

Беломорская биологическая станция МГУ  
Институт океанологии РАН

Комплексные исследования  
Бабьего моря,  
полуизолированной  
беломорской лагуны:  
геология, гидрология, биота —  
изменения на фоне  
трансгрессии берегов

(Труды Беломорской биостанции МГУ т. 12)

*Под общей редакцией  
В.О. Мокиевского, А.И. Исаченко,  
П.Ю. Дгебуадзе, А.Б. Цетлина*

Товарищество научных изданий КМК  
Москва ❖ 2016

# **Летняя структура вод Бабьего моря. Сравнительный анализ данных двух разных десятилетий**

*А.Д. Наумов, Д.М. Мартынова*

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург. E-mail: andrewnmv@gmail.com

## **Summer structure of the Babye More waters. Comparative analysis of the data from two different decades**

*A.D. Naumov, D.M. Martynova*

Исследована летняя термогалинная структура водного столба ковшевого лагунообразного пролива Бабье море (Белое море, Кандалакшский залив). В июле 2013 г. выполнено 13 гидрологических станций с использованием STD-зонда MIDAS-500. Подтверждена описанная 80 лет назад летняя стратификация его вод. Поверхностный слой до глубины 10 м характеризуется температурой +16 °С и соленостью около 24‰. Выраженный термо- и галоклин расположен на глубине 10–14 м. Глубже и до максимальной исследованной глубины (40 м) расположен однородный слой с температурой –1 °С и соленостью 27‰. Выдвигается предположение о зимнем адвективном происхождении глубинных слоев воды этого бассейна.

Сравнение Бабьего моря с рядом аналогичных беломорских водоемов позволяет считать их удобными моделями для изучения некоторых особенностей процессов формирования структуры беломорских вод.

The thermo-haline structure of the lagoon-like strait Babye More water column (White Sea, Kandalaksha Bay) was investigated. Its stratification described 80 years ago was verified. The authors suggest winter advective origin of near-bottom water layers for this basin. Comparing of the Babye More with other similar White Sea water-bodies allows considering them as suitable models for study of origination of the White Sea water structure.

### **Введение**

На Белом море встречаются своеобразные губы с мелководным порогом на входе и глубинами в кутовых отделах, значительно превышающими этот порог. Г.С. Гурвич (1934) предложил называть такие губы ковшовыми, если ширина их порога равна или больше ширины самого водоема, или лагунными, если она меньше. В последнем случае приливные циклы в нем не совпадают по времени с таковыми прилегающей акватории. Эту терминологию можно считать устоявшейся.

Первая такая беломорская ковшовая губа лагунного типа, Долгая, глубоко вдающаяся в береговую линию Соловецкого острова, была описана Н.М. Книповичем (1893). С тех пор было найдено и исследовано несколько подобных водоемов: Бабье

море (Гурвич, 1934; Соколова, 1934), Лов губа (Наумов, 1979), Палкина губа (Голиков и др., 1982), губы Колвица (Наумов и др., 1986) и Никольская (Иванов и др., 2009); последняя подверглась чрезвычайно сильному антропогенному воздействию в результате установки в ней аквакультуры мидий. К подобным губам относится и Чупа, однако она еще недостаточно изучена в этом отношении (Бабков, 1991; Наумов, 2006). В прошлом ковшовой губой была и Канда (Юрченко, Корякин, 2012), ныне отделенная от моря дамбами железной и автомобильной дорог, что полностью изменило ее геоморфологическую структуру и водообмен.

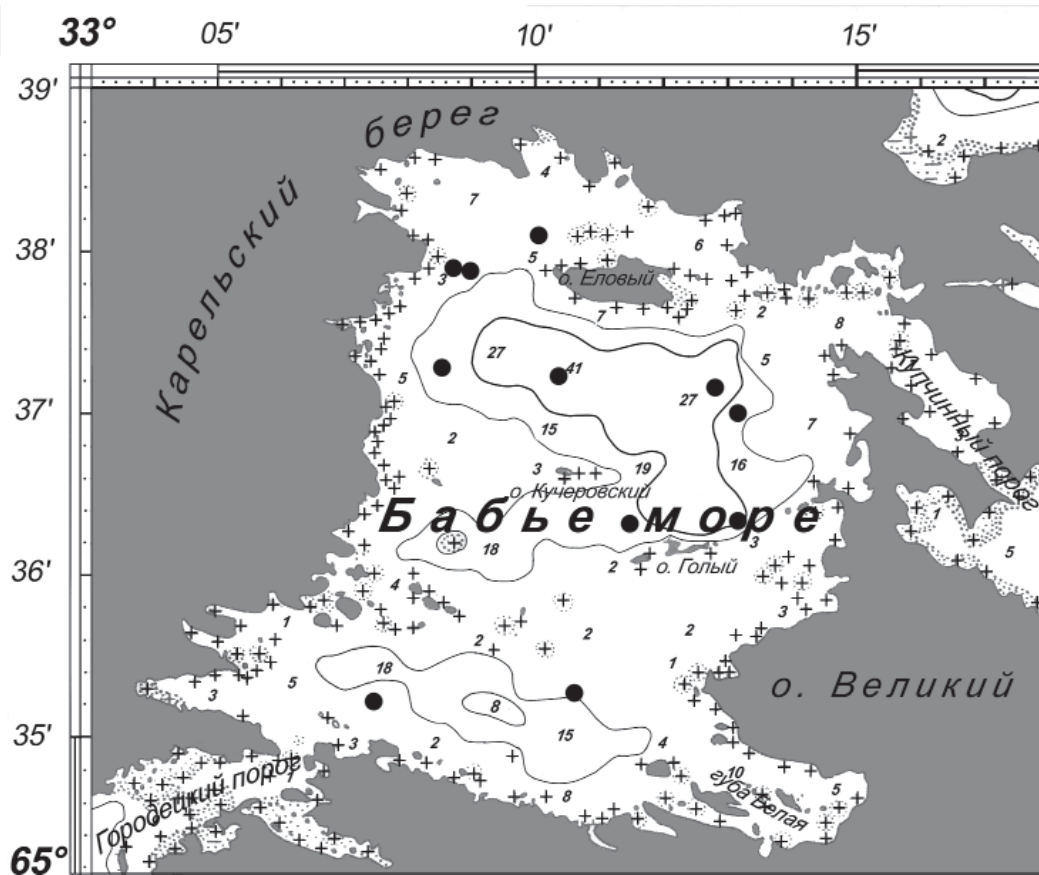
Касательно гидрологического режима названных губ в указанных и других работах (см., напр., Бабков, 1991) имеются только летние, относительно немногочисленные данные. Донное население и гидрологический режим Бабьего моря на оригинальном материале описаны всего в нескольких работах (Гурвич, 1934; Соколова, 1934; Броцкая и др., 1963; Пантюлин, 2012, 2016; Наумов и др., 2016). При этом важно отметить, что уже Г.С. Гурвич (op. cit.) указывал на историческую связь ковшовых и лагунных губ с прибрежными озерами, которые, как он подчеркивает, могут развиваться из морских водоемов за счет их постепенной изоляции по разным причинам. Таким озером является, например, Кривое, расположенное вблизи Беломорской биостанции Зоологического института РАН, где в осадках обнаруживаются раковинки морских фораминифер (собственные наблюдения). Несомненно, что и оз. Колвицкое имеет такое же происхождение. Ряд подобных реликтовых озер в окрестностях Биостанции МГУ в настоящее время интенсивно изучается (Краснова, Пантюлин, 2013; Краснова и др., 2016).

Все названные выше ковшовые и лагунные губы обладают в большей или меньшей степени выраженной летней термогалинной стратификацией вод. Помимо них существуют и другие аналогичные по геоморфологическому строению водоемы, где такая стратификация отсутствует. В качестве примера можно привести губу Пилу, упоминаемую Г.С. Гурвичем (1934), и бегло обследованную в гидрологическом отношении А.И. Бабковым и одним из авторов настоящего сообщения (Бабков, 1991; Наумов, 2006).

Особый интерес при изучении указанных водоемов вызывает то обстоятельство, что в гидрологическом и биоценотическом отношениях они представляют собой миниатюрные модели всего Белого моря, которое можно рассматривать в качестве лагунного ковша Баренцева (Наумов, 1979). При это важно отметить, что именно гидрологический и гидродинамический режимы Горла, пролива, связывающего эти моря, и делают Белое море именно морем, а не заливом (Дерюгин, 1928). Следует отметить, что целый ряд беломорских ковшовых губ состоит из нескольких, следующих друг за другом депрессий, повторяющих в целом ряде своих геоморфологических, гидрологических и биоценотических черт особенности Белого моря как весьма своеобразного водоема. Это иерархическое самоподобие, или фрактальность (без употребления данного термина) впервые была отмечена А.Д. Наумовым (1979). В последнее время сходные идеи высказываются А.Н. Пантюлиным (2002, 2012).

### Описание места исследований

Бабье море традиционно называют *губой*, хотя геоморфологически оно представляет собой *лагунообразный ковшовый пролив*, отделяющий о. Великий от материка (рис. 1). В этом отношении оно несколько напоминает Мраморное море. Бабье море — почти прямоугольный водоем, лежащий в координатах 66°34,4'–66°38,8' N,



**Рис. 1.** Карта Бабьего моря.

Отточиями показана осушенная полоса; крестиками — навигационные опасности; цифрами — глубины, м; жирными точками — места взятия гидрологических серий. Тонкая линия — изобата 10 м, толстая линия — изобата 20 м.

33°9,0'–33°15,2' E. Его протяженность с SSW на NNE, составляет приблизительно 4 морские мили (около 7 км), а с WSW на восток — ENE приблизительно 3,3 морской мили (около 6 км). Площадь зеркала воды порядка 40 км<sup>2</sup>. Береговая линия довольно сильно изрезана, изобилует небольшими заливчиками. По всей акватории разбросаны мелкие островки, числом более 30. Самый крупный из них — Еловый, имеет около полутора километров в длину и около полукилометра в ширину. Рельеф дна сложный (Гурвич, 1934; Соколова, 1934; Бороцкая и др., 1963; Лоция..., 1983; Старовойтов и др., 2016; Наумов и др., 2016). Глубины в основном не превышают 10 м, однако в южной части имеется впадина с глубинами, достигающими 18 (или даже около 30 м; Гурвич, 1934), а в северной — 45 м (наши данные). Впадины эти разделены мелководным порогом, глубина которого, по-видимому, составляет около 2 м или немногим больше.

Северный проток, соединяющий Бабье море с открытой частью Кандалакшского залива, называемый Купчинным порогом, — мелкий и узкий. Его глубина на

малой воде не более 0,5–1 м (Гурвич, 1934, Соколова, 1934; Брочкая и др., 1963), а ширина — порядка 300 м. Городецкий порог, южный проток, связывающий Бабье море с Ругозерской губой, несколько глубже — до 5 м (Гурвич, 1934, Соколова, 1934; Брочкая и др., 1963), но его ширина в самом узком месте приблизительно такая же, как у Купчинного.

### Материал и методы

Работы проводились 20 и 21 июля 2013 г. Профили температуры и солёности снимались при помощи STD-зонда MIDAS-500. Всего было взято 13 гидрологических серий в координатах, приведенных в таблице. Схема пробоотбора приведена рис. 1. Полученные данные, начиная с глубины 1 м, были приведены к единым горизонтам с шагом 1 м. Значения температуры и солёности в верхнем метровом слое были исключены из анализа как ненадежные по методическим причинам.

**Таблица.** Основные характеристики взятых гидрологических серий

№ п/п	Глубина, м	Широта	Долгота
1	5	66°38,07'	33°10,07'
2	5	66°37,54'	33°08,49'
3	14	66°37,34'	33°08,41'
4	13	66°37,25'	33°08,38'
5	24	66°37,16'	33°12,51'
6	18	66°37,00'	33°13,05'
7	19	66°36,31'	33°13,29'
8	40	66°37,19'	33°10,40'
9	35	66°37,19'	33°10,40'
10	40	66°37,19'	33°10,40'
11	16	66°36,33'	33°11,28'
12	8	66°35,20'	33°06,35'
13	5	66°35,22'	33°10,62'

В работе использованы общепринятые методы линейной статистики. Поиск максимальных градиентов термогалинных индексов осуществлялся посредством представления профилей в конечных разностях. Структура вод оценивалась при помощи составления  $T, S, z$ -диаграмм (Мамаев, 1970). Оценка ветрового волнения проводилась по рекомендованным формулам волновой теории океана (Матушевский и др., 1979).

$$h = 0,0091V_v^{4/3}L^{1/3}$$

$$\tau = 1,5h^{3/5}V_v^{1/5}$$

$$\lambda = 1,56\tau^2$$

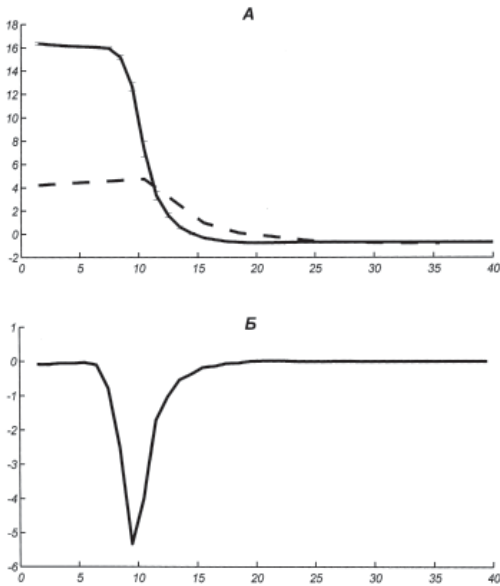
где  $V_v$  — скорость ветра, м/с;  $L$  — длина разгона, км;  $h$  — средняя высота волны, м;  $\tau$  — средний период, с;  $\lambda$  — средняя длина волны, м.

Приливные циклы Бабьего моря, а также Купчинного и Городецкого порогов аппроксимировались по материалам Е.В. Соколовой (1934) правильными синусоидами без учета фазовой асимметрии, а также суточных, полумесячных и месячных неравенств, поскольку для этого нет соответствующих эмпирических наблюдений. Продолжительность приливного цикла принята равной 24 ч (т.е. почти на час меньше истинных приливных суток) согласно данным, приведенным в указанной работе.

## Результаты и обсуждение

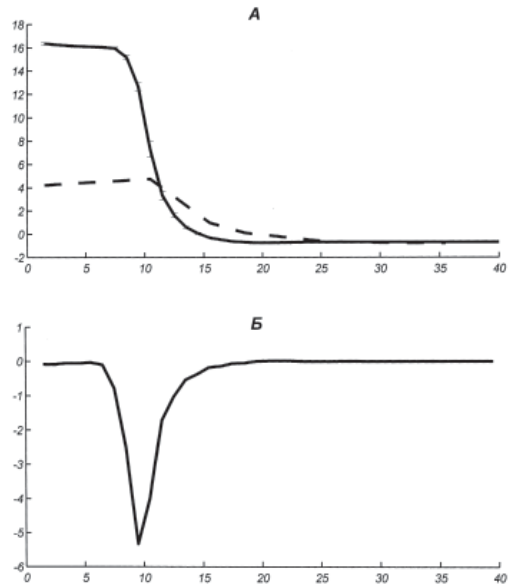
Полученные профили температуры и солености оказались настолько близки для всех 13 полученных гидрологических серий, что удобнее рассматривать усредненные данные.

На рис. 2А приведен обобщенный температурный профиль, полученный в ходе наших исследований в сравнении с данными Е.В. Соколовой (1934). Хорошо видно, что отличия между ходом обеих температурных кривых обусловлены в основном сезонными изменениями: мы работали в июле, а Е.В. Соколова — в октябре. Максимальный градиент температуры приходится на глубину приблизительно 10 м (рис. 2Б).



**Рис. 2.** Зависимость температуры от глубины в Бабьем море.

А — температурные профили по нашим данным (20–21 июля 2013 г., сплошная линия) и по материалам Е.В. Соколовой (15 октября 1932 г., пунктирная линия); Б — градиенты температуры по нашим данным. По осям абсцисс — глубина, м; по осям ординат температура (А) и градиент температуры (Б), °С. Вертикальными штрихами отмечена статистическая ошибка средней.



**Рис. 3.** Зависимость солености от глубины в Бабьем море.

А — профили солености по нашим данным (20–21 июля 2013 г., сплошная линия) и по материалам Е.В. Соколовой (15 октября 1932 г., пунктирная линия); Б — градиенты солености по нашим данным.

По осям абсцисс — глубина, м; по осям ординат соленость (А) и градиент солености (Б), ‰. Вертикальными штрихами отмечена статистическая ошибка средней.

Данные по солености, полученные нами и приведенные в статье Е.В. Соколовой (1934), практически идентичны (рис. 3А). В работе упомянутого автора для статистической обработки недостаточно материала, поэтому оценить значимость полученных различий невозможно. Наблюдаемая разница соленостей в подавляющем большинстве случаев не превышает половины промилле. Отличия в ходе кривых на диапазоне глубин 10–15 м объясняются различиями в шаге использованных стандартных горизонтов глубин: у нас это 1 м, у Е.В. Соколовой — 5 м. Не исключено, что несходство и на других глубинах во многом может объясняться этими и иными различиями в использовавшихся методах. Максимальный градиент солености так же, как и в случае температуры, приходится на глубину приблизительно 10 м (рис. 3Б).

Профиль условной плотности практически полностью повторяет ход кривой солености, поэтому приводить его нет особого смысла. Как и следовало ожидать, глубина залегания пикноклина совпадает с глубинами термоклина и галоклина.

Для оценки летней структуры вод была построена  $T, S, z$ -диаграмма (рис. 4). Строго говоря,  $T, S$ -анализ применяется для исследования распределения и распространения океанических водных масс в понимании А.Д. Добровольского (1961). При этом верхний 100-метровый слой, подверженный сезонной модификации, из него исключается, так как сезонные изменения температуры и солености могут приводить к возникновению ложных экстремумов  $T, S$ -кривых (Мамаев, 1970). Кроме того, объемы океанических водных масс, для изучения которых этот анализ создавался, намного превосходят объем всего Белого моря. Работают ли механизмы формирования и поддержания стабильности водных масс в столь небольшом водоеме, не доказано. Эти два обстоятельства дают основание считать, что концепция водных масс в понимании А.Д. Добровольского неприложима к Белому морю и, тем более, к его частям, а строгое использование  $T, S$ -анализа для исследования структуры его вод не вполне корректно. Тем не менее, мы, отдавая себе в этом отчет, использовали  $T, S, z$ -диаграмму в качестве наглядного графического представления полученного материала.

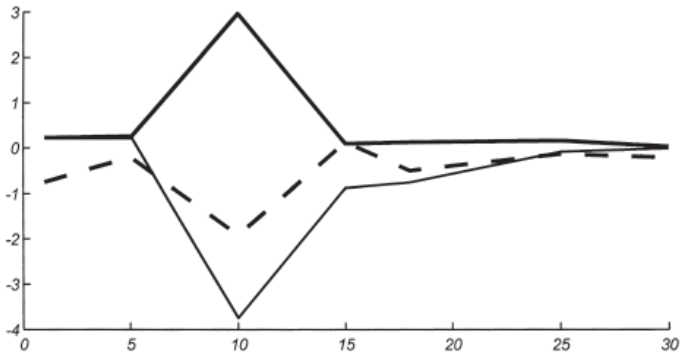
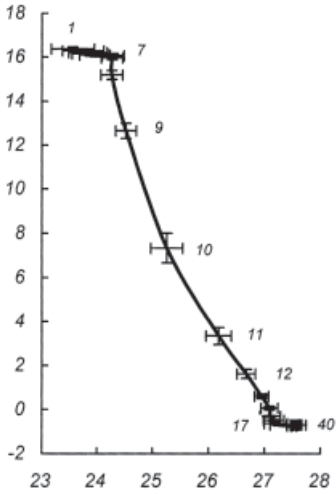
На указанной диаграмме отчетливо видно, что летом воды Бабьего моря состоят из двух почти изотермичных и изогалинных слоев (рис. 2Б и 3Б), разделенных зоной смешения, мощностью около 3–4 м, причем граница между ними выражена очень резко и приходится на описанный выше слой скачка, мощность которого едва ли превышает 1 м.

Этот вывод хорошо согласуется с данными Е.В. Соколовой (1934). На рис. 5 отчетливо видно, что и в октябре слой скачка приходится приблизительно на 10-метровую глубину\*, причем наибольший градиент содержания кислорода также приходится на этот же слой воды (Соколова, 1934). Сходные профили термогалинных индексов для северной котловины получены также А.Н. Пантюлиным (2016) в июне и в августе 2013 г.

Обращает на себя внимание, что в верхнем 5-метровом слое наблюдается наибольшая дисперсия солености (рис. 4). Непосредственно же за этим слоем обнаруживается довольно заметный вторичный экстремум ее градиента. Можно предполагать, что это обстоятельство связано с особенностями волнового перемешивания. Для полярных морей слой ветрового перемешивания оценивается в 10–20 м (Степанов, 1983). Для небольшого Белого моря с его умеренным волнением разумно при-

\* К сожалению, утверждать это с полной определенностью невозможно из-за различий применявшихся методик получения первичного материала (см. выше).

**Рис. 4.** *T, S, z*-диаграмма вод Бабьего моря по нашим данным (20–21 июля 2013 г.). По оси абсцисс — соленость, ‰; по оси ординат — температура, °С; числа возле точек — глубины, м. Статистические погрешности обозначены отрезками, параллельными соответствующим осям.



**Рис. 5.** Градиенты солёности (жирная линия), температуры (тонкая линия) и концентрации кислорода (пунктирная линия) по данным Е.В. Соколовой (1934). По оси абсцисс — глубина, м; по оси ординат — значения соответствующих градиентов.

нять меньшую из этих величин. Расчет средних характеристик волнения для наиболее обычного штормового ветра на Белом море скоростью 10 м/с (Тушев, 1991) дает, при максимально возможном разгоне порядка 400 км, среднюю высоту волны 1,4 м с периодом в 3 с и длиной 14 м. В Бабьем море максимально возможный разгон (всего 18 км по диагонали водоема), что позволяет такому же ветру поднять волну высотой в среднем не более 0,5 м с периодом 1,6 с и длиной около 4 м. Ясно, что и слой ветрового перемешивания будет здесь существенно меньше, чем в открытых частях Белого моря.

Учитывая, что ветер 10 м/с в закрытом со всех сторон водоеме должен наблюдаться существенно реже, чем в открытом море, можно думать, что распространение пресного стока по поверхности Бабьего моря обеспечивается в основном приливно-отливными движениями. Скорее всего, несколько сниженная солёность и ее повышенная дисперсия в поверхностном 5-метровом слое воды объясняется вызванной этими процессами турбулентностью (рис. 2А).

Глубже 5 м лежит относительно тонкий (порядка 2 м), несколько более соленый и пространственно однородный слой воды, создаваемый, по-видимому, редкими штормовыми ветрами. Естественно, что высказанное предположение требует эмпирической проверки.

Осеннее остывание воды в Бабьем море начинается, как и всюду, с поверхности, что хорошо заметно по данным Е.В. Соколовой (рис. 2А). В своей работе



1934 г. она отмечает, что в середине октября в верхнем 10-метровом слое намечается температурная инверсия. Лоция (1983) относит начало ледостава этого водоема к ноябрю. Эти два указания позволяют выдвинуть предположение, что в Бабьем море зимой может возникать промежуточный теплый слой, как это наблюдается в водах открытой части Белого моря. Было бы весьма интересно проверить эту гипотезу натурными наблюдениями, что помогло бы пролить свет на природу этого явления, до сих пор не нашедшего однозначного объяснения (Дерюгин, 1928; Пантюлин, 1990; Симонов и др., 1991; Кравец, Полупанов, 1991).

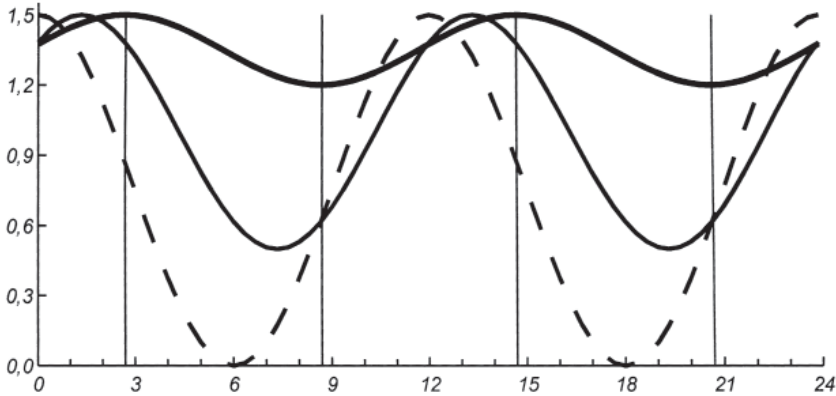
Помимо этого, зимние наблюдения над термогалинными характеристиками вод Бабьего моря, вне всякого сомнения, позволили бы вполне однозначно объяснить процесс формирования наблюдаемой в нем весьма резкой летней стратификации. В любом случае, можно выдвинуть вполне правдоподобную гипотезу о зимнем распределении термогалинных характеристик рассматриваемого водоема. Как бы ни был слаб пресный сток в Бабье море (Е.В. Соколова в своей работе отмечает два небольших ручья, к которым, несомненно, следует прибавить трудно учитываемое высачивание грунтовых вод), после начала ледостава подо льдом должен образоваться тонкий, но заметно опресненный слой воды, препятствующий зимней конвекции. Можно думать, что это — одна из причин отмеченного выше низкого содержания кислорода глубже пикноклина. Если предположение верно\*, то ожидать зимней изогалинности по всему столбу воды не приходится. Второй причиной может быть характер водообмена.

Водообмен подобных водоемов зависит от двух основных факторов: приливно-отливных движений, служащих его энергетической основой, и пресного стока, определяющего количество вытекающей из водоема воды и, соответственно, поступающей в него из близлежащей акватории. Поскольку объем пресного стока в Бабье море неизвестен, строгий расчет водообмена невозможен, но некоторые предварительные прикидки сделать можно.

На рис. 6 приведен суточный приливный цикл, построенный по данным, опубликованным Е.В. Соколовой (1934).\*\* Некоторые упрощения и вызвавшие их причины, использовавшиеся в его построении, описаны в разделе «Материал и методы». Необходимо дать еще два пояснения. Е.В. Соколова (op. cit) указывает, что уровень поверхности воды Бабьего моря, скорее всего, несколько выше такового прилегающих к нему акваторий. Непонятно, как трактовать данное утверждение. Если имелся в виду уровень нижнего стояния воды в отлив или средний уровень прилива ( $z_0$ ), то при различиях в амплитудах прилива втрое (по сравнению с Городецким порогом) или впятеро (по сравнению с Купчинным), то факт самоочевиден и даже не требует специальных пояснений. Если же подразумевался уровень полной воды, то такое заявление выглядит более чем странным и противоречит известному закону о сообщающихся сосудах. Не имея в своем распоряжении никаких натуральных наблюдений по этому поводу, в нашей модели приливных циклов мы приняли, что уровень стояния воды во время максимального возвышения прилива в открытой части Кандалакшского залива, в Ругозерской губе и в Бабьем море одинаков.

\* А.Н. Пантюлин (2016) считает, что пресный сток в Бабье море недостаточно велик для формирования в нем в течение зимы подледного опресненного слоя, препятствующего конвективному перемешиванию. Вопрос этот может быть окончательно решен только после получения соответствующих эмпирических данных.

\*\* Более точные сведения о приливах Бабьего моря, основанные на наблюдениях 2014 г., см. Наумов и др., 2016.



**Рис. 6.** Приливный цикл в Бабьем море (жирная линия), на Городецком (тонкая линия) и Купчинном (пунктирная линия) порогах по данным Е.В. Соколовой (1934). По оси абсцисс — время, ч; по оси ординат — высота над теоретическим нулем глубин, м. Вертикальными линиями отмечены сроки течений в Бабье море и из него. Объяснения в тексте.

Поскольку прилив и в Ругозерской губе, и в Бабьем море генерируется приливной волной, приходящей из Кандалакшского залива, за нулевую точку отсчета принято время полной воды на входном створе Купчинного порога.

Е.В. Соколова (1934) сообщает, что, начиная с III приливного часа, срока наступления полной воды в Бабьем море, воды на обоих порогах изливаются\* из него в сторону прилежащих акваторий (на рис. 6 это время заключено между первой и второй вертикальными линиями). После же IX приливного часа (малая вода в Бабьем море) оба течения меняют свое направление на противоположное. Наша модель (при принятых упрощениях) дает другие результаты. Из нее следует, что течение по обоим порогам из Бабьего моря должно начинаться со II приливного часа и продолжаться до XI. Следующий час на Городецком пороге вода должна начинать втекать в Бабье море.

Можно предложить два объяснения полученных различий. Одно из них заключается в том, что в модели не учтена фазовая асимметрия приливной волны. Как известно, в Кандалакшском заливе время роста прилива меньше времени его падения (Кравец и др., 1991). Для района Беломорской биостанции ЗИН РАН разница в среднем составляет  $1\text{ ч }36\text{ мин }38\text{ с} \pm 54\text{ с}$  (наши наблюдения). Учитывая географическую близость рассматриваемых точек, можно предположить, что и в районе Купчинного порога фазовые неравенства близки к этой величине. Логично считать, что, при проходе через Еремеевский и Городецкий пороги это неравенство увеличивается, а времена наступлений полных вод в Бабьем море по отношению к Купчинному порогу смещаются на более раннее время.

Второе объяснение может сводиться к методическим причинам. Е.В. Соколова (1934) указывает, что время наступления полных и малых вод регистрировалось при помощи футшточных наблюдений, однако она не указывает, где именно располагались реперные точки. Поскольку через мелководный Купчинный порог, очевид-

\* Скорости течений были в 1931 г. измерены Г.С. Гурвичем (1934). Он оценивает их на обоих порогах в 1,5–2 узла, не указывая ни их направлений, ни фазы прилива, на которой проводились наблюдения.

но, проходит заметно меньший объем воды, чем через вдесятеро более глубокий Городецкий, можно предполагать, что фазы прилива в северной части Бабьего моря и в его южной части — асинхронны, а уровень малой воды вблизи Городецкого порога — ниже. Если футшток был расположен в средней части водоема, то он и давал промежуточные значения. Возможно, поэтому различаются оценки амплитуды прилива Бабьего моря в работах Г.С. Гурвича (1934) и Е.В. Соколовой (1934). Первый указывает 47 см, вторая — 30.

Скорее всего, верны оба предположения, но их проверка натурными наблюдениями совершенно необходима.

Так или иначе, очевидно, что роль Городецкого порога в водообмене Бабьего моря можно считать решающей. Это подтверждается и наблюдениями Е.В. Соколовой (1934) над поверхностной соленостью. В Великой Салме и в Бабьем море она превышала 23‰, а на входном створе Купчинного порога не достигала и 20‰.

По какому бы потоку ни вытекали трансформированные воды пресного стока, очевидно, что поступление морских происходит в основном через Городецкий порог, что отмечает и А.Н. Пантюлин (2016). Очевидно также, что поступающие воды несут достаточное количество кислорода. Между тем сниженное его содержание глубже пикноклина (Соколова, 1934) говорит об имеющихся местах застойных явлениях. С другой стороны, высокая соленость глубинных вод Бабьего моря и их низкая температура указывают на зимнее (причем, скорее, адвективное) происхождение этого слоя. Это, в свою очередь, позволяет предположить, что характер летнего и зимнего водообменов в этом водоеме различается: летом прогретые поверхностные воды Ругозерской губы пониженной солености распространяются в изопикничном им слое выше пикноклина, зимой же стекают на большие глубины. По-видимому, это — достаточно общая закономерность, отмеченная еще Ю.М. Шокальским (1917), который указывал, что если зимой поверхностные воды на входе в ковшовый бассейн охлаждаются ниже температуры воды на глубине порога, то летом вся вода в котловине такого водоема глубже него будет иметь зимнюю температуру. Это значит, что летняя стратификация ковшовых водоемов задается зимними процессами. Сходные мысли высказывает и А.Н. Пантюлин (2016), указывая, впрочем, на возможность конвективного перемешивания до глубины около 20 м. При этом он отмечает, что летние температуры глубинных слоев северной котловины варьируют год от году. Аналогичное явление отмечено и для соответствующих водных слоев губ Лов и Колвица (наши наблюдения). Не исключено, что это вызывается различиями погодных условий отдельных зим.

Если предположение верно, то в южной котловине Бабьего моря концентрация кислорода ожидается более высокой, чем в северной. К сожалению, собственными материалами по южной котловине мы не располагаем, но, судя по сезонной динамике термогалинных индексов, отмеченной А.Н. Пантюлиным (2016), выдвинутая гипотеза достаточно вероятна.

Описанные выше особенности летней структуры вод Бабьего моря во многом напоминают таковые, наблюдающиеся в Центральной котловине Белого моря и в таких губах как Лов и Колвица, довольно подробно изученных в гидрологическом отношении (Наумов, 1979; 2006; Наумов и др., 1986; Бабков, 1991, Пантюлин, 2012). Во всех названных водоемах наблюдается ясно выраженная летняя стратификация по температуре и солености. Отличия состоят только в том, что в Бабьем море отмечена некоторая стагнация глубинных вод, отсутствующая как в Белом море, так и в названных губах.

Причина может заключаться в различиях в пресном стоке, определяющем обменом обменивающихся вод. Как в Колвицу, так и Лов губу впадают достаточно крупные реки, несомненно, обеспечивающие гораздо более интенсивный водообмен, и соответственно аэрацию глубинных слоев воды, чем небольшие ручьи, впадающие в Бабье море. В результате, по крайней мере, в северной котловине Бабьего моря наблюдается довольно заметная стагнация.

В качестве альтернативного примера можно привести губу Пилу, геоморфологически весьма сходную и с Лов губой, и с Колвицей (Наумов, 2006), с той лишь разницей, что порог на ее входе относительно глубже. Это вполне может объяснять, почему в ней не отмечено ни летней стратификации, ни, тем более, стагнации глубинных вод при объеме пресного стока, сравнимого с Лов губой.

### **Заключение**

Как хорошо видно, данные литературных источников и полученный нами материал ставят больше вопросов, чем дают ответов. Авторы надеются, что нерешенные вопросы и возможные направления дальнейших исследований удалось достаточно четко обозначить в данной работе.

Несмотря на то, что ряд высказанных предположений пока не подкреплен надежными натурными наблюдениями, уже сейчас можно вполне уверенно утверждать, что структура вод Бабьего моря формируется целым рядом различных обстоятельств. Среди них в первую очередь следует назвать геоморфологическое строение этого водоема, приливно-отливные движения, ветра, пресный сток и ледовый режим.

Беломорские акватории, подобные Бабьему морю (в том числе уже неоднократно упоминавшиеся губы: Долгая, Лов, Колвица, Палкина, Никольская), природные особенности которых приводят к стратификации вод и фрактальному распределению донных сообществ (Наумов и др., 2016), представляют собой удобные модели для решения целого ряда вопросов, связанных с историей возникновения Белого моря как самостоятельного морского водоема и с процессами формирования его вод.

Необходимо отметить, что иерархическое следование друг за другом ковшевых и лагунных водоемов не является уникальной чертой Белого моря. В качестве примера можно привести аналогичную систему Средиземного–Мраморного–Черного морей. Можно думать, что сравнительное изучение подобных систем окажется достаточно перспективным.

### **Благодарности**

Авторы выражают свою искреннюю признательность директору ББС МГУ А.Б. Цетлину за предоставленную возможность проводить исследования на руководимой им биостанции, а также А.И. Исаченко, К.Е. Николаеву, О.Н. Савченко, К.Л. Бягову и В.А. Чава за неоценимую помощь во время полевых наблюдений. Работа проводилась по разрешению и при содействии Кандалакшского природного заповедника в рамках договора о научном сотрудничестве, причем хочется особо отметить благожелательное отношение и всестороннюю поддержку со стороны заместителя директора Заповедника А.С. Корякина. Особая благодарность экипажу НИС ББС МГУ «Студент».

Работа финансировалась из нескольких источников: в качестве плановой темы ЗИН РАН, по заданию Программ фундаментальных исследований Отделения об-

щей биологии РАН «Биологическое разнообразие», Подпрограмма «Биоразнообразие: инвентаризация, функции, сохранение», Направление «Динамика биоразнообразия и механизмы обеспечения устойчивости биосистем. 1. Изменения климата и биоразнообразия» и по Договору № 2-ЗИН-РАН от 1 июня 2012 г. «Экологический мониторинг акватории Морского специализированного порта Витино» между ББС ЗИН РАН и ООО «Морской специализированный порт Витино».

## Литература

- Бабков А.И. 1991. Типизация губ Белого моря // А.Д. Наумов, В.В. Федяков (ред.). Бентос Белого моря. Популяции, биоценозы, фауна. Тр. Зоол. ин-та РАН. Т.233. С.5–12.
- Броцкая В.А., Жданова Н.Н., Семенова Н.Л. 1963. Донная фауна Великой салмы и прилежащих районов Кандалакшского залива Белого моря // Тр. Кандалакш. гос. запове. Вып. 4; Тр. Беломорской биол. станции МГУ. Т.2. С.159–182.
- Голиков А.Н., Аверинцев В.Г., Бабков А.И., Меншуткина Т.В., Федяков В.В., Шошина Е.В. 1982. Биоценозы губы Палкина Белого моря // В.С. Короткевич (ред.). Беспозвоночные прибрежных биоценозов Северного Ледовитого и Тихого океанов. // Исслед. фауны морей. Л. Т.29 (37). С.3–11.
- Гурвич Г.С. 1934. Распространение животных на литорали и в сублиторали Бабьего моря // Исслед. морей СССР. Т.20; Работы Беломорской методологической станции ГГИ. № 2. С.15–32.
- Дерюгин К.М. 1928. Фауна Белого моря и условия ее существования // Исслед. морей СССР. Вып. 7–8. С.1–511.
- Добровольский А.Д. 1961. Об определении водных масс // Океанология. Т.1. Вып.1. С.12–24.
- Иванов М.В., Чивилев С.М., Банкин О.Е., Кругликов О.Е., Смагина Д.С. 2009. Многолетняя динамика нарушения и восстановления структуры бентосных сообществ при сильной органической нагрузке от марикультуры мидий (Белое море, Кандалакшский залив, губа Никольская) // Вестн. СПб. ун-та. Сер.3. Вып.3. С.122–133.
- Книпович Н.М. 1893. Несколько слов относительно фауны Долгой Губы Соловецкого острова и физико-географических ее условий // Вестн. естествозн. Т.1–2. С.44–57.
- Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н. 2013. Кисло-сладкие озера, полные чудес // Природа. № 2. С.39–48.
- Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А., Кокрятская Н.М., Пантюлин А.Н., Рогатых Т.А., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Л. 2016. Исследования отделяющихся водоемов на побережье Белого моря // Комплексные исследования Бабьего моря, полуизолированной беломорской лагуны. Геология, гидрология, биота: изменения на фоне трансгрессии берегов. Тр. Беломорской биостанции МГУ. Т.12. М.: Т-во науч. изданий КМК. С.211–241.
- Кравец А.Г., Полупанов В.Н. 1991. Температура и соленость вод. / Б. Х. Глуховский (ред.) Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.2. Белое море. Вып.1. Часть 2. Гидрометеорологические условия. Гидрологический режим. Л.: Гидрометеоиздат. С.64–80.
- Кравец А.Г., Сгибнева Л.А., Цвезинский А.С. 1991. Приливы и приливные течения // Б.Х. Глуховский (ред.). Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.2. Белое море. Вып.1. Часть 2. Гидрометеорологические условия. Гидрологический режим. Л.: Гидрометеоиздат. С.146–193.
- Лоция Белого моря. 1983. Главное управление навигации и океанографии. 344 с.
- Мамаев О.И. 1970. *T, S*-анализ вод Мирового океана. Л.: Гидрометеоиздат. 364 с.
- Матушевский Г.В., Ржеплинский Г.В., Иконникова Л.Н. 1979. Расчет режима морского ветрового волнения. // Методические указания ГОИН. Вып. 151. 97 с.
- Наумов А.Д. 1979. Донная фауна губы Лов (Белое море, Кандалакшский залив) и ее особенности // Экология донного населения шельфовой зоны. М. С.128–136.