

Антропогенное воздействие на озеро на первой террасе р. Сабетты в 8 км от устья.
Фото Н.В.Шеповальникова.

данных озер морскими водами, они остаются мелкими, интенсивно зарастают и имеют, скорее всего, довольно быстрые скорости разложения донных осадков. Позднее, после выполнения анализа состава донных отложений из сорового озера и получения характеристики емкости катионного обмена, можно будет более детально говорить о самоочищении данного типа водоемов. Но, даже при практически равных условиях внешнего влияния морских факторов, существуют озера, имеющие повышенную минерализацию, но не имеющие явных признаков эвтрофирования (например, озеро в устье р. Монгочейхи), как в первом случае. Необходим более длительный и детальный анализ параметров гидрологического режима прибрежных водоемов в совокупности изучения их биологического разнообразия.

Немаловажным является тот факт, что в долине р. Сабетты во время выполнения гидроэкологических работ были обнаружены исчезнувшие при антропогенном вмешательстве водоемы, а также отмечено в ниж-

нем течении сильное влияние на водотоки – выкачивание песка, изменившее среднюю глубину реки почти в 10 раз, что не может в дальнейшем не отразиться на направленности русловых процессов реки и состоянии водной экосистемы. В перспективе получение данных по загрязнению воды в различных участках р. Сабетты.

Анализ полученных во время экспедиции «Ямал-Арктика 2012» данных измерений и проб воды, донных отложений, взвеси и биоты будет продолжен. Однако можно сказать, что необходимо продолжение изучения водных экосистем замкнутого/циклического и транзитного типа (озера и реки, соответственно) на более детальном комплексном уровне. Важно охватить не только прибрежные, но и внутренние части п-ва Ямал. Это позволит сделать более широкий анализ изменений окружающей среды, происходящих в настоящий момент, а также оценить степень уязвимости водных экосистем.

*И.В.Федорова, Т.В.Скороспехова,
В.А.Оношко (АНИИ)*

ЧЕМ СЛОЖЕН КРАЙ ЗЕМЛИ? И ЧЕМ ОН ПРОСТ?

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ЯМАЛЕ

Слово «Ямал» переводится с ненецкого как «край земли». Словосочетание, в общем-то, многозначное. Поэтому каждая экспедиция на Ямал – проникновение в неизведанное, недоступное большинству. «Ямал-Арктика 2012» – одна из таких экспедиций.

До края Земли, как следует из древних сказаний, не так-то легко добраться. Это тоже подходит – только-только, совсем недавно, запад Ямала прорезала первая нитка железной дороги Обская – Бованенково. До сих пор единственной дорогой, соединяющей многие поселки и фактории с внешним миром, остается зимник, летом – море и реки. Поэтому экспедиция проводилась на судне – это позволило побывать в самых затерянных уголках ЯНАО, доступных лишь морским путем, которые не исходили тысячи ног и не описали сотни ученых, где осталось еще место для географических открытий.

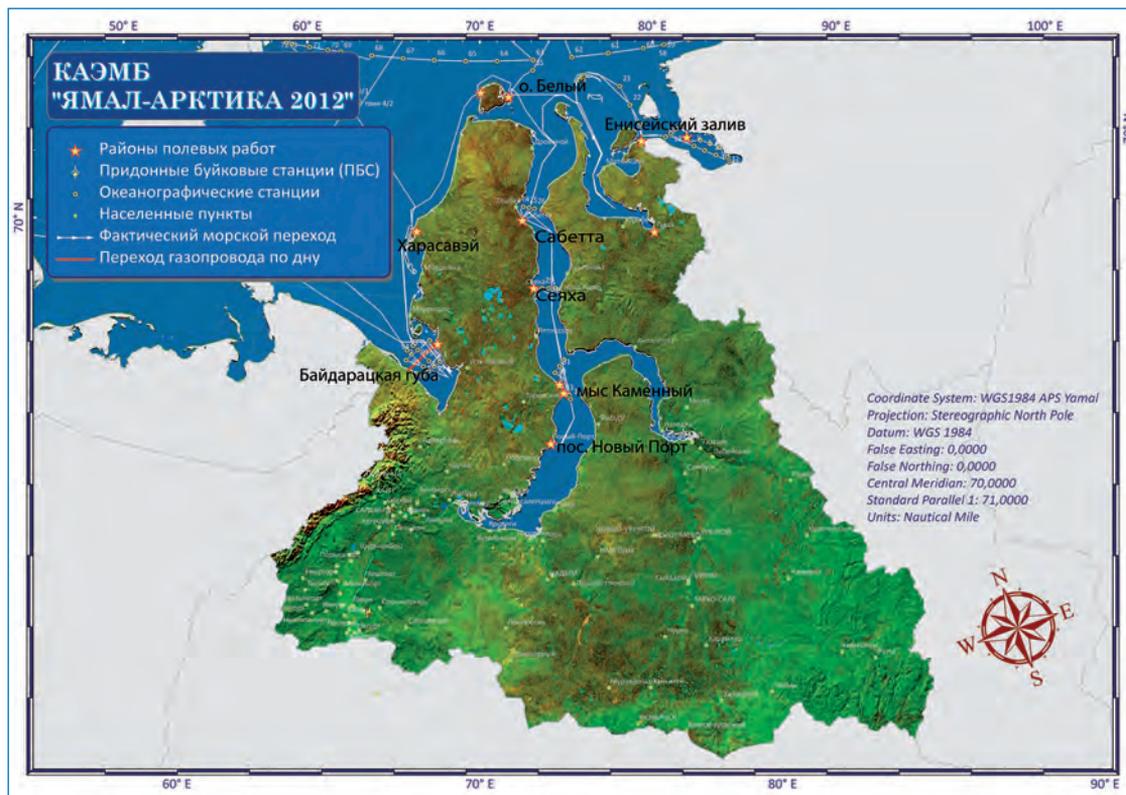
Край земли – место, где суша сходится с морем. Где холодные волны год за годом все быстрее стачивают льдистые берега, где наиболее удобный путь для пешего маршрута – хрустящий под сапогами пляж. Где за горизонтом постоянно незримо присутствует Северный полюс, и до самой Канады – только океан. Край земли – линия, в которой соединяются два мира. В задачи экспедиции входило изучить обе сферы – поэтому на НИС «Профессор Молчанов» из порта Архангельск отправилась пестрая компания ученых: обильные судовые за-

втрак, обед, полдник и ужин собирали за одним столом океанологов и морских биологов, гидрологов суши и орнитологов, медиков, почвоведов, ботаников и геоморфологов.

Для геоморфолога находиться на корабле непривычно – почти как для рыбы, выброшенной из воды, только наоборот. Геоморфология изучает рельеф (в нашем случае – суши) и четвертичные отложения, что обычно не предполагает многонедельное пребывание среди поднимающихся до горизонта ледяных иссиня-серых волн. После нескольких дней безуспешной борьбы с морской болезнью наконец-то наступает время долгожданной работы и еще более долгожданной высадки на сушу.

На Западном Ямале погода и морские духи не были благосклонны к участникам экспедиции. Первые высадки были короткими и часто отменялись из-за штормовых условий. Моторные лодки Zodiac и Scandic часто даже не удавалось спустить на воду из-за шквалистого ветра. И вот наконец совершена первая высадка на восточный берег Байдарацкой губы между устьями рек Вэмняха и Нярямаха.

Если вы спросите любого геолога: «Чем сложен Ямал?», – ответ будет очень прост. Рыхлыми четвертичными отложениями. То есть глинами, песками, супесями и торфом, ничего захватывающего. На мелкомасштаб-



Маршрут экспедиции.

ной физико-географической или геоморфологической карте весь полуостров будет закрашен однообразным темно-зеленым цветом. Действительно, каждый первокурсник скажет: это низменная равнина, и добавить, в общем, нечего. Здесь нет ни нависающих карнизов, ни вулканических конусов, ни ущелий с крутыми бортами, ни цепочек барханов. Плоская-плоская поверхность, местами непроходимая и заболоченная, покрытая тундрой. Казалось бы, для человека, изучающего рельеф (и тем более – новейшие тектонические движения земной коры), ничего интересного нет и быть не может.

Тем не менее происхождение рельефа полуострова Ямал (которого, можно сказать, почти нет) и его отложений уже многие годы вызывает такие оживленные споры в среде ученых, какие не вызывают ни Гималаи, ни Кавказ, ни Камчатка. Всеми признается существование нескольких уровней террас, или, как их вернее можно назвать, поверхностей. Но каково происхождение этих террас? Созданы ли они морем при повышении его уровня в течение плейстоцена-голоцена (от сотен тысяч лет назад до сегодняшнего дня)? Или, может быть, это результат многотысячелетнего меандрирования рек, свободно разливающихся по плоской тундре, и накопления тонкого материала в старичных и термокарстовых озерах? Доходили ли до Ямала ледники с Уральско-Новоземельского центра во время плейстоценовых оледенений? Смогли ли они пересечь Байдацкую губу во время максимума последнего оледенения 22–17 тысяч лет назад? На все эти вопросы практически у каждого ученого, занимающегося геоморфологией и четвертичной геологией Ямала, готов свой ответ, и редко он совпадает с ответами других.

Одна из таких задач ждет нас прямо здесь, на восточном берегу Байдацкой губы, куда мы смогли высадиться лишь на 6 кратких часов. Береговой обрыв идеален для изучения – его высота составляет около 30 м, а

процессы оползания и отседания выражены слабо, что позволяет хорошо увидеть ненарушенную структуру и текстуру отложений высокой поверхности, выделяемой многими исследователями Западного Ямала в качестве третьей террасы. В условиях изобилия лучшие точки для описания разрезов рыхлых пород – именно морские клифы, или уступы. Бурение стоит дорого, требует значительных затрат времени и сил и является малоинформативным, а уступы, подмываемые речной эрозией, чаще всего невелики и деформированы склоновыми процессами. Морской же обрыв благодаря интенсивной термоабразии постоянно подновляется и сохраняет свою высоту.

Несмотря на господство новейших технологий в современной науке, в геологии и геоморфологии незаменимым инструментом остается одно из первых орудий, придуманных человечеством, – лопата. В наиболее интересных или типичных местах производится расчистка обнажения, насколько это возможно, по всей высоте разреза удаляются выветрелые и деформированные осадки, стенка зачищается до гладкого состояния. После этого описывается характер отложений, количество горизонтов, их состав, текстура и структура, включения, характер границ и нарушение сплошности залегания. Производится отбор образцов на различные виды анализа: гранулометрический, минералогический, анализ состава фораминифер (микроорганизмов с известковым внешним скелетом, сохраняющихся в осадках), датирование: радиоуглеродное, OSL и другие. Все это позволит определить время формирования отложений и обстановку осадконакопления: морскую, ледниковую, континентальную или пресноводную.

На восточном берегу Байдацкой губы залегают тонкие ритмично-слоистые глинистые алевроиты с маломощными прослойками песка. Они вскрываются на всю мощность разреза, слагая практически все обры-

вы. Лишь в некоторых местах у самого уреза на поверхность выходит толща суглинка с небольшими валунами и галькой – Карского диамиктона, отложенной древнего ледника. Но наиболее интересны даже не сами алевроиты, слагающие уступ, а их залегание. Вся толща смята в сложные складки всевозможных видов и форм, ни одна не повторяет другую. Были произведены наблюдения и картирование расположения складок с помощью GPS. Вероятнее всего, алевроиты образовались сравнительно недавно, несколько тысяч лет назад. Какая же сила смяла их в такие причудливые формы, почти не выраженные в рельефе? Вариантов ответа может быть несколько: напорное действие ледника, криогенные изменения, связанные с многократным промерзанием и оттаиванием пород, или новейшие тектонические движения, приведшие к подобным деформациям.

Благодаря анализу границ между слоями и особенностей залегания ритмитов, удалось прийти к выводу, что, скорее всего, толща тонкослоистого материала была отложена в огромном приледниковом пресноводном озере, которое могло существовать здесь в последнюю холодную эпоху. К северу, близ устья Яра-Яхи ритмиты фашиально замещаются песками, по-видимому, отлагавшимися в прибрежных или более гидродинамически активных частях того же озера. Анализ фораминифер позволит определить состав вод и другие характеристики этого водоема.

Происхождение же складок в самом деле разнообразно. Часть из них, с наиболее причудливой извилистой формой, сформировалась в результате многократного промерзания и оттаивания. Другая же часть, с правильными очертаниями, вероятно, вызвана новейшими тектоническими движениями. Вероятность деформирования толщи ледником мала – не обнаружено ледниковых отложений максимума последнего оледенения и других следов воздействия на рельеф, последующих эпохе отложения алевроитов в приледниковом озере.

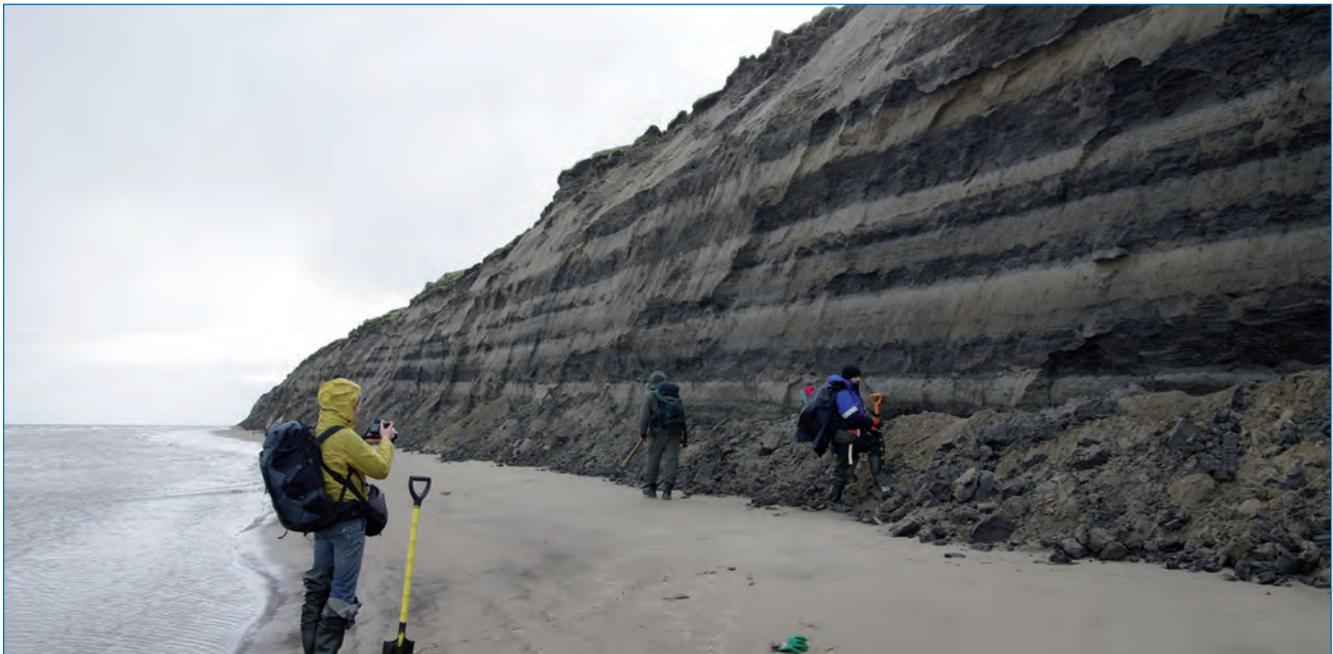
В тектоническом же отношении территория Ямала загадочна. Как и всегда, очевидное здесь оказывается прямо противоположным. С одной стороны, перед нами низменная часть платформы, перекрытой мощной

толщей осадков, с долговременной тенденцией к опусканию. С другой стороны, наблюдения обнаруживают тенденцию к поднятию в южной части полуострова. Гипотезу об обусловленности современного рельефа и строения толщи рыхлых отложений новейшим структурным планом подтверждают линейменты – спрямленные участки форм рельефа, долины рек, береговые линии, линии перепада высот, цепочки озер и др., соответствующие конфигурации разломов и трещин кристаллического фундамента на многокилометровой глубине, выражающейся в рельефе. Конечно, новейшая тектоника здесь не столь интенсивна, как, к примеру, на Кавказе. Тем не менее именно она зачастую предопределяет развитие рельефа. Было определено, что участки с развитием складок, скорее всего, приурочены к местам пересечения берегового уступа с линиями таких разрывных нарушений.

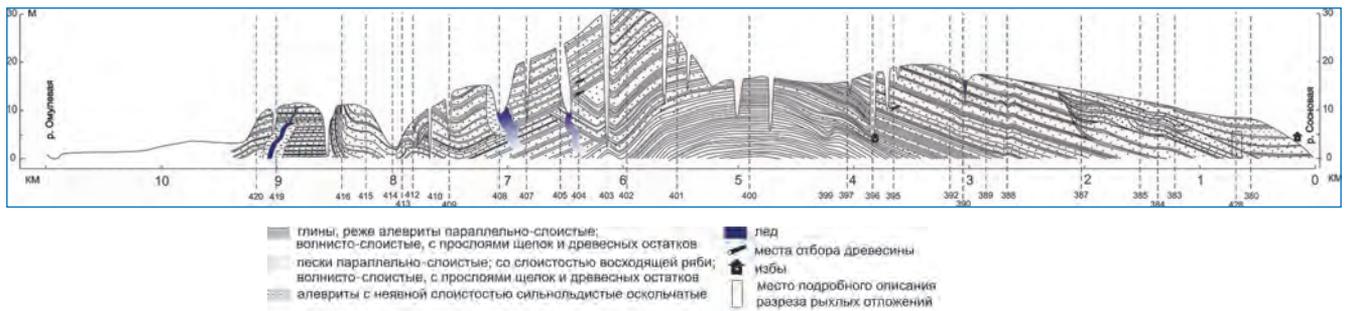
Погода не благоволила нам, в поселке Харасавэй геоморфологической группе высадиться так и не удалось. Следующим удачным маршрутом стала ночная высадка на восточное побережье о. Белый. В середине августа в северной части Ямала ночью еще светло, как днем, что позволяет проводить работы в любое время суток. Поскольку к вечеру волнение обычно снижается, часто работали всю ночь и часть последующего дня до вечера: из-за непредсказуемой погоды и сжатого графика ценен каждый час на берегу.

Происхождение поверхностей о. Белый, в отличие от большей части Ямала, не вызывает сомнений даже у самых неуступчивых исследователей – он сложен морскими отложениями. Верхнюю часть разреза составляют эоловые, то есть перевеянные здешними сильными ветрами, пески. Ниже залегают морские пески с прослоями алевроита и глины. Нам повезло: удалось обнаружить несколько хорошо прослеживающихся горизонтов торфа и древесных остатков, радиоуглеродное датирование которых позволит реконструировать время древнего потепления и время, когда остров поднялся над уровнем моря и начал подвергаться действию ветра.

Поражают воображение мерзлые клифы и ледяные жилы, здесь они достигают 3–4 метров в диаметре, бо-



Полосатый разрез побережья Енисейского залива.
Фото Д.Е.Кузнецова.



Схематическая зарисовка обнажения на восточном берегу Енисейского залива.

лее древние прорезаны молодыми, тонкими жилками, картину осложняют мелкие пласты и шлиры льда. Реконструкция последовательности их возникновения напоминает детектив, где необходимо распутать длинную цепочку событий.

После острова Белый судно уходит в Енисейский залив, оставляя нас на его юго-восточном берегу. Начинается самый долгий пеший маршрут вдоль берегового обрыва. Он зрелищен даже исключительно с эстетической точки зрения: ярко-желтые и белые пески с волнисто- и косослоистыми текстурами чередуются с ритмично параллельно-слоистыми сизыми алевритами и прослоями щепок и древесины. Впервые мы встретили в разрезе столько древесных остатков, которые слагают здесь целые горизонты! Полностью описан разрез, отобраны пески на минералогию, алевриты на состав фораминифер, образцы причудливо извилистого здесь льда на анализ изотопов кислорода и дейтерия. Отбор льда требует ловкости рук: перпендикулярно падению пласта необходимо отколоть (в зависимости от целей исследования) от 5–7 до 20–30 тонких пластинок льда, которые затем, после оттаивания в условиях низкой температуры, будут перелиты в пробирки для химического и изотопного анализа. Главное условие – отколотый кусок не должен контактировать с обычным окружающим льдом «няшей» – потоками вязкого, насыщенного водой грунта. Звучит просто, но, когда стоишь одной ногой на скользкой ступеньке, вырубленной во льду на высоте восьми метров, а другой ногой пытаешься не увязнуть в грязевом потоке «няши», одновременно орудуя топором, понимаешь, что все-таки криолитология, или мерзлотоведение, – наука не для всех.

Благодаря изучению текстур и состава отложений, удалось прийти к выводу о морском генезисе толщи. Появление в центре обнажения, где на поверхность выходят более древние отложения, все более частых

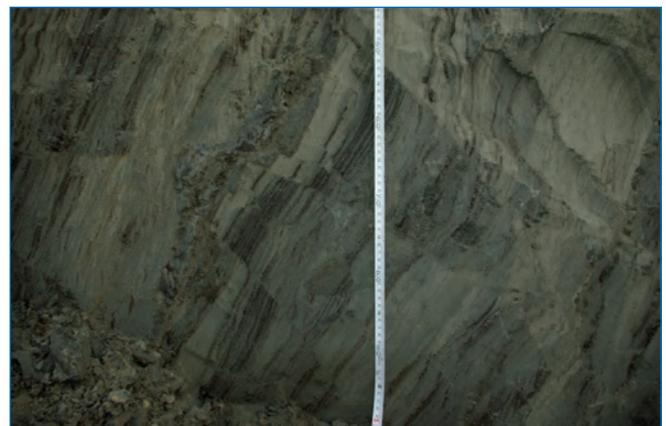
прослоев алеврита и глины позволяет сделать вывод о том, что некогда глубоководное море (или залив со спокойной гидродинамикой) затем начало мелеть, причем движения уровня носили колебательный характер, в результате чего и образовалось последовательное чередование пачек песка и глин, придающее разрезу его полосатый облик. Затем благодаря куполообразному поднятию толща была деформирована в пологую большую складку – антиклиналь – вот и еще раз нам удалось засечь новейшие тектонические вертикальные движения в действии.

Интереснейшая высадка – поселок Сеяха. Здесь был описан рельеф трех уровней террас. Два верхних представляют собой поверхности термокарстового выравнивания: многочисленные блюдца озер, протаивая, занимают все большую площадь, пока не сливаются и не образуют единую поверхность с щелочками, концентрическими кругами, восьмерками ярко-синих блюдец среди пестрой тундры. Благодаря участию вездеходной техники (наконец-то в Обской губе волнение стало меньше, и удалось транспортировать к берегу плавучие, но легко захлестываемые волнами «Викинги») удалось изучить обнажение на берегу одного из таких озер – и, как и всегда, разрезы морского берега.

Обнажение в урочище Снеговой Яр у мыса Каменный пришлось описывать уже в темноте, подсвечивая фонариком: на юге полуострова Ямал в конце августа уже бывает настоящая ночь. Тем не менее удалось увидеть удивительное строение толщи: близ мыса Каменный (на котором, как и на всем плоском заболоченном Ямале, конечно, нет ни одного камня) на высоте 15 метров среди белоснежных песков вдруг встречена мощная 3–4-метровая толща ярко-рыжего ожелезненного гравия с галькой. Был описан контакт с нижележащими песками, пришли к выводу, что такая граница могла получиться, к примеру, при воздействии ледника. Тогда



Отбор образцов пластового льда в термоцирке.
Фото Д.Кузнецова.



Микротрещины в опрокинутой толще – следы древних землетрясений.
Фото А.Баранской.

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, ледовые 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; неперiodически, 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 корректирования 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.