



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
РОССИЙСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ
ИМ. П. П. ШИРШОВА РАН



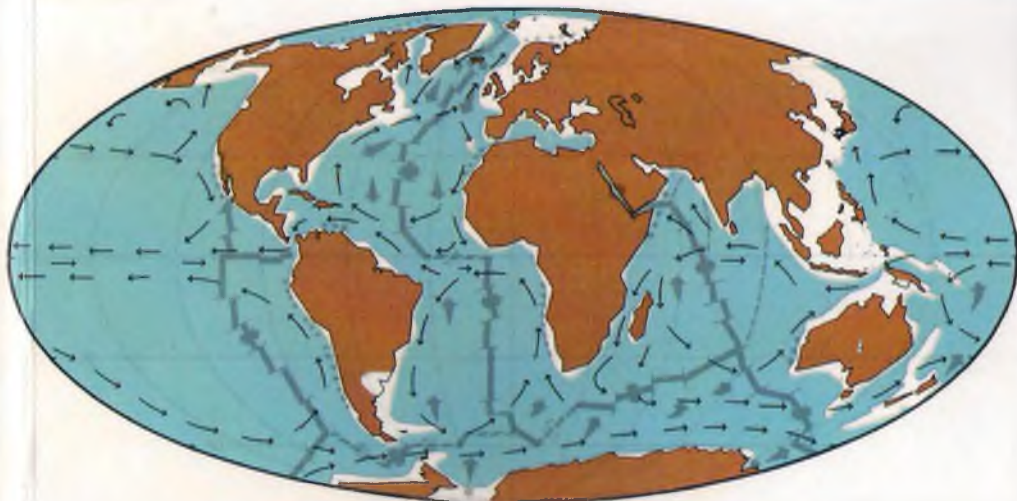
Материалы
XX
Международной
научной
конференции
(Школы)
по морской
геологии

ГЕОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

Москва

2013

Том III



ББК 26.221
Г35
УДК 551.35

Геология морей и океанов: Материалы XX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. – М.: ГЕОС, 2013. – 424 с.

В настоящем издании представлены доклады морских геологов, геофизиков, геохимиков и других специалистов на XX Международной научной конференции (Школе) по морской геологии, опубликованные в пяти томах.

В томе III рассмотрены проблемы изучения нано- и микрочастиц и потоков вещества и энергии (атмо-, крио-, гидро-, лито-, седиментосферы), а также исследований по проблемам «Система Белого моря» и «Система Каспийского и Аральского морей».

Материалы опубликованы при финансовой поддержке Отделения наук о Земле РАН, Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант 13-05-06021), издательства ГЕОС.

Ответственный редактор
Академик А.П. Лисицын

Редакторы к.г.-м.н. Н.В. Политова, к.г.-м.н. В.П. Шевченко

Geology of seas and oceans: Proceedings of XX International Conference on Marine Geology. Vol. III. – Moscow: GEOS, 2013. – 424 p.

The reports of marine geologists, geophysicists, geochemists and other specialists of marine science at XX International Conference on Marine Geology in Moscow are published in five volumes.

Volume III includes reports devoted to the problems of investigations of nano- and microparticles and mass and energy fluxes (atmo-, cryo-, hydro-, litho-, sedimentospheres), and the investigations on problems “White Sea system” and “Caspian and Aral seas system”.

Chief Editor

Academician A.P. Lisitzin

Editors Dr. N.V. Politova, Dr. V.P. Shevchenko

ISBN 978-5-89118-640-8
ББК 26.221

© ИО РАН 2013

Краснова Е.Д.¹, Воронов Д.А.^{2,3}, Воронова А.Д.⁴

(¹Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва, e-mail: e_d_krasnova@wsbs-msu.ru; ²НИИ Физико-химической биологии имени А.Н. Белозерского МГУ, г. Москва; ³Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, г. Москва; ⁴ГОУ СОШ № 192, г. Москва)

Роль вымораживания рассола из морского льда в формировании вертикальной стратификации в водоемах, отделяющихся от Белого моря

Krasnova E.D.¹, Voronov D.A.^{2,3}, Voronova A.D.⁴

(¹Pertzov White Sea Biological Station of Lomonosov University, Moscow; ²Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology, Lomonosov University, Moscow; ³Kharkevich Institute for Information Transmission Problems RAS, Moscow; ⁴Public school #192, Moscow).

The role of sea ice brine in formation of vertical stratification in water bodies separated from the White Sea

В конце 2011 г. телекомпания Би-би-си выпустила фильм о ледяном «пальце смерти» – “brinicle” ice finger of death, снятый в Антарктике. Подводная съемка в замедленном режиме зарегистрировала момент формирования полого ледяного «сталактита» при контакте на переохлажденного рассола, вытекающего из линзы внутри плавающего на поверхности льда, с подледной морской водой. Немногим более десяти минут понадобилось, чтобы быстро растущая ледяная «труба», окаймляющая поток рассола, достигла дна, в результате чего донный осадок в месте контакта с рассолом замерз вместе с находящимися на нем бентосными организмами.

Формирование концентрированного рассола в морском льду – давно известное явление [1], физический механизм возникновения ледяной трубы описан в 2013 г. [2]. Соль не включается в кристаллическую структуру льда, поэтому при замерзании морской воды образуется пресный лед, в порах между кристаллами которого находится жидкий концентрированный рассол. При дальнейшем охлаждении льда в захваченном рассоле растут новые кристаллы льда. Так как объём льда примерно на 9% больше объема воды, образование новых ледяных кристаллов в рассоле приводит к механическому напряжению льда, его растрескиванию и излиянию из трещин вниз концентрированного охлажденного рассола. Благодаря тому, что скорость тепловой диффузии в морской воде примерно на два порядка выше, чем скорость молекулярной диффузии [3], струи сильно охлажденного рассола не растворяются в окружающей морской воде, но успевают забрать из нее достаточное тепла, чтобы заморозить. Таким образом, вокруг струящегося рассола формируется трубчатая ледяная оболочка, напоминающая пустотелую сосульку – ледяной «палец смерти». Необходимое требование для его образования – отсутствие сильных течений, которые могут перемешать истекающий изо льда рассол с нижележащей водой.

Зимние температуры в районе Белого моря значительно выше, чем в Антарктике, однако и в нем в морозные зимы подводники в разных местах наблюдали «ледяные пальцы смерти» (личное сообщение М.В. Сафонова). Особенно значительны эти образования в бухте Биофильтров (п-ов Киндо, окрестности ББС МГУ, N 66°32' 19", E33°10'14"), по-видимому, благодаря тому, что она хорошо защищена от морских течений подводным порогом, и «ледяные пальцы смерти» растут беспрепятственно: здесь они выглядят, как свисающие с нижней поверхности льда полые ледовые сосульки до 2 м в длину, из которых вниз струится раствор с большей оптической плотностью, чем окружающая вода.

Истечение холодного и концентрированного рассола из морского льда может приводить не только к формированию «ледяных пальцев смерти», но и к накоплению на дне более соленой и потому более плотной воды. В опыте по замораживанию морской воды температуре 20–30°C с последующим размораживанием мы обнаружили, что образовавшийся концентрированный раствор стекает на дно без перемешивания. Пластиковые бутылки объемом 1.5–2 л были заполнены беломорской водой (27‰) и той же водой в разных разведениях (24‰, 20‰, 15‰, 10‰, 6‰ и 1‰). Бутылки были термоизолированы по бокам и снизу, чтобы лед формировался в них сверху вниз, как при естественном замерзании моря. Затем лед в бутылках оттаивали при комнатной температуре и после полного таяния последнюю измеряли плотность. Верхний слой воды, который подвергался замораживанию, после оттаивания был опреснен, в большинстве сосудов до 3–5‰, и полученное расслоение сохранялось в бутылках в течение недели, что говорит о медленности диффузионных процессов. На уровне нижней кромки растаявшего льда наблюдался резкий скачок солёности на 6–14‰. Но, самое интересное, что после замораживания бутылкой оказалось не два слоя с разной солёностью, а три: на дне каждого сосуда мы обнаружили тонкий слой с солёностью гораздо выше морской – 40–50‰. Этот эффект наблюдался с цельной морской водой и при разбавлениях до 10‰. Этот опыт показал, что концентрированный рассол, который образуется в порах морского льда, стекая на дно, в силу различий по плотности, не перемешивается с окружающей водой, так же как в ледяных «пальцах смерти».

В некоторых районах Мирового Океана наблюдаются мощные течения, обогащенные солью за счет вымораживания [4]. В масштабах всего Белого моря расслоения воды за счет вымораживания не происходит благодаря интенсивному перемешиванию его вод течениями, но это возможно в защищенных заливах, которых на Белом море много благодаря изрезанности береговой линии. Однако процесс расслоения вымораживанием невозможен в тех заливах, где имеется достаточный зимний пресный сток с суши, так как в этом случае лед формируется преимущественно из пресной воды без образования значимых количеств рассола в нем.

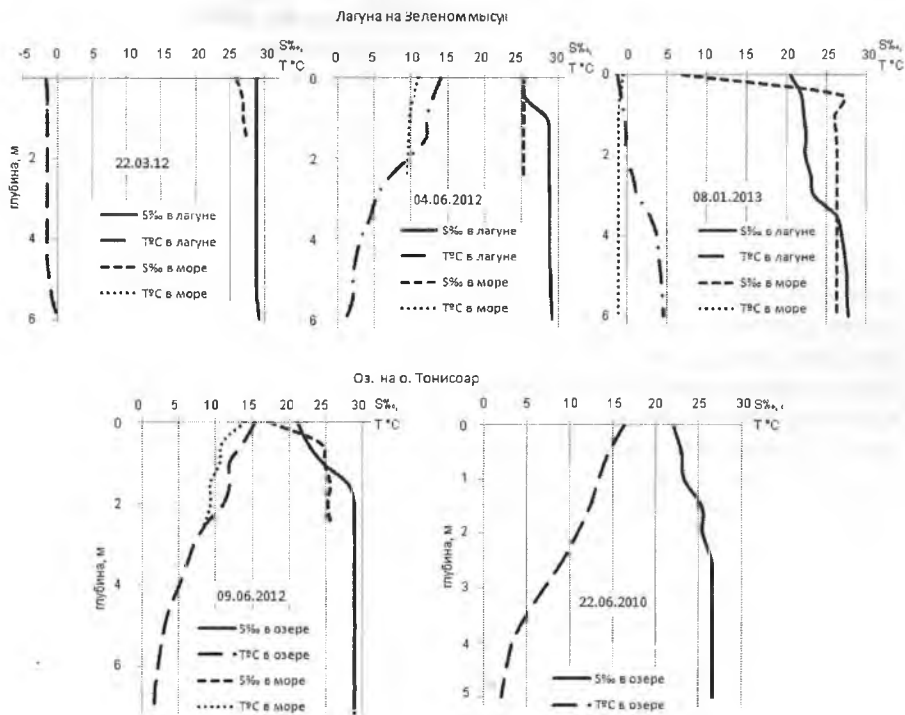


Рисунок. Гидрологические профили в двух озерах с соленостью выше чем, в море – лагуна на Зеленом мысу и озере на о. Тонисоар

Из 15 водоемов на разных стадиях отделения от моря, известных нам на Карельском берегу Белого моря, повышенная соленость обнаружена в двух: лагуна на Зеленом мысу (N 66° 31,80', E 33° 05,55') и озере на о. Тонисоар (N 66° 9,62', E 34° 13,61', близ д. Соностров, Лоухский р-н, Республика Карелия) (рис.).

В лагуна на Зеленом мысу с максимальной глубиной 6,5 м нижние два метра имеют соленость более 28‰ при том, что за порогом в море соленость даже в зимнее время не превышает 26‰. В озере на о. Тонисоар глубиной 10 м ниже двухметровой глубины соленость тоже превышает беломорскую: в июне 2010 г. в нижнем слое она была 26.7‰, а в июне 2012 г. – более 28‰ и возле дна она достигала 29‰. Летние измерения показали, что в поверхностном слое моря, с которым озеро сообщается через порог, вода сильно опреснена (17.3‰), и даже возле дна на глубине 2.5 м ее соленость не превышала 26‰. Иные источники морской соли, из-за которых соленость нижней водной массы могла бы превысить морскую, представляются маловероятными.

Явление накопления рассола, образованного вымораживанием из льда, описано для гипергалинного озера Шеллабер (Shellabear Lake) на острове Мелвилл (Канадский Арктический архипелаг; 75°N, 113°W) глубиной 26 м и площадью 0.59 км². Это озеро в летнее время соединяется с морем через порог глубиной 1 м, через коорый с приливами поступает морская вода. Зимой из-за намерзания на пороге ледовой пробки толщиной до 1.9 м водообмен с морем на шесть месяцев прекращается [5]. На основании данных о суточной и сезонной динамике температуры, концентрации морской соли, ионного состава, прозрачности и содержания кислорода канадские исследователи построили гидрологическую модель водоема, которая хорошо согласуется с данными изотопного анализа. Они пришли к заключению, что каждую зиму из льда на дно озера поступает большое количество рассола, а летом относительно опресненный поверхностный слой благодаря приливам и отливам замещается морской водой, и такой цикл повторяется вновь и вновь. В результате соленость воды в нижней 20-метровой толще составляет 56‰, причем градиент солености в этом слое не наблюдается – по видимому, это предельное максимальное значение солености, которое может возникнуть в данных условиях за счет механизма вымораживания рассола.

Истечение концентрированного рассола из морского льда, кроме формирования эффектных пальцев смерти, в прибрежных водоемах приводит к меромиксису, то есть отсутствию перемешивания нижнего соленого слоя с лежащими выше, а это в свою очередь влечет серьезные и драматические последствия для биоты. Разложение на глубине поступающей сверху органики (отмерших организмов, фекальных частиц, сброшенных оболочек и так далее) неизбежно приводит к дефициту кислорода и сероводородному заражению нижних слоев воды, которое, в частности, наблюдается во всех вышеупомянутых водоемах: лагуне на Зеленом мысу, озере на о. Тонисоар и бухте Биофильтров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lake R.A., Lewis E.L. Salt rejection by Sea Ice during Growth // *Jour. Geograph. Res.* 1970. V.75. № 3. P. 583–597.
2. Cartwright J.H.E., Escribano B., González D.L. et al. Brinicles as a case of inverse chemical gardens // *Langmuir*. 2013. 130403173604005 DOI: 10.1021/la4009703
3. Stern M.E. The “salt-fountain” and thermohaline convection // *Tellus*. 1960. № 12. P. 172–175.
4. Defossez M., Saucier F.J., Myers P.G. et al. Analysis of a dense water pulse following mid-winter opening of polynyas in western Foxe Basin, Canada // *Dynamics of Atmospheres and Oceans*. 2010. № 49 (1). P. 54–74.
5. Dugan H.A., Lamoureux S.F. The chemical development of a hypersaline coastal basin in the High Arctic // *Limnol. Oceanogr.* 2011. № 56 (2). P. 495–507.

Ice structures similar Antarctic ice "death fingers" which look as hanging down from the bottom surface of ice hollow ice icicles to 2 m in length from which solution with a bigger optical density, than surrounding water down streams are found in the White Sea. In experimental conditions it is shown that the concentrated brine formed when freezing water, after release from ice doesn't mix with underlying water, and concentrates at the bottom. The similar brine realize can be responsible for formation of a bottom layer with the increased salinity in some water bodies separating from the White Sea.