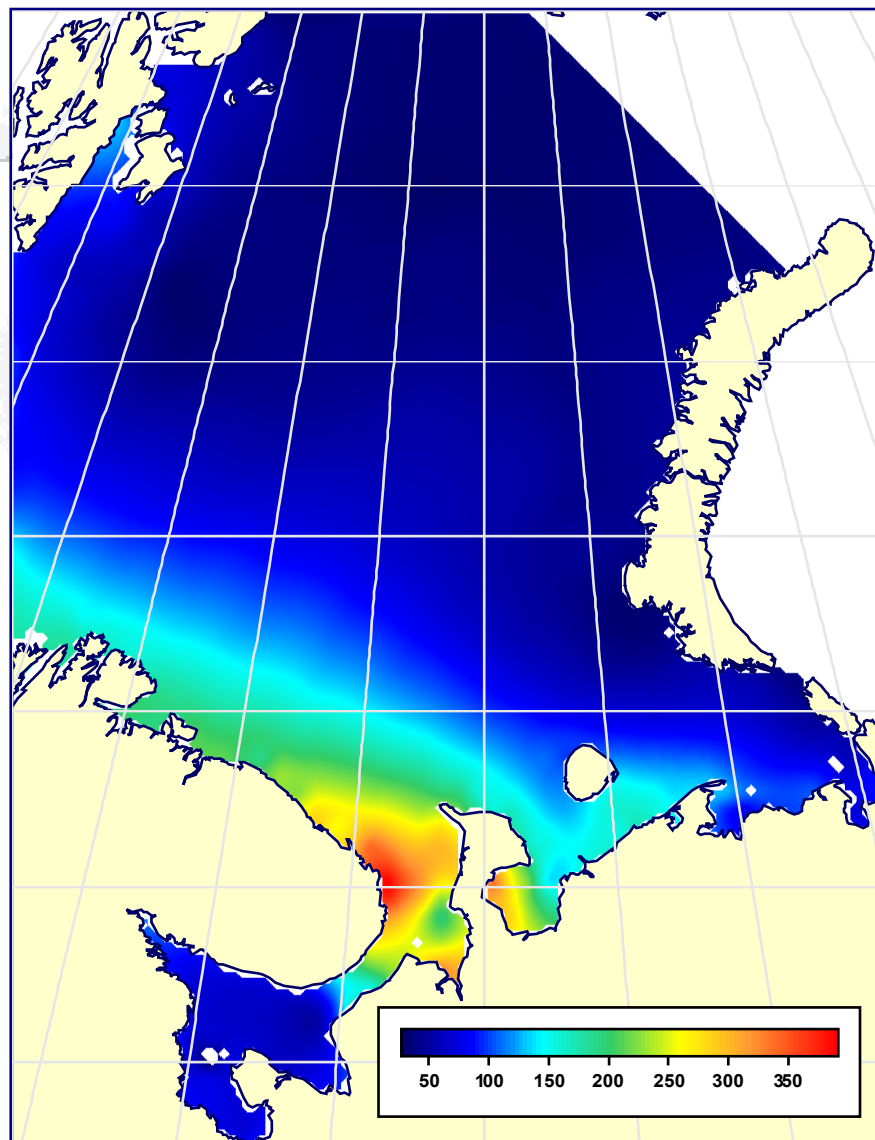


**Среднемесячные уровни (см) Белого и Баренцева морей по данным модели
Лаборатории прикладных морских исследований Гидрометцентра РФ
(Зильберштейн и др., 2000).**



Верификация региональной приливной модели

Сравнение глобальной и региональной моделей



Разница в высоте приливов (см),
рассчитанных по региональной
модели Лаборатории прикладных
морских исследований
Гидрометцентра РФ и глобальной
модели приливов GOT00.2.

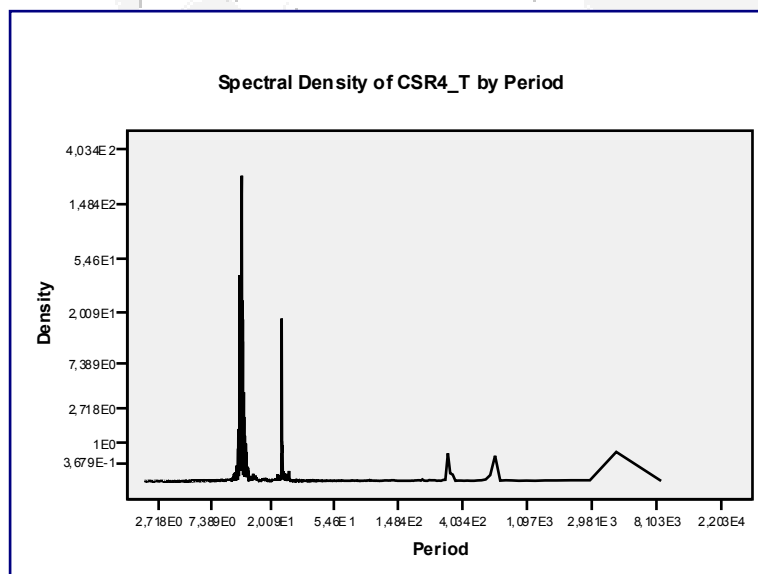
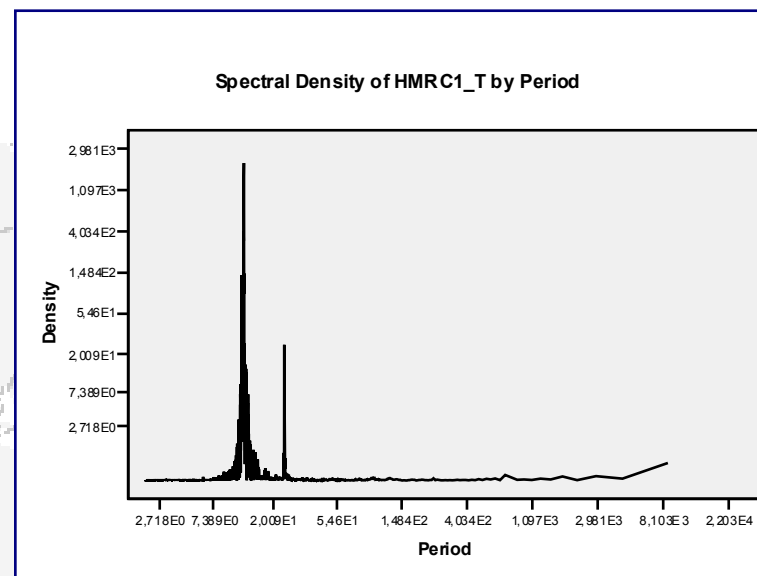
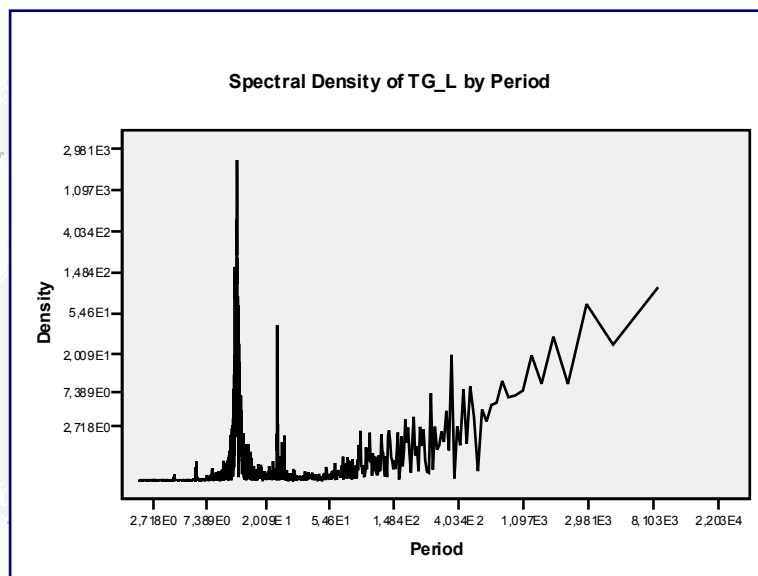


Сравнение глобальной и региональной моделей

Уровенный пост	Приливные компоненты	Глобальные модели приливов				Региональная модель приливов	
		Модель CSR4.0		Модель GOT00. 2		Модель Гидрометцентра РФ	
		ΔH (%)	Δg (h)	ΔH (%)	Δg (h)	ΔH (%)	Δg (h)
Соловки	M2	53.1	0.49	30.5	0.21	27.3	0.15
	S2	31.8	0.23	77.3	0.89	29.0	0.19
	K1	5.9	0.02	58.5	0.54	26.1	0.29
Печенга	M2	76.2	0.78	87.4	1.25	7.5	0.05
	S2	73.9	0.84	58.6	0.47	26.3	0.17
	K1	28.3	0.15	14.1	0.16	17.1	0.09
Вардо	M2	76.8	0.45	45.8	0.69	22.2	0.65
	S2	25.7	0.29	45.1	0.84	19.8	0.28
	K1	43.9	0.93	27.2	0.45	4.2	0.09
Варандей	M2	68.3	2.01	34.6	0.78	16.6	1.39
	S2	73.7	1.34	57.3	1.17	26.4	0.79
	K1	24.6	0.98	39.8	1.04	15.0	1.10



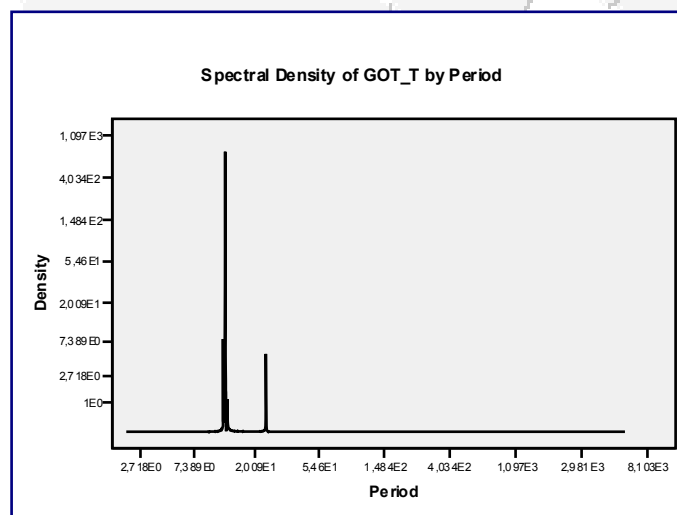
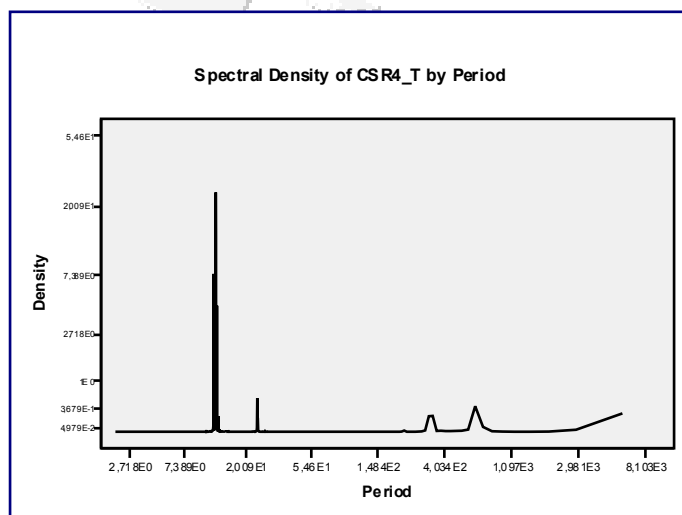
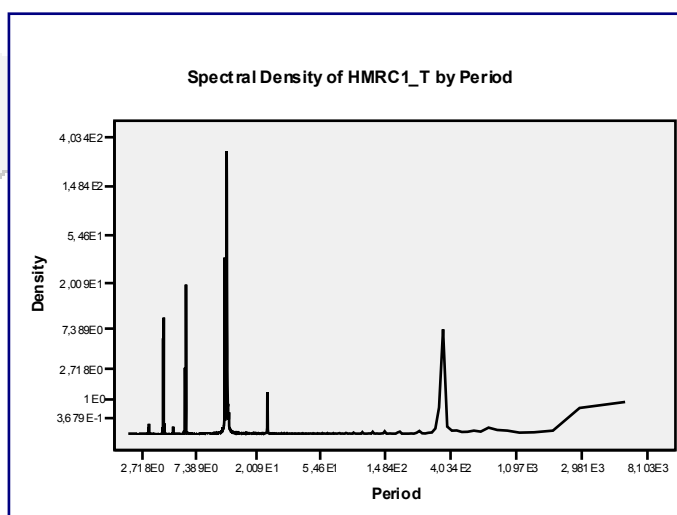
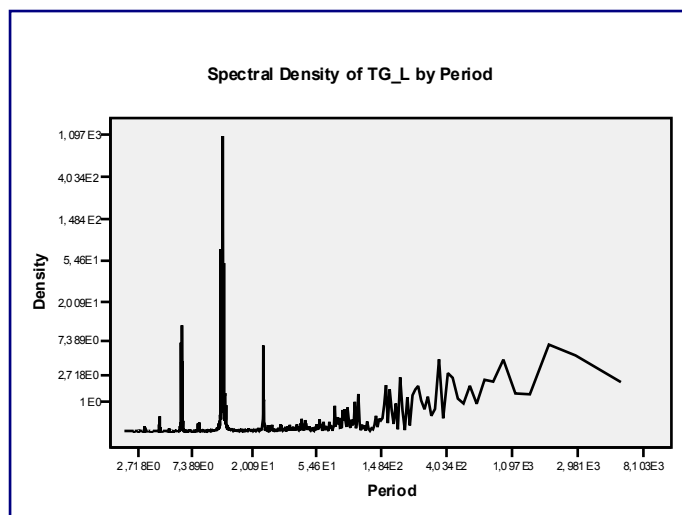
Сравнение глобальной и региональной моделей



Спектральная плотность изменения уровня Баренцева моря на уровне поста Печенга (левый верхний рисунок), рассчитанному по глобальной (нижний рисунок) и региональной моделям приливов (правый верхний рисунок).



Сравнение глобальной и региональной моделей



Спектральная плотность изменения уровня Белого моря на уровне поста Умба (левый верхний рисунок), рассчитанному по глобальным (нижние рисунки) и региональной моделям приливов (правый верхний рисунок).



Верификация уровня морей

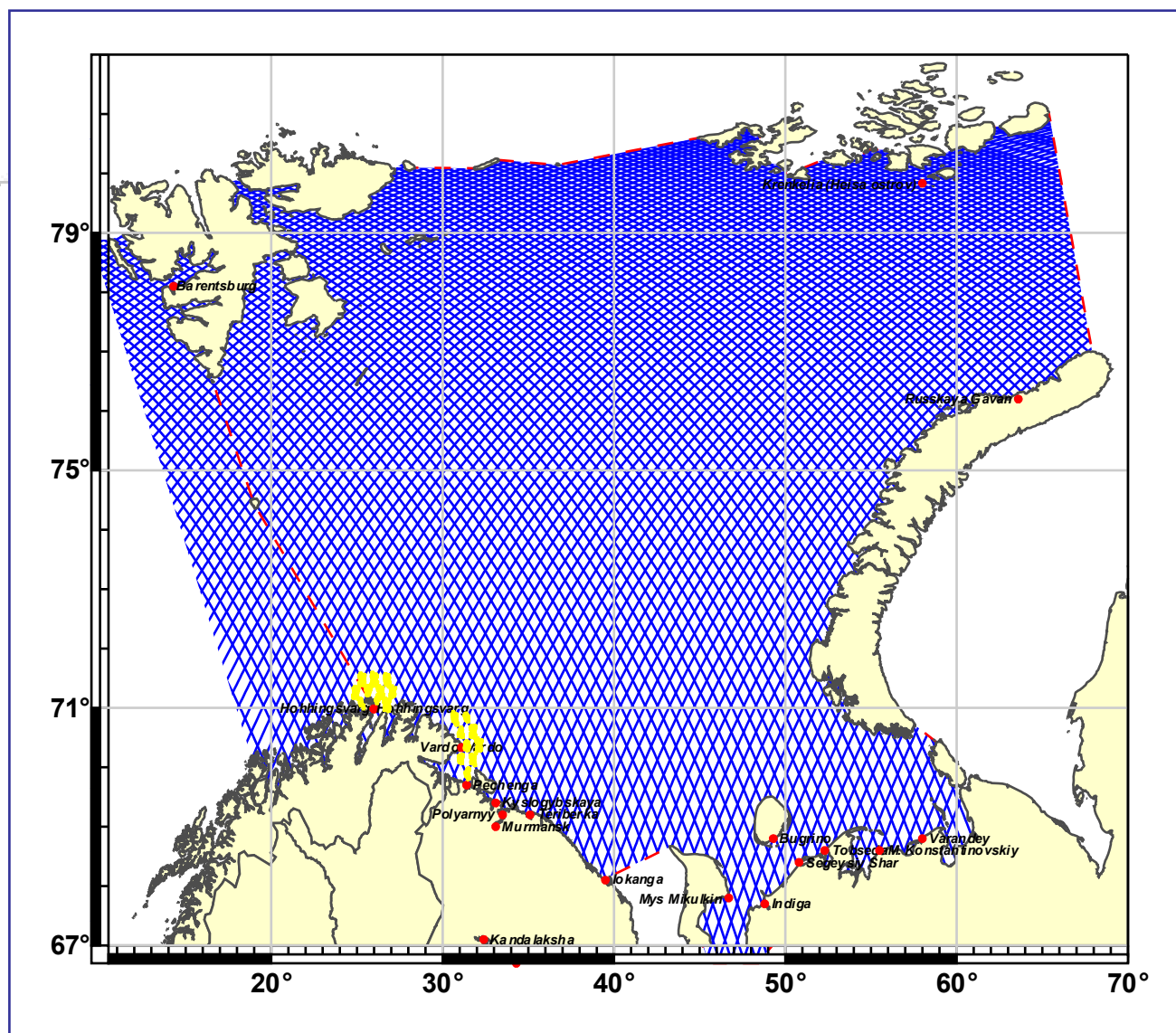


Седьмая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли»
Таруса, 24– 29 февраля 2016 г.

© 2016, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев



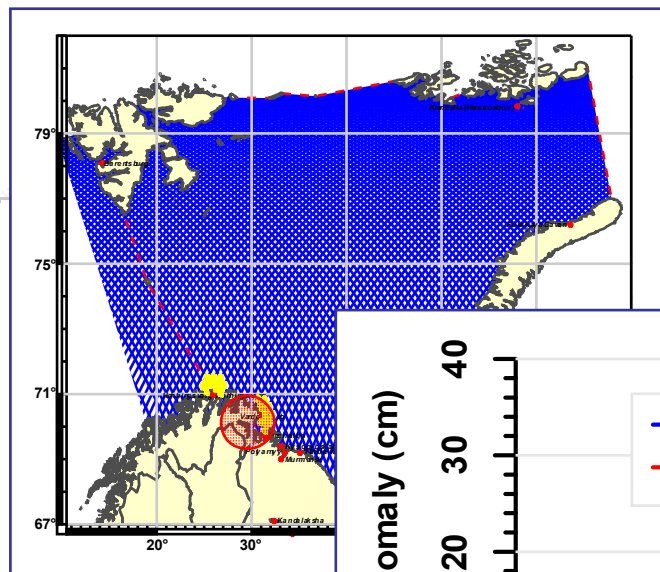
Верификация данных об уровне Баренцева моря



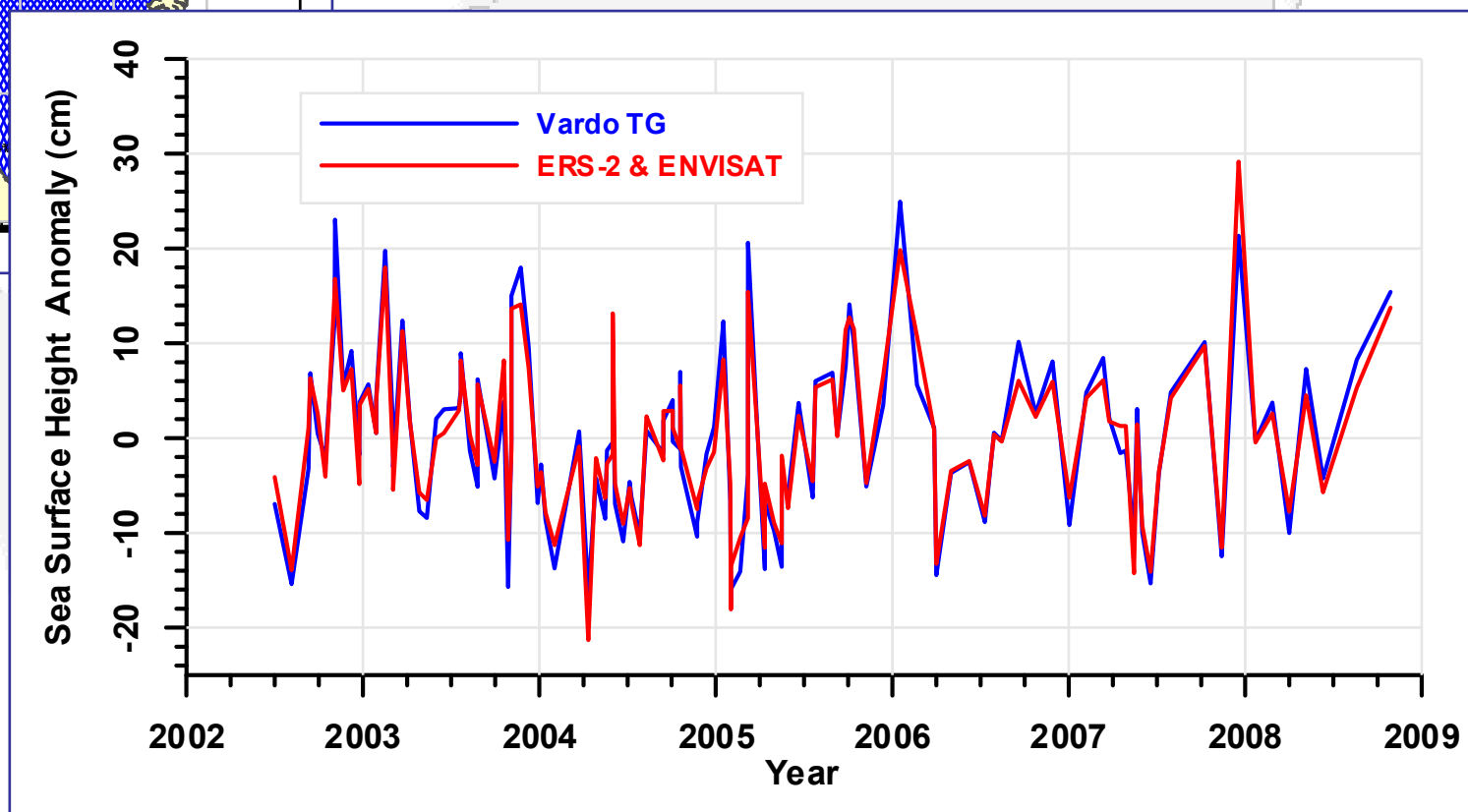
Расположение по акватории Баренцева моря треков изомаршрутных программ спутников ERS 1/2 и ENVISAT (синяя линия), точки на треках (желтый цвет) и уровенные посты (красный цвет), с которых данные альтиметрических измерений использовались для верификации аномалий уровня моря.



Верификация данных об уровне Баренцева моря

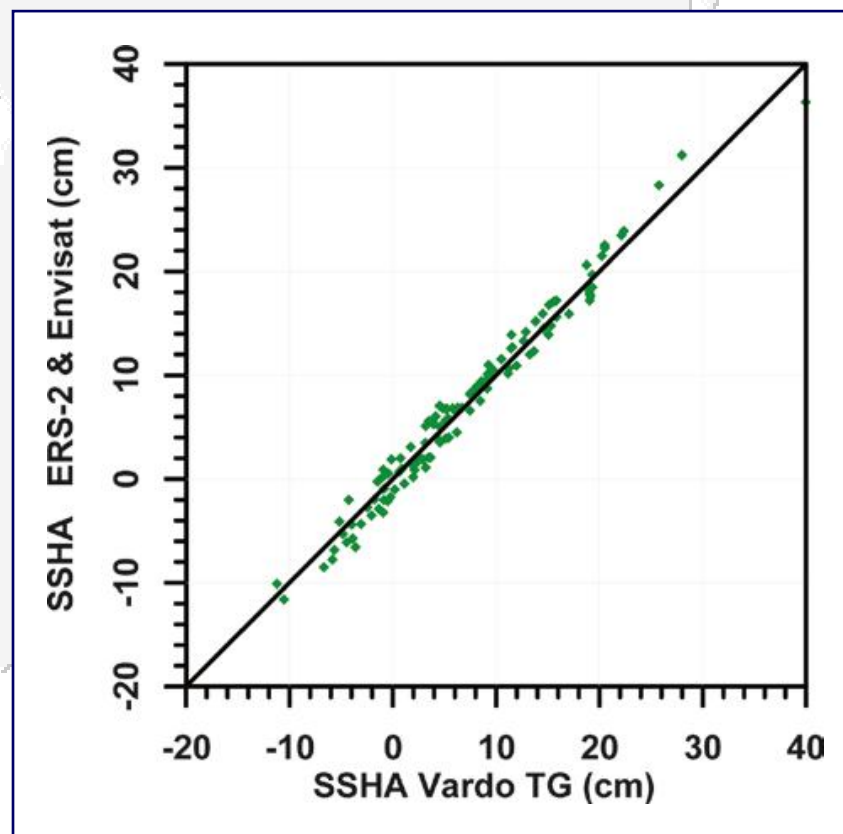
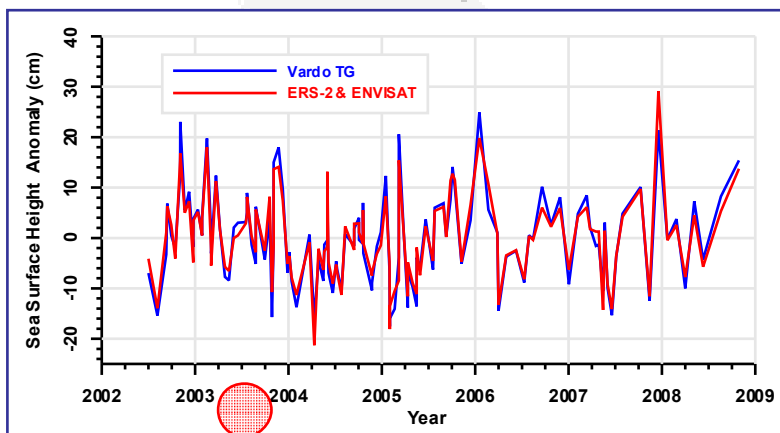
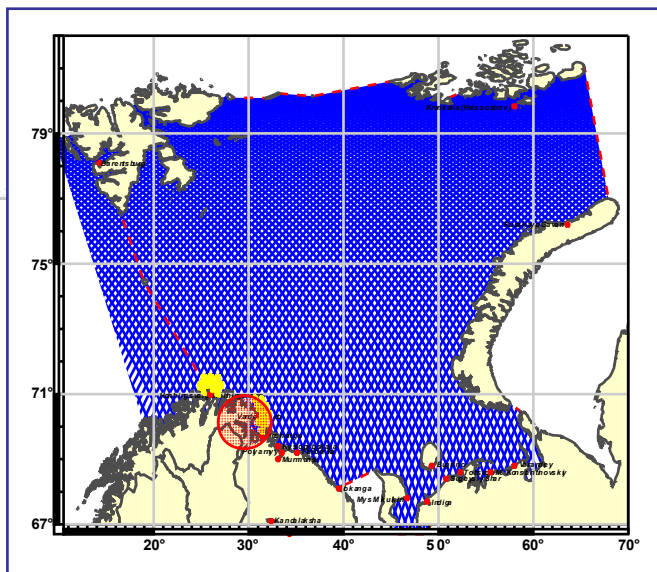


Временная изменчивость аномалий высот морской поверхности Баренцева моря по данным уровневого поста Вардо (Норвегия) и данным альтиметрических измерений спутников ERS-2 и ENVISAT.



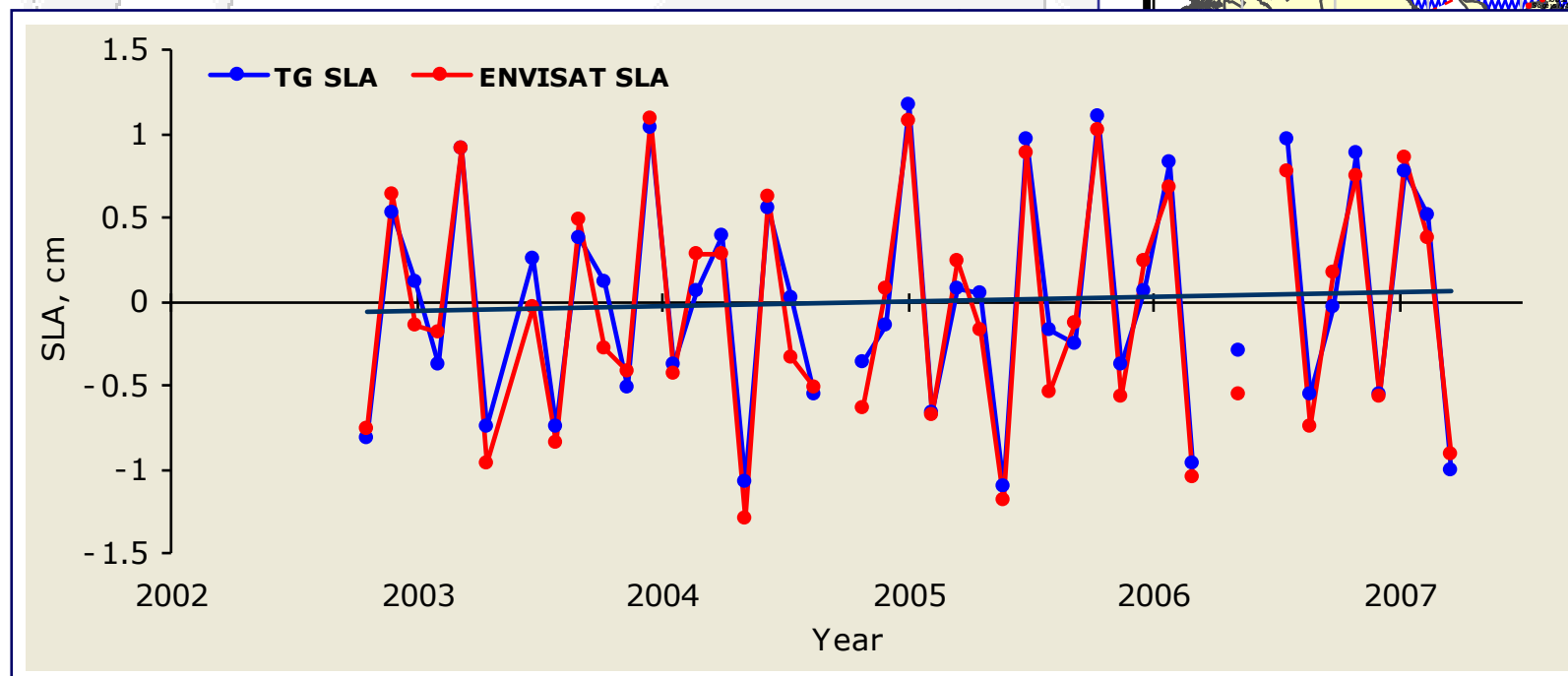
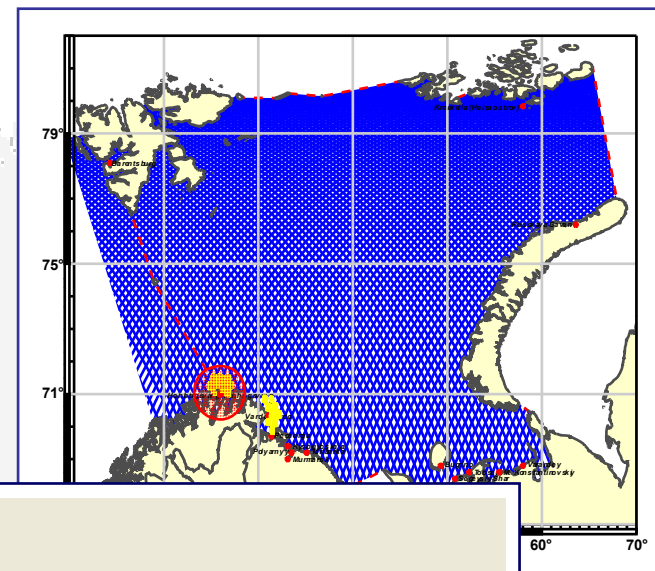
Верификация данных об уровне Баренцева моря

Двумерная диаграмма рассеяния аномалий высот морской поверхности по данным альтиметрических измерений спутников ERS-2 и ENVISAT по данным уровня поста Вардо (Норвегия).



Верификация данных об уровне Баренцева моря

Временная изменчивость аномалий высот морской поверхности Баренцева моря по данным уровенного поста Хоннингсвог (Норвегия) и данным альтиметрических измерений спутников ERS-2 и ENVISAT.

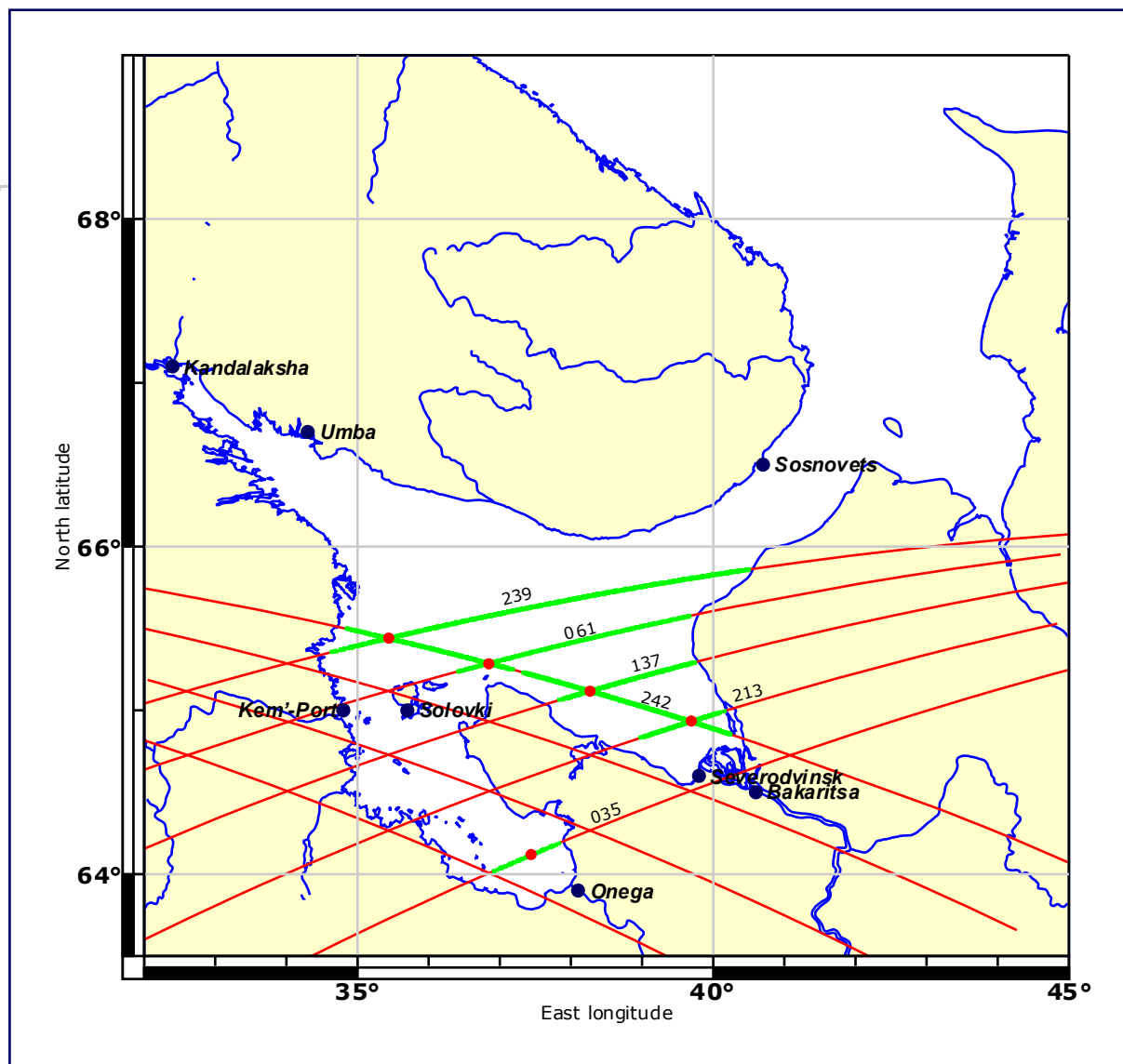


Верификация данных об уровне Баренцева моря

Уровенный пост	Спутник GFO		Спутник ERS-1/2 & Envisat	
	Номер трека	Коэффициент корреляции	Номер трека	Коэффициент корреляции
Хоннингсвог	048, 079, 134,	0.69	025, 111, 302,	0.99
	165, 192, 251,		388, 569, 655,	
	278, 309, 364,		760, 846	
	395, 450, 481			
Вардо	076, 079, 162,	0.71	311, 416, 502,	0.99
	165, 248, 392,		855, 874, 960	
	395, 478, 481			
Териберка	104, 190, 395,	0.43	072, 158, 225,	0.97
	481		530, 616, 683	
Иоканга	132, 218, 304,	0.37	053, 186, 272,	0.89
	395		511, 730, 816	
Печенга	162, 248, 309, 334, 395	0.45	330, 874,	0.93
Тобседа	193, 279, 332	0.44	042, 195, 281, 500, 586, 739, 825	0.87
Варандей	049, 102, 135,221	0.39	242, 395, 853, 939	0.89



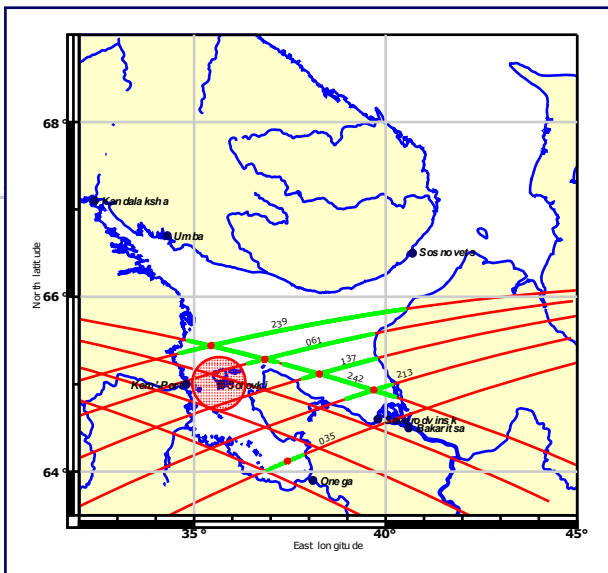
Верификация данных об уровне Белого моря



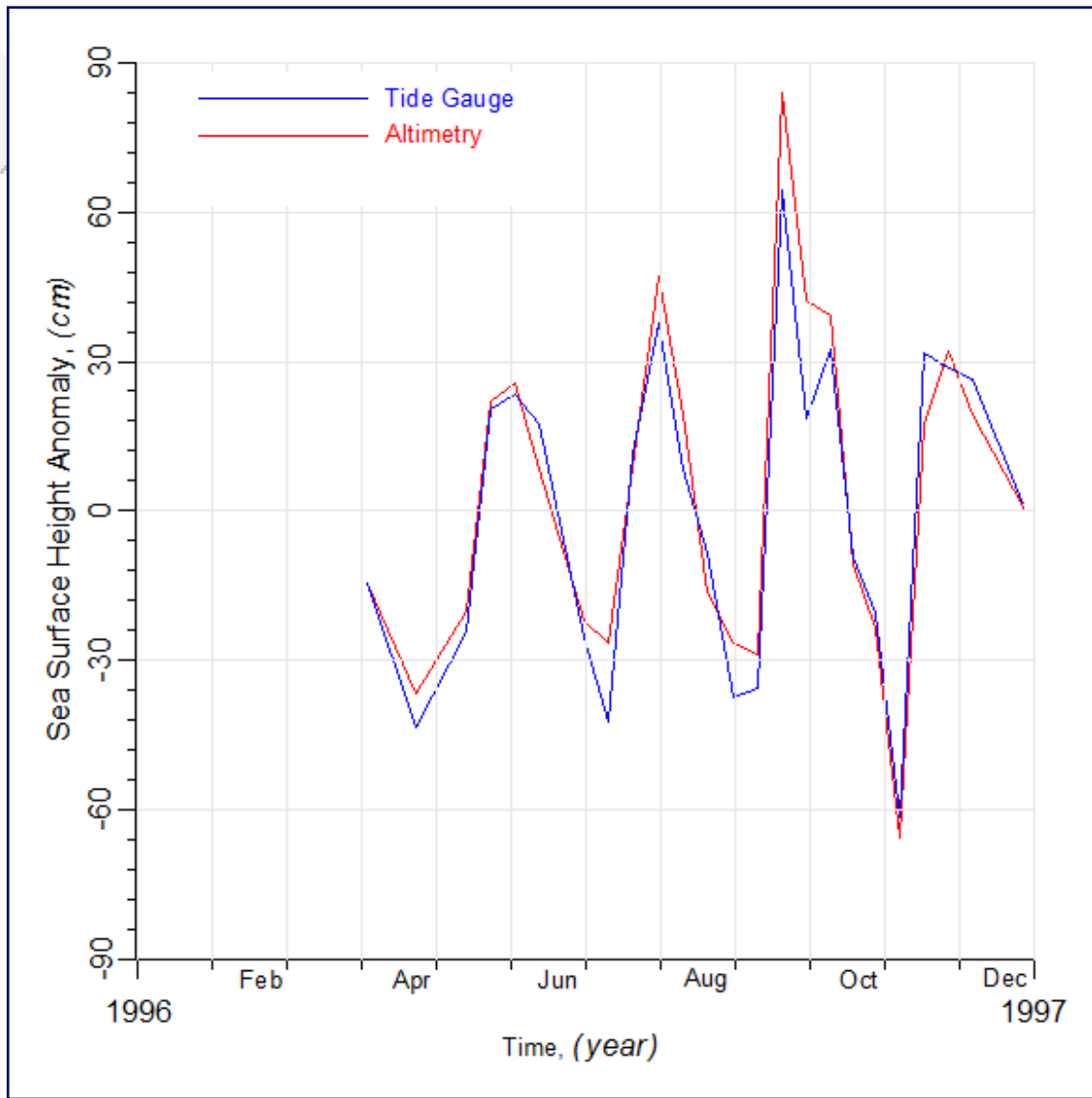
Расположение по акватории Белого моря треков изомаршрутных программ спутников TOPEX/Poseidon и Jason-1/2 (красная линия), точки на треках (зеленый цвет) и уровенные посты (черный цвет), с которых данные альтиметрических измерений использовались для верификации аномалий уровня моря.



Верификация данных об уровне Белого моря



**Временная изменчивость
аномалий высот морской
поверхности Белого моря
летом 1996 года по данным
уровенного поста Соловки
и данным
альтиметрических
измерений спутников
TOPEX/Poseidon и
Jason-1/2.**



Верификация данных об уровне Белого моря

Уровенный пост	Спутники T/P & J1		Спутник GFO		Спутники ERS-1/2 & Envisat	
	Номер река	Коэффициент корреляции	Номер река	Коэффициент корреляции	Номер река	Коэффициент корреляции
Порт Кемь	090, 239, 242	0.66	023, 074, 160, 425	0.35	272, 483, 730, 816, 941	0.61
Онега	090, 239, 242	0.76	023, 074, 160, 425	0.41	272, 483, 730, 816, 941	0.96
Северо- двинск	137, 213, 242	0.97	195, 281, 332, 418	0.56	100, 311, 769, 558	0.88
Соловки	061, 064, 239, 242	0.76	023, 074, 109, 160, 246, 425	0.59	272, 397, 483, 730, 816, 941,	0.65
Канда- лакша	—	—	195, 218, 304, 390	0.45	358, 941	0.58
Сосновец	—	—	051, 137, 160, 223, 246, 453	0.44	014, 100, 472, 683	0.77
Умба	—	—	109, 195, 218, 304, 390	0.67	358, 397, 816, 941	0.95



Верификация скорости приводного ветра

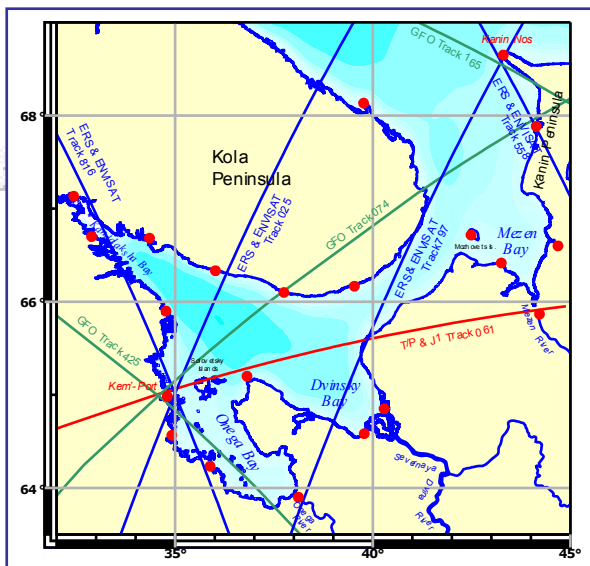


Седьмая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли»
Таруса, 24– 29 февраля 2016 г.

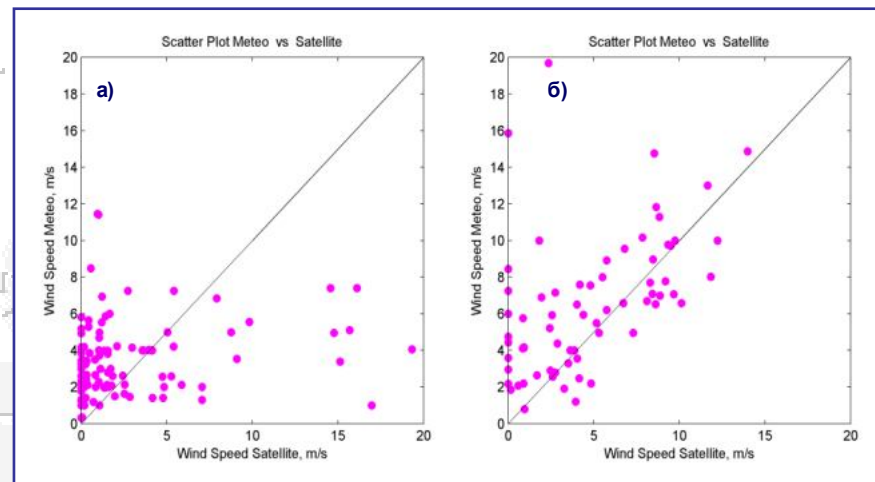
© 2016, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев



Верификация данных о скорости ветра

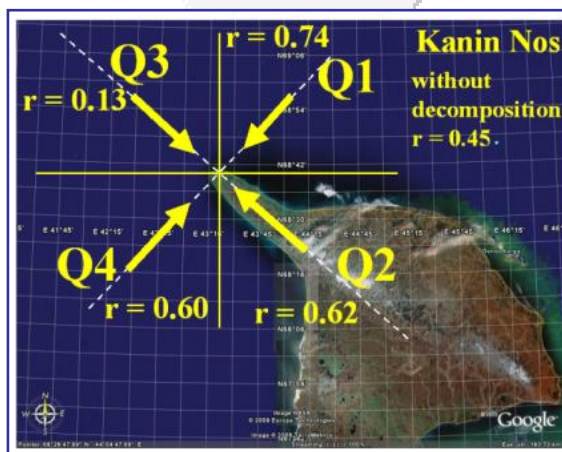


Расположение треков изомаршрутных программ спутников ERS 1/2 и ENVISAT (синяя линия), спутников и GFO 1 (зеленая линия) и T/P и J1/2 (красная линия), данные альтиметрических измерений с которых использовались для верификации скорости ветра по данным метеостанций порт Кемь и Канин Нос.



Двумерная диаграмма рассеяния скорости ветра по данным альтиметрических измерений и по данным метеостанций порт Кемь (а) и Канин Нос (б).

Прямыми линиями показана линейная аппроксимация данных методом наименьших квадратов



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



Климатическая изменчивость уровня

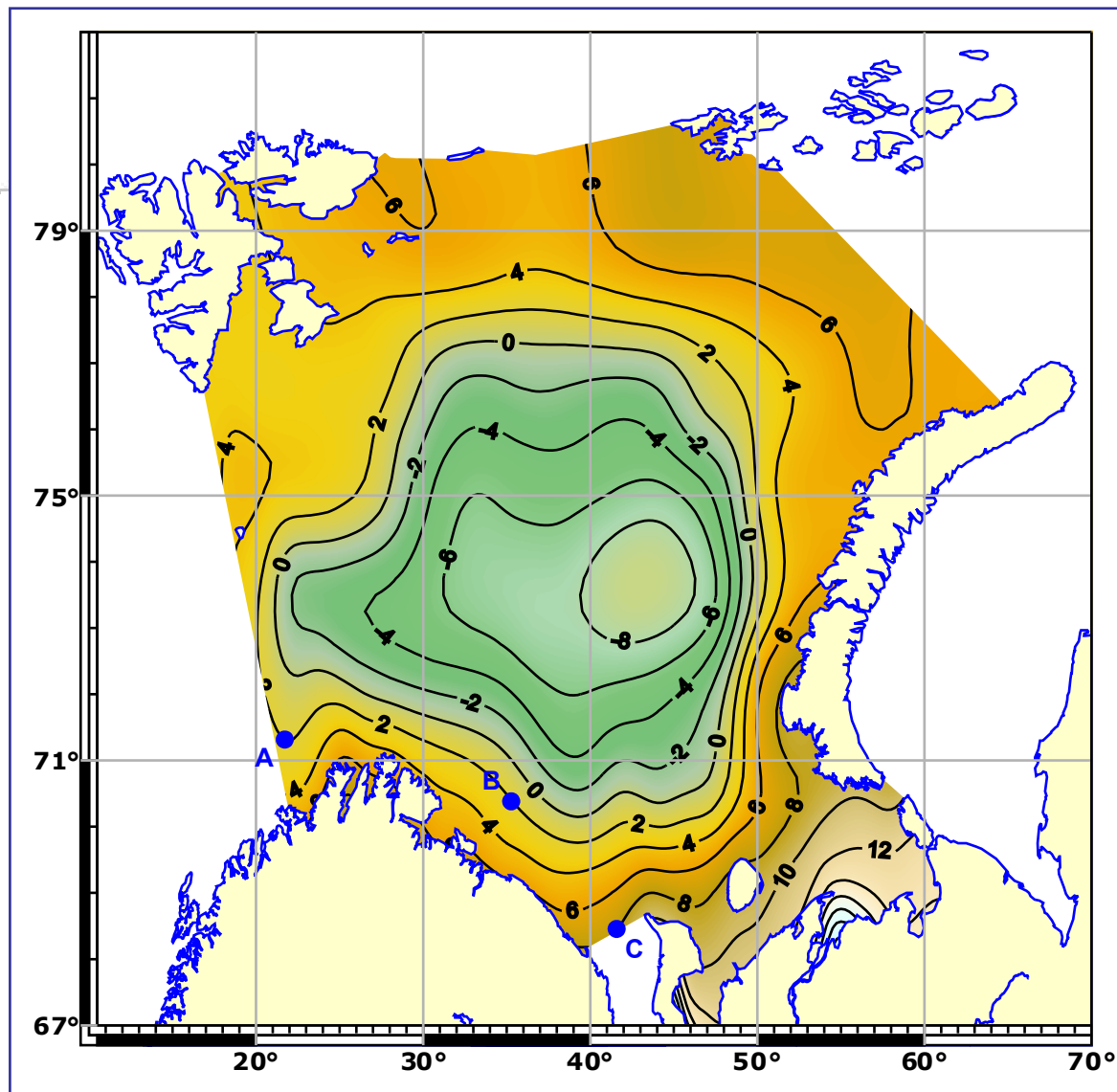


Седьмая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли»
Таруса, 24– 29 февраля 2016 г.

© 2016, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев



Климатическая уровень Баренцева моря



Климатический уровень
Баренцева моря по
модели Лаборатории
прикладных морских
исследований
Гидрометцентра РФ

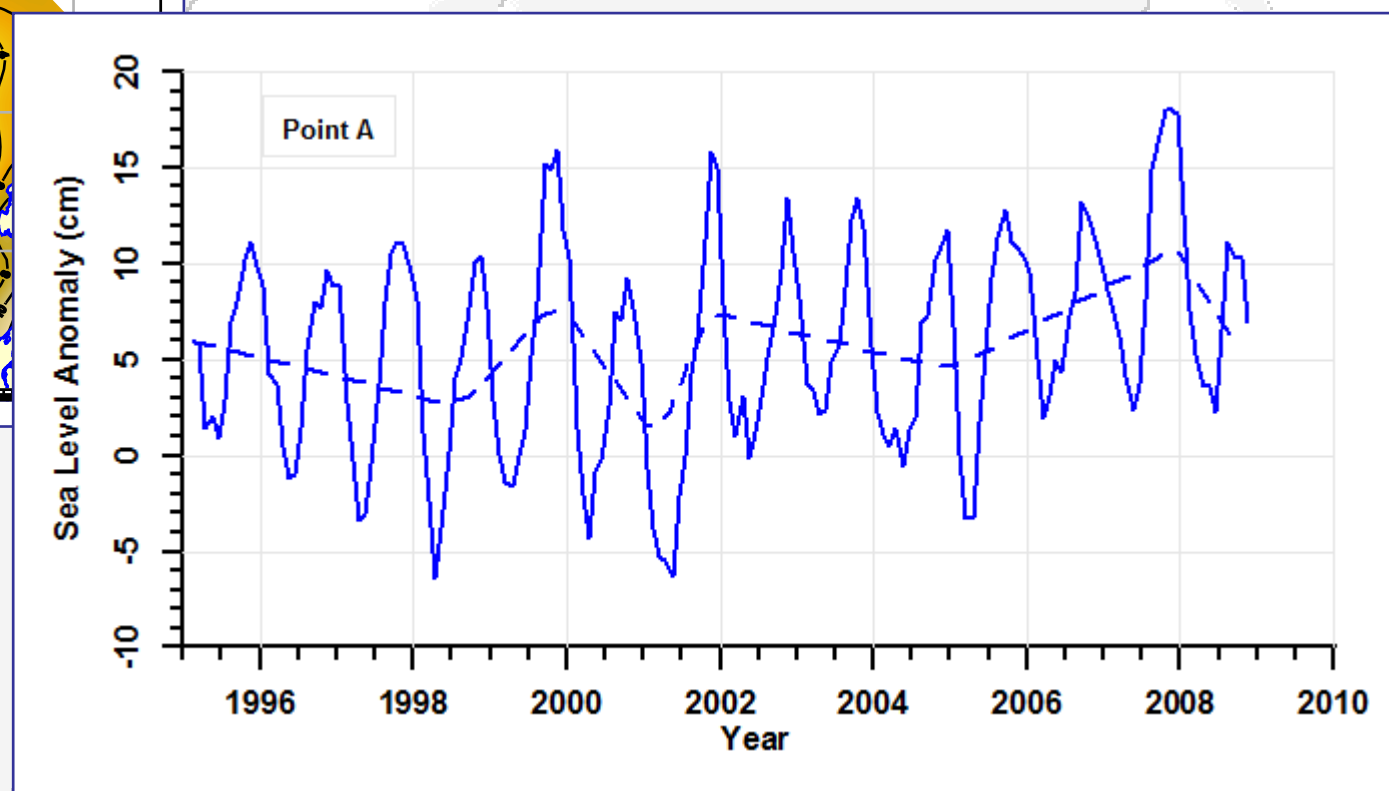
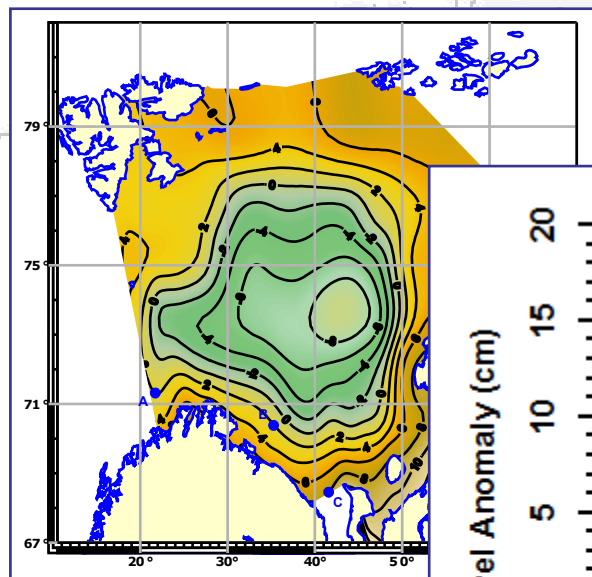


Седьмая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли»
Таруса, 24–29 февраля 2016 г.

© 2016, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев



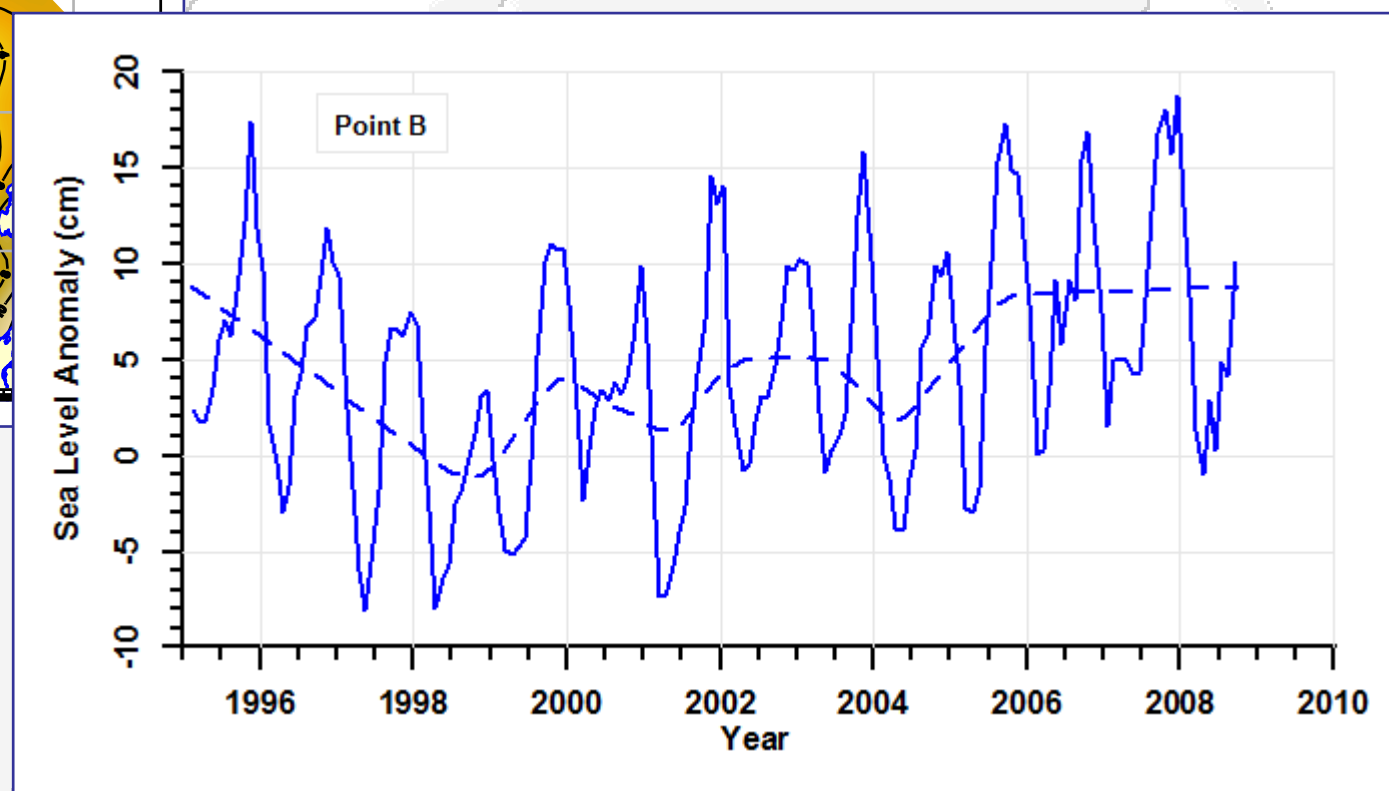
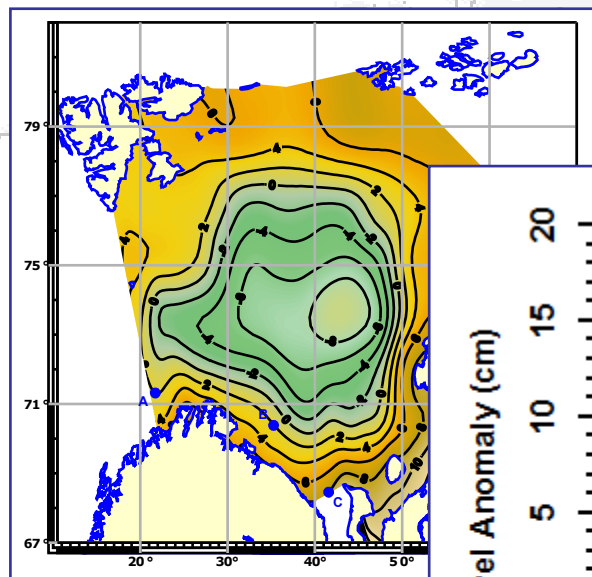
Климатическая изменчивость уровня Баренцева моря



Климатическая изменчивость уровня Баренцева моря по данным альтиметрических измерений в точку А



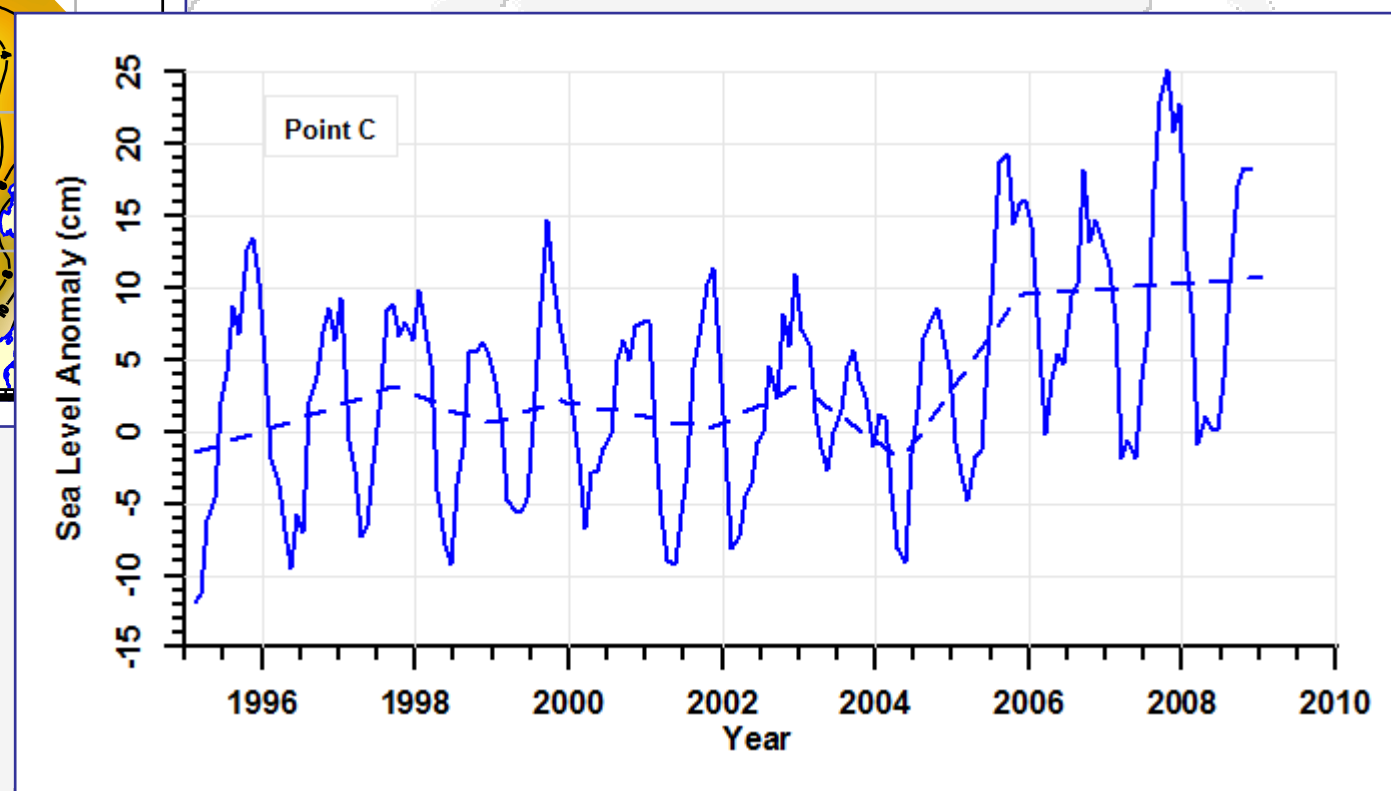
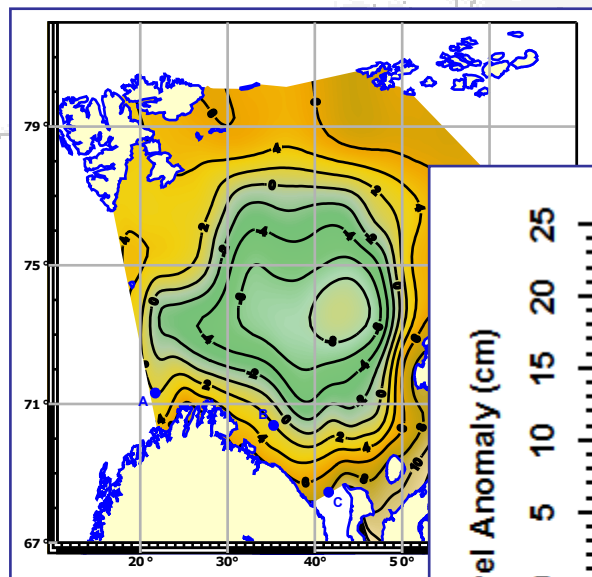
Климатическая изменчивость уровня Баренцева моря



Климатическая изменчивость уровня Баренцева моря по данным альтиметрических измерений в точку В



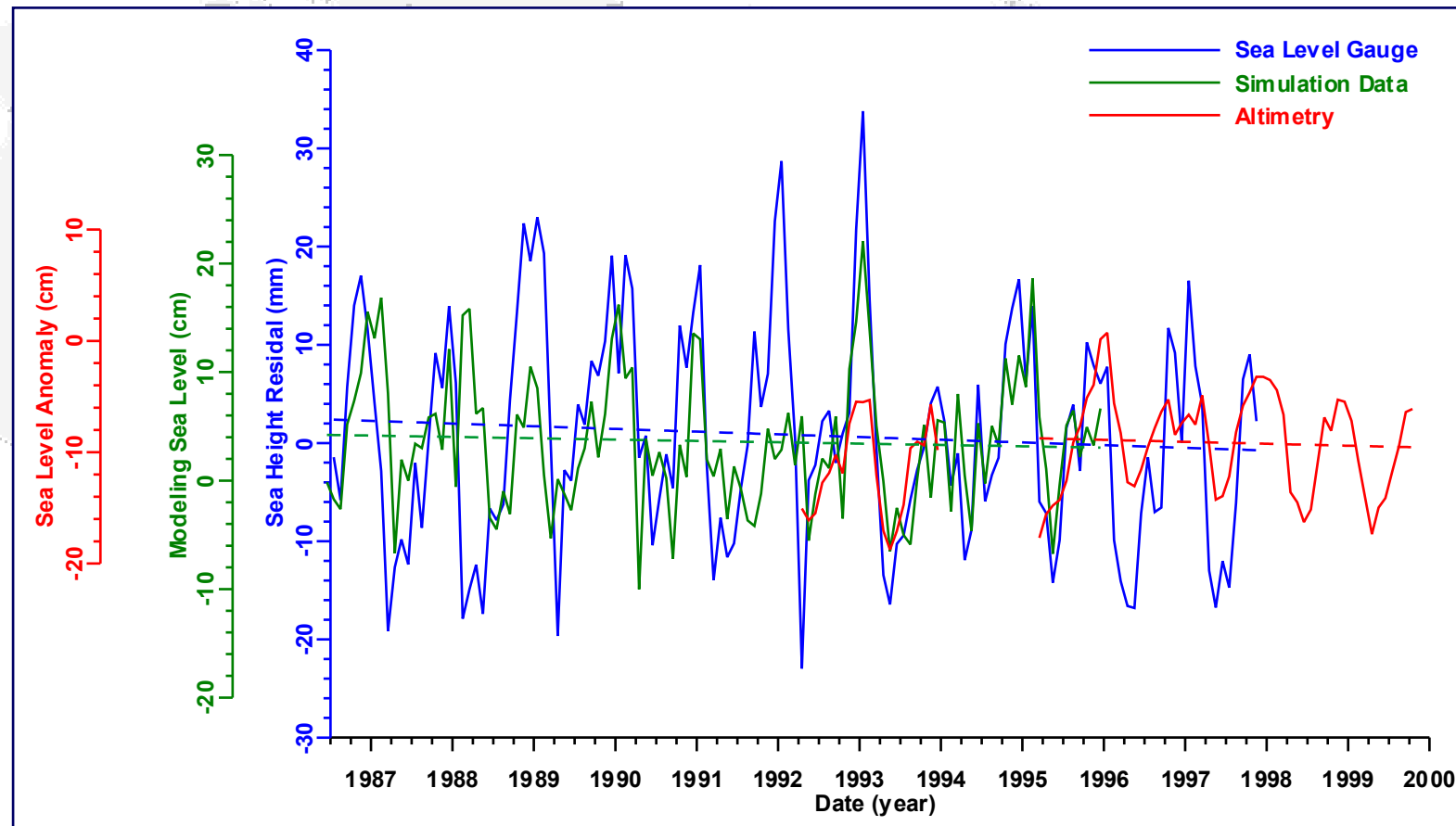
Климатическая изменчивость уровня Баренцева моря



Климатическая изменчивость уровня Баренцева моря по данным альтиметрических измерений в точку С



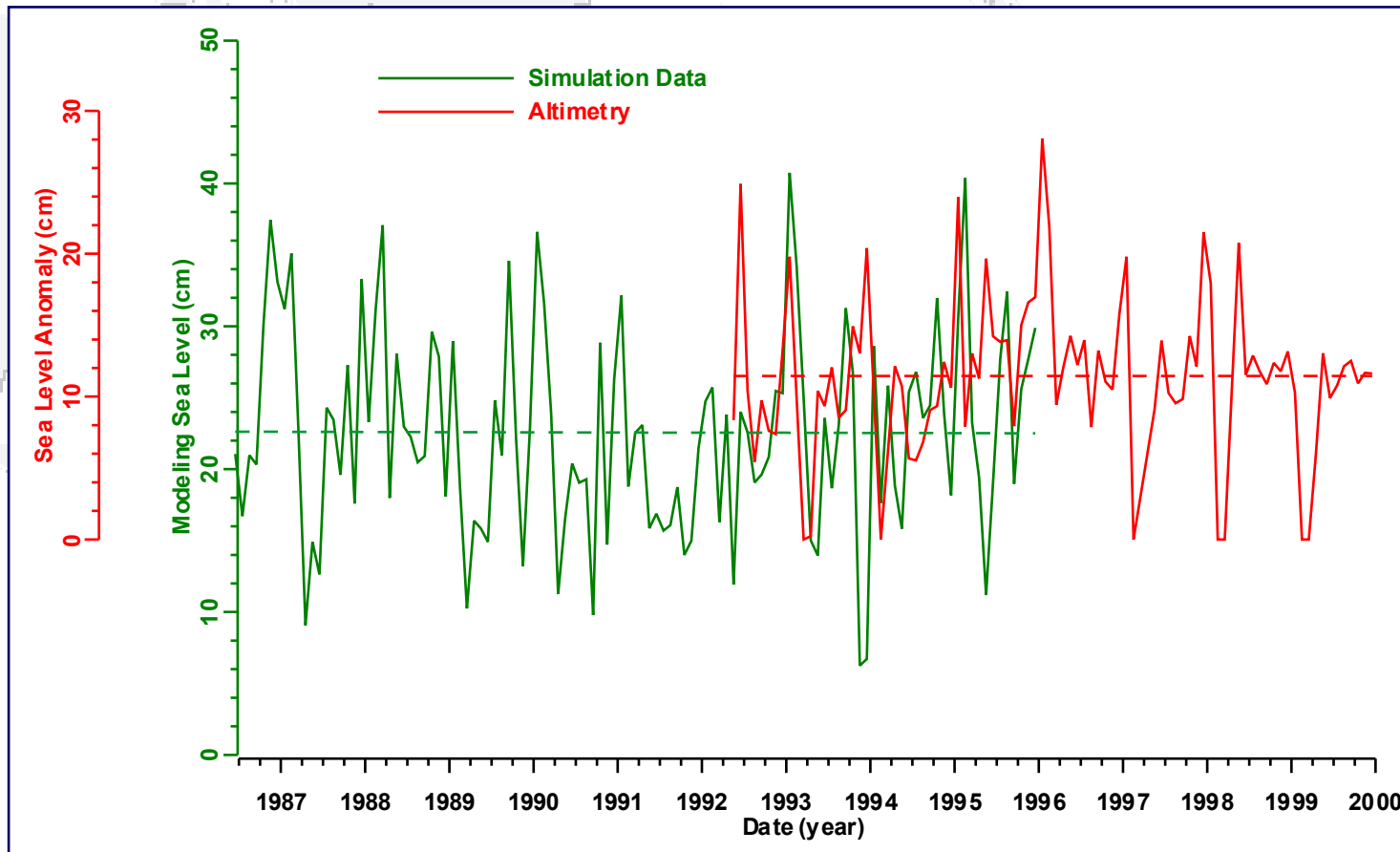
Климатическая изменчивость уровня Баренцева моря



Климатическая изменчивость уровня Баренцева моря по данным уровенных постов (синяя линия), результатам математического моделирования (зеленая линия) и данным спутниковой альтиметрии (красная линия). Линейный тренд составляет соответственно $-2,75$ мм/год, $-1,23$ мм/год и $-1,75$ мм/год.



Климатическая изменчивость уровня Белого моря



Климатическая изменчивость уровня Белого моря по результатам математического моделирования (зеленая линия) и данным спутниковой альтиметрии (красная линия).
Линейный тренд составляет соответственно -1,16 мм/год и -1.04 мм/год.



Климатическая изменчивость ледовой обстановки

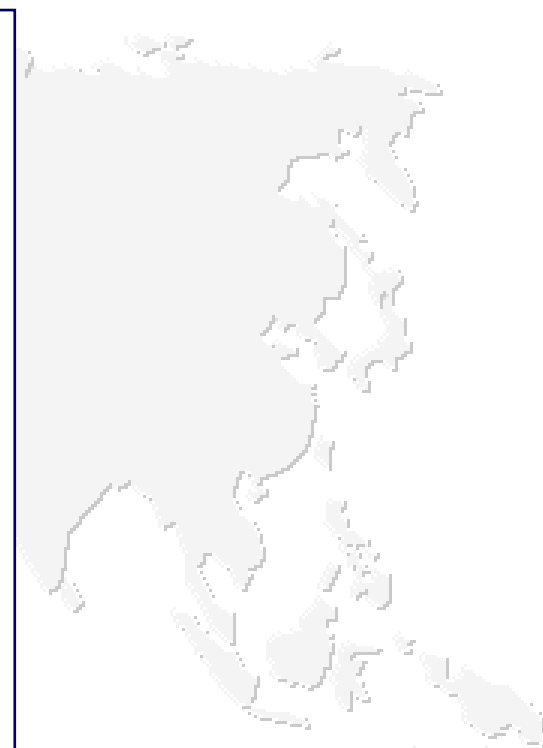
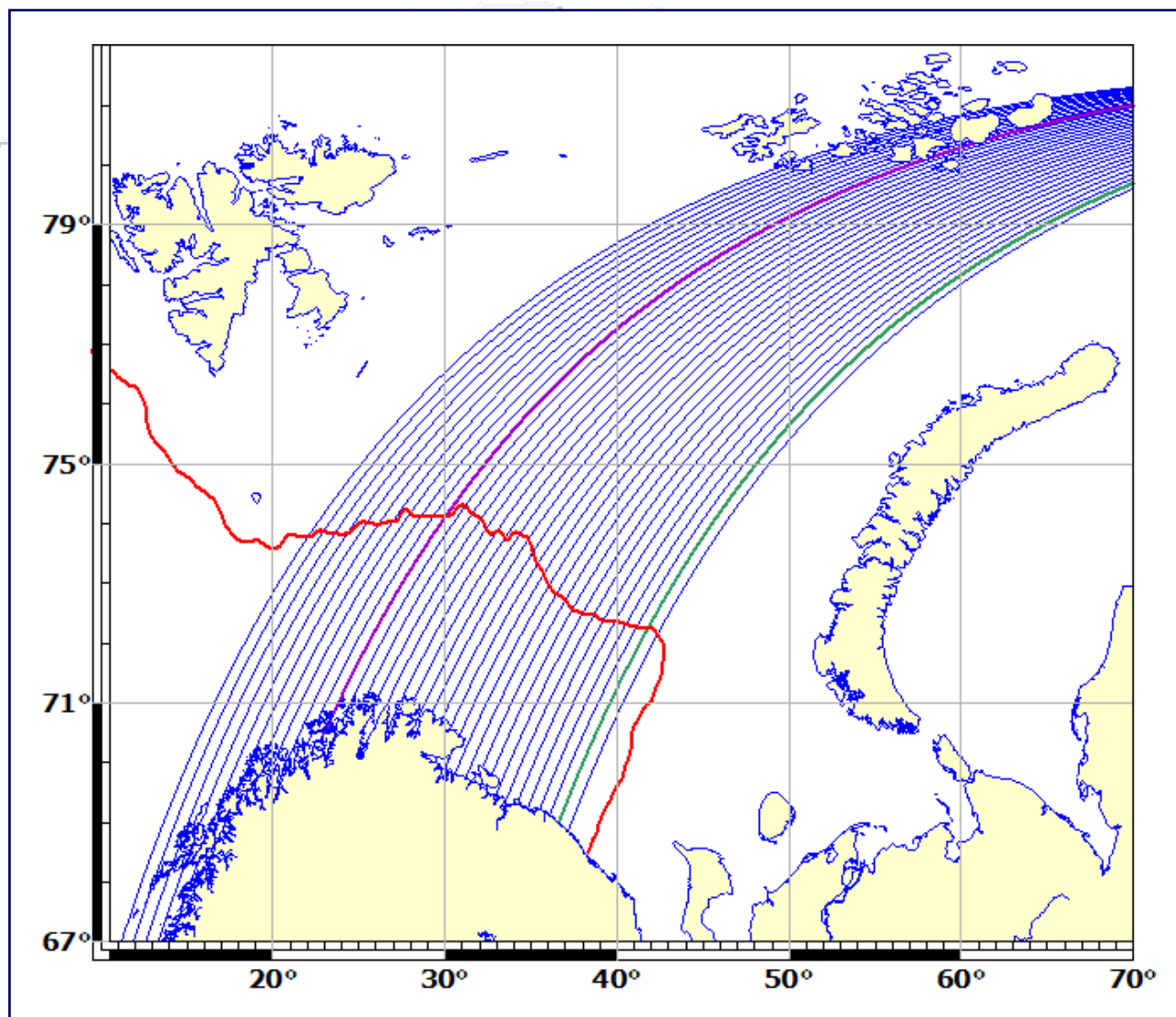


Седьмая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли»
Таруса, 24– 29 февраля 2016 г.

© 2016, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев



Климатическая изменчивость ледовой обстановки



**Расположение по
акватории Белого
моря треков
изомаршрутных
программ
спутников ERS 1/2
и ENVISAT**

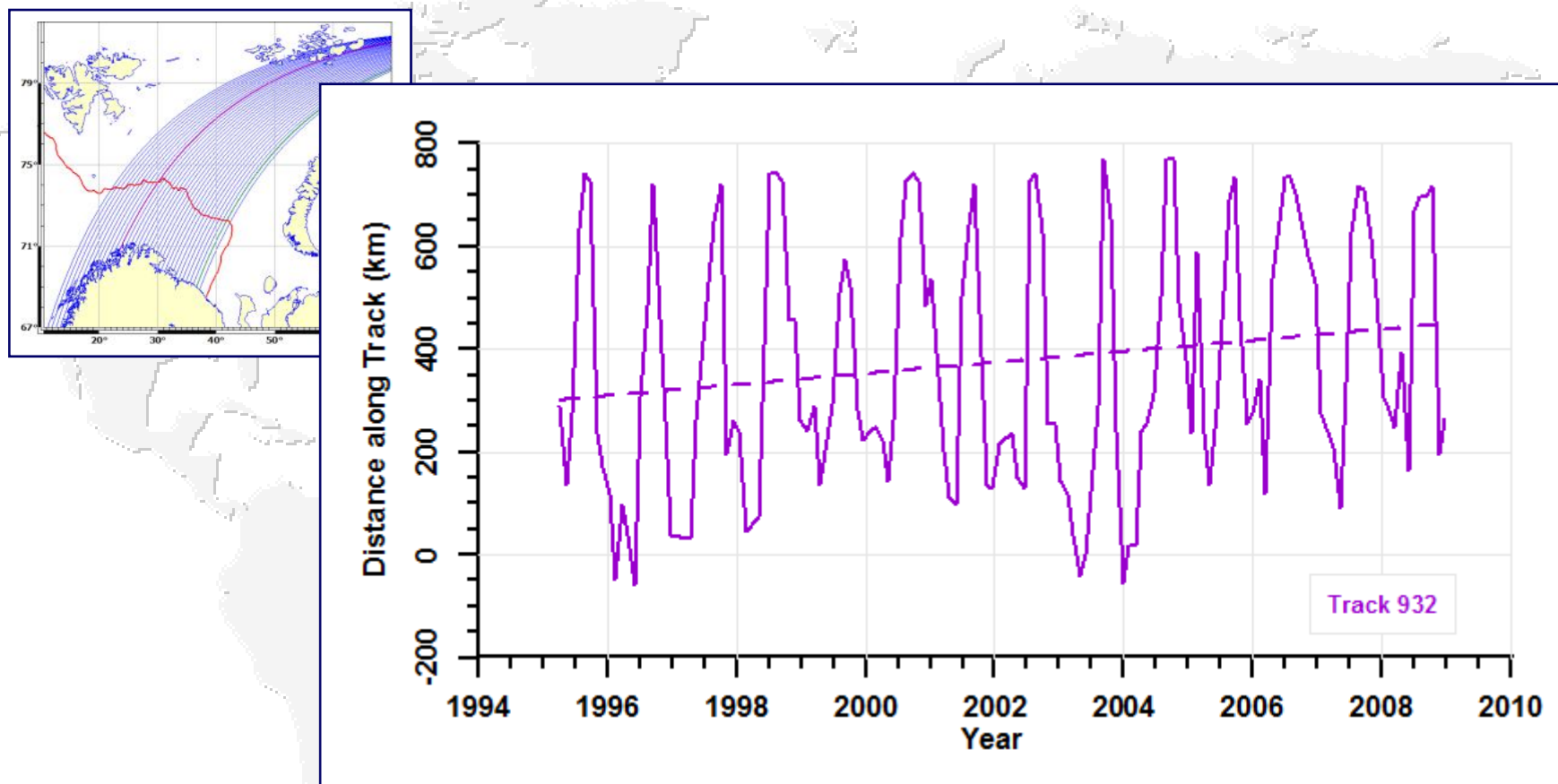


Седьмая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли»
Таруса, 24– 29 февраля 2016 г.

© 2016, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев



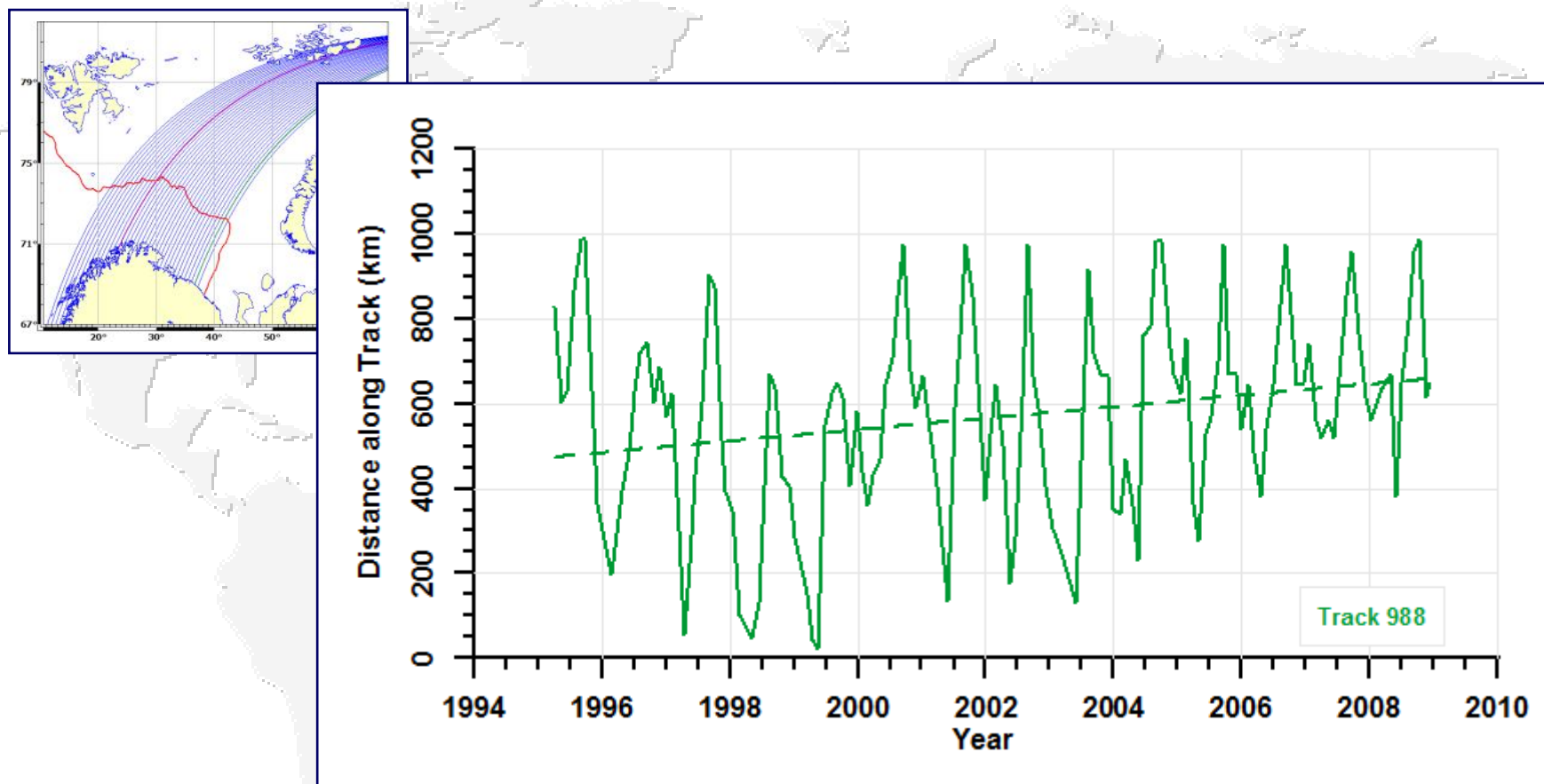
Климатическая изменчивость ледовой обстановки



Изменчивость положения кромки льда вдоль 932 трека изомаршрутных программ спутников ERS 1/2 и ENVISAT. За период с 1995 по 2009 скорость климатической изменчивости положения кромки льда составила $10,7 \pm 0,4$ км/год



Климатическая изменчивость ледовой обстановки



Изменчивость положения кромки льда вдоль 988 трека изомаршрутных программ спутников ERS 1/2 и ENVISAT. За период с 1995 по 2009 скорость климатической изменчивости положения кромки льда составила $13,2 \pm 0,6$ км/год



Спасибо за ВНИМАНИЕ



Седьмая Международная Школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли»
Таруса, 24– 29 февраля 2016 г.

© 2016, ГЦ РАН, ИКИ РАН, С.А. Лебедев

