

ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ НА УРАЛЬСКОМ БЕРЕГУ БАЙДАРАЦКОЙ ГУБЫ КАРСКОГО МОРЯ

ВВЕДЕНИЕ

Полевые работы проводились на западном побережье Байдарацкой губы Карского моря в конце летнего периода с 11 по 31 августа 2024 года (рис. 1). Исследования проводились в соответствии с планом работ по проекту РНФ №22-17-00097 «Опасные экзогенные процессы и техногенез на берегах и шельфе Печорского и Карского морей» (рук. С.А. Огородов).



Рис. 1. Территория исследований

Состав экспедиционной группы сотрудников Географического факультета МГУ:

Группа состояла из 3 человек.

Ведущий инженер **Собин Р.В.** – начальник экспедиции.

Инженер 2 кат., аспирант **Кузякин Л.П.**

Инженер 2 кат., аспирант **Кажукало Г.А.**

Краткое описание хода экспедиции:

13 августа – прибытие на поезде из г. Москвы в г. Вокруту;

14 августа – прохождение инструктажа по технике безопасности и соблюдению охраны труда в отделении «Газпром Трансгаз Ухта» и согласование нахождения на объектах Газпрома, располагающихся на берегу Байдарацкой губы;

15 августа – прибытие на вахтовой машине в вахтовый жилой комплекс (ВЖК) у КС Ярынская, прохождение инструктажа;

16-28 августа – проведение полевых работ;

29 августа – отбытие из ВЖК и прибытие в г. Воркуту;

31 августа – возвращение на поезде из г. Воркуты в г. Москву

Цель полевых исследований – качественная и количественная оценка развития опасных экзогенных процессов на Уральском берегу Байдарацкой губы Карского моря – ключевом участке нефтегазотранспортного освоения.

Задачи

- исследование пространственного распространения основных экзогенных процессов на мерзлых берегах Карского моря, описание криолитологического строения отложений, слагающих береговые уступы;
- проведение мониторинга динамики берегов по заложенным в 1980-х годах профилям;
- съемка положения бровки берегового обрыва с помощью DGPS;
- съемка исследуемого участка берега с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА);
- изучение пластовых и повторно-жильных льдов, выявление характера залегания, размеров, особенностей контакта с вмещающими отложениями;
- изучение термокарстовых озер.

МЕТОДЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для детальных исследований скоростей и характера разрушения берега на местности в 1988 г. сотрудниками географического факультета МГУ совместно с ГОИН было заложено 19 ортогональных к береговой линии профилей. С 2012 г. сотрудниками геологического факультета МГУ было заложено еще 11 профилей. Для определения динамики разрушения береговых уступов под влиянием различных природных факторов места заложения профилей выбирались с учётом механизма разрушения уступа, геоморфологической позиции, криогенного строения (в том числе наличия пластовых и жильных льдов).

Для определения скорости отступления береговой линии были использованы различные геодезические методы, включающие съемку бровки берегового уступа и поперечных профилей с использованием DGPS приёмников. Также на участке исследований была проведена съемка береговой зоны при помощи БПЛА.

В рамках полевых исследований проводилось изучение подземных льдов прямым методом (изучение обнажений). В полевых условиях определялись текстурно-морфометрические характеристики льдов и особенности их залегания. Для определения состава газовых включений применялся метод HeadSpace. После отобранные образцы отложений были переданы в лабораторию для дальнейшего геохимического и изотопного описания.

Геохимический анализ для 50 образцов проведен с помощью энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа (ЭД-РФА). Вес каждого образца составлял приблизительно 15-20 гр. Пробоподготовка включала в себя сушку в конвекционной печи при температуре 50°C в течение 6 часов. После этого образцы растирались вручную с использованием фарфоровой ступки и пестика. Дальнейший анализ проведен с помощью портативного ЭД-РФА Delta Premium (Innov-X), оснащенного кремниевым дрейфовым детектором, работающим в режиме “Геохимия”. Каждый образец был исследован на наличие 25 элементов: Mg, Al, Si, P, S, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cd, Pb и Bi.

Гранулометрический анализ 40 образцов, отобранных из обнажений, был проведен с помощью лазерного измерителя частиц Fritsch Analysette 22, с диапазоном измерения фракций от 0,8 до 2000 мкм. Все образцы (10–15 г) были высушены при температуре 50 в течение 6 часов. В качестве диспергатора использовался 4%-й раствор пирофосфата натрия. Гранулометрическая классификация приведена на основе работы Н.А. Качинского (Качинский, 1965).

Геодезическая съемка

Исследования отступления берегового уступа производилось с помощью DGPS-позиционирования. Для исследования использовался комплект ГНСС JAVAD Triumph-1. Запись DGPS проводилось в системе координат WGS 84 / UTM zone 42N. Перед началом проведения съемки над опорным пунктом ГГС была установлена референсная (базовая) станция, осуществляющая сбор навигационных данных (рис. 2). В процессе работы базовой станции навигационным компьютером спутникового приемника формировались поправки с использованием известных координат и высот пункта опорной сети и вычисленные на каждый момент времени координаты и высоты этого же пункта по данным спутниковых наблюдений.

При записи трека бровки берегового обрыва оператор двигался вплотную к бровке, перемещая приемник строго над исследуемым объектом. При съемке профилей оператор устанавливал подвижный приемник на точках профиля (временных колышках), выбранных на местности. Съемка выполнялась в режиме RTK (real time kinematic). Запись проводилась в системе координат WGS 84 / UTM zone 42N.



Рис.2. Базовая станция

Также на участке исследований была проведена съемка береговых участков при помощи беспилотного летательного аппарата (БПЛА) с целью построения по полученным материалам ортофотопланов (рис. 5, 6) и цифровой модели местности (ЦММ), которые могут быть сопоставлены с материалами предшествующих съемок для более детальных исследований морфологии и динамики данных берегов.

Аэрофотосъемка проводилась квадрокоптером DJI Phantom 4 PRO в автоматическом режиме в программах DJI GO 4 и Pix4Dcapture, в надир, на высоте около 100 м (рис. 3).

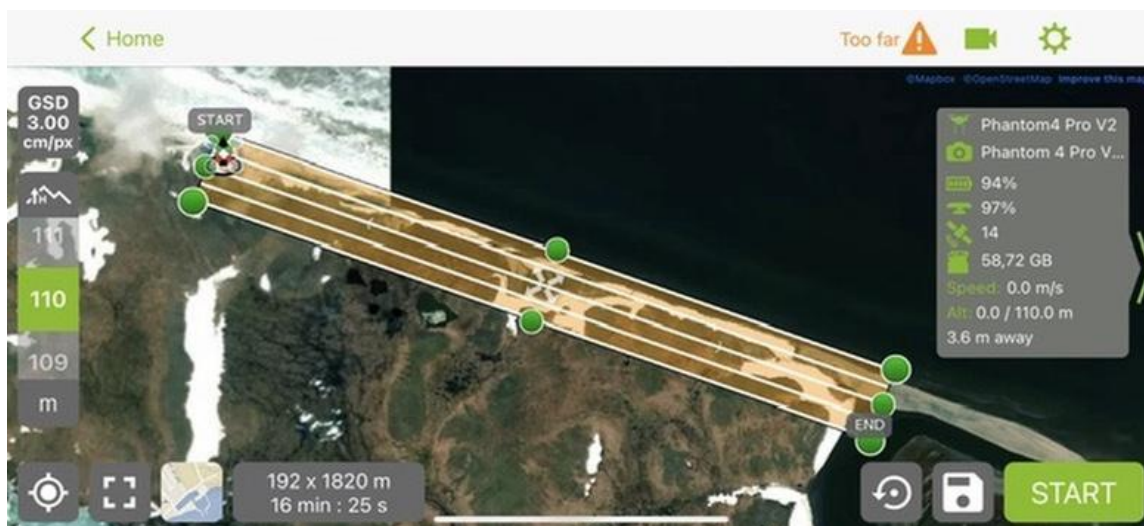


Рис.3. Полетное задание для БПЛА в программе Pix4Dcapture

На наиболее труднодоступных и протяженных участках съемка проводилась с помощью беспилотного авиационного комплекса Supercam SX350F (рис. 4).



Рис.4. Supercam SX350F, подготовленный к полёту, в точке запуска.

Supercam SX350F – беспилотный летательный аппарат гибридной аэродинамической схемы, совмещающий в себе преимущества БПЛА самолетного и вертолетного типов. Отличительной особенностью аппарата Supercam SX350F является выполнение вертикального взлета и посадки с любой неподготовленной поверхностью, что позволяет использовать его на объектах с ограниченной в размерах взлетно-посадочной площадкой, с последующим переходом в самолетный режим полета с возможностью зависания по требованию внешнего пилота БПЛА, что позволяет применять аппарат для различного рода задач.

В целях снижения плановой и высотной ошибки позиционирования материалов аэрофотосъемки была проведена наземная привязка опознаков, координаты которых измерялись с помощью DGPS приемников.

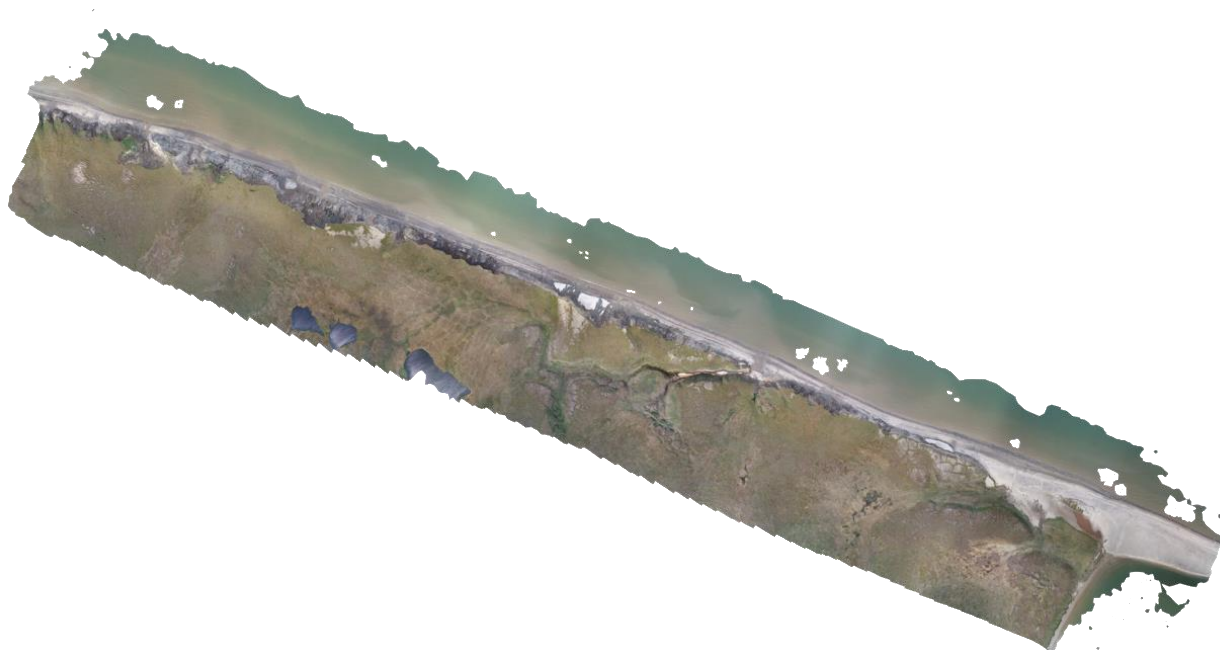


Рис.5. Ортофотоплан участка исследований в районе р. Ою-Яха (2024 год)

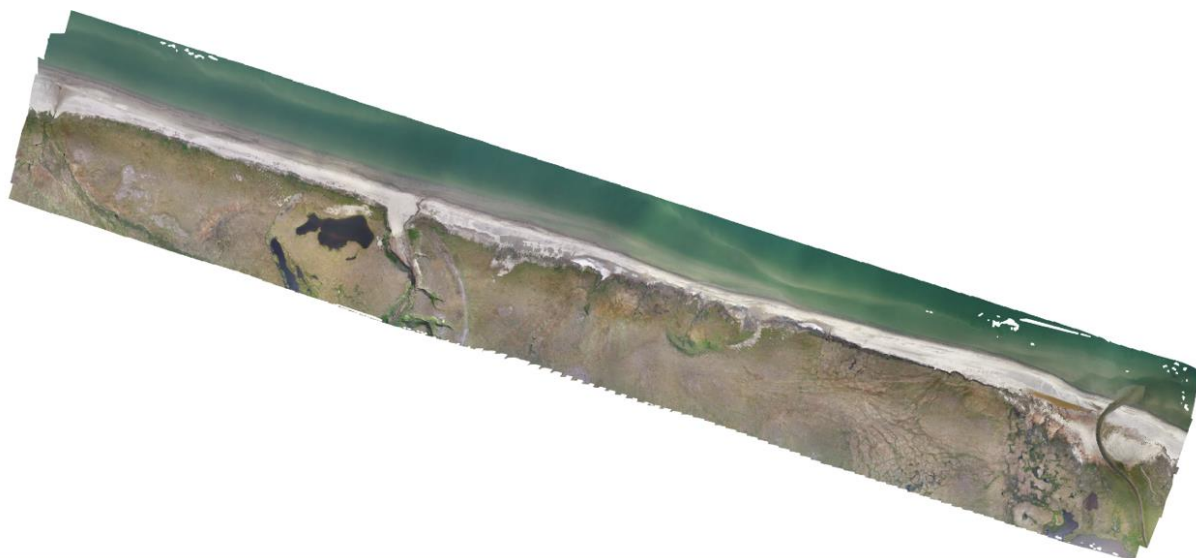


Рис.6. Ортофотоплан участка исследований, высокая терраса (2024 год)

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведены маршрутные исследования вдоль побережья Уральского берега Байдарацкой губы Карского моря в полосе шириной 0,3 км на протяжении 15 км вдоль берега. Выполнено описание ландшафтно-геоморфологических условий береговой зоны в

целом и в створах поперечных профилей берега. Маршрутное обследование сопровождалось зачисткой и описанием естественных обнажений береговых уступов аэровизуальным обследованием береговой зоны и геодезической съёмки положения бровки берегового уступа. Кроме того, изучены пластовые льды, вскрывающиеся в береговой зоне, а также термокарстовые озера на побережье.

Изучение динамики берегов

Береговая зона к западу от коффердама приурочена к аккумулятивной аллювиально-пролювиальной равнине, в пределах которой выделяются два высотных уровня – 10-20 м и 4-10 м, соответственно, пойма, переходящая в лайдку и пляж. В центральной части течет ручей Нгарка-Тамбьяха. В восточной части исследуемой территории (правый берег ручья) относительные высоты над урезом не превышают 6 м, в западной части (левый берег) – достигают 17 м. Поверхность мелкобугристая, слаборасчлененная, осложнена преимущественно котловинами термокарстовых озер. Наибольшая их плотность наблюдается на поверхности лайдки.

Пятикилометровый участок берега характеризуется различными темпами отступления (рис. 7). Самая западная часть исследуемой береговой зоны стабильна и практически не испытывает размыва – на данном участке береговой уступ бронирован приустьевым баром реки Ою-Яха, в тылу которого происходит дельтовая аккумуляция. Вблизи устья, тем не менее, наблюдается небольшой (до 100 м вдоль береговой линии) «останец», в пределах которого в 2016-2017 гг. обнажались пластовые льды. Морфология уступа свидетельствует о низких темпах разрушения «останца», что обусловлено интенсивным привносом пляжеобразующих отложений с твердым стоком Ою-Яхи.

В период 2012-2017 отступление практически прекратилось на всем исследуемом участке, средние темпы составляли 0,4-0,8 м/год. Высокая терраса за оврагом (линейка 1,3-2,8 км) отступает незначительно быстрее, за период 2005-2012 темпы отступления бровки уступа варьировались от 0,8 до 1,3 м/год, при максимальных на локальных участках до 3,9 м/год. С 2017 по 2024 скорость разрушения берегового уступа высокой террасы была 0,6-0,8 м/год (при максимальных значениях 2,2 м/год), но не достигла значений 2005-2012 года. За период 2005-2012 наибольшее отступление наблюдалось на лайдке, расположенной в 1,2 км от коффердама, темпы отступления уступа составляли 4-6 м/год, при максимальных до 14 м/год, а в период с 2017 по 2024 темпы варьировали в среднем от 3 до 5 м/год и до 9 м/год на отдельных участках. Низкая терраса близ коффердама в период 2005-2012 отступала со средними скоростями 2,1-2,5 м/год, а в период с 2017-2024 скорости составляли 1,2-1,5 м/год.

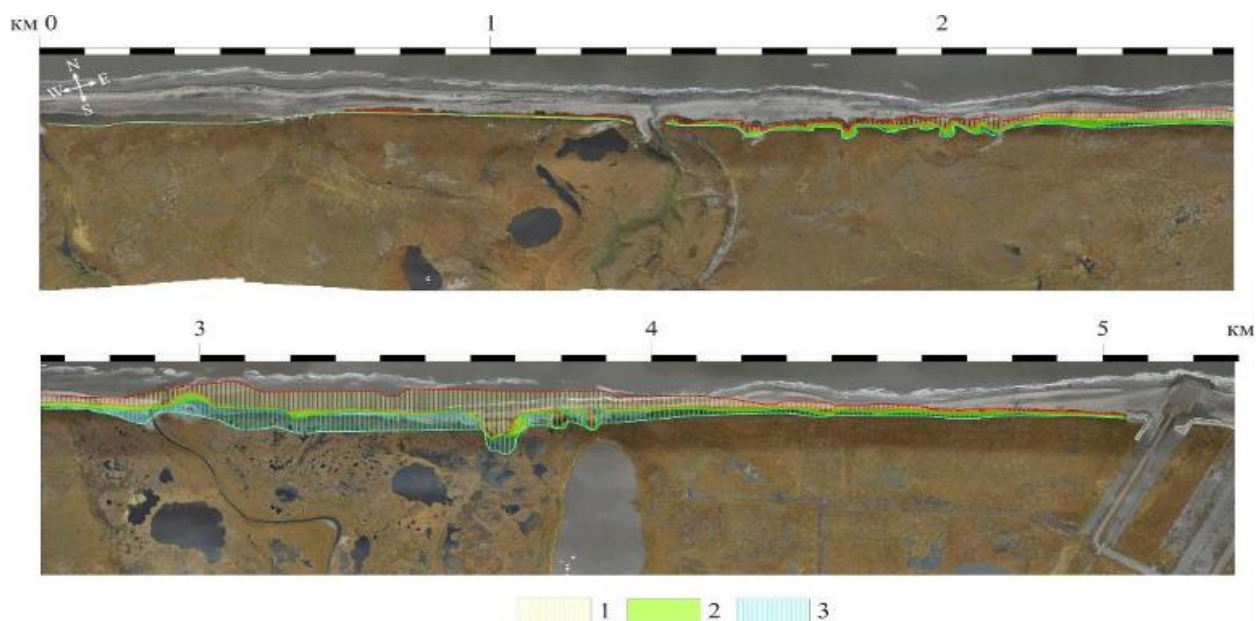


Рис.7. Отступление берега западнее коффердама в различные периоды времени: 1 – 2005-2012, 2 – 2012-2017, 3 – 2017-2024. Подложка – АФС с использованием БПЛА 2022г

Рост повторяемости штормовых событий в последние десятилетия, повышение уровня моря, а также увеличение накопленной суммы среднесуточных температур теплого периода на данном участке сопровождаются техногенным влиянием, связанным со строительством коффердама (гидротехнического сооружения). Арктические берега очень динамичны и изучаемый берег не исключение, поэтому при строительстве перехода газопровода через Байдарацкую губу использовали шпунт Ларсена, чтоб предотвратить трубу от разрушения в момент прокладки.

Техногенное влияние на береговые процессы

Участок исследования характеризуется довольно выраженным вдольбереговым перемещением наносов – волноэнергетическая равнодействующая подходит к берегу с СЗ. Исследуемая береговая зона открыта преобладающим в юго-западной части Карского моря штормовым ветрам З и СЗ экспозиции, что обуславливает интенсивное волновое и ледовое воздействие. В результате для данного участка берега перемещение материала происходит с северо-запада на юго-восток. Коффердам служит естественной преградой для транспорта наносов, из-за этого формируются две области: область частичной аккумуляции и область усиления размыва (или область низового размыва). Непосредственно на участке перехода газопровода, в северо-западной его части, отмечается аккумуляция песчано-галечного материала и увеличение ширины пляжа. В юго-восточной части отмечается дефицит наносов, и соответственно, частичный размыв берега (рис. 8).



Рис.8. Схема формирования областей аккумуляции и размыва

Наибольший интерес представляет участок берега близ коффердама, строительство которого началось в 2009 году. Строительство первой нитки было завершено в 2012 году, а второй нитки - в 2017 году. Первоначально планировалось использование шпунта Ларсена и самих коффердамов лишь для заложения трубопровода под дно Байдарацкой губы, с последующим разбором берегового сооружения, однако было решено его оставить для стационарной берегозащиты. На месте будущих ниток трубопровода в 2005 году располагалась коса и ряд вдольбереговых валов (рис. 9). Строительство первой нитки значительно изменило конфигурацию берега, восточнее от коффердама началось интенсивное отступление. К 2012 году на северо-восточной оконечности коффердама начала формироваться подводная коса, обнажающаяся в период сильных стонов. В волновой тени между первой и второй ниткой стал намываться пляж, кроме того, намыву грунта подверглась западная часть второй нитки. Обследования в 2024 году показали, что размер косы вдоль берега восточнее первой нитки значительно увеличился (до 50-100 м). В связи с ужесточением правил нахождения на территории Газпрома съемка с помощью БПЛА над объектами была запрещена, поэтому обследование берега рядом с коффердамом проводилась на основе визуального осмотра, описания и фотофиксации в рамках маршрутных исследований. С учетом выявленной тенденции низового размыва, не затухающей спустя десятилетие после строительства и выраженной даже на удалении в первые километры от коффердама (пункты ГГС на лайде к востоку от коффердама, наблюдаемые сотрудниками лаборатории в предшествующие экспедиции, в настоящее время размыты), отсутствие надлежащего берегоукрепления восточного фланга коффердама может привести к эксплуатационным издержкам.

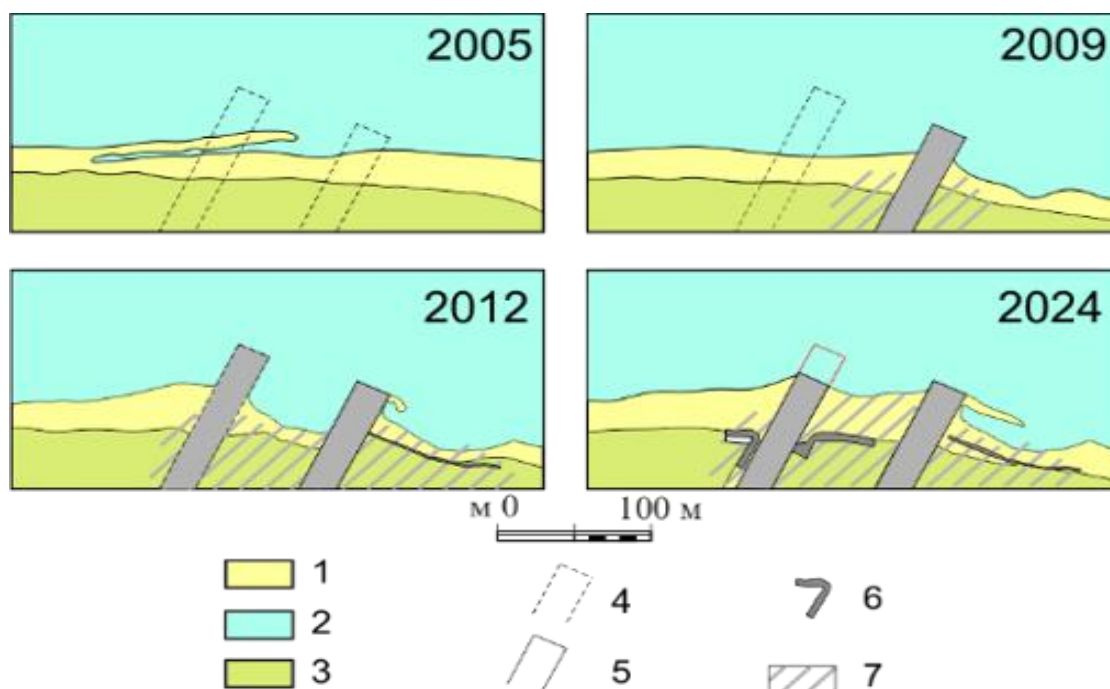


Рис. 9. Схема берега близ коффердама: 1 – песчаная поверхность пляжа, кос, баров; 2 – море; 3 – поверхность тундры; 4 – планируемые сооружения, 5 – построенные сооружения, 6 – берегозащита (мешки с песко-бетоном и бетонные отмостки), 7 – техногенно перестроенные поверхности

Изучение подземных льдов

Характерной особенностью береговых систем на Уральском берегу Байдарацкой губы, в особенности на участке от о.Торасовэй до о. Левдиев, является присутствие в отложениях береговых уступов крупных залежей подземных льдов. В данном районе имеются два вида залежей: повторно-жильные льды, распространённые практически на всех террасах, и пластовые льды, приуроченные к наиболее высоким геоморфологическим уровням (терраса высотой 25-40 м). Бесспорно, подобные объекты оказывают существенное влияние на динамику берегов. На участках с повторно-жильными льдами, как правило, активизируется процесс термоэрозии и формируется сеть термоэрозионных оврагов, скорости роста которых вглубь берега могут достигать первые метры (до десятков метров) в год (Воскресенский, 2001). В местах вскрытия пластовых льдов, в свою очередь, активно идет процесс термоденудации, формируются характерные формы берегового уступа – термокары и термоцирки (Кизяков, Лейбман, 2007). Вытаивание крупных ледяных тел приводит к перенасыщению влагой отложений уступа и их сползанию к его подошве, что благоприятствует их последующему размыву волнами и вовлечению в литодинамические потоки побережья.

На участках с крупными ледовыми телами или с высокольдистыми отложениями, разрушение берега идёт быстрее в том числе из-за того, что часть твёрдого вещества (лёд)

при протаивании становится водой, следовательно, сокращается объём твёрдого вещества и для размыва протаявших отложений уступа требуется гораздо меньше ветроволновой энергии.

При исследовании ледяных тел проводится зачистка береговых уступов для последующего криолитологического описания. Также, в рамках экспедиционных работ были отобраны образцы льдов и вмещающих отложений для последующего определения изотопного состава льда, состава газовых включений внутри ледяных тел и вмещающих отложений, геохимического и гранулометрического анализов, кристаллографического описания и радиоуглеродного датирования. Подобное комплексное описание необходимо для того, чтобы в полной мере выявить характеристики подземных льдов, описать их свойства, определить генезис, механизм формирования, а также оценить их потенциальное влияние на локальную динамику береговых систем.

Понимание механизмов формирования залежей подземных льдов позволяет прогнозировать их пространственное распространение, знание которого необходимо для уточнения прогнозов по развитию береговых систем (скоростям разрушения берегов).

Изучение подземных льдов проводилось в трех точках (рис. 10). Выбор именно этих разрезов был обусловлен необходимостью охватить все основные геоморфологические уровни, выходящие к береговой линии.



Рис.10. Карта расположения точек отбора льда и зоны полетов БПЛА.

Разрез 24YR1 был заложен в отложениях лайды (Романенко, 2001). В разрезе вскрыт повторно-жильный лёд. Разрез 24YR2 и 24YR3 были заложены в отложениях первой террасы высотой 6-10 м (Романенко, 2001). В разрезе 24YR2 вскрыт повторно-жильный лёд. Разрез 24YR4 и 24YR5 были заложены в отложениях третьей террасы высотой 25-40 м (Романенко, 2001). В разрезах вскрыт пластовый лёд (2 залежи).

Разрез 24YR1

Зачистка проводилась 17 августа (17.09.2024). Повторно-жильный лёд обнаружен в отложениях поверхности высотой 1,0 – 2,0 м. Предположительно – лайда, либо – пойма реки Нгарка-Тамбьяха. Также, возможно, – днище термокарстового озера, вложенного в отложения лайды, или сденудированной террасы (в 250 м к ЮВВ «лайда» переходит в 1 террасу с высотами 6-8 м н.у.м.). Устье реки Нгарка-Тамбьяха – в 1 км к СЗЗ от зачистки.

Вслед за Ф.А. Романенко (2001, 2006) данная поверхность в дальнейшем будет именоваться лайдой, несмотря на существующую дискуссию по поводу её генезиса. В точке описания превышение лайды над пляжем составляет 1,7 м. Лайда осложнена термокарстовыми озёрами, часть из которых вблизи берегового уступа лайды уже спущены. Со стороны пляжа наблюдается уступ размыва, форма бровки берегового уступа – фистончатая. Наблюдаются блоковые обрушения торфа (рис. 11)



Рис.11. Береговой уступ лайды, в котором вскрывается повторно-жильный лёд (24YR1).

Наблюдается широкая полоса пляжа (до 30 м) и блоковые обрушения торфа непосредственно на уступе.

ПЖЛ вскрыт в одном из «фистонов», в его тыловой части, в 30 м от уреза моря (время 11:10, приливно-отливные колебания в данном месте составляют первые десятки метров по проложению, 0,4 – 1,0 м по высоте (WXTide32 – a free Windows tide and current prediction program)). Уступ лайды подмывается в штормы и нагоны, вероятно, идёт термоабразионный процесс.

Высота зачистки – 1,4 м (рис. 12), ширина зачистки – 1,6 м.

0 - 0,04 м – песок (штормовой намыв/наброска), галька, плавник.

0,04 – 0,29 м – торф слабой степени разложения, светло-коричневый; наблюдаются фрагменты сфагновых мхов; с включениями песчаных частиц.

0,29 – 0,3 м – песок среднезернистый с включениями гальки (диаметром до 3 см), бледно-жёлтый.

0,3 – 0,5 м – супесь тяжёлая, серо-коричневая, талая. С прослоями и линзами чёрного торфа средней степени разложения (толщина прослоев до 2 см).

0,5 – 0,66 м – супесь тяжёлая, серо-коричневая, твёрдомёрзлая. С включениями линз и пятен коричневого торфа. Массивная криотекстура.

0,66 – 0,7 м – Торф средней степени разложения, светло-коричневый. Массивная криотекстура. Тот же торф (вмещающий повторно-жильный лёд) продолжается до 1,4 м (низ зачистки).

С 0,7 м – повторно-жильный лёд. Верхняя граница чёткая, каймы нет, термокарстово-пещерных льдов не наблюдается (рис. 12). Ширина наблюдаемых жил – 0,4 м, высота – 0,7 м.



Рис.12. Слева - перекрывающие ПЖЛ отложения: торф – супесь – торф. Справа - верхний контакт повторно-жильного льда с перекрывающим (вмещающим) торфом. Граница чёткая, термокарстово-пещерных льдов и сегрегационной каймы не наблюдается

На поверхности лайды сетка полигонально-жильных льдов не наблюдается, что может свидетельствовать об отсутствии роста ПЖЛ. Вероятно, вскрыто пересечение повторно-жильных льдов, т.к. в центре залежи наблюдается субвертикальная линза торфа (шириной около 0,3 м) – часть полигона между ПЖЛ.

В правой части обнажения на глубине 0,7 м от поверхности наблюдается прослой льда в торфе, уходящий за пределы обнажения. Толщина прослоя около 3 см. В левой части над жилой наблюдается высокольдистый грунт – суглинок с косослоистой криотекстурой. Граница со льдом нечёткая, постепенная, через ледогрунт. Схема отбора проб приведена на рис. 13.

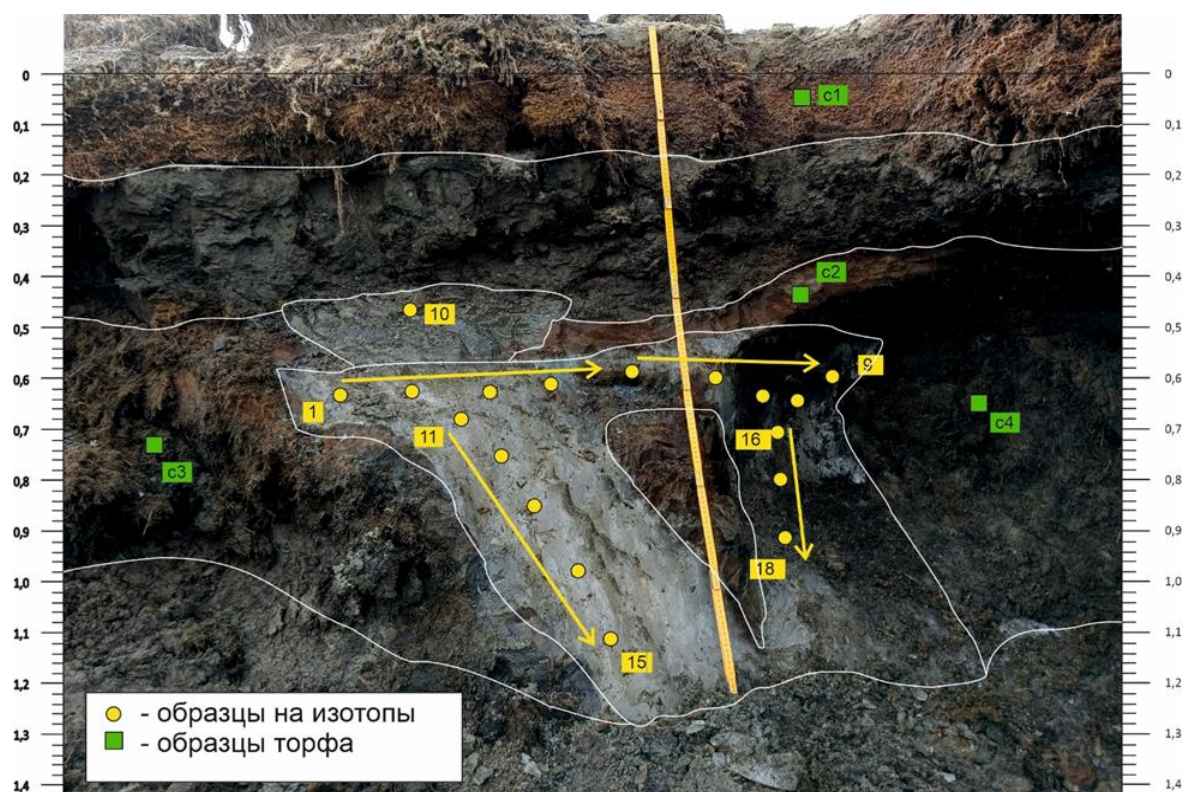


Рис.13. Схема отбора образцов из ПЖЛ в отложениях лайды (24YR1). Отобрано 19 образцов для определения изотопного состава льда, 7 образцов для определения концентрации метана в воздушных включениях, 4 образца торфа для радиоуглеродных датировок

Отсутствие признаков роста повторно-жильного льда (ростки, элементарные жилки, полигональная сетка, валики, загибы грунта вблизи контактов), а также отсутствие признаков деградации (линейный термокарст, термоэрозионные овраги) свидетельствует о стабильном состоянии повторно-жильных льдов. Вероятно, они находятся на стадии стабилизации (консервации). По крайней мере в мористой части лайды. Разрушение поверхности лайды термоабразионным процессом (в т.ч. размывом при штормовых нагонах) нельзя считать причиной деградации ПЖЛ. Наличие в перекрывающих

отложениях чередующихся горизонтов торфа и супеси свидетельствует о периодической смене обстановок осадконакопления, что может объяснить причины развития/затухания процесса формирования повторно-жильных льдов.

Разрез 24YR2

Описание обнажения проводилось 18 августа (18.08.2024). Обнажение повторно-жильного льда вскрыто в береговом уступе террасы высотой 6–10 м, в 500 м к с-з от коффердама. Жила вскрыта в береговом уступе в привершинной части (рис. 14). Кровля жилы на глубине 0,8 м. Видимая ширина жилы – 3,5 м. Ширина зачистки – 3,8 м. Видимая мощность ПЖЛ – 2,5 м. Ширина ПЖЛ на данной глубине – 0,6 м. Ниже – оплывные отложения.

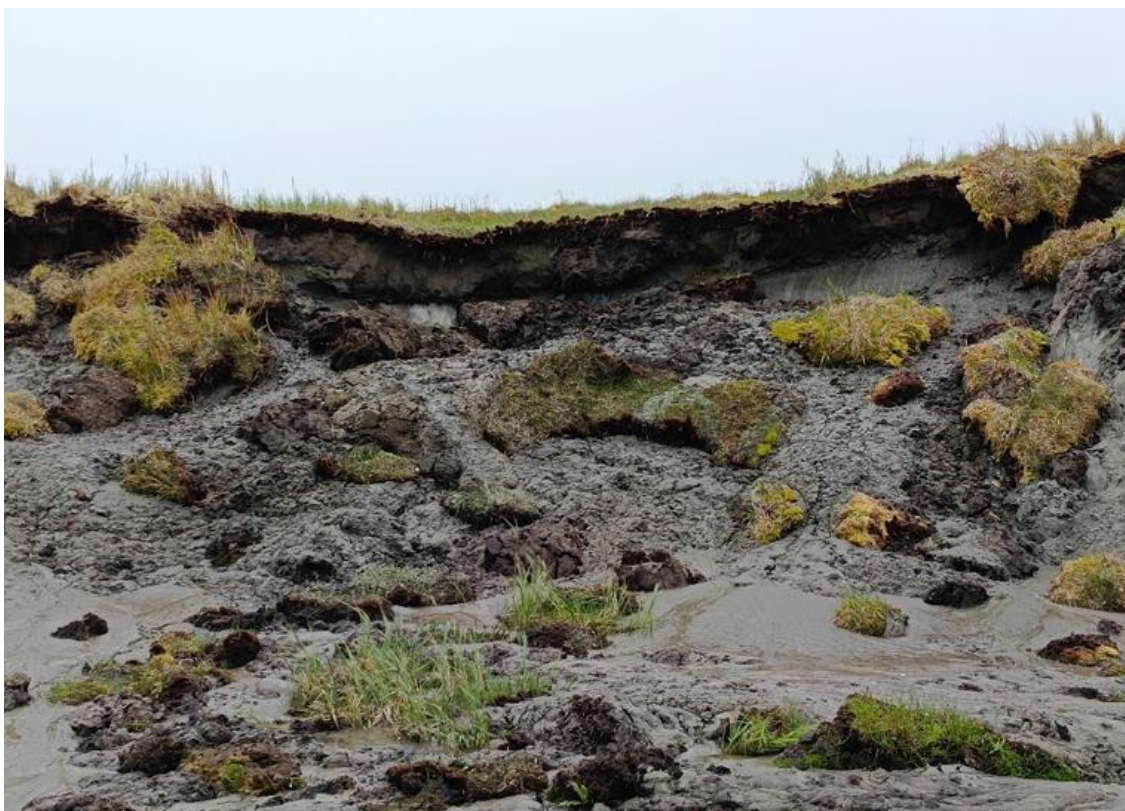


Рис. 14. Положение обнажения ПЖЛ в уступе 1 террасы.

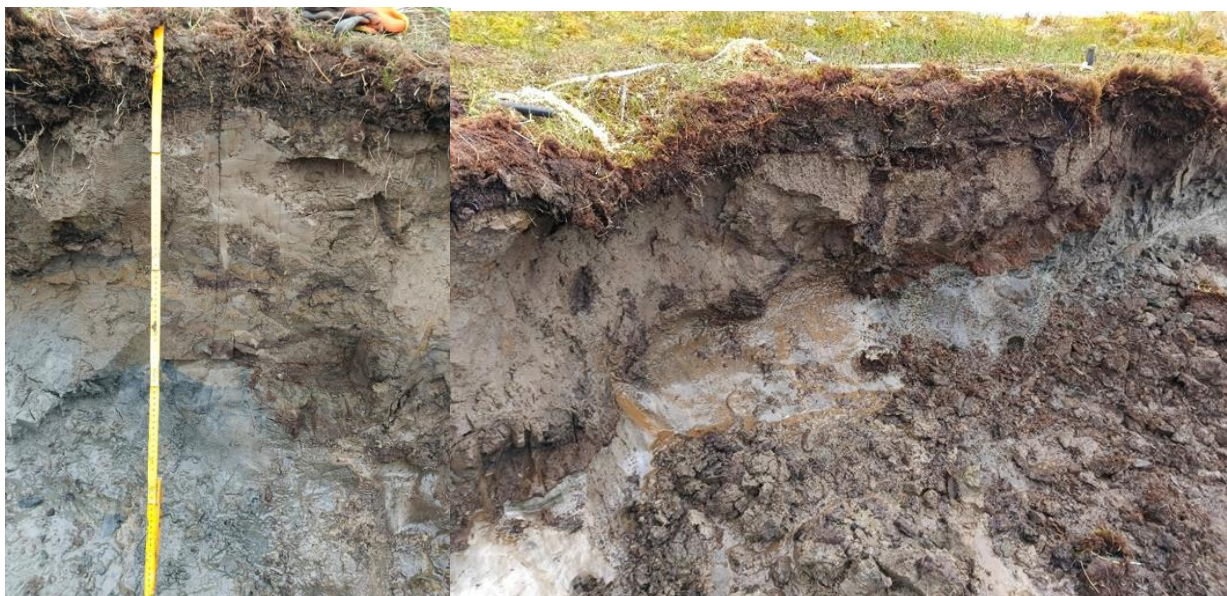
Разрез отложений слева от ПЖЛ (рис. 15):

0 – 0,11 м – торф коричневый, слабой степени разложения, с включениями корней современных растений, талый.

0,11 – 0,54 м – суглинок серо-коричневый, талый, с пятнами и линзами ожелезнения (толщиной до 2-3 см), с линзами торфа (толщиной первые см).

0,54 – 0,59 м – суглинок серо-коричневый, мёрзлый, неполносетчатая криотекстура.

0,59 – 2,5 м – супесь серая, высокольдистая, неполносетчатая (до сетчатой) криотекстура.



*Рис. 15. Разрез перекрывающих и вмещающих ПЖЛ отложений в левой части зачистки.
Перекрывающие отложения, преимущественно суглинистые*

Непосредственно над ПЖЛ в левой части наблюдается прослой торфа мощностью до 5-7 см. В центральной части над ПЖЛ – линза высокольдистой светло-коричневой супеси с линзовато-плетенчатой криотекстурой. В правой части над ПЖЛ также наблюдается прослой торфа мощностью 5-7 см (из которого был взят образец для определения радиоуглеродного возраста). Залежь повторно-жильного льда визуально неоднородна: в центральной части наблюдается белый лёд, который постепенно к краям жилы становится серым. В правой части обнажения – субвертикальные прослои супеси. Столь необычная конфигурация залежи позволяет предположить, что жила вскрыта не поперёк, а наискосок от продольной оси.

Условно залежь льда можно разделить на 4 части (от левой части залежи к правой).

1 – Серый лёд (рис. 16). Прозрачный, субвертикальная слоистость, с включениями пузырьков диаметром 3-5 мм, чаще 1 мм. Пузырьки округлые, реже – скопления пузырьков в субвертикальных прослоях. Примесей (твёрдых) немного, наблюдаются редкие отдельные субвертикальные прослои грунтовых частиц (взвесь).

2 – Белый лёд (рис. 17). Пузырчатый, с большим количеством пузырьков диаметром 1-3 мм. Пузырьки преимущественно округлые, реже вытянуты в вертикальной плоскости. Вертикальная слоистость за счёт грунтовых прослоев.

3 – Серый/белый лёд (переходный) (рис. 18). Пузырчатый (но общее количество пузырьков меньше, чем во льду №2). Пузырьки вертикально ориентированы, диаметр 1-3 мм, длина – 3-5 мм. Субвертикальная слоистость за счёт пузырьков воздуха.



Рис.16. Серый лёд (лёд 1)



Рис.17. Белый лёд (лёд 2)

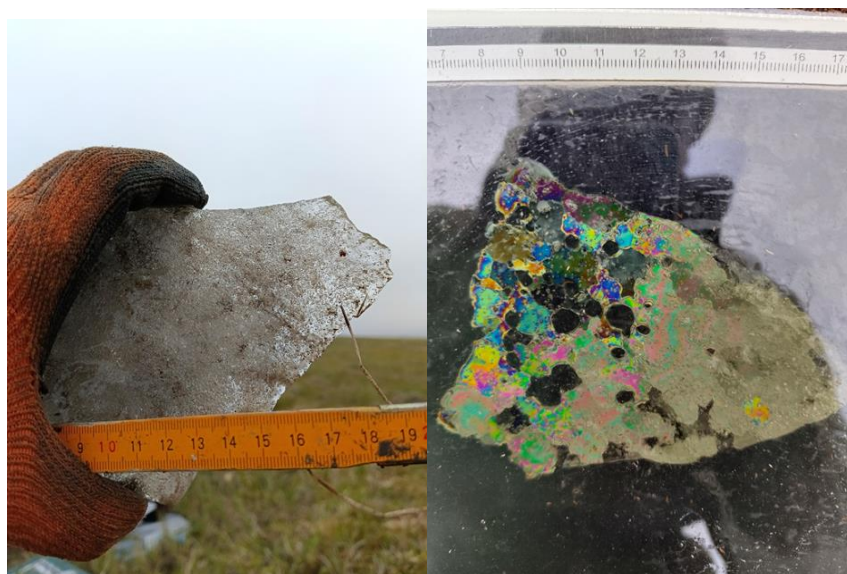


Рис.18. Серый/белый (переходный) лёд (лёд 3)

4 – Серый лёд (рис. 19). Пузырчатый. Раскалывается на отдельные диаметром 5-8 см (вероятно, крупнокристаллический). Пузырьки округлые, ориентированы субвертикально. С включениями грунтовых частиц (супесь) диаметром до 2 см.

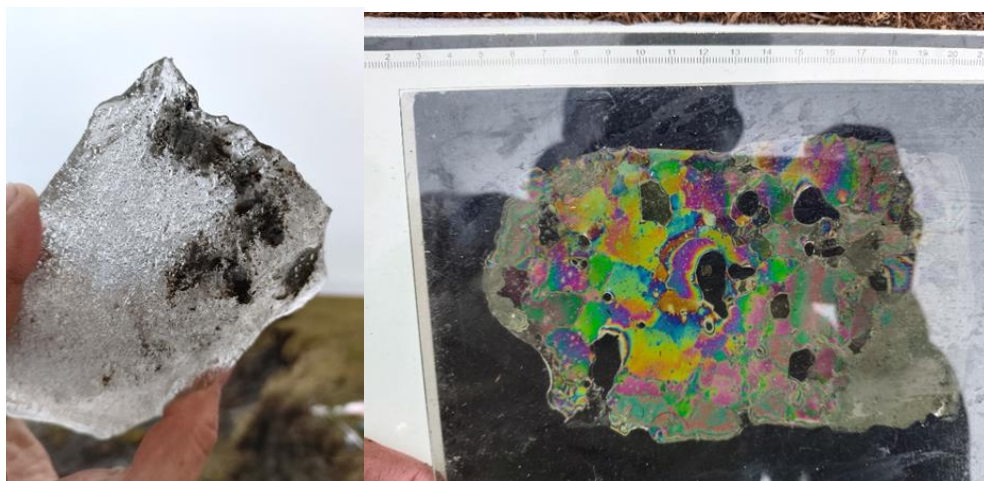


Рис.19. Серый лёд (лёд 4).

Из залежи произведён отбор образцов (рис. 20). Изотопия – 20 образцов. Метан – 5 образцов. Торф (радиоуглеродное датирование) – 1 образец. Вмещающие отложения (геохимия, грансостав) – 18 образцов.

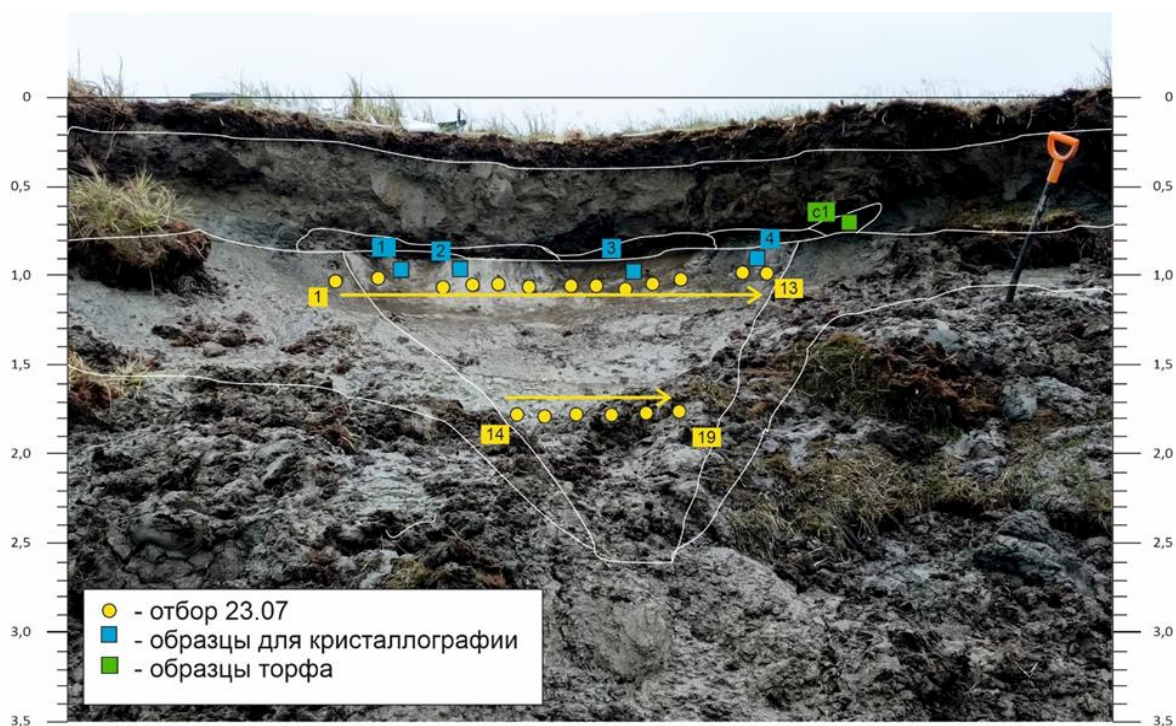


Рис.20. Схема отбора образцов для определения изотопного состава льда, кристаллографического строения льда и радиоуглеродного анализа.

Разрез 24YR4-5

Третья точка располагалась за р. Ою-Яха (рис. 21). Высота берега составляла 25-40 м (в точке описания - 27 м). Была проведена зачистка верхней и нижней части. Отобраны пробы на изотопы (54 штуки), на кристаллографию (1 штука), на метан (24 штуки) и 65 образцов на элементный анализ (геохимия).



Рис.21. Общий вид пластовых льдов (точка 3).

Описание разреза представлено в таблице 1. Подробный вид верхней части разреза (перекрывающие отложения) представлен на рис. 22.



Рис.22. Перекрывающие пластовый лёд отложения, преимущественно песчаные.

Таблица 1. Криолитологическое описание перекрывающих пластовый лёд отложений.

Глубина, м	Мощность, м	Описание
0 – 0,1	0,1	«Почва», оторфованная супесь, коричневая, с включениями корней современных растений.
0,1 – 0,69	0,59	Лёгкий суглинок, серо-коричневый с хаотичной структурой (признак криотурбаций в слое сезонного оттаивания): линзы, затёки, прослои, конкреции ожелезнения (выделяются за счёт бурого, тёмно-рыжего цвета); включения корней современных растений; в верхней части (первые 10-20 см) – включения обломочного материала средней степени окатанности, диаметром до 4 см.
0,69 – 0,87	0,18	Жёлтый песок, среднезернистый, с коричневыми прослоями, линзами и пятнами органики; слоистость горизонтальная за счёт прослоев более тёмного цвета (коричневые прослои). Наблюдаются криотурбации: языковатые затёки нижележащего серого суглинка, которые деформируют слои песка.
0,87 – 0,91	0,04	Серый суглинок, без выраженной текстуры. С пятнами ожелезнения. Горизонт формирует затёки в вышележащий горизонт.
0,91 – 1,0	0,09	Песок, серо-жёлтый с горизонтальной слабоволнистой слоистостью за счёт прослоев ожелезнения. Нижняя граница постепенная, по текстуре ожелезнения и плотности.
1,0 – 1,2	0,2	Песок серый, плотный, неслоистый, с пятнами ожелезнения до 1 см в диаметре (возможно, сформированы по корням растений). Нижняя граница постепенная по текстуре ожелезнения и по плотности.
1,2 – 1,6	0,4	Песок серо-жёлтый с горизонтальной слоистостью за счёт более тёмных (тёмно-серые) или ожелезнённых прослоев, более рыхлый, чем вышележащий горизонт.
1,6 – 1,61	0,01	Песок крупнозернистый серо-жёлтый с большим количеством щебнистых включений диаметром 0,1–0,6 см (окатанные обломки). Нижняя граница волнистая по мехсоставу.
1,61 – 1,7	0,09	Песок серо-жёлтый с горизонтальной слоистостью за счёт более тёмных (тёмно-серые) или ожелезнённых прослоев, более рыхлый, чем вышележащий горизонт.
1,7 – 1,78	0,08	Песок серый с хаотичной слоистостью, с включениями линз крупнозернистого ожелезнённого песка, с включением тёмных прослоев, нижняя граница чёткая по мехсоставу.

1,78 – 1,8	0,02	Суглинок тёмно-серый, оторфованный, со слабым запахом сероводорода, бесструктурный.
1,8 – 2,16	0,36	Песок пылеватый серо-жёлтый с прослоями и линзами суглинка; волнистая слоистость за счёт прослоев ожелезнения.
2,16 – 2,4	0,24	Серый (до тёмно-серого) суглинок со слоистостью за счёт линз и пятен ожелезнения (возможно, по корням растений). Под суглинком обнаружен шпир льда толщиной около 1 см, суглинок талый. Нижняя граница чёткая по мехсоставу и цвету.
2,4 – 2,65	0,25	Супесь чёрно-серая с горизонтальной слоистостью за счёт более тёмных прослоев; с сильным запахом сероводорода, оторфованная, с включениями линз серого песка толщиной 2-6 мм; сверху оглиненная, к низу становится опесчаненной. Переход к нижележащему горизонту плавный, по мехсоставу.
2,65 – 3,35	0,7	Песок мёрзлый с массивной криотекстурой, серый со светло-серыми прослоями; слоистость преимущественно горизонтальная, реже – косая; с пятнами ожелезнения в верхних 20 см горизонта; слоистость подчёркивается более тёмными прослоями с органикой; нижняя граница чёткая по мехсоставу.
3,35 – 3,8	0,45	Серый песок, крупнозернистый с включениями щебнистого материала; с массивной криотекстурой; слоистость за счёт включений щебнистого материала и более тёмных прослоев; нижняя граница чёткая по мехсоставу.
3,8 – 4,7	0,9	Песок серый, массивная криотекстура, с косой слоистостью (некоторые пачки слоистости срезаны перекрывающими отложениями).
С 4,7 м		Пластовый лёд (вероятно, перекрывающий снежник).

В результате криолитологического описания зачистки 24YR4 были выделены основные литологические комплексы (фаии) и определены их характеристики (цвет, гранулометрический, включения, границы, криотекстура). Проведена фотофиксация разреза и отбор образцов для лабораторных исследований. Образцы массой около 50 г. отбирались по вертикальному профилю с шагом в 0,1 м. Всего было отобрано 50 образцов.

В исследованном разрезе (рис. 22) на основе комплексного литологического анализа выделено 10 литофаций (ЛФ). Большая часть литофаций находится в талом состоянии, так как уступ, открытый воздействию атмосферы, протаивал сбоку, только нижние 2,5 м при описании находились в мёрзлом состоянии. При этом следы криотурбаций прослеживаются только до 0,9 м, что может свидетельствовать о глубине сезонноталого слоя менее 1,0 м.

ЛФ.1. Торф с супесью. В минеральной части преобладают алеврито-песчаные фракции. В торфе многочисленные включения корней растительности. Средняя мощность составляет 15 см, переход к нижележащему горизонту постепенный по литологическому составу.

ЛФ.2. Криотурбированный суглинок. Гранулометрический состав представлен преобладанием алеврито-глинистых фракций с небольшими включениями мелкозернистого песка. Характерна хаотичное строение горизонта (с признаками криотурбаций в слое сезонного оттаивания): линзы, затёки, прослой, конкреции ожелезнения (выделяются за счёт бурого, тёмно-рыжего цвета), включения корней современных растений. Средняя мощность составляет 50 см, граница с нижележащим горизонтом волнистая.

ЛФ.3. Горизонтально-слоистые желтовато-бежевые пески. Преобладают мелко- и среднезернистые пески, горизонтальная слоистость выделяется за счёт коричневых прослоев. Встречаются небольшие линзы с субпараллельной слоистостью (наклон 30-40 градусов) с включением органики. Средняя мощность составляет 25 см граница с нижележащим горизонтом чёткая по литологическому составу и цвету.

ЛФ.4. Горизонтально-слоистые серовато-бежевые пески. Преобладают мелкозернистые пески и крупные алевриты, горизонтальная слоистость выделяется за счёт коричневых и ожелезнённых прослоев. Присутствует пятна ожелезнения до 10 мм в диаметре. Средняя мощность составляет 35 см, переход к нижележащему горизонту постепенный по текстуре ожелезнения и по плотности.

ЛФ.5. Горизонтально-слоистый серый суглинок. Преобладают алевритовые фракции и крупные алевриты, слоистость за счёт линз и пятен ожелезнения. Средняя мощность составляет 20 см, нижняя граница чёткая по гранулометрическому составу и цвету.

ЛФ. 6. Горизонтально-слоистые темно-серые супеси. Преобладают алевриты, слоистость за счёт более тёмных прослоев, с сильным запахом сероводорода, оторфованная, с включениями линз серого песка толщиной 2-6 мм; сверху оглиненная, к низу становится опесчаненной. Средняя мощность составляет 20 см, переход к нижележащему горизонту плавный, по гранулометрическому составу.

ЛФ. 7. Мерзлый горизонтально-слоистый серый песок. Преобладают крупно- и среднезернистые пески. Пески мёрзлые с массивной криотекстурой, слоистость преимущественно горизонтальная, реже – косая, с пятнами ожелезнения. Слоистость подчёркивается более тёмными прослоями с органикой. Средняя мощность составляет 50 см, нижняя граница чёткая по гранулометрическому составу.

ЛФ. 8. Косослоистый мерзлый серый песок. В гранулометрическом составе преобладают крупно- и среднезернистые пески. Отдельные линзы состоят из грубо- и крупнозернистых песков. Для литофации характерна массивная криотекстура, с косой слоистостью. Средняя мощность составляет 80 см, нижняя граница чёткая по.

ЛФ.9. Гравий. Средне- и хорошо окатанный гравий (в среднем 3-15 мм, до 40 мм) с включениями рыжевато-коричневых и бежевых крупнозернистых песков. Мощность литофации варьирует от 1 до 20 см, нижняя граница чёткая по литологическому составу.

ЛФ. 10. Дресва. Слабоокатанная дресва (3 – 15 мм) с включениями рыжевато-коричневого крупнозернистого песка. Мощность литофации 5 см.

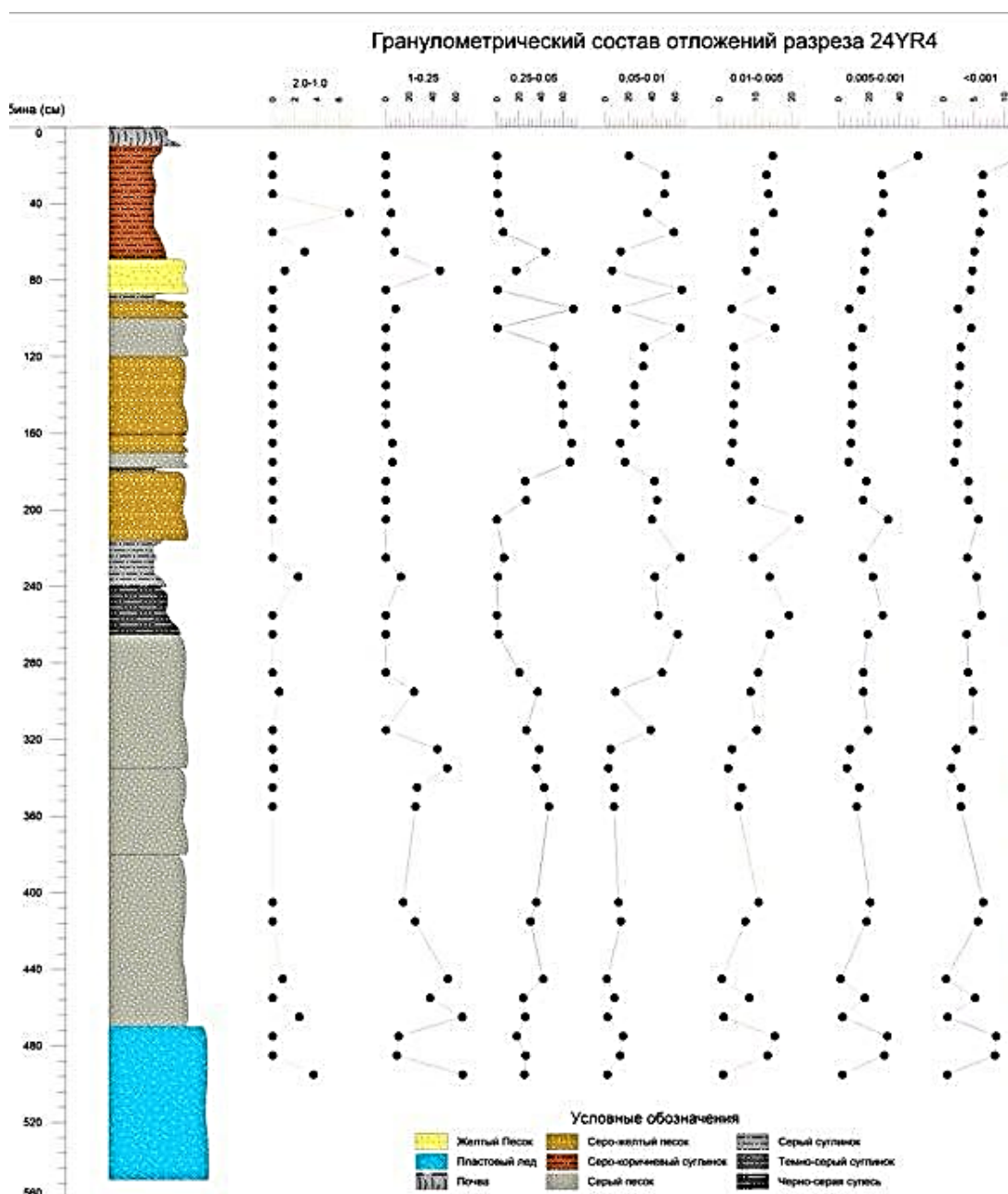


Рис.23. Гранулометрический состав отложений разреза 24YR4 (точка 3)

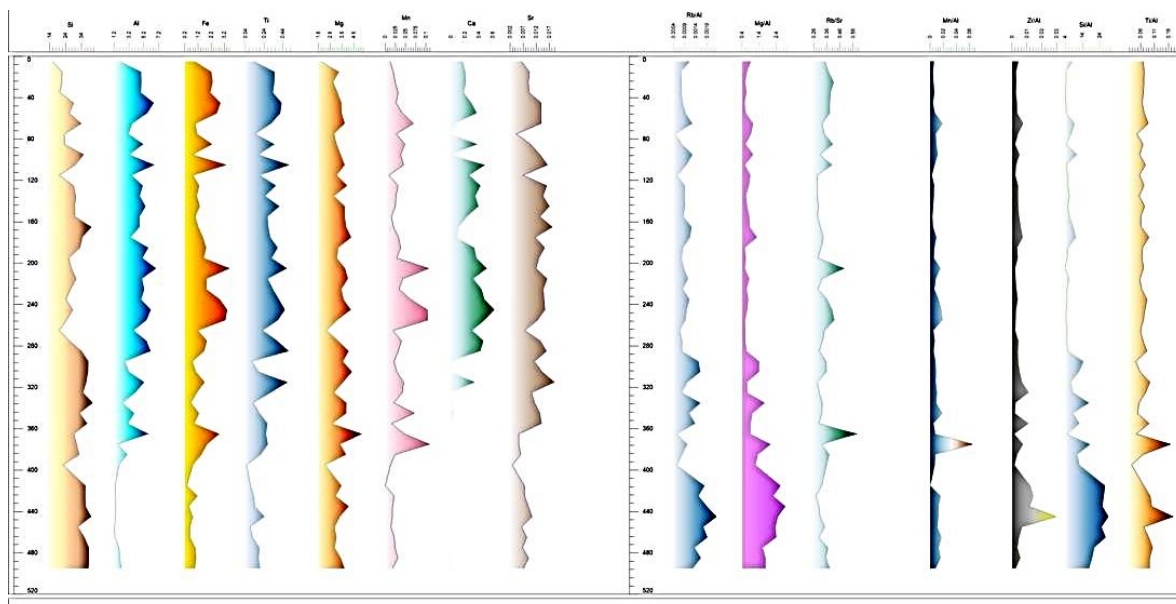


Рис.24. Геохимический анализ отложений разреза 24YR4 (точка 3).

Итого в трех точках было отобрано:

- 36 образцов на метан;
- 92 пробы на изотопы;
- 5 пробы торфа на датировку;
- 5 образцов на кристаллографию;
- 93 пробы на элементный анализ.

Изучение термокарстовых озер

В рамках полевых работ было также проведено обследование термокарстовых озер на побережье в районе компрессорной станции «Газпром Трансгаз Ухта» (рис. 25).



Рис.25. Схема положения о. Тамбто и компрессорной станции

Близкое расположение озера Тамбто к компрессорной станции и его нестабильное состояние вынуждает сотрудников Газпрома использовать различные меры защиты берега от дальнейшего его отступления (георешетка, бетонные блоки, и др.).

Было произведено рекогносцировочное обследование территории вокруг озера и в окрестностях компрессорной станции. С помощью DGPS-позиционирования была отснята бровка берегового уступа озера и получено положение береговой линии. Также была измерена глубина озера. Всего было произведено 116 измерений глубины. Максимальная глубина озера составила 7,8 м (рис. 26).

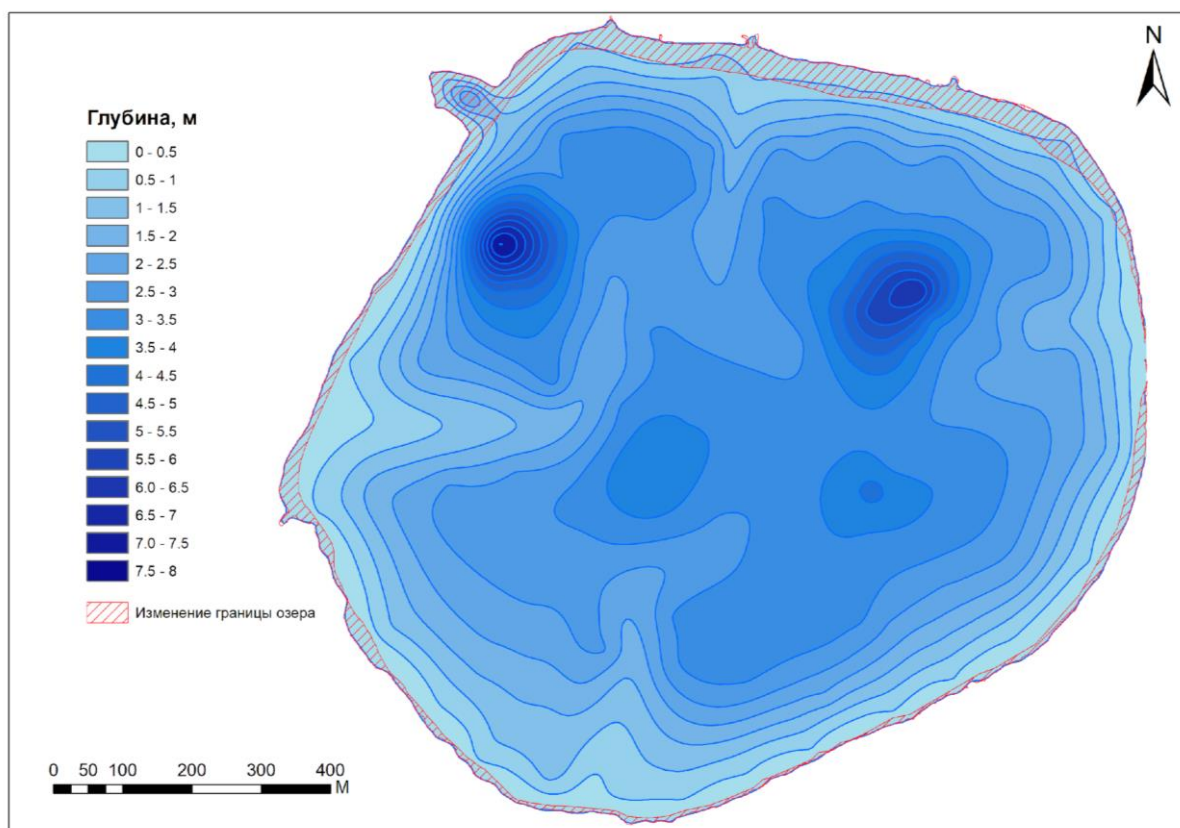


Рис.26. Схема рельефа дна озера (карта глубин озера)

По данным рекогносцировочного обследования, а также по данным измерения положения бровки и береговой линии было обнаружено, что граница озера изменилась по сравнению со съемкой 2007 года. Видно, что отступление береговой линии происходит вдоль всего озера, но это изменение происходит неравномерно. За 18 лет смещение береговой линии озера составило от первых метров до 50 метров. Гораздо заметнее отступает северная и северо-восточная часть берега, примыкающая к границе компрессорной станции. По данным съемки скорость отступления берега в этой части составляет до 3 метров в год. Это может быть связано с влиянием нескольких факторов.

На территории исследований направление преобладающих ветров в холодный (ледовый) и теплый (безледный) периоды существенно различается. Многолетние наблюдения за ветром на гидрометеорологической станции (ГМС) Марре-Сале показали, что в ледовый период суммарная повторяемость преобладающих направлений - юго-западного и южного составляет 44%. Вероятность ветров остальных направлений практически одинаково невелика (7-12%). В безледный период приблизительно равновероятными становятся все направления за исключением юго-восточного. Значительные значения отступления северо-, северо-восточного берега о. Тамбто связаны с влиянием ветро-волновой энергии на береговые уступы озера. За последние годы продолжительность безледного периода увеличивается в связи повышением среднегодовых

температур воздуха, что неблагоприятно влияет на отступление берега озера. Также по данным измерения глубины озера самые глубокие участки располагаются ближе к компрессорной станции, что увеличивает высоту волн и, соответственно, их способность к размыву.

Кроме того, территория исследований характеризуется метелевым переносом и формированием в понижениях рельефа достаточно неоднородного по мощности снежного покрова. Преобладающие в холодный период ветра южного и юго-западного направления способствуют формированию мощных снежников на северных и северо-восточных склонах. Ввиду того, что высота берегового уступа о.Тамбо в северо-восточной части достаточно низкая (до 1-2 м), а северный уступ достигает 8-10 м, наибольшие снежники формируются близ высоких уступов северных берегов. Аномально большая мощность снежного покрова выступает в роли теплоизолятора в холодный период года, что оказывает значительное влияние на температурный режим грунтов, повышая среднегодовую температуру последних. Кроме того, значительное накопление снега способствует эрозионным процессам при его таянии в период года с положительными температурами.

В западной части от территории компрессорной станции Ярынская проводилось обследование активно развивающегося оврага (рис. 27). Особое внимание было уделено изучению защитных мероприятий, направленных на укрепление бортов оврага и организацию водоотведения поверхностных стоков.



Рис.27. Овраг в районе компрессорной станции Ярынская

Укрепление склонов оврага осуществлено с использованием современных геотекстильных материалов и всевозможных сеток, которые обеспечивают эффективную стабилизацию грунта и предотвращают дальнейшую эрозию. В районе устья оврага были установлены бетонные габионы, служащие дополнительной защитой от разрушения склонов и размыва почвы под действием воды. Применение этих материалов позволяет снизить риски ухудшения состояния прилегающей территории и сохранить устойчивость инженерных сооружений станции. Эти меры играют важную роль в поддержании безопасного функционирования инфраструктуры компрессорной станции и предотвращении возможных аварий. Озеро Тамбто является базисом эрозии вышеупомянутого оврага, а северные берега озера активно размываются, что также может приводить к негативным последствиям для станции. Другими словами, повышение уровня воды в озере будет способствовать еще большему размыву его берегов, а понижение или спуск озера будет способствовать развитию оврага, ввиду понижения его базиса эрозии. Поэтому в пределах озера обследовалась его перемычка, соединяющая озеро с близлежащими, образующими единую гидрологическую систему. Пересечение этой перемычки линейным инженерным сооружением (насыпью автодороги), хотя и сопровождалось сооружением водопропусков, неминуемо привело к изменению гидрологического режима озер. В результате на озеро Тамбто, являющегося приемным водоемом этой системы, вероятнее всего произошло падение уровня ввиду уменьшения пропускной способности «перемычки». Это подтверждается её существенной заболоченностью вдоль всего днища шириной до 150-200 м. В осевой части «перемычки» обнаружен термоэрозионный ручей, борта которого ниже современного уровня болотистого днища на 0,8 – 1 м. Уменьшение уровня воды в озере Тамбто привело к падению базиса эрозии для временных водотоков, впадающих в него, и последующей интенсификации попятной (регрессивной) эрозии, меры защиты от которой в створе КС были описаны выше. Соответственно, нарушение пропускной способности форм линейной эрозии, соединяющих термокарстовые озера, приводят к существенному изменению уровней в них и заилению прилегающих понижений в рельефе. Изменение базиса эрозии в заозеренных равнинах также может сопровождаться снижением уровня подземных вод, растеплением мерзлоты и перераспределением подземного стока. В результате даже без видимых форм «прорыва» озер может наблюдаться (и уже наблюдается) их прорыв или спуск, угрожающий безопасному функционированию объектов компрессорной станции. В качестве меры инженерной защиты территории по уменьшению рисков прорыва термокарстовых озер уместным является увеличение пропускной способности водопропускных труб в теле насыпей, пересекающих эрозионную сеть.