

УДК 551.46

ИСТОЧНИКИ ОПРЕСНЕНИЯ ВОД ЗАЛИВОВ ЮЖНОГО ОСТРОВА НОВОЙ ЗЕМЛИ ПО ИЗОТОПНЫМ (δD , $\delta^{18}O$) ДАННЫМ

© 2020 г. С. А. Коссова^{1,*}, член-корреспондент РАН Е. О. Дубинина¹,
Ю. Н. Чижова¹, А. Ю. Мирошников¹

Поступило 05.03.2020 г.

После доработки 20.03.2020 г.

Принято к публикации 23.03.2020 г.

Проведено изотопно-геохимическое изучение вод заливов Абросимова и Степового (юго-восточное побережье архипелага Новая Земля), в опреснении которых принимает участие несколько источников – речной сток с континента, атмосферные осадки региона и воды, поступающие с архипелага. Вклады данных пресных компонентов различны для поверхностных и подгалоклинных вод. Показано, что поверхностные воды опреснены с участием локального стока с архипелага, а воды, лежащие под галоклином – смесью речных вод Оби и Енисея и талым речным льдом. Поступление данных компонентов в акватории заливов обусловлено глобальной циркуляцией вод Карского моря, которые, в свою очередь, так же опреснены водами континентального стока.

Ключевые слова: изотопы кислорода и водорода, соленость, морская вода, Арктика, Карское море, опреснение, Новая земля

DOI: 10.31857/S2686739720060080

ВВЕДЕНИЕ

Карское море, частично ограниченное архипелагом Новая Земля, является наиболее опресненным из всех Арктических морей России; содержание пресных вод в его поверхностных водах может достигать более 40% [1]. Глобальным источником опреснения вод Карского моря является сток крупных сибирских рек – Оби и Енисея [2]. Двухкомпонентное смешение речных вод, поступающих с материковым стоком, с модифицированными атлантическими водами Баренцево-морского происхождения прослеживается от эстуариев рек вплоть до центральной части моря [1, 3, 4]. Кроме речного стока, к постоянным источникам опреснения Карского моря можно отнести региональные атмосферные осадки [4] и атмосферные осадки высоких широт, присутствие которых установлено в слабо опресненных придонных водах заливов Северного острова, изученных нами ранее [5].

По мере удаления от континента и с приближением к берегам Новой Земли, к процессам опреснения вод Карского моря подключаются

локальные источники опреснения – сезонные водотоки и талая вода ледников, поступающие с берегов архипелага [5]. Для Северного острова главными локальными источниками опреснения являются талые воды ледников и, в меньшей степени, летние атмосферные осадки [7]. Поскольку характерной чертой Южного острова является отсутствие горного и покровного оледенения [8], то можно ожидать, что основной вклад в локальный сток с Южного острова будут вносить только сезонные атмосферные осадки.

Поскольку Новоземельское течение распространяется вдоль всего Восточного побережья архипелага с севера на юг [6], можно предполагать, что источники опреснения вод заливов Северного и Южного островов являются общими. Однако их вклад и пространственное распределение в толще вод заливов разных островов могут отличаться. Цель настоящей работы состоит в установлении источников опресняющих компонентов и специфики их пространственного распределения в водной толще заливов Южного острова архипелага Новая Земля. Методом исследований выбрана изотопная геохимия кислорода и водорода, информативная в изучении процессов опреснения морских вод [9, 10], а объектом исследования – воды заливов Абросимова и Степового.

¹ Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: sonch_1@rambler.ru

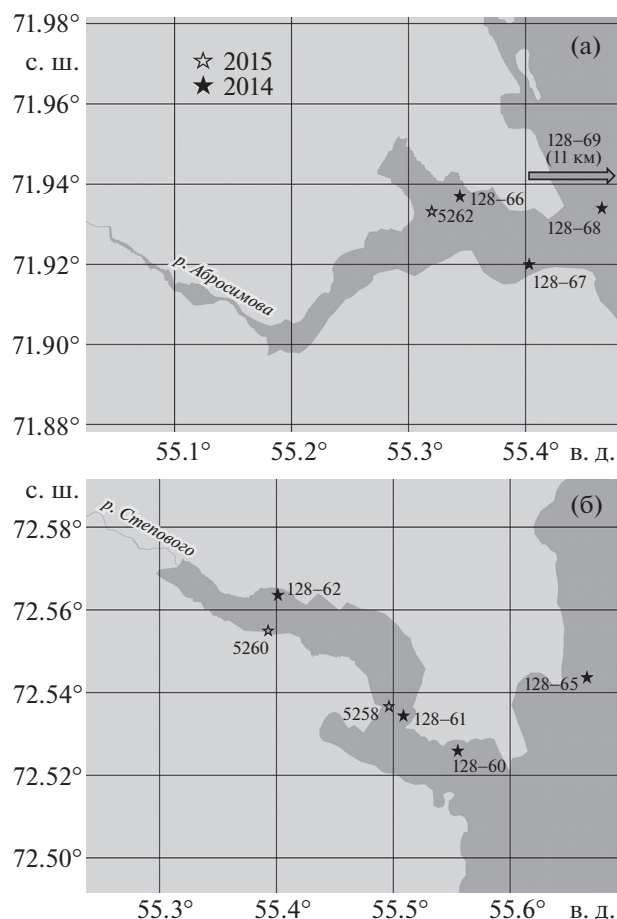


Рис. 1. Расположение станций, на которых отобраны пробы в заливах Южного острова Новой Земли: Абросимова (а), Степового (б).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал для исследований был отобран во время рейсов “Профессор Штокман” (2014 г.) и “Академик Мстислав Келдыш” (2015 г.) в Карское море в вертикальных профилях станций, расположенных непосредственно в заливах и на выходе из них в открытое море (рис. 1). В заливе Степового пробы отобраны на 6 станциях приблизительно через каждые 10 м (ст. 5258 и 5260 в 2015 г. и ст. 128-60, -61, -62, -65 в 2014 г., см. рис. 1). В заливе Абросимова пробы отобраны на 5 станциях (ст. 5262 в 2015 г. и ст. 128-66, -67, -68, -69 в 2014 г., рис. 1), средний интервал отбора проб составил ≈ 5 м. Отбор проб проведен батометрами комплекса SBE 32, при отборе измерялись температура и соленость вод с применением STD-зонда SBE-19plus.

Изотопный анализ кислорода выполнен методом CF IRMS на масс-спектрометре DELTA V+ (“Thermo”, Германия) с периферийным устройством GasBench II. Изотопный анализ водорода выполнен методом восстановления проб воды на

горячем хроме (H/Device) с последующим анализом на масс-спектрометре DELTAplus (“Thermo”, Германия). Величины δD и $\delta^{18}O$ водных образцов откалиброваны в шкале “V-SMOW – V-SLAP” с использованием соответствующих международных стандартов. Точность определения величин $\delta^{18}O$ и δD составила ± 0.05 и $\pm 0.3\%$ соответственно.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЛИВОВ

Заливы Степового и Абросимова расположены на восточном берегу Южного острова архипелага Новая Земля. Залив Степового находится в 70 км севернее залива Абросимова и представляет собой бухту, протянувшуюся вглубь острова в северо-западном направлении на 11 км и имеющую максимальную ширину 1.8 км у входа (рис. 1а). В заливе выделяются два бассейна: внутренний, более глубокий (до 60 м) и центральный (глубина 35–45 м). Между собой бассейны разделены небольшим порогом, поднимающимся до глубины 25 м. Такой же порог отделяет центральный бассейн залива от открытого моря. В залив Степового разгружается множество небольших ручьев и река Степового. Залив Абросимова (рис. 1б) вдается в берег Южного острова на 6 км и в самой широкой части имеет ширину 2 км. В западной части залив разделяется на две губы, северную и южную. Залив мелководен (средние глубины ≈ 10 м), в открытой части глубина достигает ≈ 20 м. В залив Абросимова разгружается большое количество мелких ручьев и река Абросимова [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ

По сравнению с североатлантическими водами, циркулирующими в Баренцевом и Карском морях ($S \approx 34.90$ е.п.с., Дубинина и др., 2017 а, б), воды изученных станций опреснены на всех опробованных глубинах, и в среднем соленость вод заливов на всех изученных глубинах составила 32 ± 4.2 е.п.с. Максимальная соленость (34.58 е.п.с.) отмечена в водах станции 128-69, расположенной на максимальном удалении от берегов залива Абросимова в сторону моря (отбор 2014 г.). Минимальная соленость (26.85 е.п.с.) отмечена в водах станций 5258 и 5260 в заливе Степового (отбор 2015 г.). В обоих заливах наибольшему опреснению подвергнуты воды поверхностного слоя, в придонных водах соленость достигает величин 33 е.п.с. и более.

Поведение величин $\delta^{18}O$ и δD аналогично поведению солености. Самые низкие величины $\delta^{18}O$ и δD отмечаются в наиболее опресненных водах поверхностного слоя в заливе Степового (2015 г.) и составляют -2.8% и -21.5% соответственно. В заливе Абросимова в том же году сильного опреснения не наблюдалось, и величины $\delta^{18}O$ и

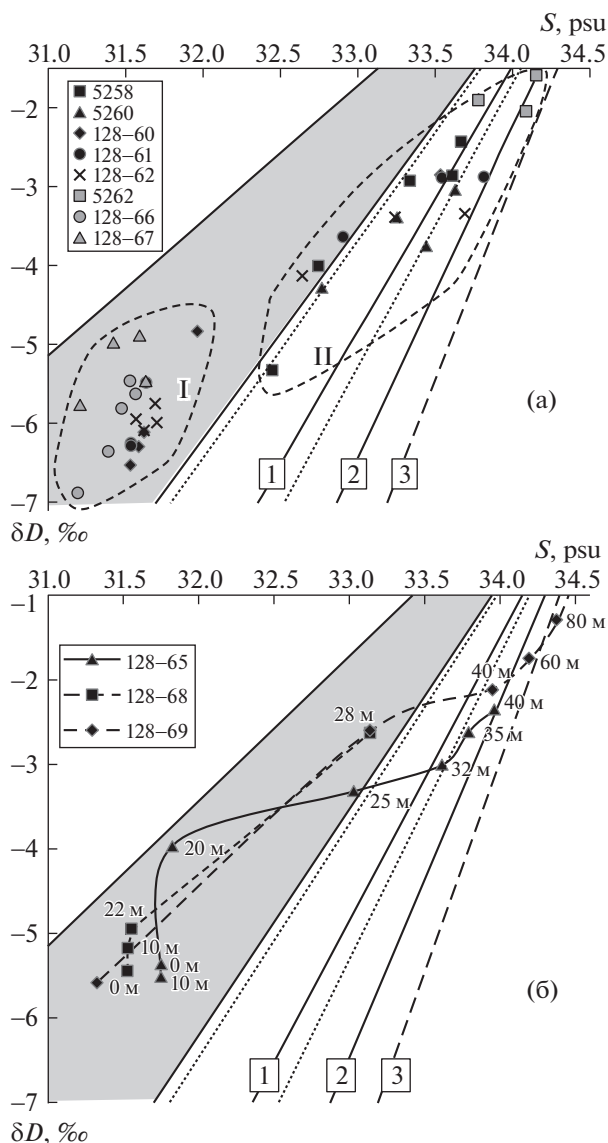


Рис. 2. Данные, полученные для вод станций, расположенных в заливах Южного острова Новой Земли (а) и удаленных в Карское море (б) в координатах δD -S. Черные маркеры – станции в заливе Степового, серые маркеры – станции в заливе Абросимова. Линии 1, 2, 3 – смешение морского компонента атлантического происхождения с водами Оби, Енисея и региональных атмосферных осадков соответственно. Пунктиром обозначены линии смешения морского компонента с талым льдом соответствующей реки. Серая – смешение морских вод с летними атмосферными осадками, выпадающими в районе Новой Земли.

δD в водах поверхностного слоя составляли -0.13‰ и -1.90‰ соответственно. В 2014 г. воды обоих изученных заливов также не были сильно опреснены, и величины $\delta^{18}O$ и δD варьировали в узких интервалах -0.8‰ – -0.2‰ и -6‰ – -3‰ соответственно. Максимальные величины $\delta^{18}O$ и δD отмечены в придонных водах залива Абросимова (2015 г.): $+0.27\text{‰}$ и -1.59‰ соответственно. Таким образом, интервал вариаций $\delta^{18}O$ и δD для залива Степового составил -2.82‰ – $+0.12\text{‰}$ и -21.5‰ – -2.4‰ соответственно (35 проб). Для залива Абросимова интервал вариаций $\delta^{18}O$ и δD

составил -0.88‰ – $+0.27\text{‰}$ и -6.9‰ – -0.4‰ соответственно (23 пробы).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В данной работе при анализе связи “изотопный состав–соленость” нами используется величина δD , которая измерена с более высокой относительной точностью, чем величина $\delta^{18}O$, традиционно применяемая в океанологических исследованиях [1, 3, 9]. Для идентификации опресняющих компонентов был использован подход, основан-

ный на анализе данных относительно расчетных линий, каждая из которых отвечает в координатах “ $\delta D-S$ ” смешению одного из пресных компонентов с водами атлантического происхождения [5]. На рис. 2а и 2б показаны линии смешения для всех потенциальных источников опреснения, изотопные параметры которых были взяты согласно опубликованным ранее данным [4, 5].

При определенных ветровых условиях возможно распространение в западном направлении не только эстуарных вод Оби и Енисея, но и речного льда [2]. Изотопные характеристики эстуарных вод Оби и Енисея были установлены ранее путем экстраполяции на нулевую соленость данных для вод из центра Карского моря [4]. Изотопные параметры речного льда рассчитаны с использованием соответствующих коэффициентов фракционирования изотопов кислорода и водорода в системе вода–лед ($\alpha(D) = 1.0211$; $\alpha(^{18}O) = 1.0029$ [12]).

Пресные воды, поступающие с берегов Новой Земли в летний сезон, когда производился отбор проб, могут быть представлены талыми ледниковыми водами и летними атмосферными осадками. На Северном острове в стоке с архипелага доминируют воды ледников, и лишь небольшой вклад вносят летние атмосферные осадки (до 25% [7]). На Южном острове главным источником питания локальных водотоков являются локальные атмосферные осадки. Интервал величин $\delta^{18}O$ и δD в атмосферных осадках, выпадающих над изучаемым районом, был оценен по базе данных GNIP [13]. Поскольку основным источником летних атмосферных осадков над Новой Землей являются атлантические воздушные массы, проходящие над северной и центральной Европой, Скандинавией, Шпицбергом и частично Исландией [7], мы использовали данные для станций наблюдения Нью-Олесунн (Шпицберген), Рейкьявик (Исландия) и Амдерма (побережье Карского моря). Полученный интервал, по нашему мнению, должен характеризовать как локальный сток с Южного острова, так и атмосферные осадки, выпадающие летом в районе Новой Земли.

Данные, полученные для вод заливов Южного острова, на рис. 2а формируют две группы точек, одна из которых расположена в области солености 31–32 е.п.с. (группа I), а другая – в области 32–34.5 е.п.с. (группа II). К группе I относятся воды с небольших глубин, на которых находятся, как правило, воды верхнего перемешанного слоя: до 13–17 м на станциях 128-67 и 128-66 в заливе Абросимова и до 20 м на станциях 128-60, 128-61, 128-62 в заливе Степового. Относительно расчетных линий смешения группа точек I расположена в поле смешения морских вод с летними атмосферными осадками, выпадающими над архи-

пелагом. Этот пресный компонент может поступать в верхние горизонты вод заливов как с локальным стоком с Южного острова, так и непосредственно в виде атмосферных осадков. Вклад атмосферного компонента в поверхностные воды заливов составляет 8–15%.

Группу II составляют точки вод, отобранных с глубин более 20 м на станциях 5258, 5260 в заливе Степового и 5262 в заливе Абросимова (2015 г.) и на станциях 128-60, 128-61 и 128-62 в заливе Степового (2014 г.). Относительно расчетных линий смешения, эта группа точек расположена в области, характерной для смешения атлантических вод с пресным компонентом континентального происхождения – эстуарными водами Енисея, Оби, талым речным льдом. Общий вклад пресного компонента в водах этой группы составляет 2–5%. Наиболее вероятно, что данные воды поступают в заливы Южного острова за счет циркуляции вод Карского моря, которые глобально опреснены речным континентальным стоком примерно в той же степени [1]. С уменьшением солености в водах этой группы прослеживается нарастающее влияние локального атмосферного компонента.

Эту общую тенденцию демонстрируют воды станций, расположенных на выходе из заливов (ст. 128-65, 128-68 и 128-69). Линии изменения величин δD с глубиной для этих станций рассмотрены на рис. 2б. Для вод всех станций наблюдается однотипное распределение роли опресняющих компонентов с возрастанием глубины. В поверхностном слое опреснение происходит за счет локальных атмосферных осадков, однако в более глубоких водах нарастает влияние удаленных источников опреснения – речного стока и регионального атмосферного компонента.

В отличие от Северного острова, для подглакциальных вод заливов Южного острова не установлено присутствие атмосферного компонента, присущего, предположительно, водам полярного течения, которые могут поступать к Новой Земле из более высоких широт через желоба Св. Анны и Воронина [5]. Придонные воды заливов Южного острова опреснены компонентами континентального стока (эстуарные воды Оби и Енисея, речной лед), которые попадают в их акватории с Восточным Новоземельским течением, переносящим опресненные материковым стоком воды Карского моря вдоль берегов Новой Земли в направлении с севера на юг [6, 15]. Присутствия речных вод в виде поверхностных плюмов на Южном острове не отмечается, что отличает их от заливов Северного острова, где, например, было установлено присутствие поверхностного плюма эстуарных вод Оби в заливе Седова в 2015 г. [5]. В принципе, такое распространение речных плюмов к Южному острову нельзя исключить, напри-

мер, за счет того же Новоземельского течения, однако наши наблюдения 2014–2015 гг. это не подтверждают.

Отсутствие вклада ледникового компонента в локальном стоке с архипелага определяет специфику изотопных характеристик поверхностных вод заливов Южного острова. В заливах Степового и Абросимова наблюдается опреснение исключительно летним локальным атмосферным компонентом, который может опреснять поверхностные воды заливов как путем непосредственной разгрузки летних осадков над акваториями, так путем стока с архипелага.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Акватории заливов Южного острова Новой Земли, так же, как и Северного острова, опреснены водами, поступающими как из локальных, так и удаленных источников. Вклад и степень участия этих источников различен для поверхностных и подгалоклинических вод заливов Южного острова. Основная специфика поверхностных вод заливов Степового и Абросимова состоит в отсутствии в них таких компонентов, как ледниковый сток и речные плюмы, главным опресняющим компонентом в них являются летние атмосферные осадки, формирующие сток с архипелага. Подгалоклинические воды заливов Южного острова опреснены компонентами континентального стока, поступающего к берегам архипелага с водами Карского моря, глобально опресненными эстуарными водами Енисея, Оби и талым речным льдом.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы глубоко признательны руководителю арктических морских экспедиций академику РАН М.В. Флинту за поддержку в проводимых исследованиях.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ №18–05–00740. Интерпретация изотопных данных выполнена при финансовой поддержке РНФ №18–1700089.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубинина Е.О., Косова С.А., Мирошников А.Ю., Фяйзулина Р.В. Изотопные (δD , $\delta^{18}O$) параметры и источники опресненных вод Карского моря // *Океанология*. 2017. Т. 57. № 1. С. 38–48.
2. Зацепин А.Г., Завьялов П.О., Кременецкий В.В., Поляков С.Г., Соловьев Д.М. Поверхностный опресненный слой в Карском море // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 698–708.
3. Bauch D., Erlenkeuser H., Stanovoy V., et al. Freshwater Distribution and Brine Waters in the Southern Kara Sea in Summer 1999 as Depicted by $\delta^{18}O$ Results // *Siberian River Run-off in the Kara Sea* (Ed. Stein R.). 2003. P. 73–90.
4. Дубинина Е.О., Косова С.А., Мирошников А.Ю., Кокрятская Н.М. Изотопная (δD , $\delta^{18}O$) систематика вод морей Арктического сектора России // *Геохимия*. 2017. № 11. С. 1041–1052.
5. Дубинина Е.О., Косова С.А., Мирошников А.Ю. Источники и механизмы опреснения морских вод в заливах Цивольки и Седова (Новая Земля) по изотопным (δD , $\delta^{18}O$) данным // *Океанология*. 2019. Т. 59. № 6. С. 928–938.
6. Никифоров Е.Г., Шнайхер А.О. Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана // *Гидрометеозидат*. Ленинград, 1980 г. С. 269.
7. Дубинина Е.О., Чижова Ю.Н., Косова С.А., Авдеенко А.С., Мирошников А.Ю. Формирование изотопных (δD , $\delta^{18}O$, d) параметров ледников и водного стока с Северного острова архипелага Новая Земля // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 1. С. 1–16
8. Чижов О.П., Корякин В.С., Давидович Н.В. и др. Оледенение Новой Земли. М.: Наука, 1968. 338 с.
9. Ostlund H.G., Hut G. Arctic Ocean Water Mass Balance From Isotope Data // *J. Geophys. Res.* 1984. V. 89. P. 6373–6381.
10. Bauch D. The Distribution of $\delta^{18}O$ in the Arctic Ocean: Implications for the Freshwater Balance of the Halocline and the Sources of Deep and Bottom Waters // *Ber. Polarforsch.* 1995. V. 159. P. 1–144.
11. Владимиров М.В., Анохин В.М., Исаева О.В., Слинченков В.И., Соболев В.Н., Холмянский М.А., Константинов В.М., Григорьев А.Г., Иванов Г.И., Лобынцев В.В., Снопина Е.М. Атлас подводных потенциально опасных объектов Карского моря // Санкт-Петербург. 2012. 115 с.
12. Lehmann M., Siegenthaler U. Equilibrium Oxygen- and Hydrogen-isotope Fractionation between Ice and Water // *Journal of Glaciology*. 1991. V. 37. № 125. P. 23–26.
13. IAEA. Global Network of Isotopes in Precipitations. The GNIP Database. 2020. Accessible at: <https://nucleus.iaea.org/wiser>
14. Frew R.D., Dennis P.F., Heywood K.J., et al. The Oxygen Isotope Composition of Water Masses in the Northern North Atlantic // *Deep-Sea Res.* 2000. V. 47. P. 2265–2286.
15. Pavlov V.K., Pfirman S.L. Hydrographic Structure and Variability of the Kara Sea: Implications for Pollutant Distribution // *Deep-Sea Res.* 1995. V. 42. № 6. P.1369(2020)–1390.

FRESHWATER SOURCES IN THE BAYS OF THE SOUTH ISLAND OF NOVAYA ZEMLYA ARCHIPELAGO ACCORDING TO ISOTOPIC (δD , $\delta^{18}O$) DATA

**S. A. Kossova^{a,#}, Corresponding Member of the RAS E. O. Dubinina^a,
J. N. Chizhova^a, and A. Yu. Miroshnikov^a**

^a *Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

[#] *E-mail: sonch_1@rambler.ru*

An isotope-geochemical study was carried out for freshened sea waters in Abrosimov and Stepovoy bays (south-eastern coast of the Novaya Zemlya archipelago). There are several freshwater sources in this region - river runoff from the continent, atmospheric precipitation of the region and local runoff from the archipelago. But the contribution of these fresh components are different for surface and subhaloclinic waters. It was shown that surface water is freshened by local runoff from the archipelago, and the water lying under the halocline by a mixture of the Ob and Yenisei river waters and thawed river ice. The entrance of these fresh components in the bay waters may be due to the global circulation of the Kara Sea, which is also freshened by the continental runoff.

Keywords: oxygen and hydrogen isotopes, salinity, sea waters, Arctic, the Kara Sea, freshening, Novaya Zemlya