

## ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПРОЗРАЧНОСТЬ ВОДЫ В ЗАЛИВЕ ГРЁН-ФЬОРД (АРХИПЕЛАГ ШПИЦБЕРГЕН)

канд. геогр. наук ИВАНОВ Б.В.<sup>1,2</sup>, м.н.с. ПАВЛОВ А.К.<sup>1</sup>, инженер СИТДИКОВ П.И.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, b\_ivanov@aari.ru

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет (кафедра океанологии)

*В статье представлены результаты анализа пространственно-временной изменчивости величины относительной прозрачности (глубина исчезновения стандартного белого диска) в заливе Грён-фьорд архипелага Шпицберген. Данные охватывают период с 1986 по 1990 г. и получены при проведении океанографических исследований, выполненных специалистами ГМО «Баренцбург» (Мурманское УГМС) по программе стандартных прибрежных наблюдений. Делаются выводы о причинах пространственной и временной изменчивости относительной прозрачности в зависимости от изменения внешних условий.*

*Ключевые слова:* Шпицберген, относительная прозрачность вод, пространственно-временная структура прозрачности.

Водные массы фьордов острова Западный Шпицберген являются продуктом сложного взаимодействия вод атлантического происхождения, вод, формирующихся в северо-западной части Баренцева моря, и материкового стока. Последний, в свою очередь, обусловлен как собственно речным стоком, так и непосредственным воздействием тающих ледников и снежного покрова тундры. Речной сток и ледники являются основными источниками поступления взвешенных частиц минерального происхождения в воды фьордов. Более легкие по сравнению с морскими, речные воды распространяются по поверхности фьордов. При этом происходит перераспределение взвешенных седиментов по глубине и расстоянию от берега (края ледника) регулируемое, в первую очередь, размером и весом частиц [2]. В то же время распреснение поверхностных слоев воды и радиационный прогрев ограничивают влияние ветрового перемешивания на процесс перераспределения осадков по глубине вследствие высокой устойчивости поверхностного слоя. В этом случае главная роль в перемешивании принадлежит бароклинной циркуляции, приливам, горизонтальной турбулентной диффузии и некоторым другим факторам. Степень взмученности поверхностных слоев воды имеет значение и для процессов климатического масштаба. Как следует из ряда отечественных и зарубежных исследований [1, 5, 6], взвешенные частицы, захваченные морским льдом в период его формирования, влияют на интенсивность таяния льда в последующий весенне-летний период. Нам представляется, что совместная оценка относительной прозрачности, концентрации взвешенных частиц, состояния и изменчивости ледяного покрова, океанографических условий фьордов позволит проследить этот процесс и оценить его количественно. Практический выход — корректная параметризация процессов таяния в рамках широкого спектра моделей морского льда, оценка характера и степени загрязненности конкретных фьордов архипелага, анализ динамики взвешенных частиц и положения возможных источников их поступления в прибрежные воды.

Относительная прозрачность морской воды (глубина «исчезновения» стандартного белого диска Секи) является важной оптической характеристикой, по-

звояющей, наряду с температурой и соленостью, классифицировать поверхностные водные массы и судить об интенсивности материкового стока. Если такие измерения проводились на регулярной основе (в одних и тех же точках и в одно и то же время) в течение длительного периода, появляется возможность использовать их как косвенные (дополнительные) оценки долгопериодной изменчивости океанографического режима и судить о причинах, вызывающих эту изменчивость.

В период с 1985 по 1990 г. Мурманским УГМС выполнялись регулярные исследования океанографических условий залива Грён-фьорд и прилегающего участка акватории залива Ис-фьорд на специальной сети реперных станций, расположение которых представлено на рис. 1, а координаты и глубины в табл. 1:

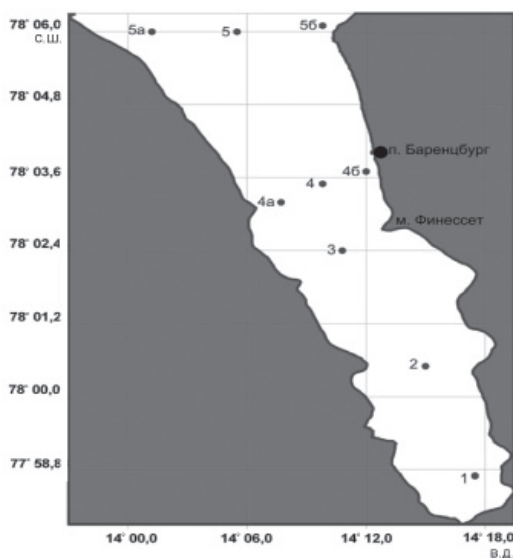


Рис. 1. Расположение океанографических станций реперной сети ГМО «Баренцбург» в заливе Грён-фьорд

Таблица 1

Координаты и глубины океанографических станций реперной сети ГМО «Баренцбург»

№ станции	Широта (с.ш.)	Долгота (в.д.)	Глубина (м)
8*	78°10,8'	13°49,8'	361
7*	78°09,2'	13°53,0'	415
6*	78°07,8'	13°56,5'	300
5	78°06,0'	14°05,5'	153
5a	78°06,0'	14°01,2'	198
5b	78°06,1'	14°09,8'	155
4	78°03,5'	14°09,8'	144
4a	78°03,2'	14°07,7'	139
4b	78°03,7'	14°12,0'	127
3	78°02,4'	14°10,8'	144
2	78°00,5'	14°15,0'	84
1	77°58,7'	14°17,5'	62

Примечание. \* – станции № 6, 7, 8 расположены на акватории Ис-фьорда

Наблюдения, выполненные на этой сети, позволяют сделать косвенные оценки сезонной и многолетней изменчивости океанографических условий, а также получить оценки изменчивости относительной прозрачности поверхностных вод за указанный период времени.

Как правило, наблюдения на данной сети станций выполнялись один раз в месяц с июня по октябрь. Однако в силу неизвестных нам обстоятельств наблюдения за относительной прозрачностью не отличались строгой регулярностью. Например, на некоторых станциях даже в июле или августе (наиболее благоприятные с точки зрения ледовой обстановки в заливе месяцы) в отдельные годы наблюдения не проводились. Несмотря на эти проблемы, нам удалось сформировать более или менее однородные массивы данных об относительной прозрачности и провести качественный анализ сезонной и многолетней изменчивости этой характеристики.

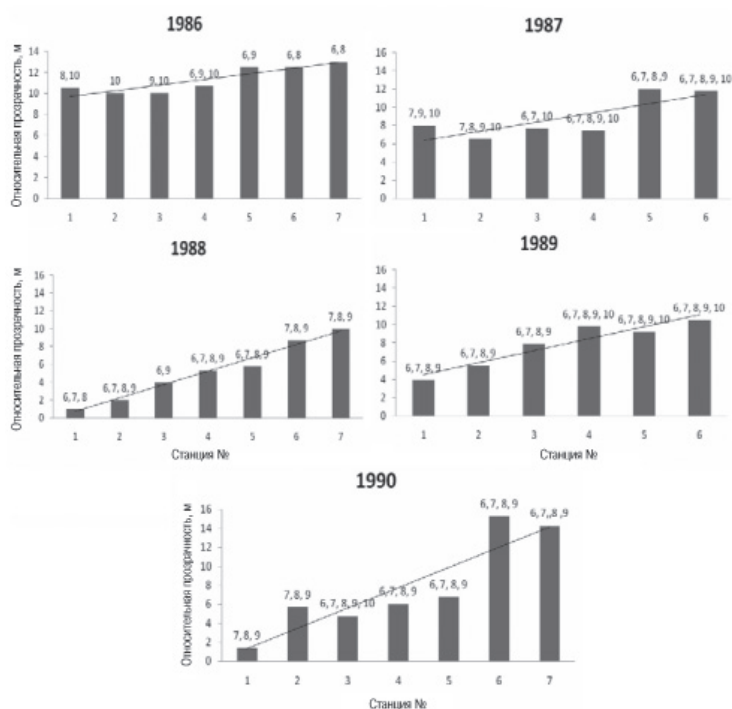


Рис. 2. Изменение глубин исчезновения диска Секи на акватории залива Грэн-фьорд за 1986–1990 гг. Цифры над элементами диаграммы – номера месяцев года

Таблица 2

Оценки уравнений регрессии, описывающие пространственную изменчивость относительной прозрачности в заливе Грэн-фьорд

Год	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
1986	0,536	9,171	0,79
1987	1,007	5,371	0,62
1988	1,507	−0,771	0,98
1989	1,314	3,200	0,90
1990	2,140	−0,845	0,82

Реперная сеть станций в заливе Грэн-фьорд расположена таким образом, что позволяет контролировать океанографические условия на всей акватории залива от его южной части (куты) до створа на выходе в соседний, самый крупный на архипелаге, залив Ис-фьорд. Следовательно, мы имеем возможность проследить изменчивость (в пределах 5 лет) относительной прозрачности во всем заливе в целом. Результаты такого анализа представлены на рис. 2.

Наблюдается возрастание величины относительной прозрачности от мелко-водной кутовой части залива Грэн-фьорд до западной (мористой) части акватории залива Ис-фьорд. Дисперсионный анализ подтвердил значимость годовых трендов для указанного периода. Оценки уравнений регрессии приведены в табл. 2.

Такому распределению относительной прозрачности способствует ряд причин. Во-первых, в южную часть фьорда впадает ряд крупных рек и ручьев: Брюде, Альдегонда, Брефьёрна, Грэн-фьорд, Грэн. Там же расположены наиболее крупные ледники с одноименными названиями — Альдегонда и Грэн (западный и восточный). Таким образом, южная часть залива является основным «потребителем» продуктов материкового стока в виде взвешенных частиц.

Обращает внимание увеличение оценок коэффициента  $A$ , указывающее на усиление пространственной неоднородности относительной прозрачности от южной к северной части залива. В 1990 г. эти различия достигли своих максимальных значений. Так, в южной части фьорда (станция № 1) глубина исчезновения диска Секи равнялась 1 м, тогда как в северной части она достигала 14 м. При этом максимальная межгодовая изменчивость наблюдалась в южной части залива (1–10 м), тогда как в северной части она была не столь значительна (10–14 м). По-видимому, это связано с влиянием материкового стока, изменчивость которого наиболее сильна именно в южной части фьорда, где расположены наиболее крупные ледники и реки.

В августе 2006 г. экспедицией ААНИИ были выполнены измерения подводной облученности в диапазоне ФАР (фотосинтетическая активная радиация, 400–700 нм) на всей акватории залива. Для поверхностного слоя воды был рассчитан коэффициент ослабления солнечной радиации. Результаты представлены на рис. 3.

Максимальные значения коэффициента ослабления ( $1,7 \text{ м}^{-1}$ ) были зафиксированы в южной и юго-восточной части фьорда. На участке мыс Финессет — траверс поселка Баренцбург (расстояние порядка 2 км) наблюдается зона максимальной пространственной изменчивости коэффициента ослабления. Севернее этой зоны его значения не превышают  $0,5 \text{ м}^{-1}$ . Этот участок можно рассматривать как естественную границу между поверхностными водами речного происхождения и собственно поверхностными водами залива морского происхождения. Таким образом, выполненные в разное время определения условной оптической характеристики — относительной прозрачности и физической характеристики — коэффициента ослабления подтвердили квазипостоянство структуры поверхностных водных масс залива Грэн-фьорд.

Распределение относительной прозрачности для каждой станции в отдельности за период 1986–1990 гг. носит более сложный характер по сравнению с пространственным распределением этой характеристики на акватории залива. Здесь мы говорим о средних оценках за летний сезон (июнь–октябрь) для каждой станции в отдельности. Заметим, что оценки средних величин относительной прозрачности получены по разному числу измерений (от 2 до 6). Однако для всех станций отмечается одна общая закономерность, связанная с минимальными величинами относительной прозрачности, наблюдаемыми в 1988 г. Причем этот минимум наблюдался и на океанографических станциях, расположенных в прилегающей акватории Ис-фьорда (станции № 6, 7). Абсолютные значения минимума, наблюдавшиеся в 1988 г., имели закономерное распределение по акватории за-

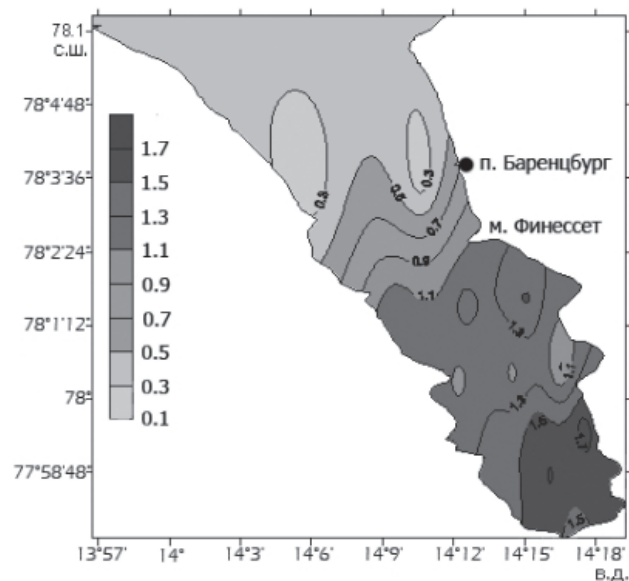


Рис. 3. Распределение коэффициента ослабления ( $m^{-1}$ ) солнечной радиации в диапазоне ФАР в поверхностном слое залива Грён-фьорд, август 2006 г.

лива. Так в его южной части (станции № 1, 2) он составлял 1–2 м, в центральной (станции № 3, 4) 4–5 м, в северной (станция № 5) 6 м, а на акватории Ис-фьорда он достигал 8–10 м. Одной из возможных причин пониженной относительной прозрачности, зафиксированной в водах залива Грён-фьорд в летний период 1988 г., могла быть толщина снежного покрова, которая, как следует из рис. 4, в этот год была максимальна по сравнению с предыдущим и последующим годами. Это обстоятельство, при прочих равных, обуславливает повышенный расход рек, несущих, как указывалось выше, основную массу взвешенных частиц. Косвенно это подтверждается и величинами солености поверхностного слоя воды в заливе, которые в 1988 г. были минимальны, что свидетельствует о значительных объемах пресных вод, поступивших в залив.

Корректно оценить сезонную изменчивость относительной прозрачности в водах залива Грён-фьорд не позволяет ограниченность имеющихся материалов. Наиболее длительные ряды измерений этой величины удалось получить для станций № 4 (1987 г.) и № 5 (1989 г.). В эти года измерения относительной прозрачности на указанных станциях проводились регулярно с июня по октябрь, т.е. 5 раз в году. На станциях № 2 (1987, 1988, 1989 гг.), № 3 (1990 г.), № 4а (1988, 1989, 1990 гг.), № 4 (1988, 1990 гг.), № 4б (1988, 1990 гг.), № 5а (1987, 1988, 1990 гг.), № 5 (1987, 1988, 1990 гг.), № 5б (1987, 1988, 1990 гг.) в указанные годы измерения относительной прозрачности проводились 4 раза в год. Общая закономерность для этого периода наблюдений заключается в понижении относительной прозрачности вод в сентябре–октябре по сравнению с величинами, которые наблюдались в июле–августе. По-видимому, объяснение этому факту можно найти, если проанализировать режим осадков для этих месяцев за период с 1985 по 1990 г.

Как следует из рис. 5 и ряда других источников [3, 4], максимальные величины осадков наблюдаются как раз в сентябре–октябре, что должно приводить к увеличению расхода рек (осенний паводок) и, как следствие, к дополнительному

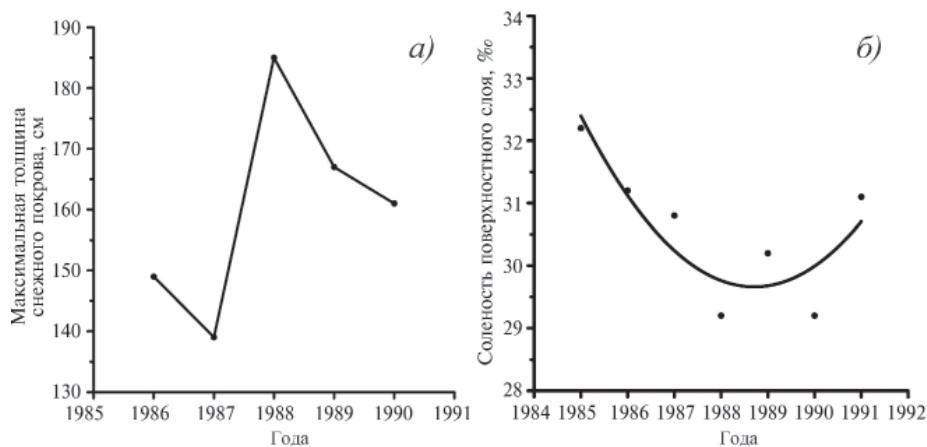


Рис. 4. Межгодовая изменчивость максимальной толщины снежного покрова (а) и солености в поверхностном слое воды (б) в заливе Грэн-фьорд (данные ГМО «Баренцбург»)

выносу взвешенных частиц в воды залива. К сожалению, этот вывод носит отчасти гипотетический характер, поскольку мы не располагаем инструментальными данными о величинах расходов рек и крупных ручьев на побережье залива Грэн-фьорд во второй половине 80-х гг. прошлого столетия. Для станций № 6 и 7, расположенных на акватории Ис-фьорда, отмеченных закономерностей не наблюдалось. По-видимому, там сезонная изменчивость относительной прозрачности формируется под действием иных факторов.

В заключение сформулируем ряд выводов, которые в силу ограниченности рядов данных и их внутренней неоднородности носят, безусловно, предварительный характер.

1. Анализ данных об относительной прозрачности позволил, в первом приближении, оценить ее пространственную и временную изменчивость на акватории залива Грэн-фьорд.

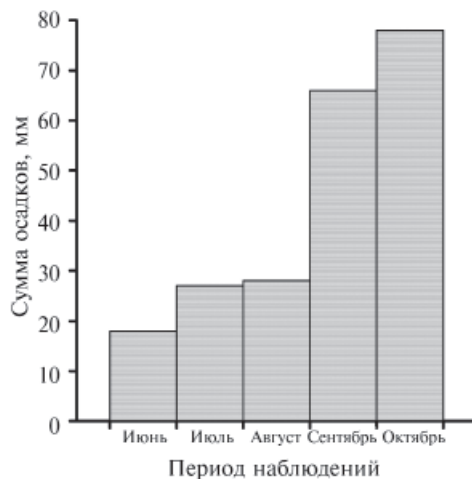


Рис. 5. Месячные суммы осадков в заливе Грэн-фьорд по данным ГМО «Баренцбург» (средние оценки для периода 1985–1990 гг.)

2. Прозрачность вод закономерно увеличивается от южной части залива до его глубоководной части на севере, причем в отдельные годы (1988, 1990 гг.) это увеличение может достигать 100 %.

3. Коэффициент ослабления может служить дополнительной объективной характеристикой для оценки распространения речных вод на поверхности вод залива.

4. Сезонная и многолетняя изменчивость относительной прозрачности, в первом приближении, обусловлена изменчивостью внешних метеорологических факторов и в первую очередь режимом осадков.

*Работа выполнена в рамках плановой тематики ЦНТП Росгидромета (раздел 1.5.4.3) и гранта отдела подготовки кадров АНИИ (2010–2011 гг.). Экспедиционные исследования были поддержаны проектом АНИИ «Исследование метеорологического режима и климатической изменчивости архипелага Шпицберген».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Апель И.Л., Гудкович З.М.* Отражательная способность ледяного покрова в период таяния льда в юго-восточной части моря Лаптевых // ПОЛЭКС-СЕВЕР-76 (научные результаты). 1979. Ч. 2. С. 27–32.
2. *Лисицын А.П.* Ледовая седиментация в Мировом Океане. М.: Наука, 1994. 448 с.
3. *Соловьянова И.Ю., Третьяков М.В., Прямиков С.М.* Особенности формирования стока р. Альдегонда (Шпицберген) // Сборник материалов V международной конференции «Комплексные исследования природы Шпицбергена». Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2005. Вып. 5. С. 348–355.
4. *Killingtveit A., Pettersson L., Sand K.* Water balance investigations in Svalbard // Polar Research. 2002. Vol. 22. № 2. P. 161–174.
5. *Lindemann F., Holemann J.A., Korablev A., Zachek A.* Particle entrainment into newly forming sea ice-freeze-up studies in October 1995 // Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: dynamics and history (Section A: Modern Ocean and Sea-Ice Processes) / Eds. H.Kassens, H.A.Bauch, I.A.Dmitrenko et al. Springer-Verlag. Berlin, 1999. P. 113–124.
6. *Reimnitz E., Kassens H., Eicken H.* Sediment transport by Laptev Sea ice // Report of Polar Research. Russian-Germany cooperation: «Laptev Sea System» / Edited by J.Tiede. 1995. № 176. P. 71–77.

*B.V.IVANOV, A.K.PAVLOV, P.I.SITDIKOV*

#### RELATIVE TRANSPARENCY OF WATER IN THE GRONFJORDEN BAY (SPITSBERGEN)

*The results of the analysis of spatial-time variability of size of a relative transparency (depth of disappearance of a standard white disk) in the Gronfjorden Bay (Spitsbergen archipelago) are presented in article. The data covers the period from 1986 to 1990 and were obtained during carrying-out of the oceanographic researches executed by experts of HMO «Barentsburg» (Murmansk HMS) under the program of standard coastal supervision. The conclusions about the reasons of spatial and time variability of a relative transparency depending from change of external conditions are become.*

*Keywords:* Spitsbergen, relative transparency of waters, spatial and time structure of transparency.