

АНОМАЛИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ CO₂ НА ПОВЕРХНОСТНОМ ГОРИЗОНТЕ В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ ЛЕТОМ 2007 г.

канд. хим. наук А.П. НЕДАШКОВСКИЙ¹, мл. науч. сотр. Е.П. БОНДАРЕВА²

¹ — Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, e-mail: nealpa@mail.ru

² — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: lena_kirillova@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Направление обмена углекислым газом между океаном и атмосферой определяется разностью парциальных давлений углекислого газа, $P(\text{CO}_2)$, в атмосфере и на поверхностном горизонте. Как правило, характеристики поверхностного горизонта в Мировом океане достаточно близки характеристикам верхнего квазиоднородного слоя (ВКС). В Северном Ледовитом океане (СЛО) в летний сезон характеристики поверхностного горизонта во многих случаях значительно отличаются от характеристик ВКС, что в основном связано с распреснением, вызванным таянием льда и атмосферными осадками. Наблюдения $P(\text{CO}_2)$ на поверхностном горизонте представляют интерес для оценки роли СЛО в обмене углекислым газом в летний сезон.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Наблюдения проводились в 26-м рейсе НЭС «Академик Федоров» в августе 2007 г. Выполнено 52 станции. Ледовая обстановка в районах отбора проб по данным (Обзорные карты..., 2012) представлена в табл. 1. Схема станций представлена на рис. 1.

Пробы воды с поверхностного горизонта отбирались ведром с носовой части судна. Температура измерялась электронным термометром с выносным датчиком (HI 98508 Checktemp 1, HANNA Instruments, Германия) непосредственно в ведре.

Таблица 1

Ледовая обстановка в период проведения наблюдений (август–сентябрь 2007 г.)

| Станции | Период наблюдений | Ледовая обстановка |
|---------|-------------------------|---|
| 11 | 6 августа | Лед 7–10 баллов |
| 19–21 | 7 августа | Открытая вода |
| 34–41 | 10–11 августа | Граница зоны 7–10 баллов с зоной 1–6 баллов |
| 44–53 | 12–14 августа | Лед 7–10 баллов |
| 54–60 | 15–17 августа | Открытая вода |
| 61–72 | 18–25 августа | Лед 7–10 баллов |
| 73–82 | 25 августа – 1 сентября | Открытая вода |

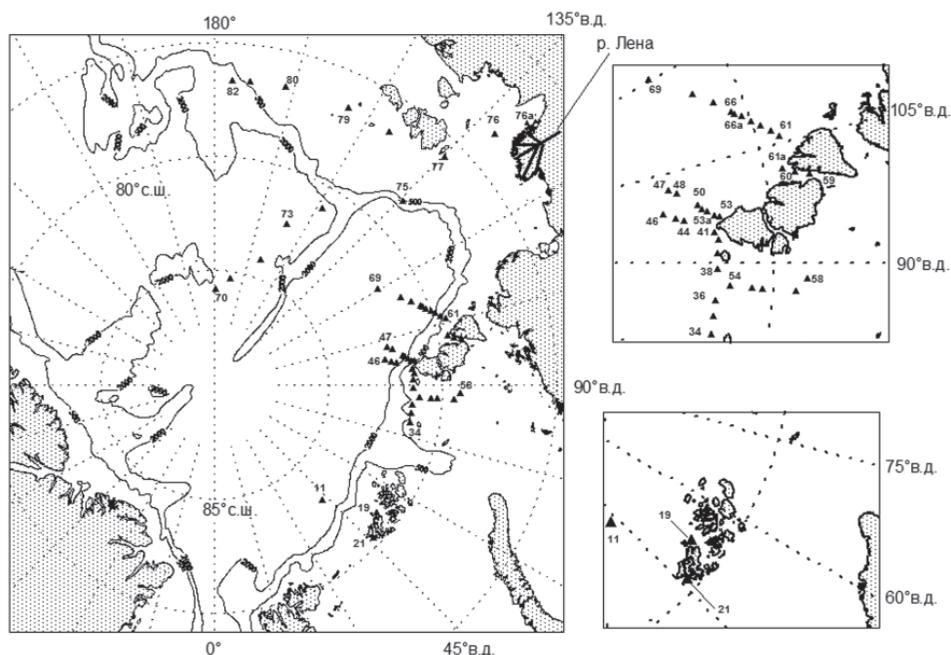


Рис. 1. Схема станций в 26-м рейсе НЭС «Академик Федоров»: цифры — номера станций. В правой части подробно показано расположение станций в районе Северной Земли и Земли Франца-Иосифа.

Соленость определялась с помощью солемера Autosal 8400В. Калибровку солемера выполняли по стандартам морской воды ($K_{15} = 1,00025$ и $K_{21} = 0,3254$), изготовленным ИО РАН им. П.П. Ширшова. Определение общей щелочности (ТА), рН и расчет давления углекислого газа выполнялись как описано в (Недашковский, Лесенков, 2014). Соленость и рН определялись на борту судна. Щелочность определялась спустя 1–2 месяца в пробах, законсервированных сулемой, в лагерной лаборатории СП–35.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Температура и соленость на поверхностном горизонте сильно варьировали. На станциях в ледяном поле сплоченностью 7–10 баллов температура воды оставалась низкой, составляя $-1,7 \dots -0,2$ °С, соленость изменялась от 3,6 до 33,6 psu. В открытой воде, за исключением станций 76, 76а, 77, температура на поверхностном горизонте менялась в пределах: $-1,2 \dots 4,8$ °С, соленость в пределах 23,6–33,4 psu. На станциях 76, 76а, 77 наблюдалась высокая температура: 6–8 °С; соленость варьировала в интервале 2,8–19,3 psu.

На рис. 2 показана изменчивость $P(\text{CO}_2)$. Парциальное давление CO_2 в атмосфере в период проведения наблюдений по данным обсерватории Барроу (NOAA ESRL..., 2013) составляло 373 ± 1 мкатм. На рисунке видно, что на большинстве станций в исследуемом регионе $P(\text{CO}_2)$ на поверхностном горизонте меньше атмосферного, следовательно, имеет место сток CO_2 из атмосферы.

Пересыщение CO_2 (черные кружки) наблюдается в двух районах: на станциях 76–79, расположенных в море Лаптевых западнее и севернее Новосибирских островов, и на станциях 64, 65 на разрезе от о. Большевик поперек материкового склона.

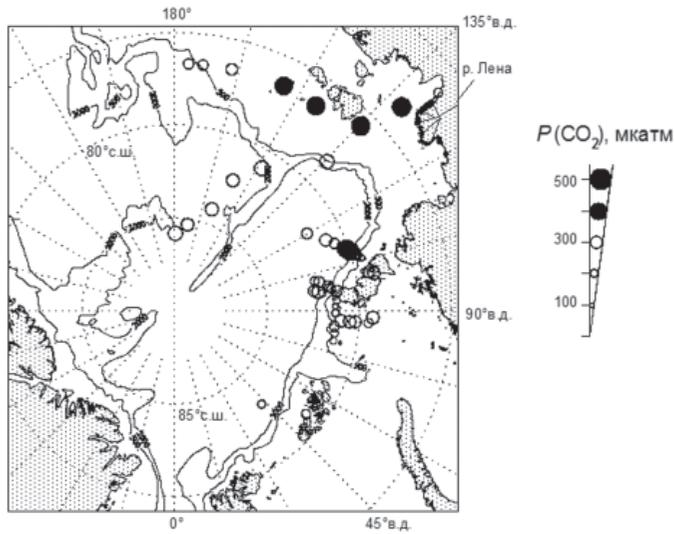


Рис. 2. Парциальное давление CO_2 на поверхностном горизонте: черные кружки — $P(\text{CO}_2) > 373$ мкатм (пересыщение), светлые кружки — $P(\text{CO}_2) < 373$ мкатм (недосыщение).

Станции 76–79 расположены в районе влияния стока Лены (Атлас океанов..., 1980). $P(\text{CO}_2)$ на этих станциях меняется в интервале 430–455 мкатм. Из-за выноса биогенных элементов и органического вещества воды в этой области характеризуются высокой интенсивностью продукционно-деструкционных процессов. Вследствие этого биотические факторы, контролирующие $P(\text{CO}_2)$, здесь играют большую роль, что качественно отличает данный район от остальной акватории. Пересыщение может вызываться тем, что на момент съемки главным фактором, определяющим $P(\text{CO}_2)$, является окисление $\text{C}_{\text{орг}}$.

На ст. 64 и 65 давление $\text{CO}_2 \sim 430$ мкатм. Станции расположены в районе, в котором поверхностный горизонт не насыщен CO_2 . Кроме того, в этой области воды,

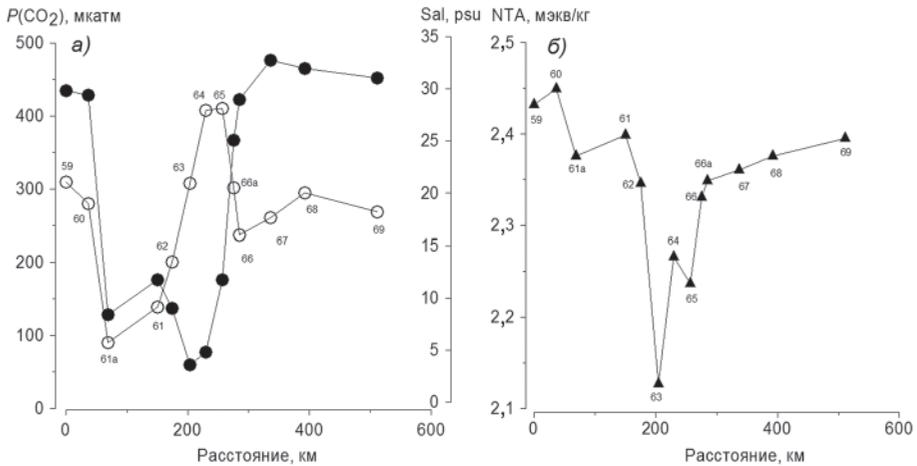


Рис. 3. Изменчивость $P(\text{CO}_2)$ и Sal (*a*), а также NTA (*б*) на разрезе ст. 59–69: черные кружки — Sal, светлые кружки — $P(\text{CO}_2)$, треугольники — NTA. Цифры — номера станций.

лежащие ниже, также не насыщены углекислым газом. Рассмотрим возможную причину повышенного $P(\text{CO}_2)$ на ст. 64 и 65. На рис. 3 показана изменчивость $P(\text{CO}_2)$, солености и нормированной щелочности, NTA ($\text{NTA} = \text{TA}/\text{Sal} \cdot 35$), на разрезе ст. 59–69.

На рис. 3а видно, что на начальном участке разреза с уменьшением солености $P(\text{CO}_2)$ падает. Однако на участке ст. 62–66 минимуму солености отвечает максимум $P(\text{CO}_2)$. На рисунке 3б видно, что максимуму $P(\text{CO}_2)$ соответствует значительное понижение NTA. Разбавление морской воды речной водой может вызывать только рост NTA. Разбавление водой, образующейся при таянии морского льда, практически не меняет NTA (Недашковский, Швецова, 2010). Падение NTA в районе станций 62–66 можно объяснить тем, что морская вода разбавляется талой водой, подкисленной в результате выпадения кислотных осадков в виде снега. Если кислоты в снегу отсутствуют, оценкой NTA на ст. 62–66 может быть среднее значение NTA для ст. 61а, 61, 66–69, составляющее 2,377 мэкв/кг. В этом случае ожидаемая щелочность воды ($\text{TA}_{\text{ожд}}$) на поверхностном горизонте ст. 62–66 определяется следующим образом: $\text{TA}_{\text{ожд}} = 2,377/35 \cdot \text{Sal}$, где Sal — соответствующая соленость.

Подкисление, уменьшая щелочность, не должно изменить содержание общего неорганического углерода. Из пар значений $\text{TA}_{\text{ожд}}$ и TC можно рассчитать давление CO_2 , которое должно наблюдаться в отсутствие подкисления. Расчет показывает, что без подкисления пика $P(\text{CO}_2)$ в рассматриваемой области не будет. При этом ожидаемое $P(\text{CO}_2)$ на ст. 64 и 65 составит 245 и 123 мкатм. Предполагаемая кислотность снега, которая рассчитывается по разности между $\text{TA}_{\text{ожд}}$ и измеренной величиной TA, составляет 0,02 мэкв/кг на ст. 64 и 0,08 мэкв/кг на ст. 65. Если кислотность обусловлена сильной кислотой и коэффициент активности ионов H^+ близок к 1, то полученным оценкам кислотности соответствуют предельные величины pH атмосферных осадков, равные 4,7 и 4,1.

Согласно (Першина, Полищук, Свистов, 2009) в европейском районе Российской Арктики наибольшая повторяемость значений pH осадков приходится на интервал от 4,6 до 6,7. В отдельных случаях регистрировались кислотные осадки, среднемесячное значение pH которых составляло 3,6. В Мурманске наблюдались осадки с pH ~ 3,2. В сибирском регионе самая низкая величина pH осадков составляла 3,9. Таким образом, выполненные оценки возможной кислотности осадков в районе ст. 64 и 65 вполне реальны. Согласно (The Arctic Environmental Atlas, 2013) воздушный перенос в этот район осуществляется из Северной Европы, Кольского полуострова, захватывая район Норильского комбината. Именно в этих областях воздушные массы могут загрязняться кислотными соединениями (Першина, Полищук, Свистов, 2009; Свистов и др., 2009). Следовательно, повышенное давление CO_2 , наблюдаемое на ст. 64 и 65, можно рассматривать как аномалию, обусловленную выпадением кислотных осадков.

В желобе Воронина, вблизи архипелага Земля Франца-Иосифа, в проливе Шокальского между островом Октябрьской Революции и островом Большевик на поверхностном горизонте наблюдались воды, сильно распресненные за счет таяния льда (причина распреснения во всех случаях устанавливалась при расчете вклада речных и талых вод). Как правило, с уменьшением солености давление углекислого газа падает. Наиболее низкие величины $P(\text{CO}_2)$ наблюдались на ст. 53а (3,6 psu и 51 мкатм) и 61а (8,4 psu и 93 мкатм). Это подтверждает предположение (Недашковский, Швецова, 2010; Makshatas et al., 2011), что распреснение, вызываемое таянием льда, уменьшает давление углекислого газа, способствуя тем самым его стоку из атмосферы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В августе парциальное давление CO_2 на поверхностном горизонте на большей части акватории в Евразийском секторе Арктики меньше равновесного с атмосферой. Пересыщение CO_2 наблюдается в двух областях. Первая расположена в районе влияния стока Лены. Здесь пересыщение вызывается окислением органического вещества, поступающего с речным стоком. Вторая область находится северо-восточнее о. Большевик, где поверхностный горизонт сильно распреснен за счет таяния льда. Распреснение, вызываемое таянием льда, уменьшает давление углекислого газа. Поэтому в этой области высокое $P(\text{CO}_2)$ является аномалией. Анализ показывает, что аномалия может объясняться выпадением кислотных осадков. Размер аномалии в меридиональном направлении составляет около 50 км.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Атлас океанов. Северный Ледовитый океан. М.: Главное управление навигации и океанографии МО СССР, 1980. 184 с.

Недашковский А.П., Лесенков С.Б. Изменчивость парциального давления CO_2 в поверхностной структурной зоне в Евразийском секторе Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. 2014. № 3 (101). С. 37–47.

Недашковский А.П., Швецова М.Г. Общий неорганический углерод в морском льду // Океанология. 2010. Т. 50. № 6. С. 910–917.

Обзорные карты состояния ледяного покрова Северного Ледовитого океана. URL: <http://www.aari.ru/projects/ECIMO/index.php> (дата обращения 25.12.2012).

Першина Н.А., Полищук А.И., Свистов П.Ф. К вопросу о закислении атмосферных осадков в Российской Арктике // Труды ГГО. 2008. Вып. 558. С. 211–232.

Свистов П.Ф., Першина Н.А., Полищук А.И., Павлова М.Т. Кислотный и химический состав атмосферных осадков. Раздел 2.3. // Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2008 г. М.: Росгидромет, 2009. С. 51–55.

The Arctic Environmental Atlas (in Russian). Transport Pathways. URL: <http://www.arctic.noaa.gov/aro/atlas/> (дата обращения 17.01.2013).

Makhtas A., Nedashkovsky A., Utall T. The role of the arctic sea ice cover in carbon dioxide exchanges // 11th Conference on Polar Meteorology and Oceanography. 2–4 May 2011, Boston, Massachusetts. URL: <https://ams.confex.com/ams/11Polar/webprogram/Paper188861.html> (дата обращения 01.10.2013)

NOAA ESRL Global Monitoring Division Carbon Cycle Gases Barrow, Alaska, Time Series. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/dv/iadv/graph.php?code=BRW&program=ccgg&type=ts> (дата обращения 02.08.2013).