

**Региональные особенности распределения  
частоты Вьясяля – Брента  
в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском**

**А. А. Букатов, Е. А. Павленко\*, Н. М. Соловей**

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*

*\*E-mail: mhi.pavlenko@gmail.com*

Поступила в редакцию 14.02.2019 г., после доработки – 8.04.2019 г.

*Цель.* Исследуются региональные особенности распределения частоты плавучести в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском. Оцениваются корреляционные связи внутригодовой изменчивости максимума частоты Вьясяля – Брента с климатическими индексами, отражающими состояние атмосферы и гидросферы.

*Методы и результаты.* В работе используются данные климатического атласа *World Ocean Atlas 2013* за 1955–2012 гг. Установлено, что наибольшие значения частоты Вьясяля – Брента наблюдаются в летний период в приустьевых участках рек Лены, Хатанги, Колымы и Индигирки, где достигают 70–86 цикл/час. В глубоководных северных районах исследуемых морей большая часть акватории на протяжении всего года покрыта льдами, вследствие этого поверхностный слой воды прогревается слабо, устойчивость стратификации значительно меньше. Значения частоты плавучести в сезонном пикноклине достигают 24–46 цикл/час. В северном и юго-восточном районах Восточно-Сибирского моря в результате адвекции трансформированных тихоокеанских вод на глубинах 25–55 м наблюдается слой постоянного пикноклина, в котором значения частоты Вьясяля – Брента могут достигать 21 цикл/час. Выполнен корреляционный анализ связей между внутригодовой изменчивостью максимума частоты Вьясяля – Брента и отражающими состояние атмосферы и гидросферы климатическими индексами: Североатлантическим колебанием, Арктическим колебанием, Тихоокеанским декадным колебанием, индексом положения северной границы течения Гольфстрим. Показано, что наиболее тесная зависимость проявляется между максимумом частоты плавучести и двумя последними индексами.

*Выводы.* В результате проведенных исследований показано, что особенности пространственно-временной изменчивости распределения частоты плавучести и глубины залегания ее максимума в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском определяются речным стоком, а также адвекцией в Арктический регион атлантических и трансформированных тихоокеанских вод, поступающих из прилегающих бассейнов.

**Ключевые слова:** Арктика, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море, частота Вьясяля – Брента, устойчивость вод, вертикальная структура вод.

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0003.

**Для цитирования:** Букатов А. А., Павленко Е. А., Соловей Н. М. Региональные особенности распределения частоты Вьясяля – Брента в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35, № 5. С. 437–448. doi:10.22449/0233-7584-2019-5-437-448

# Regional Features of the Buoyancy Frequency Distribution in the Laptev and East Siberian Seas

A. A. Bukatov, E. A. Pavlenko\*, N. M. Solovei

*Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia*

*\*e-mail: mhi.pavlenko@gmail.com*

*Purpose.* The aim of the paper is to study buoyancy frequency in the Laptev and East Siberian seas and to assess correlation relations between the intra-year variability of the Väisäl – Brent frequency maximum and the climatic indices reflecting the atmosphere and hydrosphere state.

*Methods and Results.* Based on the World Ocean Atlas 2013 for 1955–2012, the features of spatial and temporal variability of the buoyancy frequency distribution and its maximum depth in the Laptev and East Siberian seas are considered. It is found that the highest values of the Väisäl – Brent frequency are observed in the estuaries of the rivers Lena, Khatanga, Kolyma and Indigirka in summer where they attain 70–86 cycle/hour. In the deep-water northern areas of the seas under study, the majority of the water area is covered with ice throughout the whole year. As a consequence the surface layer of water is heated slightly and stability of stratification is much lower. The buoyancy frequency values in the seasonal pycnocline attain 24–46 cycle/hour. As a result of advection of the transformed Pacific waters in the northern and southeastern regions of the East Siberian Sea, on the depths 25–55 m observed is the layer of constant pycnocline where the Väisäl – Brent frequency values can amount to 21 cycles/hour. Correlation analysis is performed for the relations between the intra-annual variability of the Väisäl – Brent frequency maximum and the climatic indices (North Atlantic Oscillation, Arctic Oscillation, Pacific Decadal Oscillation, Gulf Stream North Wall) reflecting the atmosphere and hydrosphere state. It is shown that relationship between the buoyancy frequency maximum and the two latter indices is the most pronounced.

*Conclusions.* The results of the carried out investigations show that the features of spatial-temporal variability of the buoyancy frequency distribution and its maximum depth in the Laptev and East Siberian seas are conditioned by the river discharge and also by advection in the Arctic region of the Atlantic and transformed Pacific waters inflowing from the adjacent basins.

**Keywords:** Arctic, Laptev Sea, East Siberian Sea, buoyancy frequency, water stability, water vertical structure.

**Acknowledgments:** the investigation is carried out within the framework of the state task on theme No. 0827-2019-0003.

**For citation:** Bukatov, A.A, Pavlenko, E.A. and Solovei, N.M., 2019. Regional Features of the Buoyancy Frequency Distribution in the Laptev and East Siberian Seas. *Physical Oceanography*, [e-journal] 26(5), pp. 387-396. doi:10.22449/1573-160X-2019-5-387-396

## Введение

В условиях современных климатических изменений в Арктике все большую актуальность приобретают исследования сезонной и межгодовой изменчивости гидрологического режима морей Арктической зоны Российской Федерации. Это обусловлено наличием уникальных природных ресурсов в данном регионе, а также перспективами развития транспортного потенциала Северного морского пути [1–2]. К анализу пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических характеристик арктических морей России обращались многие авторы [3–10]. С ростом обеспеченности гидрологическими данными, улучшением качества измерений в экспедициях, совершенствованием методик их обработки появляется возможность с большей достоверностью описать состояние и климатическую изменчивость гидрологического режима арктических морей. К наиболее значимым гидрологическим характеристикам

относится плотность морской воды. Устойчивость вод – один из основных факторов, определяющих глубину вертикального конвективного перемешивания вод [11, 12]. Частота Вьясяля – Брента (частота плавучести) – параметр, характеризующий вертикальную плотностную стратификацию вод.

В настоящей работе изучено региональное распределение частоты плавучести в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском на климатическом масштабе. Получены оценки корреляционной связи внутригодовой изменчивости максимума частоты Вьясяля – Брента с климатическими индексами, отражающими состояние атмосферы и гидросферы.

### Материалы и методика

В качестве исходных данных использовались климатические среднемесячные массивы температуры и солёности из *World Ocean Atlas 2013* [13, 14] за период с 1955 по 2012 гг. в узлах  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  сетки с шагом 5 м по глубине до горизонта 100 м и шагом 25 м – до горизонта 150 м. Область исследования ограничена параллелями  $68^\circ$  и  $81^\circ$  с. ш. и меридианами  $95^\circ$  и  $180^\circ$  в. д. По среднемесячным значениям температуры и солёности рассчитывалась плотность. Полученные данные тестировались на выявление инверсий и при необходимости корректировались путем замены инверсионных величин значениями, интерполированными по соседним горизонтам. Для каждого узла сетки рассчитывались климатические среднемесячные профили значений частоты Вьясяля – Брента ( $N$ , цикл/час) по формуле

$$N^2(z) = \frac{g}{\rho} \frac{d\rho}{dz},$$

где  $z$  – глубина;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\rho$  – плотность [15].

Определялся максимум частоты Вьясяля – Брента по глубине  $N_{\max}(z)$  и глубина его залегания  $Z$ . Для характеристики пространственно-временной изменчивости устойчивости вод рассчитаны среднемесячные профили частоты плавучести для районов с различной гидрологической структурой. Пространственное осреднение значений частоты плавучести производилось на каждом горизонте для выделенных районов.

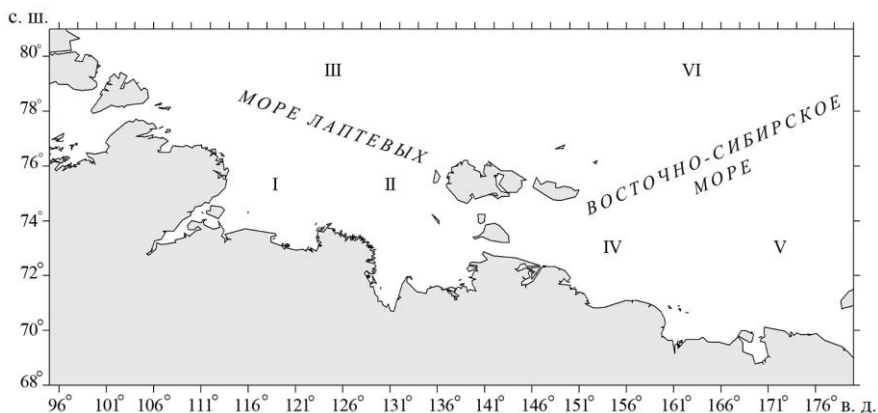
Проведен корреляционный анализ между внутригодовой изменчивостью максимума частоты Вьясяля – Брента и глобальными климатическими индексами: Северо-Атлантическим колебанием (САК), Арктическим колебанием (АК) (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>), Тихоокеанским декадным колебанием (ТДК) (<http://jisao.washington.edu/pdo>), а также индексом положения северной границы течения Гольфстрим (ИГ) (<http://www.pml-gulfstream.org>).

### Анализ результатов

Гидрологические условия морей Лаптевых и Восточно-Сибирского главным образом определяются их географическим положением (свободным сообщением с Центральным Арктическим бассейном), материковым стоком, а также большой ледовитостью [3, 4]. Общий объем материкового стока в море Лаптевых составляет 30 % от суммарного объема материкового стока

во все арктические моря России. Объем стока в Восточно-Сибирское море значительно меньше – около 10 % от суммарного стока <sup>1</sup>.

На основе обобщения особенностей вертикальной структуры плотности и геострофической циркуляции были выделены районы с разной гидрологической структурой вод (рис. 1): в море Лаптевых – юго-западный (73°–76° с. ш. и 109°–125° в. д.), юго-восточный (70°–76° с. ш. и 125°–143° в. д.), северный (76°–81° с. ш. и 100–143° в. д.); в Восточно-Сибирском море – юго-западный (69°–76° с. ш. и 143°–165° в. д.), юго-восточный (69°–76° с. ш. и 165°–180° в. д.) и северный (76°–81° с. ш. и 143°–180° в. д.).



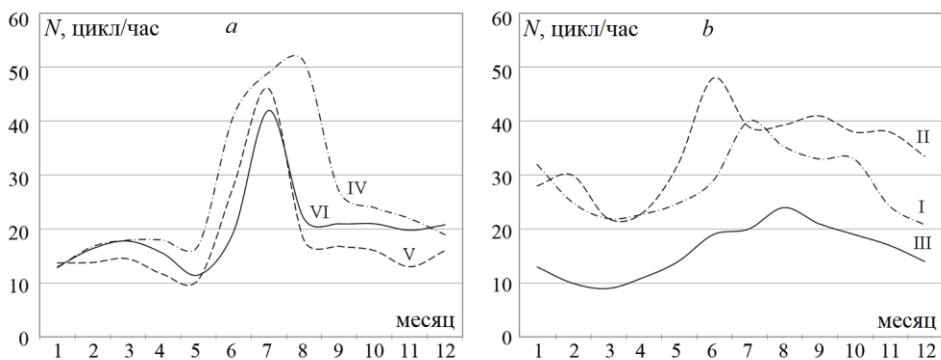
**Р и с. 1.** Схема районирования моря Лаптевых: юго-западный район (I), юго-восточный (II), северный (III); Восточно-Сибирского моря: юго-западный район (IV), юго-восточный (V), северный (VI)

**F i g. 1.** Scheme of the regions in the Laptev Sea: southwestern (I), southeastern (II) and northern (III); in the East Siberian Sea: southwestern (IV), southeastern (V) and northern (VI)

Большую часть акваторий морей Лаптевых и Восточно-Сибирского до глубин 30–50 м занимает поверхностная арктическая водная масса, поступающая из Северного Ледовитого океана <sup>1</sup>. Она характеризуется низкими значениями температуры и невысокими значениями солености. В зонах сильного влияния берегового стока (районы I, II, IV) в результате смешения речных и поверхностных арктических вод образуется вода с относительно высокой температурой и низкой соленостью. На границе их раздела (горизонт 5–10 м) создаются большие градиенты солености и плотности. В более глубоководных северных районах (III, VI) под поверхностными арктическими водами располагается более соленая и холодная прослойка, образующаяся в результате смешения поверхностной арктической и глубинной атлантической водных масс [16]. Вертикальная структура северной и восточной частей Восточно-Сибирского моря формируется также под влиянием адвекции трансформированных тихоокеанских вод, поступающих через пролив Лонга или вдоль северного берега о-ва Врангеля из Чукотского моря. В благоприятные по ледовым условиям годы в районах V, VI трансформированная тихоокеанская водная масса, характеризующаяся повышенными значениями температуры и солености, вытесняет арктические воды и располагается над придонной водой [17].

<sup>1</sup> Добровольский А. Д., Залогин Б. С. Моря СССР. М. : Изд-во МГУ, 1982. 192 с.

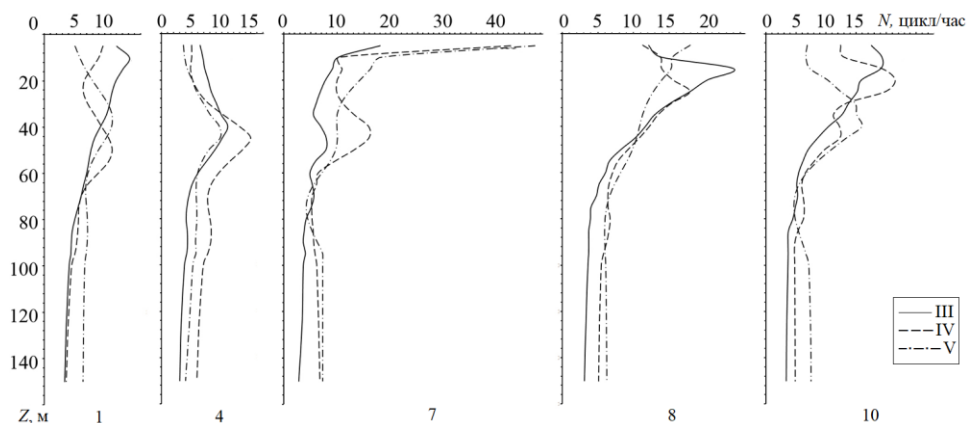
Анализ климатического внутригодового хода максимума частоты плавучести в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском (рис. 2) показал, что максимальные значения частоты плавучести наблюдаются в июне – августе, а минимальные в марте – мае. При этом в южных районах моря Лаптевых второй максимум в январе – феврале. В море Лаптевых размах годового хода  $N_{\max}(z)$  составляет 14–27 цикл/час, а в Восточно-Сибирском море – 30–36 цикл/час.



**Р и с. 2.** Климатический внутригодовой ход максимума частоты плавучести в Восточно-Сибирском море (а), море Лаптевых (б). Римскими цифрами обозначены районы морей  
**F i g. 2.** Climatic intra-year variation of the buoyancy frequency maximum in the East Siberian Sea (a) and the Laptev Sea (b). Roman numerals denote the regions of the seas

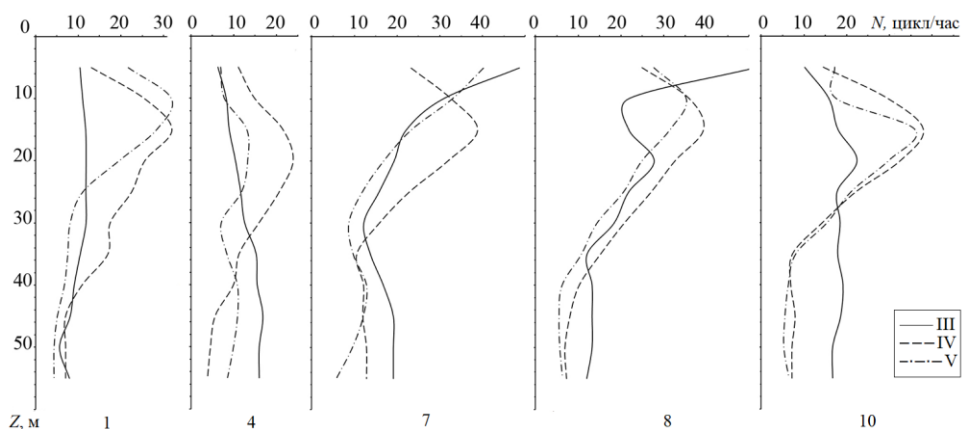
Плотностная стратификация вод начинает увеличиваться в конце весны, когда верхний слой воды опресняется и прогревается вследствие таяния льдов и увеличения стока рек. Речные воды из-за малой плотности растекаются по поверхности холодных морских вод и прослеживаются на значительном удалении от устьевых областей<sup>1</sup>. В теплый период года плотностная стратификация наибольшая в юго-восточной и юго-западной частях моря Лаптевых (рис. 2, б; 3, 4). В устье реки Лены значения  $N_{\max}(z)$  в июле достигают 86 цикл/час, в устье реки Хатанга – 75 цикл/час (рис. 5). В юго-восточной части моря Лаптевых, куда под действием циклонической циркуляции в поверхностном слое моря распространяется большая часть вод стока рек Хатанги и Лены, пикноклин прослеживается на протяжении всего года. Максимум во внутригодовом цикле устойчивости вод в юго-восточном и юго-западном районах моря Лаптевых отмечается в июне ( $N_{\max}(z) = 48$  цикл/час) и июле ( $N_{\max}(z) = 40$  цикл/час) при глубине залегания максимума 5 м (рис. 2, б). Ветровое перемешивание на свободных ото льда пространствах моря Лаптевых в летний период развито слабо, что способствует увеличению плотностной стратификации вод<sup>1</sup>.

В более глубоководных северных районах моря Лаптевых в теплый период года стратификация значительно меньше, чем в южной части моря. Большая часть северной половины моря покрыта льдами, и поверхностный слой воды прогревается слабо. Здесь устойчивость вод достигает наибольших значений в августе, при этом среднее значение  $N_{\max}(z)$  составляет 24 цикл/час, а  $Z_{\max} = 15$  м (рис. 2, б; 6).

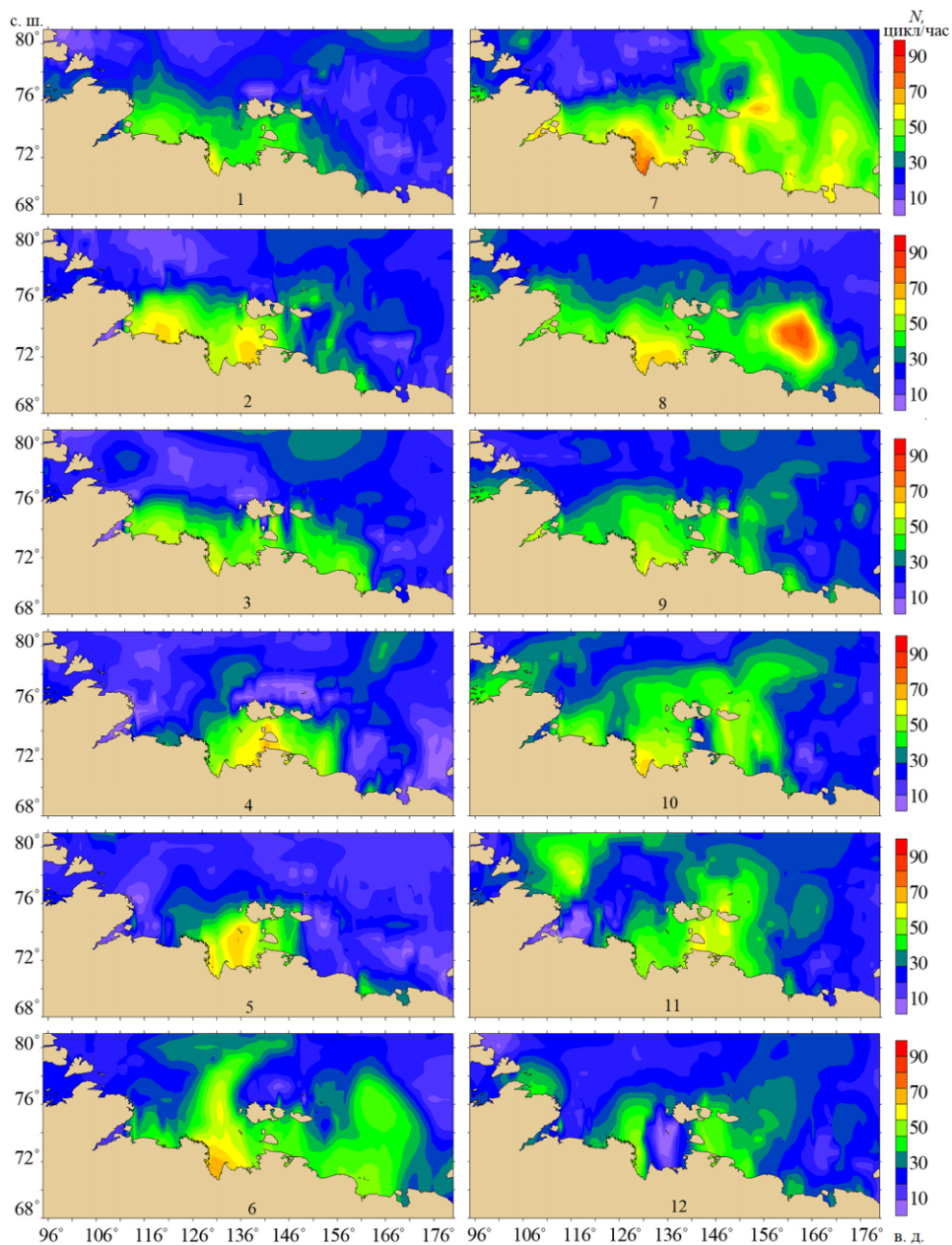


**Р и с. 3.** Среднемесячные профили частоты плавучести. Арабскими цифрами на рисунке обозначены месяцы, римскими – районы морей  
**F i g. 3.** Monthly average profiles of buoyancy frequency. Arabic numerals denote months, Roman numerals – regions of the seas

В Восточно-Сибирском море расслоение вод по плотности наиболее выражено на юго-западе моря, куда через проливы Лаптева и Санникова поступают распресненные воды прибрежного течения, а также воды материкового стока рек Колымы и Индигирки. В этом районе пикноклин прослеживается с июня по сентябрь, а к концу теплого периода года разрушается под действием ветрового перемешивания (рис. 4). В приустьевых участках значения  $N_{\max}(z)$  достигают 70–85 цикл/час (рис. 5). Внутригодовой максимум устойчивости в юго-западном районе Восточно-Сибирского моря приходится на август. Среднее значение  $N_{\max}(z)$  равно 51 цикл/час, при этом глубина залегания максимума – 5 м (рис. 2, а; 6).



**Р и с. 4.** Среднемесячные профили частоты плавучести. Арабскими цифрами на рисунке обозначены месяцы, римскими – районы морей  
**F i g. 4.** Monthly average profiles of buoyancy frequency. Arabic numerals denote months, Roman numerals – regions of the seas



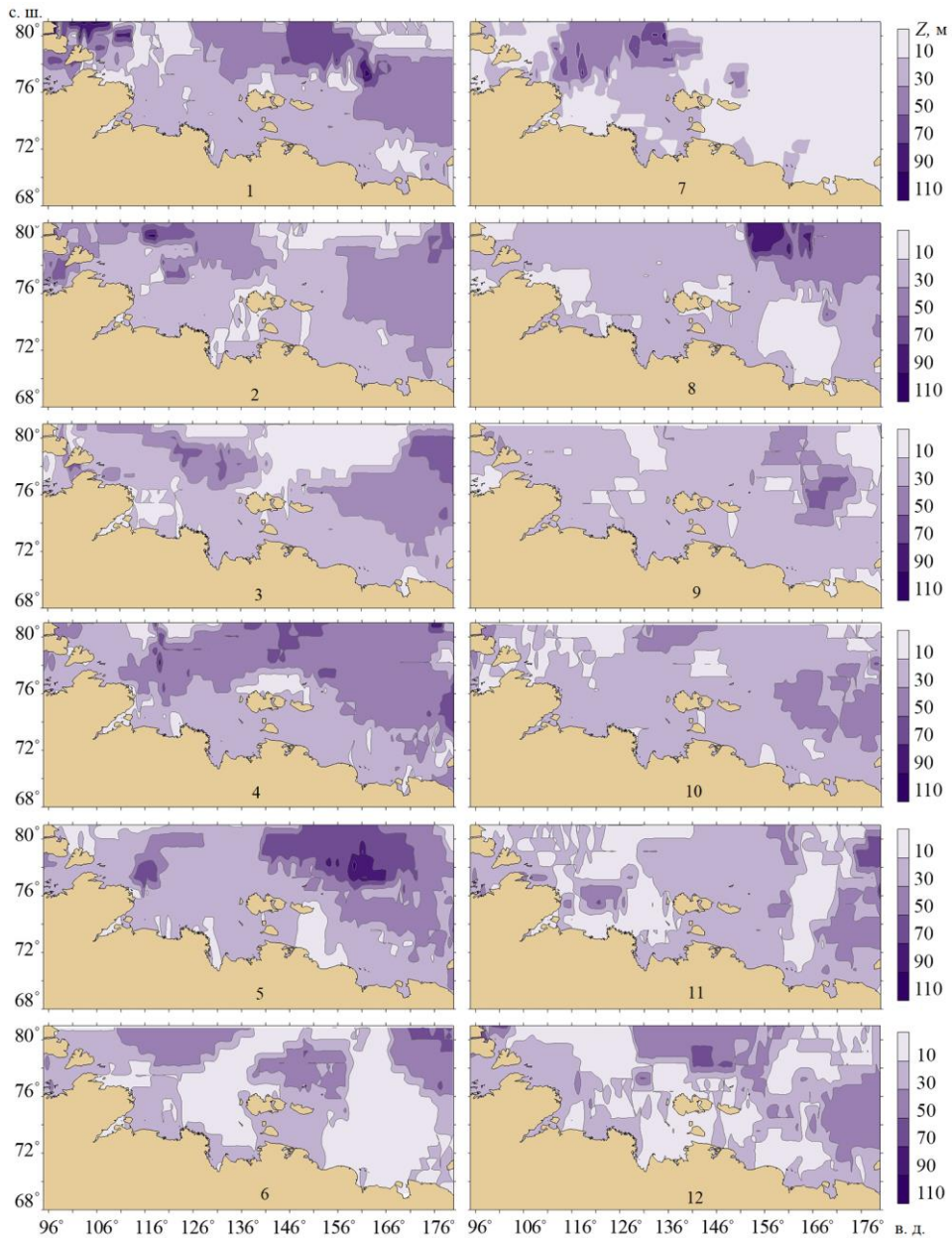
**Р и с. 5.** Карты распределения среднемесячных значений максимума частоты плавучести в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском

**Fig. 5.** Charts of distribution of monthly average values of the buoyancy frequency maximum in the Laptev and East Siberian seas

В более глубоководных районах моря (V, VI) максимум внутригодового цикла устойчивости вод приходится на июль (рис. 2, *a*): в юго-восточном районе моря (V) среднее значение  $N_{\max}(z)$  составляет 46 цикл/час, а в северном (VI) – 42 цикл/час, для обоих районов  $Z_{\max} = 5$  м (рис. 2, *a*; б). Причем большие градиенты плотности в юго-восточном и северном районах



моря отмечаются на протяжении всего года на глубинах 25–55 м (см. рис. 3). Эти глубины соответствуют слою постоянного пикноклина, разделяющего придонные воды и поверхностные арктические или тихоокеанские воды, поступающие из Чукотского моря [16, 17]. Значения  $N_{\max}(z)$  в юго-восточном и северном районах в слое постоянного скачка плотности достигают в теплый период года 12 и 18 цикл/час соответственно.



**Р и с. 6.** Карты распределения среднемесячных значений глубины залегания максимума частоты плавучести в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском

**Fig. 6.** Charts of distribution of monthly average values of the buoyancy frequency maximum depth in the Laptev and East Siberian seas



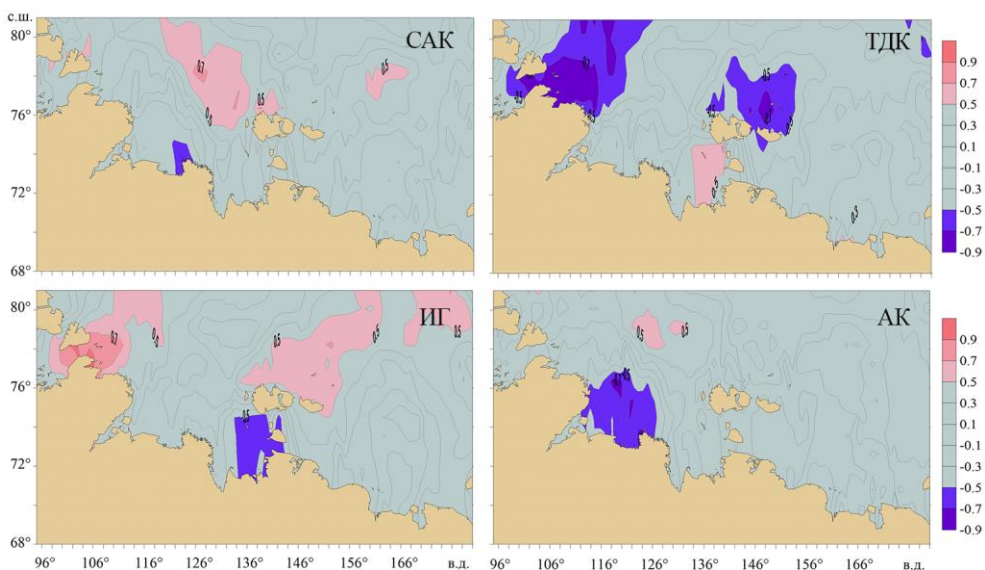
В октябре речной сток уменьшается, начинается ледообразование, происходит осолонение и охлаждение поверхностных вод, начинается развитие конвекции. В южных районах моря Лаптевых, в зоне влияния стока реки Лены, речные воды распространяются подо льдом в виде распресненных линз<sup>1</sup>. Здесь пикноклин прослеживается на протяжении всего холодного периода года. При этом плотностная стратификация максимальна на юго-восточном шельфе моря.

В зимний период в заливе Буор-Хая значения  $N_{\max}(z)$  достигают 73 цикл/час. Зимой слой скачка плотности находится на глубинах 10–15 м, а весной заглубляется до 25 м (рис. 5, 6).

К концу зимнего периода в северных районах моря Лаптевых конвективное перемешивание распространяется до горизонтов 100–150 м. Это связано с небольшой степенью расслоения вод и ранним началом ледообразования, а также с существованием заприпайных полыней, участков открытой воды или молодых форм льда, соответствующих примерно изобате 20–25 м [18].

В юго-западном районе Восточно-Сибирского моря осенне-зимняя конвекция проникает до дна (глубины 40–45 м). А в более глубоководных юго-восточном и северном районах вертикальная циркуляция к концу холодного сезона может распространяться до горизонта 55 м, где ее ограничивает устойчивая плотностная структура вод. В этих районах среднее значение  $N_{\max}(z)$  в постоянном пикноклине в осенне-зимний период составляет 21 цикл/час (рис. 3).

Анализ корреляционных связей между внутригодовой изменчивостью максимума частоты Вайсяля – Брента и индексами САК, АК, ТДК, ИГ показал, что наиболее тесные зависимости наблюдаются для индексов ТДК и ИГ (рис. 7).



**Р и с. 7.** Карты распределения значений коэффициентов корреляции между максимумом частоты плавучести и климатическими индексами

**F i g. 7.** Charts of distribution of the correlation coefficients between the buoyancy frequency maximum values and the climatic indices

Статистически значимые (доверительный интервал 90 %) значения коэффициентов корреляции ( $R$ ) между  $N_{\max}(z)$  и ТДК на северо-западе моря Лаптевых находятся в интервале  $-0,5 \dots -0,9$ . Между  $N_{\max}(z)$  и ИГ в северных и северо-западных частях рассматриваемых морей коэффициенты корреляции от 0,5 до 0,9.

Максимальные коэффициенты корреляции между значениями  $N_{\max}(z)$  и САК фиксируются в северной части моря Лаптевых с  $R$ , равным 0,8. Статистически значимые коэффициенты корреляции от  $-0,5$  до  $-0,8$  между  $N_{\max}(z)$  и АК наблюдаются в юго-западном районе моря Лаптевых (рис. 7).

### Заключение

На основе данных по температуре и солёности *World Ocean Atlas 2013* проведено исследование климатических особенностей регионального распределения частоты плавучести в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском за 1955–2012 гг.

Установлено, что в море Лаптевых внутригодовой максимум устойчивости вод наблюдается в летний период с наибольшей плотностной стратификацией в приустьевых участках рек Хатанги и Лены. Значения  $N_{\max}(z)$  в июле достигают 86 цикл/час в устье реки Лены и 75 цикл/час – в устье реки Хатанги. Во внутригодовом цикле устойчивости вод юго-восточного района моря максимум приходится на июнь, а в юго-западной его части – на июль, со средними значениями  $N_{\max}(z)$  48 и 40 цикл/час для указанных районов соответственно. Глубина залегания максимума в обоих случаях около 5 м.

В южных районах моря Лаптевых пикноклин прослеживается на протяжении всего года. В тёплый период года он находится вблизи поверхности, а в холодный – на глубинах 10–15 м. При этом значения  $N_{\max}(z)$  максимальны в заливе Буор-Хая и на юго-восточном шельфе моря Лаптевых и достигают в феврале 73 цикл/час. В северном районе моря внутригодовой максимум устойчивости вод отмечен в августе. Среднее значение  $N_{\max}(z)$  составляет 24 цикл/час. Средняя глубина залегания  $N_{\max}(z)$  равняется 15 м.

Показано, что в Восточно-Сибирском море внутригодовой максимум устойчивости вод для северного и юго-восточного районов моря приходится на июль, а для юго-западного – на август. Сезонный пикноклин прослеживается с июня по сентябрь, глубина его залегания во всех районах моря в летний период – 5 м. Среднее значение  $N_{\max}(z)$  в юго-западном районе моря в августе составляет 51 цикл/час, в северном и юго-восточном районах в июле – 46 и 42 цикл/час соответственно. Максимальные значения частоты плавучести отмечены в приустьевых участках рек Колымы и Индигирки. В этих областях значения  $N_{\max}(z)$  достигают 70 и 85 цикл/час. В глубоководных северном и юго-восточном районах Восточно-Сибирского моря на глубинах 25–55 м наблюдается слой постоянного пикноклина, который прослеживается на протяжении всего года. Среднее значение  $N_{\max}(z)$  в слое скачка достигает 12–18 цикл/час в весенне-летний период года и 21 цикл/час в осенне-зимний.

Анализ корреляционных связей между внутригодовой изменчивостью максимума частоты Вьясяля – Брента и индексами САК, АК, ТДК, ИГ показал, что наиболее тесные зависимости отмечены для индексов ИГ и ТДК.

Следовательно, приток теплых атлантических вод в Арктический бассейн является одним из факторов, влияющих на сезонный ход частоты плавучести. Коэффициенты корреляции между максимумом частоты Вьясяля – Брента по глубине и индексом положения северной границы течения Гольфстрим лежат в диапазоне от 0,5 до 0,9 для северных и северо-западных районов исследуемых морей.

Вертикальная структура плотности северных частей Восточно-Сибирского моря и моря Лаптевых формируется также под влиянием адвекции трансформированных тихоокеанских вод, поступающих из Чукотского моря. Коэффициенты корреляции между максимумом частоты Вьясяля – Брента по глубине и индексом ТДК в северных районах достигают  $-0,5 \dots -0,9$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Матишов Г. Г.* Влияние изменчивости климатического и ледового режимов на судоходство // Вестник Российской Академии Наук. 2008. Т. 78, № 10. С. 896–902.
2. *Данилов А. И., Алексеев Г. В., Клепиков А. В.* Последствия изменения климата для морской деятельности в Арктике // Лед и Снег. 2014. Том 54, № 3. С. 91–99. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2014-3-91-99>
3. *Бородачев В. Е., Бородачев И. В.* Ледовитость моря Лаптевых в условиях колебаний климата Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. № 3(109). С. 60–73.
4. *Букатов А. Е., Букатов А. А., Бабий М. В.* Пространственно-временная изменчивость распределения морского льда в Арктике // Криосфера Земли. 2017. Т. 21, № 1. С. 85–92. doi:10.21782/KZ1560-7496-2017-1(85-92)
5. *Букатов А. Е., Павленко Е. А., Соловей Н. М.* Изменчивость вертикальной структуры поля частоты плавучести в арктических морях России // Прикладные задачи математики : материалы XXV международной научно-технической конференции (Севастополь, 18–22 сентября 2017 г.). Севастополь : СГУ, 2017. С. 65–67.
6. *Букатов А. Е., Павленко Е. А.* Пространственно-временная изменчивость распределения частоты плавучести в Чукотском море // Процессы в геосредах. 2017. № 3(12). С. 573–579.
7. *Голубева Е. Н.* Моделирование гидрологического режима Восточно-Сибирского моря // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. Т. 4, № 1. С. 121–125.
8. Изменения термохалинных характеристик трансполярной системы Северного Ледовитого океана / Л. А. Тимохов [и др.] // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. № 2(108). С. 34–49.
9. *Юрасов Г. И.* Океанографические характеристики вод юго-восточной части моря Лаптевых и западной части (пролив Дмитрия Лаптева) Восточно-Сибирского моря в сентябре 1999 // Труды Арктического регионального центра. Т. 2, ч. 1: Гидрометеорологические и биогеохимические исследования в Арктике / Под ред. И. П. Семилетова. Владивосток : Дальнаука, 2000. С. 63–68.
10. *Букатов А. А., Соловей Н. М., Павленко Е. А.* Пространственно-временная изменчивость распределения частоты плавучести в море Лаптевых и Восточно-Сибирском море // Моря России: методы, средства и результаты исследований : тезисы докладов всероссийской научной конференции (Севастополь, 24–28 сентября 2018 г.). Севастополь : МГИ РАН, 2018. С. 215–216.
11. *Монин А. С., Нейман В. Г., Филошкин Б. Н.* О стратификации плотности в океане // Доклады Академии наук СССР. 1970. Т. 191, № 6. С. 1277–1279.
12. *Шерстянkin П. П., Куимова Л. Н.* Вертикальная устойчивость и частота Вьясяля – Брента глубоких природных вод на примере озер Байкал, Танганьика и Мирового океана // Доклады Академии наук. 2009. Т. 429, № 5. С. 673–678.

13. World Ocean Atlas 2013. Volume 1: Temperature / R. A. Locarnini [et al.] ; ed. S. Levitus, technical ed. A. Mishonov. NOAA, 2013. 40 p. (NOAA Atlas NESDIS 73).
14. World Ocean Atlas 2013. Volume 2: Salinity / M. M. Zweng [et al.] ; ed. S. Levitus, technical ed. A. Mishonov. NOAA, 2013. 39 p. (NOAA Atlas NESDIS 74).
15. *Букатов А. Е., Соловей Н. М.* Оценка связи вертикальной структуры поля плотности и характеристик внутренних волн с крупномасштабной атмосферной циркуляцией в акваториях Перуанского и Бенгельского апвеллингов // *Процессы в геосредах*. 2017. № 2(11). С. 485–490.
16. Сравнение распределения термохалинных характеристик в Северном Ледовитом океане по данным измерений и по результатам расчета региональной конфигурации модели MITgcm / *Е. В. Блошкина* [и др.] // *Ученые записки РГГМУ*. 2016. № 43. С. 67–88.
17. *Махотин М. С., Дмитренко И. А.* Межгодовая изменчивость летних тихоокеанских вод в Арктическом бассейне // *Доклады Академии наук*. 2011. Т. 438, № 3. С. 409–411.
18. *Морозов Е. Г., Писарев С. В.* Внутренние волны и образование полыньи в море Лаптевых // *Доклады Российской Академии наук*. 2004. Т. 398, № 2. С. 255–258.

*Об авторах:*

**Букатов Антон Алексеевич**, старший научный сотрудник, отдел океанографии, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат физико-математических наук, **ORCID ID: 0000-0002-1165-8428**, **ResearcherID: P-6733-2017**, newisland@list.ru

**Павленко Екатерина Анатольевна**, младший научный сотрудник, отдел океанографии, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **ORCID ID: 0000-0001-9146-5708**, mhi.pavlenko@gmail.com

**Соловей Неля Михайловна**, младший научный сотрудник, отдел океанографии, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **ORCID ID: 0000-0003-3359-0345**, ne.le.7@hotmail.com