# Колебания уровня в Баренцевом море по спутниковым данным

# Ю. П. Гудошников<sup>1</sup>, В. А. Рожков<sup>2</sup>, Е. А. Скутина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, 199397, Россия, E-mail: gup@aari.ru <sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет Санкт-Петербург, 199034, Россия E-mail: varozhk@gmail.com

Выполнен статистический анализ последовательности пространственно-временных полей уровня по данным спутниковых альтиметрических измерений в Баренцевом море с пространственным разрешением 0,25° по широте и долготе с дискретностью 1 сутки с 01.01.1993 по 31.12.2015. Для статистического анализа выбран район (68,5–75° с. ш., 20–47° в.д.) с учётом ареалов кромки льда. Исходными данными по ледовому режиму являются архивные материалы и результаты наблюдений последних лет — комплексные карты составляют по снимкам ИСЗ с дискретностью 1 неделя.

Дана оценка величины колебаний уровня океана в диапазонах синоптической, сезонной и межгодовой изменчивости. Показана пространственная неоднородность полей уровня, обусловленная системой течений и зонами дивергенции (конвергенции) моря, энергоактивными зонами взаимодействия Атлантического и Северного ледовитого океанов с атмосферой.

Для разведочного анализа используются данные в пяти характерных точках этого района. Для конфирматорного (подтверждающего) анализа сопоставлены среднемесячные данные о медиане и размахе колебаний уровня. За результативный анализ приняты карты уровня с привлечением всей имеющейся информации: в пределах контура 24 точки по широте и 28 точек по долготе. На этих картах приведены не только значения среднего уровня моря, но и среднего квадратического отклонения (СКО) по всем месяцам.

**Ключевые слова:** Баренцево море, спутниковые альтиметрические измерения уровня, статистический анализ натурных данных, разведочный анализ натурных данных, конфирматорный анализ натурных данных

> Одобрена к печати: 19.03.2018 DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-157-166

### Введение

Наиболее обстоятельные исследования колебаний уровня морей Северного Ледовитого океана (СЛО) по данным инструментальных измерений на 52 станциях с конца 1940-х и до 1990-х гг. ХХ века сделаны в работе (Воробьев и др., 2000). Однако только три из этих станций относятся к Баренцеву морю: Мурманск (68°58' с. ш., 33°58' в.д.), Югорский Шар (69°49' с. ш., 60°45' в.д.), Русская Гавань (76°12' с. ш., 65°35' в.д.). Анализ выполнен по среднемесячным значениям уровня, и при этом основное внимание уделено сезонным и многолетним колебаниям. Согласно данным работы (Воробьев и др., 2000), средние, максимальные и минимальные значения размаха межгодовых колебаний уровня (см) Баренцева моря оцениваются следующими значениями:

	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Среднее	36	27	25	36	23
Максимум	45	40	31	48	30
Минимум	24	21	16	23	15

В монографии (Прошутинский, 1993) обсуждаются особенности формирования собственных, приливных, сгонно-нагонных и сезонных колебаний уровня СЛО. В этой работе впервые для объяснения особенностей уровенного режима привлекается резонансная гипотеза возбуждения колебаний, рассчитаны периоды и пространственная структура собственных вод региона, в частности и для Баренцева моря (Прошутинский, 1993, табл. 1, с. 19–22). Приливо-отливные колебания уровня (суточные, полусуточные, мелководные) обсуждаются в терминах пространственно-временного распространения (фиктивных) волн, и для их описания используются термины «прогрессивные» или «стоячие», рассматривается региональное формирование прогрессивных волн. Например, для Баренцева моря характерно их атлантическое происхождение, обнаружена дополнительная амфидромическая точка между о. Колгуев и архипелагом Новая Земля, даны оценки максимальных приливных течений (Прошутинский, 1993, табл. 4, с. 48). Сгонно-нагонные колебания в шельфовой зоне СЛО практически повсеместно преобладают над приливными (это утверждение в работе (Прошутинский, 1993) противоречит статье (Воробьев и др., 2000)).

В СЛО практически в течение всего года существует область повышенного давления — Арктический антициклон (AAz), который является одним из центров действия атмосферы (ЦДА). Атмосферное давление в этом ЦДА ежегодно имеет максимум в марте – апреле (1024–1028 гПа) и минимум в июле – августе (1014–1018 гПа). Центр антициклона в течение года меняет своё положение по широте от 73° с. ш. до 80°58′ с. ш. и по долготе от 160° в.д. до 220° в.д. (≡140° з.д.).

Северо-Атлантическое колебание (NAO) оказывает заметное влияние на интенсивность и положение ААz и слабо зависит от северо-тихоокеанского колебания (NPO). Поэтому постоянно наблюдается перенос воздушных масс с востока на запад. Индекс трансарктического переноса (ИТП) (Воробьев, Смирнов, 2003) — разность атмосферного давления между точками (80° с. ш., 140° з.д.) и (75° с. ш., 60° в.д.). В северной части Баренцева моря расположен центр циклонического круговорота.

Неоднородность колебаний уровня в этой области обусловлена также и системой течений (Гидрометеорология..., 1990, рис. 7.7). Её составляют холодные течения, направленные из Арктического бассейна: прибрежное течение Земли Франца-Иосифа (1), течение Баренца (2), зюйд-капское (3), Медвежинское (4), Персея (5), центральное (6), Литке (7); тёплые течения, входящие в систему Северо-Атлантического течения: Южно-Шпицбергенское (8), Нордкапское (9) с ветвями северной (10), центральной (11) и южной (12), Мурманское (13), Мурманское прибрежное (14), Канинское (15), Колгуево-Печорское (16), Новоземельское (17); стоковые течения: Беломорсое (18) и Печорское (19). Данная система течений приведена и на *рис. 1* (см. с. 159).

В работе (Изменчивость..., 2004) выполнен анализ наблюдений за уровнем на 10 станциях Баренцева моря продолжительностью около 50 лет во второй половине XX столетия. Анализ проводился по среднемесячным значениям в отклонениях от среднемноголетних величин. Отметка среднего многолетнего уровня в общегосударственной системе абсолютных отметок (Балтийская система 1950 г.) для Баренцева моря равняется -0,46 м.

Минимальный уровень отмечается в апреле – мае. Максимум сезонного хода в юго-восточной части моря наступает в октябре – ноябре (19–38 см), в районе Новоземельских проливов в сентябре – октябре (24–35 см), а у побережья Новой земли — в октябре (18–26 см). В открытых районах Баренцева моря разность между минимальными и максимальными значениями среднемесячного уровня значительно меньше, чем на побережье, и не превышает 8–11 см.

Даже этот краткий обзор иллюстрирует новизну и актуальность анализа спутниковой информации об уровне моря, которая раньше не привлекалась для верификации модельных расчётов и для оценки синоптической изменчивости уровня Баренцева моря. В наших ранее опубликованных работах (Изменчивость..., 2004; Колдунов и др., 2011; Клеванцов и др., 2012; Рожков, Клеванцов, 2017) по спутниковой информации об уровне моря в Атлантическом и Тихом океанах уже был обозначен некоторый «трафаретный» подход к анализу таких данных (гипотеза, разведочный, конфирматорный и результативный анализ). Но для СЛО и Баренцева моря (как его части) он требует ряда уточнений.



Рис. 1. Схема постоянных течений для безлёдного периода по работе (Гидрометеорология..., 1990) и выбранные для разведочного анализа точки. (Цифры без обводки — скорость (см/с); цифры в кружочках — порядковые номера течений, перечисленных в тексте. Положение пяти точек — буквы, обозначающие румбы как идентификаторы точек)

В работе использован массив данных (http://www.aviso.altimery.fr/duacs/) об абсолютной динамической топографии уровня Баренцева моря, полученный на основе спутниковой альтиметрической информации с 01.01.1993 по 31.12.2013 с временной дискретностью 1 сутки и пространственным разрешением  $0,25^{\circ}$  по широте и долготе. Выбранный район ограничен координатами  $68,5-75^{\circ}$  с.ш.,  $20-47^{\circ}$  в.д. и содержит сведения об уровне моря в узловых точках в каждый из 8400 моментов времени.

#### Статистический анализ данных

Разведочный анализ ансамбля реализаций уровня моря  $\xi(\vec{r},t)$  предназначен для ответа на два вопроса:

- различие временной изменчивости с оценкой годового хода и синоптической составляющей;
- наличие пространственной неоднородности гипотетических районов.

Для разведочного анализа выберем следующие пять точек (см. *puc. 1*): 74,125° с.ш., 25,125° в.д. (СЗ); 74,125° с.ш., 45,125° в.д. (СВ); 72,125° с.ш., 25,125° в.д. (ЮЗ); 72,125° с.ш., 45,125° в.д. (ЮВ); 69,625° с.ш., 40,125° в.д. (Ю). Здесь в скобках даны румбы, они же далее используются в тексте как идентификаторы номеров точек. Их положение показано на *puc. 1* буквами. Из рисунка видно, что все пять точек относятся к областям дивергенции течений, т.е. находятся вне стрежней основных течений.

В этих районах параметры годовой ритмики и синоптической изменчивости временных рядов гипотетически различны.

Указанные точки акватории Баренцева моря были выбраны в соответствии с данными о среднем положении кромки льда.

Исходными данными по ледовому режиму являются архивные материалы и результаты наблюдений последних лет — ледовые карты, охватывающие период с 1950 по 2010 г.

Особо следует отметить, что с 1986 г. комплексные карты составляют по снимкам ИСЗ, при этом составление карт является круглогодичным с дискретностью 1 неделя.

Последние обобщённые сведения по границам распространения льда в вероятностной форме были представлены в работе (Гидрометеорология..., 1990) и ограничивались 1985 г. Данные последующих лет внесли существенные изменения в оценки положения кромки льда, ледовитости и других характеристик (Зубакин и др., 2011) за счёт более раннего начала таяния льдов.

Как правило, при проведении расчётов используют среднее положение кромки льда на акватории, для которой проводится оценка. Средние положения кромки льда на акватории Баренцева моря в периоды нарастания и таяния ледяного покрова, построенные по данным за 1950–2010 гг., приведены на *рис. 2*.



Рис. 2. Среднемесячное положение границ распространения льда в Баренцевом море: *а* — в период замерзания (данные 1934–1983 гг., (Зубакин, 1987)); *б* — с учётом глобального потепления (данные 1953–2010 гг., (Гидрометеорология..., 1990)); *в* — в период таяния (данные 1934–1983 гг., (Зубакин, 1987)); *г* — с учётом глобального потепления (данные 1953–2010 гг., (Гидрометеорология..., 1990))

#### Анализ временных рядов

На *рис. 3* приведены значения медиан  $Me = \xi_{0,5}$  и экстремумов  $\xi_{min}$ ,  $\xi_{max}$  для ежемесячных значений в контрольных точках по ежесуточным спутниковым данным уровня моря. Кроме того, на том же рисунке показано положение квартилей  $\xi_{0,25}$ ,  $\xi_{0,75}$  в виде торцов «ящика с усами».

На рисунке по квантильным трассам видно, что годовая ритмика присутствует во всех пяти выбранных районах (СВ, СЗ, ЮВ, ЮЗ, Ю).



Рис. 3. Квантильные диаграммы колебаний уровня моря

Для количественного описания пространственных различий временного хода реализаций  $\zeta(\vec{r},t)$  воспользуемся разложением их в ряд Фурье:

$$\zeta(\vec{r},t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{5} a_k(r_i) \cos k \frac{2\pi t}{T} + \sum b_k(r_i) \sin k \frac{2\pi t}{T},$$
(1)

где  $a_k, b_k$  — коэффициенты;  $r_i$  — номер точки; t — время (ежемесячные значения), T — год (12 значений).

В *табл.* 1 приведены значения амплитуд  $c_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$  (в сантиметрах) и фаз  $\psi_k = \arctan(b_k/a_k)$  (в месяцах) для годового хода медиан  $Me(\zeta)$  и размаха  $R = \zeta_{max} - \zeta_{min}$  по их значениям из *рис.* 3 по коэффициентам  $a_k$ ,  $b_k$ .

	·									
Параметр	Годовой ход медиан в точке				Годовой ход размахов в точке					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	(C3)	(CB)	(ЮЗ)	(ЮВ)	(HO)	(C3)	(CB)	(ЮЗ)	(ЮВ)	(Ю)
<i>c</i> <sub>0</sub>	6,8	6,3	6,7	7,3	7,2	43,6	64,3	60,5	61,4	76,3
<i>c</i> <sub>1</sub>	4,0	5,0	6,5	6,5	8,1	11,1	17,9	12,4	16,1	18,0
<i>c</i> <sub>2</sub>	1,1	1,6	1,9	2,0	1,7	4,7	5,6	4,0	6,2	6,7
<i>c</i> <sub>3</sub>	0,5	1,2	1,7	1,6	1,6	3,8	5,6	4,3	4,5	6,0
<i>c</i> <sub>4</sub>	1,2	1,6	2,3	2,1	2,5	4,9	5,8	6,7	6,9	8,4
<i>c</i> <sub>5</sub>	1,5	1,6	1,8	2,0	2,0	5,8	8,5	6,7	9,9	12,1
$\psi_1$	11,1	10,7	10,2	10,2	9,8	8,5	8,8	8,6	8,7	8,8
$\psi_2$	5,0	5,2	4,8	5,0	4,7	4,1	4,6	4,3	4,2	4,6
$\psi_3$	2,7	3,0	3,0	2,9	2,9	3,0	3,2	3,1	4,8	3,1
$\psi_4$	2,3	2,4	2,3	2,4	2,3	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3
$\psi_5$	1,8	1,8	1,9	1,9	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,8

*Таблица 1*. Значения амплитуд ( $c_k$ , см) и фаз ( $\psi_k$ , мес) для годового хода медиан и размахов значений уровня моря

Аппроксимируем аддитивную составляющую межгодовой изменчивости (АСМИ) — последовательность среднегодовых значений *m<sub>i</sub>* — моделью линейной регрессии:

$$m_i = \beta_0 + \beta_1 t_i + \varepsilon_i, \quad t_i \ge 1995, \tag{2}$$

где  $\beta_0, \beta_1$  — параметры;  $\varepsilon_i$  — белый шум с дисперсией  $D_{\varepsilon}$ .

Оценки параметров вычисляют по формулам:

$$\beta_{1}^{*} = \frac{\sum_{i} (t_{i} - \overline{t})(m_{i} - \overline{m})}{\sum_{i} (t_{i} - \overline{t})^{2}}, \quad \beta_{0}^{*} = \overline{m} - \beta_{1}^{*} \overline{t};$$
(3)

где  $t_i$  — годы наблюдений;  $m_i$  — среднегодовое значение уровня за год  $t_i$ ;  $\overline{m}$  — средний уровень моря за период наблюдений;  $\overline{t}$  — среднее значение лет наблюдений.

Пронумеруем годы наблюдений и будем рассматривать моменты времени  $t'_i = t_i - 1994$ . Тогда уравнение (2) запишется в виде:

$$m_i = \beta_0' + \beta_1 t_i',$$

где  $t'_i \ge 1$ ;  $\beta'_0 = \beta_0 + 1994\beta_1$ . Соответствующие линии регрессии приведены на *рис. 4* (см. с. 163). В *табл. 2* приведены значения параметров аппроксимации линейного тренда.



Рис. 4. Изменение среднего уровня и СКО уровня для каждой точки, см

Параметр	Точка							
	1 (C3)	2 (CB)	3 (ЮЗ)	4 (IOB)	5 (Ю)			
$\overline{m}$	3,31	3,00	3,46	3,45	3,66			
$\beta_1$	0,27	0,29	0,35	0,34	0,41			
$\beta'_0$	0,44	-0,24	-0,38	-0,34	-0,77			

*Таблица 2*. Среднее значение уровня моря  $\overline{m}$  и коэффициенты регрессии  $\beta_1$  и  $\beta_0'$ 



*Рис. 5.* Пространственное распределение уровня: средние значения (a, e) и СКО (f, c) в январе и июле, см

### Пространственное распределение уровня

Пространственное распределение уровня показано на рис. 5 через средние значения и СКО.

Зимой низкие значения (4—6 см) уровня наблюдаются на севере, ложбина — на северовостоке, к югу они возрастают до 10 см; СКО составляет 4—8 см с тенденцией к изменению с запада на восток (*puc 5a*,  $\delta$ ; январь).

Весной значения уровня понижаются до 2 см на севере и до отрицательных величин на юге, СКО меняются от 2 см на востоке до 8 см на западе.

Летом ложбина смещается на юг, СКО изменяется от 2 см на севере до 6 см на юге (*puc. 5в*, *г*; июль).

Осенью высокие значения уровня (более 10 см) наблюдаются на юге, СКО — от 4 см на северо-западе до 8 см на юго-западе.

Отсюда, по крайней мере, следует, что оценки размаха колебаний уровня, полученные расчётным путём и приведённые во введении к работе (Воробьев и др., 2000), являются завышенными и не подтверждаются спутниковой информацией.

#### Заключение

В настоящей работе впервые выполнен статистический анализ колебаний уровня Баренцева моря по многолетней спутниковой информации с суточной дискретностью. До сих пор сведения об уровне моря и течениях были систематизированы в работе (Гидрометеорология..., 1990), в которой уровень представлен по данным его измерения в отдельных точках моря.

Специфика Баренцева моря состоит в том, что оно частично замерзающее, поэтому для анализа колебаний уровня выбран район, круглогодично свободный ото льда.

Благодаря суточной дискретности исходных данных (вместо ранее используемой недельной дискретности) удалось сравнить (см. *табл. 1*) по размаху колебаний синоптическую изменчивость уровня (цикличность несколько суток) с его сезонной изменчивостью.

Благодаря пространственной дискретности исходных данных (десятки километров) вместо используемой ранее (сотни километров) удалось перейти от описания колебаний уровня в отдельных точках к его описанию в заданной области (см. *рис. 5*).

## Литература

- 1. Воробьев В. Н., Смирнов Н. П. Арктический антициклон и динамика климата северной полярной области. СПб.: РГГМУ, 2003. 82 с.
- 2. *Воробьев В. Н., Кочанов С. Ю., Смирнов Н. П.* Сезонные и многолетние колебания уровня морей Северного Ледовитого океана. СПб.: РГГМУ, 2000. 114 с.
- 3. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 280 с.
- 4. *Зубакин Г. К.* Крупномасштабная изменчивость ледяного покрова морей Северо-Европейского бассейна. Л.: Гидрометиздат, 1987. 160 с.
- Зубакин Г.К., Бузин И.В., Скутина Е.А., Борисов Р.А., Иванов В.В., Лебедев А.А. Оценки экстремальных ледовых сезонов в Печорском море и условия их формирования // 10-я Международная конференция RAO/CIS Offshore 2011: сб. тр. конф. Санкт-Петербург, 13–16 сентября 2011 г. СПб.: Химиздат, 2011. С. 106–112.
- 6. Изменчивость природных условий в шельфовой зоне Баренцева и Карского морей. СПб.: ААНИИ, 2004. 431 с.
- 7. *Клеванцов Ю. П., Колдунов В. В., Рожков В. А., Смирнов К. Г.* Пространственно-временной ковариационный анализ колебаний уровня Тихого океана // Известия РГО. 2012. Т. 144. Вып. 1. С. 39–50.
- 8. *Колдунов В. В., Рожков В. А., Смирнов К. Г.* Экспресс-анализ пространственно- временной изменчивости колебаний уровня Тихого океана // Известия РГО. 2011. Т. 143. Вып. 5. С. 15–26.
- 9. *Прошутинский А.Ю.* Колебания уровня Северного Ледовитого океана. СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. 216 с.
- 10. *Рожков В.А., Клеванцов Ю. П.* Колебания уровня и мезомасштабные вихри в северной части Атлантического океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. № 4. С. 169–178.

# Sea level fluctuations in the Barents Sea according to satellite data

Yu. P. Gudoshnikov<sup>1</sup>, V. A. Rozhkov<sup>2</sup>, E. A. Skutina<sup>1</sup>

 <sup>1</sup> Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg 199397, Russia E-mail: gup@aari.ru
 <sup>2</sup> Saint Petersburg State University, St. Petersburg 199034, Russia E-mail: varozhk@gmail.com

A statistical analysis of the sequence of space-time sea level fields obtained from the data of the satellite altimeter measurements of the Barents Sea is performed in the article. The space resolution of data is  $0.25^{\circ}$  LAT/LON with 1 day time discreteness, the studied period is from 01.01.1993 to 31.12.2015. The region under consideration is within  $68.5-75^{\circ}$  N,  $20-47^{\circ}$  E taking into account the seasonal variation of the ice edge. The initial data on the ice regime are archive materials and observations of the recent years (the complex ice charts are plotted on the basis of the satellite images with 1 week discreteness).

Estimations of sea level fluctuations in synoptic, seasonal and interannual variability ranges are performed. The spatial inhomogeneity of level fields driven by the system of currents and ocean divergence (convergence) zones, energy-active zones of Atlantic and Arctic Oceans-atmosphere interaction, is shown.

Data in 5 characteristic points of this region are used for an exploratory analysis. The average monthly data on median and range of level fluctuations are compared for the confirmatory analysis. Level maps with attraction of all available information are taken as resultative (effective) analysis: 24 points situated latitudelly and 28 points situated longitudelly within the studied domain. The values of the mean sea level and also values of mean-root-square-deviation for all months are given on these maps.

**Keywords:** Barents Sea, satellite altimeter level measurements, statistical analysis of the field data, exploratory analysis of the field data, confirmatory analysis of the field data

Accepted: 19.03.2018 DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-157-166

## References

- 1. Vorob'ev V. N., Smirnov N. P., *Arkticheskii antitsiklon i dinamika klimata severnoi polyarnoi oblasti* (Polar anticyclone and climate dynamics of the north polar area), St. Petersburg: RGGMU, 2003, 82 p.
- Vorob'ev V. N., Kochanov S. Yu., Smirnov N. P., Sezonnye i mnogoletnie kolebaniya urovnya morei Severnogo Ledovitogo okeana (Seasonal and multiyear level fluctuations of the Arctic Ocean seas), St. Petersburg: RGGMU, 2000, 114 p.
- 3. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei SSSR* (Hydrometeorology and hydrochemistry of USSR seas), Vol. 1, Barentsevo more, Issue 1, Gidrometeorologicheskie usloviya, Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990, 280 p.
- 4. Zubakin G. K., *Krupnomasshtabnaya izmenchivost' ledyanogo pokrova morei Severo-Evropeiskogo basseina* (A large-scale variability of the ice cover of the North-European basin seas), Leningrad: Gidrometizdat, 1987, 160 p.
- Zubakin G. K., Buzin I. V., Skutina E. A., Borisov R. A., Ivanov V. V., Lebedev A. A., Otsenki ekstremal'nykh ledovykh sezonov v Pechorskom more i usloviya ikh formirovaniya (Estimates of the extreme ice seasons in the Pechora Sea and conditions of their formation), *Proc. 10<sup>th</sup> International Conference RAO/CIS Offshore 2011*, Saint Petersburg, 13–16 September 2011, St. Petersburg: Khimizdat, 2011, pp. 106–112.
- 6. *Izmenchivost' prirodnykh uslovii v shel'fovoi zone Barentseva i Karskogo morei* (Variability of the nature conditions in the shelf zone of the Barents and Kara Seas), St. Petersburg: AANII, 2004, 431 p.
- 7. Klevantsov Yu. P., Koldunov V. V., Rozhkov V. A., Smirnov K. G., *Prostranstvenno-vremennoi kovariatsionnyi analiz kolebanii urovnya Tikhogo okeana* (A spatial-time covariance analysis of the level fluctuations of the Pacific Ocean), Izvestiya RGO, 2012, Vol. 144, No. 1, pp. 39–50.
- 8. Koldunov V. V., Rozhkov V.A., Smirnov K.G., *Ekspress-analiz prostranstvenno-vremennoi izmenchivosti kolebanii urovnya Tikhogo okeana* (Rapid analysis of the spatially-time variability of level fluctuations of the Pacific Ocean), Izvestiya RGO, 2011, Vol. 143, No. 5, pp. 15–26.
- 9. Proshutinskii A. Yu., *Kolebaniya urovnya Severnogo Ledovitogo okeana* (Level fluctuations of the Arctic Ocean), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1993, 216 p.
- Rozhkov V.A., Klevantsov Yu.P., Kolebaniya urovnya i mezomasshtabnye vikhri v severnoi chasti Atlanticheskogo okeana (Level fluctuations and mesoscale turbulences in the north part of the Atlantic Ocean), Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, 2017, No. 4, pp. 169–178.