

гравий и галька могли быть отложены мощными потоками талых ледниковых вод при катастрофическом спуске приледникового озера или в обычном флювиогляциальном потоке. Тем не менее для того, чтобы с уверенностью это утверждать, необходимо исследование всего обнажения по всей длине в течение многих дней, что может быть осуществлено в последующих экспедициях.

Всего за экспедицию геоморфологической группой было совершено 7 однодневных и многодневных маршрутов общей протяженностью 107 часов. Можно привести цифры: описано 35 геоморфологических точек и обнажений, отобрано 74 образца рыхлых отложений. Много это или мало? Конечно, мало. Каждая точка достойна того, чтобы провести там неделю, и каждый день был бы полностью заполнен работой. Были выявлены неотектонические структуры, проявляющиеся в толще рыхлых отложений: на восточном берегу Байдарацкой губы, на Енисейском заливе. Удалось установить существование древних приледниковых озер и стремительных потоков талых ледниковых вод: побережье Байдарацкой губы, мыс Каменный. Установлен стационар для наблюдения за динамикой берегов в поселке Сабетта. После проведения анализов появятся новые датиров-

ки, дополняющие стратиграфическую картину Ямала. Изучены ранее не описанные жильные льды о. Белый, ластовые льды побережья Байдарацкой губы и Енисейского залива.

И, что важно, вслед за ответами тут же появились новые вопросы. Можно ли соотнести отложения, обнаруженные на Енисейском заливе, со знаменитой лескинской толщей, описанной еще в 80-х годах прошлого столетия восточнее? Похожи складки там на куполообразную антиклиналь, выявленную нами? Был ли все-таки ледник на восточном берегу Ямала, в районе Снегового Яра и мыса Каменный, или наблюдаемые текстуры вызваны другими причинами, к примеру, айсберговым переносом? Каковы механизмы и где еще встречаются проявления новейших движений земной коры на Ямале? Для того чтобы найти новые ответы, необходимы детальные и долговременные исследования, недельные маршруты и кропотливая работа. Экспедиция «Ямал-Арктика 2012» явилась своеобразной разведкой, которая позволила увидеть, как прост и чем сложен (и в геологическом, и в логистическом отношении) край Земли – Ямал.

А.В. Баранская (СПбГУ)

ЖИЗНЕННО ВАЖНЫЙ ГАЗ: РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В КАРСКОМ МОРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ «ЯМАЛ-АРКТИКА 2012»

Кислород является важнейшим газом для большинства живых организмов на Земле, одним из лимитирующих факторов существования жизни в ее современной форме. Однако, если в приземном слое атмосферы его содержание почти постоянно (порядка 21 % от общего объема), в морях и океанах количество растворенного кислорода сильно колеблется, вода поверхностного слоя моря близка к 100 % насыщению кислородом, вследствие обмена с атмосферой. Растворенный кислород попадает в воду из атмосферы разными способами: медленно, но постоянно – с диффузией молекул кислорода через поверхность раздела атмосфера–океан; непериодически, но интенсивно – во время штормов и сильного волнения моря. При этом шторма способствуют обогащению кислородом более глубоких слоев, что также происходит и при опускании «тяжелых» (холодных или соленых) водных масс – так называемом даунвеллинге. Не следует забывать еще об одном важном факторе – горизонтальном перемещении водных масс, адвекции. При этом концентрации могут как повышаться, так и «разбавляться». С расходом растворенного кислорода связано большинство процессов окисления в океане, т.е. при повышении концентраций окисляемых веществ (органических соединений, железа и др.) происходит уменьшение концентраций кислорода.

Таким образом, содержание растворенного в воде кислорода зависит как от климатических (температура и соленость), так и, в числе прочего, антропогенных (изменение концентраций окисляемых веществ, в т.ч. нефтеуглеводородов) факторов. Регулярный мониторинг позволяет наблюдать за состоянием экосистем под воздействием меняющихся факторов среды. В конечном счете отклонения от условной «нормы» концентраций кислорода может служить сигналом для корректировки деятельности человека в регионе. Здесь следует об-

ратить внимание, что регион не ограничивается точкой измерения или даже бассейном (например, бассейном Обской губы Карского моря). Для такого огромного бассейна, как море, крайне важен материковый сток – воды суши, попадающие в Мировой океан. Реки, в свою очередь, также имеют собственный водосборный бассейн (толща суши, сквозь которую и по которой протекают все воды, впадающие в реку, включая грунтовые воды, болота и проч.). Теперь становится понятно, что в комплексной системе часто возможно через один параметр (в данном случае – кислород) судить о много большем количестве параметров, а иногда и об изменениях целой системы.

Изучение содержания растворенного в воде кислорода обычно связано с океанологическими исследованиями толщи океана с помощью батометров. Батометры закрываются на определенной глубине, поэтому анализ проб воды из каждого батометра позволяет получать вертикальное распределение содержания кислорода. Так, в экспедиции «Ямал-Арктика 2012» для анализа распределения кислорода было отобрано и обработано порядка 1000 проб воды со 113 океанологических станций. Анализ полученных значений концентраций позволяет выявлять пространственную структуру распределения кислорода.

Арктические экосистемы сильно уязвимы, поэтому крайне важен их регулярный мониторинг. Среди разнообразных гидрологических объектов особого внимания заслуживают устьевые области – зоны смешения пресных и морских вод, зоны жизни. Одним из направлений исследований комплексной экспедиции «Ямал-Арктика 2012» стало изучение распространения речных вод в Карском море (главные объекты – Обская губа и Енисейский залив). Ввиду особенно активной в последнее время хозяйственной деятельности человека на Ямале также была изучена Байдарацкая губа.



Спуск розетки с батометрами – отбор воды с поверхностного горизонта.
Фото А.В.Весман.

Распределение содержания растворенного кислорода в поверхностном слое моря

В целом воды Карского моря формируются в результате смешения атлантических, речных, поверхностных арктических и баренцевоморских вод. В основном под влиянием вод речного стока формируется гидрохимический режим юго-восточной части Карского моря. По распределению солености в поверхностном слое отчетливо видно, что речные воды из Обской губы и Енисейского залива распространяются на северо-восток в направлении Северной Земли, не затрагивая при этом центральный район. Такое

Судовая гидрохимическая лаборатория.
Фото А.В.Весман.



направление распространения речного стока характерно для гидрометеорологических условий, способствующих усилению Восточно-Новоземельского и Западно-Таймырского течений. По данным экспедиций 2007–2008 гг. северный и центральный районы Карского моря были заняты распресненными богатыми биогенными элементами водами речного происхождения, что свидетельствует об усилении течений Св. Анны и Ямальского, которые способствуют северо-западному переносу речных вод. По данным сентября 2012 г., в районе влияния речного стока насыщенность поверхностных вод кислородом составляет 97–99 %. Содержание растворенного кислорода снижается здесь за счет расхода его на окисление органических веществ, выносимых с речным стоком. Абсолютные значения растворенного кислорода в поверхностном слое в районе влияния материкового стока составляют 7,30–7,78 мл/л. По данным августа 2007 г. средняя концентрация растворенного кислорода в поверхностном слое юго-восточной части Карского моря составляет около 7,50 мл/л, относительное содержание кислорода – 96 %. То есть вынос речных вод Оби и Енисея в Карское море в 2012 г. несколько ослаблен по сравнению с 2007 г.

Баренцевоморские воды, поступающие в Карское море через проливы Карские Ворота и Югорский Шар, обеспечивают аэрацию поверхностного слоя воды юго-западной части Карского моря. Насыщенность вод кислородом составляет здесь 100–104 %, хотя абсолютные значения кислорода в поверхностном слое – 6,85–7,07 мл/л, что меньше по сравнению с значениями кислорода в районе влияния материкового стока. В октябре 2008 г. в юго-западной части моря наблюдалась недонасыщенность морских вод растворенным кислородом в среднем на 1 %, что объясняется расходом кислорода на окисление органического вещества, приносимого баренцевоморскими водами. В Баренцевом море вспышка биологической активности заканчивается несколько раньше, чем в Карском море.

Байдарацкая губа

В районе морского перехода газопровода в Байдарацкой губе на двух станциях было обнаружено пониженное содержание кислорода в придонном слое – 3,45–3,54 мл/л, что соответствует 50–53,6 % насыщению воды кислородом. Для контроля качества результатов измерений пробы с придонных горизонтов дублировались. По имеющейся гидрохимической базе данных в июле 1967 г. было зафиксировано минимальное содержание кислорода в придонном слое, абсолютное значение которого составляло 4,95 мл/л, относительное содержание – 57,9 %. В октябре 1993 г. в придонном слое Байдарацкой губы абсолютное содержание кислорода опускалось до 5,40 мл/л, что соответствует 64,2 % насыщению воды. Причем обе эти точки находятся на выходе из Байдарацкой губы. В целом для сентября характерно однородное содержание кислорода по всей водной толще, которое колеблется в пределах 6,5–7,7 мл/л, относительное содержание кислорода изменяется в пределах 85,9–105,6 %. Таким образом, в 2012 г. зафиксировано рекордно низкое содержание кислорода, что не может не отразиться на существующих экосистемах.

Низкое значение кислорода в придонном слое можно объяснить наличием нефтяных углеводородов в морской воде, на окисление которых расходуется

Поверхностное распределение температуры (а, °С),
 солёности (б, ‰) и растворенного кислорода (в, мл/л; г, ‰)
 в августе–сентябре 2012 г.

кислород. Средняя концентрация нефтяных углеводородов в придонном слое Байдарачкой губы в августе 2012 г. составила 0,56 мг/л. Для более достоверной информации анализ проб морской воды на нефтяные углеводороды будет повторно проведен в лаборатории полярных и морских исследований им. О.Шмидта. По данным Е.С.Лебедевой, среднее содержание алифатических углеводородов в юго-западной части Карского моря составляет 0,03–0,04 мг/л, максимальное содержание – 0,46–0,6 мг/л (Лебедева Е.С.. Загрязнение шельфа морей России нефтяными углеводородами и пестицидами. Геоэкология шельфа и берегов морей России. М.: Ноосфера, 2001. С. 289–327). Тогда как наблюдения за состоянием загрязнения морских вод, проводимые Диксонским филиалом ГУ «Архангельский ЦГМС-Р» в августе 2007 г. не выявили наличия нефтяных углеводородов в морской воде. Низкие значения растворенного кислорода в придонном слое воды также могли быть вызваны интенсивным взмучиванием донных осадков (по профилю температуры и солёности хорошо видно, что водная толща Байдарачкой губы хорошо перемешана). Тонкодисперсные донные осадки Байдарачкой губы характеризуются повышенным содержанием растворимых соединений железа и органического вещества растительного происхождения, можно предположить, что в результате интенсивного взмучивания донных осадков придонный слой воды также обогащается железом и органическим веществом, на окисление которых расходуется растворенный в воде кислород.

Изменение концентрации такого жизненно-важного параметра, как кислород, не может не сказываться на состоянии жизненной среды. Загрязнение водоемов органическими веществами, нарушение процессов самоочищения в процессе окисления загрязняющих веществ – все это приводит к недостаточной насыщенности воды кислородом. Подробный гидрохимический анализ акватории – трудоемкое, но очень важное дело в вопросе защиты Арктики и ее ресурсов. В настоящее время только регулярные морские исследования позволяют в достаточной степени изучать пространственное распределение жизненно важного газа – кислорода. КАЭМБ «Ямал-Арктика 2012» в таких условиях может стать отправной точкой для постоянного мониторинга акваторий Карского моря, где в последнее время так активно развернулась хозяйственная деятельность.

*О.А.Морозова, А.Д.Тарасенко, А.В.Весман,
 Е.Д.Добротина, Н.К.Шумская (АНИИ),
 В.К.Афанасьева, О.А.Ковалева,
 А.С.Могнуш (СПБГУ)*

Распределение температуры (а, °С),
 солёности (б, ‰) и растворенного кислорода (в, мл/л; г, ‰)
 в Байдарачкой губе в сентябре 2012 г. на станциях YA9312 и YA9412.

