



ТРУДЫ

Международной полевой молодежной конференции

«Современные осадочные системы, нефтегазоносность и экология озера Байкал»

(по итогам Международной мульти-дисциплинарной студенческой веб-экспедиции
«Обучение-через-исследования» проекта Class@Baikal)

20-21 августа 2017 г.

п. Листвянка, Иркутская обл., Россия

PROCEEDINGS

International field workshop

“Modern depositional systems, oil-and-gas bearing capacity and ecology of the Lake Baikal”

(the post-cruise meeting of

International multi-disciplinary students' web-expedition
“Training-through-Research” Class@Baikal)

20-21 August 2017

Listvyanka village, Irkutsk region, Russia

УДК 552.1/43:553.98.61:554(256.341)

ББК 26.2

ББК 26.3

Труды Международной полевой молодежной конференции «Современные осадочные системы, нефтегазоносность и экология озера Байкал» (по итогам Международной мультидисциплинарной студенческой веб-экспедиции «Обучение-через-исследования» проекта Class@Baikal): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2017. 86 с.: ил., карты, схемы. ISBN 978-5-9500750-4-9.

Сборник «Труды Международной полевой молодежной конференции «Современные осадочные системы, нефтегазоносность и экология озера Байкал» (по итогам Международной мультидисциплинарной студенческой веб-экспедиции «Обучение-через-исследования» проекта Class@Baikal)» представляет собой книгу тезисов докладов участников конференции и тезисов научных работ, доложенных на семинарах в ходе геолого-геофизической экспедиции Class@Baikal-2017 на борту НИС «Г.Ю. Верещагин». В рамках прошедших семинаров и конференции обсуждались темы, касающиеся: (1) современной фокусированной разгрузки углеводородов на дне озера Байкал; (2) особенностей «байкальского» газо-гидратообразования и грязевого вулканизма; (3) истории четвертичного осадконакопления и формирования крупных осадочных систем, подводных долин, конусов выноса; (4) крупных опозневых событий на склонах Байкала; (5) тектонической истории региона. Все тезисы представлены в редакции авторов.

Подготовлено к выпуску издательством ООО «ПолиПРЕСС» по заказу ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».

ООО «ПолиПРЕСС»

170041, г. Тверь, Комсомольский пр-т, д. 7, пом. II

polypress@yandex.ru ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».

119234. Москва, Ленинские горы, Научный парк МГУ, владение 1, стр. 77

(495) 930-85-52/ 930-80-58

Все права на издание принадлежат ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».

© ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова»

© ООО «ПолиПРЕСС»

Аннотация

С 7 по 21 августа 2017 года на акватории озера Байкал состоялась Четвертая Международная студенческая экспедиция проекта «Обучение-через-исследования» Class@Baikal. Рейс традиционно был организован на научно-исследовательском судне (НИС) «Г.Ю.Верещагин», ставшем родной базой Байкальского Плавучего Университета.

Проект «Обучение-через-исследования» Class@Baikal реализуется при поддержке ученых Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова и Лимнологического Института СО РАН, а также с привлечением студентов и ученых Иркутского государственного технического университета, Университетов Осло и Тромсё (Норвегия), Парижского университета Пьера и Мари Кюри (Франция) и других научных центров, а также широкой интернет-аудитории.

В экспедиции 2017 года студенты российских и зарубежных вузов, и новые, и те, кто принимал участие в предыдущих экспедициях, под руководством своих преподавателей и ученых из Лимнологического института СО РАН продолжали «обучение-через-исследования» уникальных природных геологических процессов на дне озера Байкал. Новые участники экспедиции познакомились с современными методами геолого-геофизических, геохимических и инженерно-геотехнических исследований придонных отложений; на практике освоили работу с экспедиционным оборудованием. Студенты, участвовавшие в экспедициях Class@Baikal-2014, Class@Baikal-2015 и Class@Baikal-2016 продолжили свои исследования, уже специализируясь на определенных районах и задачах.

Как и в ходе Первой, Второй и Третьей экспедиций, участники рейса ежедневно готовили и выкладывали в интернете иллюстрированный отчет о проведенных экспедиционных работах и жизни на борту НИС «Г.Ю. Верещагин» (см. <http://class-baikal.ru/>). Также, традиционно, в ходе экспедиции, на борту судна проводились ежедневные научные и научно-образовательные лекции и семинары.

Экспедиционные работы Class@Baikal-2017 прошли в несколько этапов. Первый этап начался 7 августа 2017 года. Работы первого этапа были посвящены, главным образом, исследованиям в центральной котловине озера с применением геофизических сейсмоакустических методов. 12 августа 2017 года НИС «Г.Ю.Верещагин» вернулся в п. Листвянка и участники геофизического этапа уступили место на борту студентам-геологам и их преподавателям. В ходе второго этапа в центральной и южной котловине озера Байкал выполнен внушительный объем донного пробоотбора ударными трубками с последующим обширным комплексом геолого-геохимических и инженерно-геотехнических исследований.

Завершающим этапом экспедиции стало проведение научно-технического семинара и молодежной конференции по итогам экспедиции. Конференция прошла 20-21 августа в поселке Листвянка, на базе Байкальской лимнологической станции Лимнологического института СО РАН. Конференция была посвящена широкому научному обсуждению результатов экспедиции 2017

года, а также обмену опытом между экспертами, молодыми учеными и студентами, изучающими различные аспекты геологии, геохимии и биологии озера Байкал.

В рамках прошедшей конференции организовано обсуждение и представлены доклады, касающиеся:

- (1) современной фокусированной разгрузки углеводородов на дне озера Байкал;
- (2) особенностей «байкальского» газо-гидратообразования и грязевого вулканизма;
- (3) истории четвертичного осадконакопления и формирования крупных осадочных систем, подводных долин, конусов выноса;
- (4) крупных опозневых событий на склонах Байкала;
- (5) тектонической истории региона.

Экспедиция Class@Baikal-2017 и следовавшая за ней конференция организованы под девизом «Обучение-через-исследования» и развивают традиции этого инновационного подхода в подготовке высококвалифицированных специалистов в области морских наук. Успешный опыт проведения Class@Baikal в 2014, 2015 и 2016 годах лег в основу мероприятий 2017 года. Современная молодежь научной ориентации, прежде всего студенты и аспиранты национальных и зарубежных вузов и молодые ученые – главная целевая аудитория проекта. Проект «Обучение-через-исследования» Class@Baikal направлен на привлечение внимания молодых ученых к необходимости внимательного отношения и детального изучения особенностей взаимосвязи геологического строения, современной экологии и работы углеводородных систем озера Байкал.

Кроме того, экспедиция и конференция 2017 года внесли свой вклад в фундаментальное понимание взаимовлияния спектра геологических процессов (осадконакопление, генерация углеводородов, формирование гидратоночности отложений, зарождение и работа грязевых вулканов, рассеянная и фокусированная дегазация донных осадков, оползание склонов и т.д.) и экологической эволюции районов: связи геосфера – биосфера.

Настоящий сборник «Труды Международной полевой конференции «Современное осадочные системы, нефтегазоносность и экология озера Байкал» (по итогам Международной мульти-дисциплинарной студенческой веб-экспедиции «Обучение-через-исследования» проекта Class@Baikal)» представляет собой книгу тезисов докладов участников семинаров в ходе экспедиции и конференции по её окончанию. Все тезисы представлены в редакции авторов.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ:

АХМАНОВ ГРИГОРИЙ ГЕОРГИЕВИЧ
(председатель)

Руководитель Кафедры ЮНЕСКО по морской геологии и геофизике, директор Учебно-научного Центра ЮНЕСКО-МГУ по морской геологии и геофизике при геологическом факультете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

ХЛЫСТОВ ОЛЕГ МИХАЙЛОВИЧ

Заведующий лабораторией геологии озера Байкал Лимнологического института СО РАН, г. Иркутск

КИСЛИЦЫНА ЕКАТЕРИНА ВАЛЕРЬЕВНА

Студент магистратуры геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

КОРОСТ ДМИТРИЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

Директор ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова», научный сотрудник Учебно-научного Центра ЮНЕСКО-МГУ по морской геологии и геофизике при геологическом факультете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

КУДАЕВ АРТУР АЛИЕВИЧ

Студент магистратуры геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

СОЛОВЬЕВА МАРИНА АНДРЕЕВНА

Сотрудник ООО «Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М.В. Ломоносова»

БАЛАКИН ИГОРЬ СЕРГЕЕВИЧ

Студент магистратуры геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

ВИДИЩЕВА ОЛЕСЯ НИКОЛАЕВНА

Студент магистратуры геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ:

ПУЩАРОВСКИЙ ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ
(председатель)

Академик РАН, профессор, декан геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

КОНЮХОВ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ

Профессор геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

ТИХОЦКИЙ СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ

Член-корреспондент РАН, директор ИФЗ РАН, г. Москва

ТОКАРЕВ МИХАИЛ ЮРЬЕВИЧ

Зам. декана геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

КОРОСТ СВЕТЛАНА РАДИКОВНА

Сотрудник ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова»

НЕСМЕЯНОВА ЕКАТЕРИНА МИХАЙЛОВНА

Сотрудник ООО «Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М.В. Ломоносова»

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

Дата: **20.08.2017**

| | | |
|---|---|--|
| 09:00-09:25 | Открытие конференции, приветственные слова участникам | |
| 09:25-09:50 | Ахманов Г.Г. <i>МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, г. Москва</i> | «Обучение-через-исследования» на озере Байкал: история, достижения и планы Международного проекта Class@Baikal |
| Секция 1. Фокусированная разгрузка углеводородов на дне природных водоёмов | | |
| 09:50-10:15 | Хлыстов О.М. <i>Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск</i> | Clathrated dissociation and shallow mud volcanism: examples from Lake Baikal |
| 10:15-10:40 | Поорт Дж. <i>Парижский университет Пьера и Мари Кюри, Франция</i> | Seeps and mud volcanoes of the Lake Baikal: the Class@Baikal-2017 preliminary results of thermal gradient measurements |
| 10:40-11:00 | Алоизи Дж. <i>Парижский университет Пьера и Мари Кюри, Франция</i> | Лекция. Global carbon cycle in the Earth past |
| 11:00-11:20 | <u>Кофе-брейк</u> | |
| 11:20-11:45 | Маццини А. <i>Центр эволюции и динамики Земли, Университет Осло, Норвегия</i> | Mud volcano formation dynamics: an overview |
| 11:45-12:10 | Паниери Дж. <i>Университет Тромсё, г. Тромсё, Норвегия</i> | Лекция. The use of micropaleontology to investigate methane emissions: Present and Past |
| 12:10-12:35 | Крылов А.А. <i>Институт наук о Земле, СПбГУ, г. Санкт-Петербург</i> | Лекция. Аутигенная минерализация в зонах фокусированной разгрузки углеводородов на дне озера Байкал: особенности глобального процесса в пресноводных условиях |
| 12:35-13:00 | Гафурова Д.Р. <i>МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, г. Москва</i> | Предварительные результаты микротомографических исследований колонок донных отложений, отобранных в рейсах Class@Baikal: типизация осадков озера Байкал |
| 13:00-14:00 | <u>Обеденный перерыв</u> | |
| Секция 2. Плотностные потоки и формируемые ими глубоководные осадочные системы | | |
| 14:00-14:25 | Почевалова А.В. <i>РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, г. Москва</i> | Современные отложения конуса выноса Хурай озера Байкал по данным донного пробоотбора в экспедиции Class@Baikal-2015 |
| 14:25-14:50 | Корост С.Р. <i>ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова», г. Москва</i> | Типы отложений глубоководной осадочной системы Хурай по результатам донного пробоотбора в экспедиции Class@Baikal-2017 |
| 14:50-15:15 | Рыбалко А.Е. <i>Институт наук о Земле, СПбГУ, г. Санкт-Петербург</i> | Неотектонические движения и субаквальное оползание в Белом море: их результат и отражение в строении |

| | | |
|-------------|--|--|
| | | современных донных накоплений и в геофизических полях |
| 15:15-15:40 | Соловьева М.А. ООО «Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М.В. Ломоносова», г. Москва | Строение глубоководной осадочной системы Хурай (оз. Байкал) по данным сейсмоакустического профилирования |
| 15:40-16:00 | <u>Кофе-брейк</u> | |
| 16:00-17:00 | Круглый стол Модераторы: Хлыстов О.М., Ахманов Г.Г., Поорт Дж. | Грязевой вулканизм озера Байкал: классические черты и уникальность |

Дата: **21.08.2017**

Секция 3. Современные аппаратные и лабораторные комплексы изучения донных отложений

| | | |
|-------------|--|--|
| 09:00-09:25 | Ефремов В.Н. ООО «Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М.В. Ломоносова», г. Москва | Сейсмоакустические исследования на акватории озера Байкал: методы и аппаратура экспедиции Class@Baikal-2017 |
| 09:25-09:50 | Безрукин А.Б. ИрНИТУ, г. Иркутск | EasyXTF: новая программа просмотра и обработки файлов ГБО в формате XTF |
| 09:50-10:15 | Маццини А. Центр эволюции и динамики Земли, Университет Осло, Норвегия | New equipment and preliminary results of the first underwater video survey run during the Class@Baikal expeditions |
| 10:15-10:40 | Локтев А.С. ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова», г. Москва | Результаты судовых геотехнических лабораторных работ экспедиции Class@Baikal-2017 |
| 10:40-11:00 | <u>Кофе-брейк</u> | |

Секция 4. Геохимические индикаторы углеводородных сипов на дне озера Байкал

| | | |
|-------------|---|---|
| 11:00-11:25 | Погодаева Т.В. Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск | Лекция. Геохимические исследования состава и происхождения поровых вод донных осадков в зонах фокусированной разгрузки на дне озера Байкал |
| 11:25-11:50 | Кислицына Е.В. МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, г. Москва | Наборные газо-геохимические работы экспедиции TTR-Class@Baikal-2017 |
| 11:50-12:15 | Карамова Г.Ф. МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, г. Москва | Состав и происхождение газов в донных отложениях центральной и южной котловин озера Байкал |
| 12:15-12:40 | Видищева О.Н. МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, г. Москва | Состав и происхождение углеводородных флюидов в донных осадках озера Байкал |
| 12:40-13:40 | <u>Обеденный перерыв</u> | |

Секция 5. Комплексные геолого-геофизические исследования на акватории озера Байкал

| | | |
|-------------|--|---|
| 13:40-14:00 | Балакин И.С. <i>МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, г. Москва</i> | Результаты геолого-геофизических исследований Class@Baikal в районе грязевого вулкана Большой (оз.Байкал) |
| 14:00-14:25 | Воробьев Р. В. <i>МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, г. Москва</i> | Результаты геолого-геофизических работ Class@Baikal-2016 на южном борту южной котловины озера Байкал |
| 14:25-14:50 | Кудаев А.А. <i>МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, г. Москва</i> | Особенности строения приповерхностных донных отложений озера Байкал и их влияние на стабильность склонов: на примере Красноярского субаквального оползня |
| 14:50-15:15 | Несмеянова Е.М. <i>ООО «Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М.В. Ломоносова», г. Москва</i> | Презентация видеофильма. Хроника Class@Baikal: новые подходы, реализуемые в новом проекте Международной Программы ЮНЕСКО-МГУ «Обучение-через-исследование (Плавучий Университет)» |
| 15:15-15:35 | <u>Кофе-брейк</u> | |
| 15:35-16:35 | Публичная защита научного отчета по экспедиции Class@Baikal-2017 | |
| 16:35-17:00 | Подведение итогов. Закрытие конференции | |

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

(в алфавитном порядке по фамилии первого автора)

Результаты геолого-геофизических исследований Class@Baikal в районе грязевого вулкана Большой (озеро Байкал)

Балакин И.С., Ахманов Г.Г., Корост С.Р., Мятчин О.М., Хлыстов О.М.

В районе грязевого вулкана Большой, в экспедиции Class@Baikal-2017, ударными трубками были отобраны осадки на 9 станциях: TTR-BL17-283G – TTR-BL17-291G (Рисунок1). Общая длина керна - 16,46 м. Керн станции TTR-BL17-291G, которая дублировала TTR-BL16-184G, и керн станции TTR-BL17-288G без вскрытия был упакован для транспортировки в лаборатории г. Москвы (МГУ), а также на КТ-исследования. Максимальный разрез, вскрытый донным пробоотбором в 2017 году в районе грязевого вулкана Большой, составил 2,84 м. Для дальнейшего исследования в лабораториях геологического факультета МГУ также были законсервированы половинки и четверти 16-и секции, длиной один метр каждая. 13 секций были упакованы в половинки пластиковых труб (лайнеров), а материал еще 3-х секции был упакован в квадратные коробки размером 4x4 см. Дополнительно, отобрано 46 образцов на специальные литологические исследования. Из керна станции TTR-BL17-286G извлечено 36 образцов фрагментов полу-литифицированных пород (предположительно, обломки пород из грязевулканических отложений). Также отобрано 38 образцов на лабораторные геотехнические исследования. Проведено 52 замера сопротивления грунтов сдвигу и сдавливанию с помощью полевой микро-крыльчатки и пенетрометра.

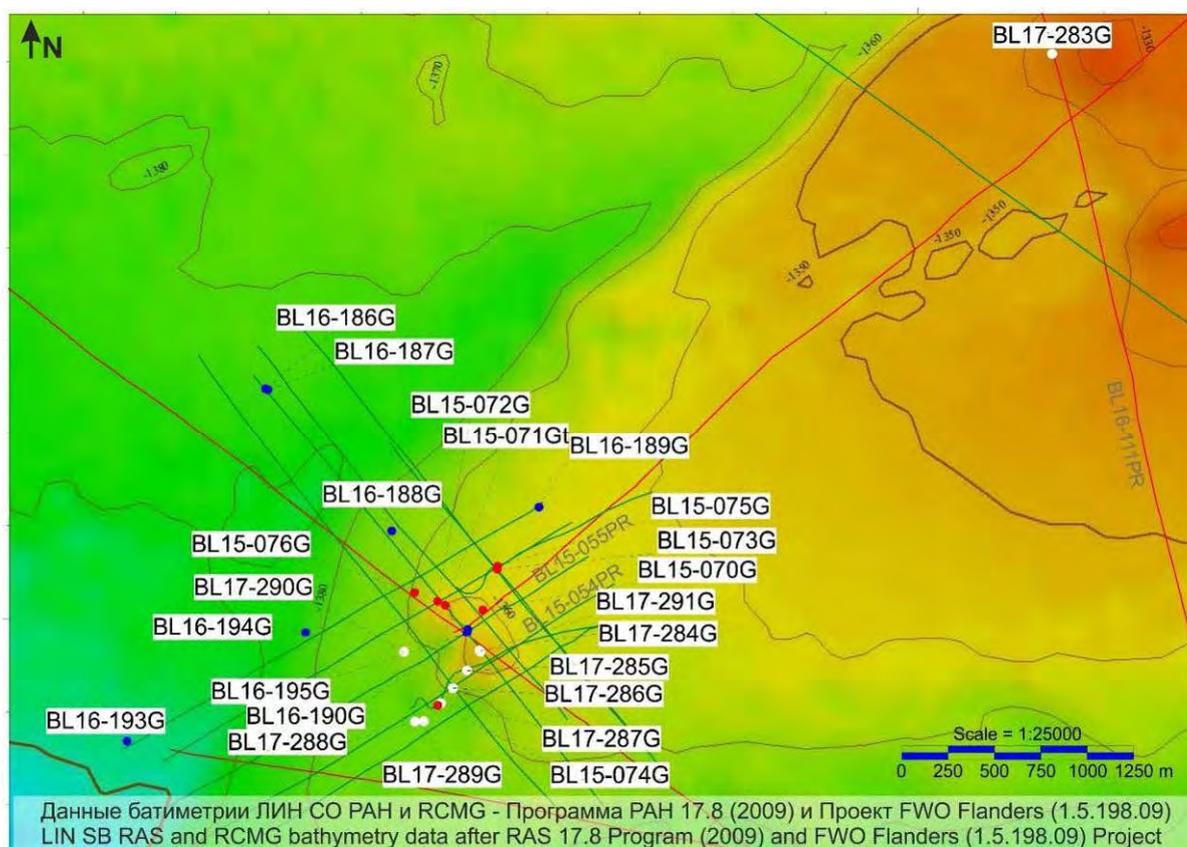


Рисунок 1. Карта расположения станций донного пробоотбора и геофизических профилей, выполненных в экспедициях проекта TTR-Class@Baikal в 2015-2017 годах

В 2017 году проводилось уплотнение сетки станций донного пробоотбора с целью всестороннего изучения полученной информации и уточнения данных, полученных в 2016 и 2015 году станций.

Станция TTR-BL17-283G, расположенная на удалении от кратера грязевого вулкана, на возвышенности (Рисунок2), вскрыла типичный байкальский тип разреза, осложненный прослоями алевритового и песчаного материала, в нижней части - с турбидитовыми прослоями.

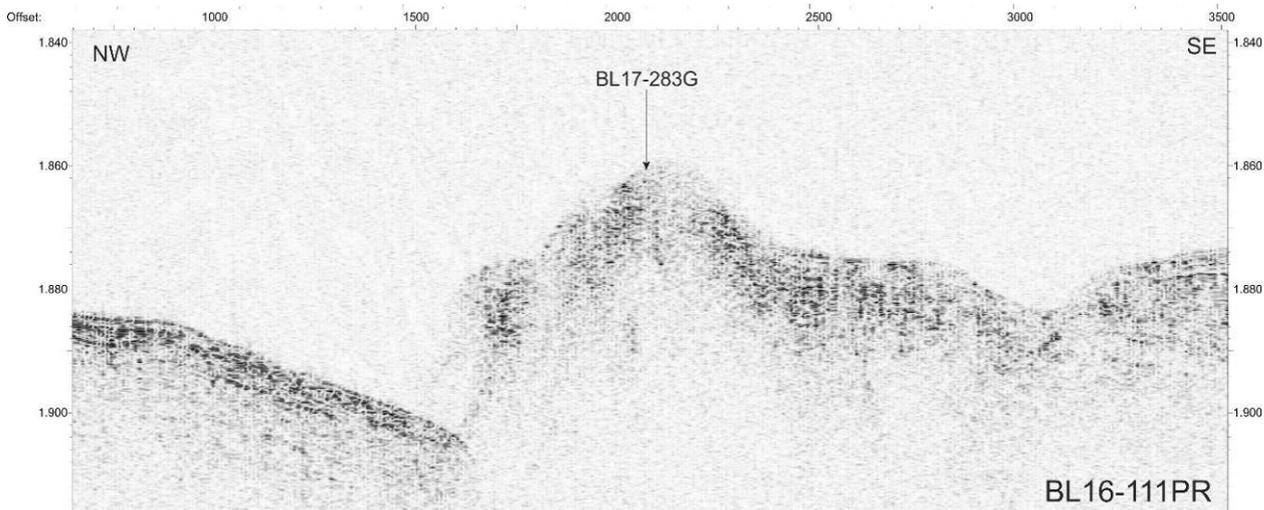


Рисунок 2. Фрагмент профиля BL16_111PR с положением станции TTR-BL16-283G

В верхней части разреза отмечены глинисто-диатомовые илы с окисленной обводненной железистой коркой. В них можно выделить линзу более чистых диатомовых илов. Ниже залегают диатомово-глинистые илы со значительным количеством алевритовой примеси. В маслянистых глинах зеленоватого цвета нижней части вскрытого разреза отмечены турбидитовые прослои (отложения плотностных потоков) (Рисунок3).



Рисунок 3. Турбидиты в керне станции TTR-BL17-283G

В строении турбидитового цикла снизу вверх можно выделить 4 элемента: песок мощностью 0,5-1 см; алеврит мощностью 1-5 см; глинистый алеврит мощностью до 1 см; глины – мощностью до 1 см, которые отличаются от фоновых верхнеплейстоценовых глин по цвету. Наблюдалось большое количество каналов миграции флюида (Рисунок4).



Рисунок 4. Канал миграции флюида на примере керна станции TTR-BL17-283G

В нижней (глинистой) части вскрытого разреза встречаются текстуры выхода газа.

В интервале 66-71 см наблюдается резкое увеличение количества прослоев гидротроилита, ниже которого, в интервале 75-77 см от кровли разреза наблюдается прослой маслянистых глин, отличающихся по цвету от нижележащих.

Станция TTR-BL17-290G выполнена на небольшой возвышенности, находящейся юго-западнее кратера вулкана (Рисунок5).

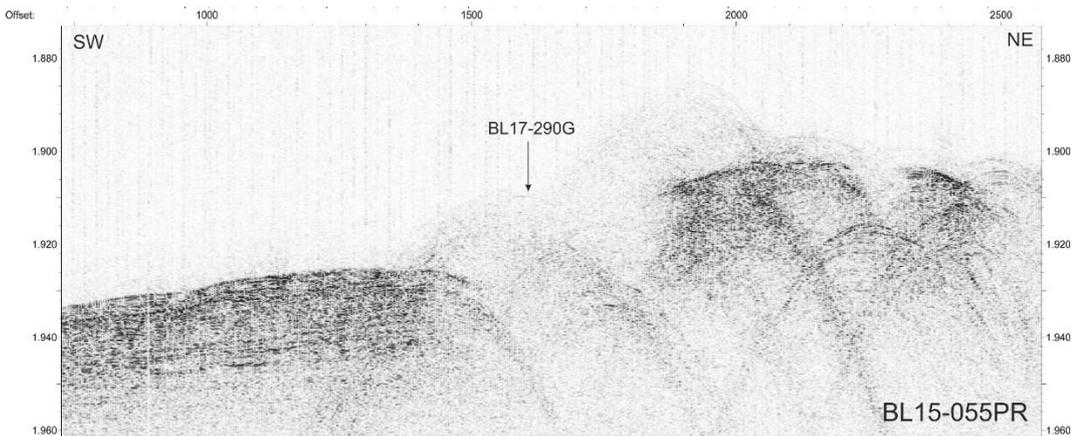


Рисунок 5. Фрагмент профиля BL15_055PR с положения станции TTR-BL16-290G

Вскрытый разрез представлен диатомово-глинистыми илами, которые сменяются вниз по разрезу, алевро-глинистыми илами. Нижняя часть колонки представлена маслянистыми глинами, с многочисленными прослоями турбидитов, а также прослоями и линзами песка. В строении турбидитовых циклов снизу вверх также можно выделить 4 элемента (Рисунок6).

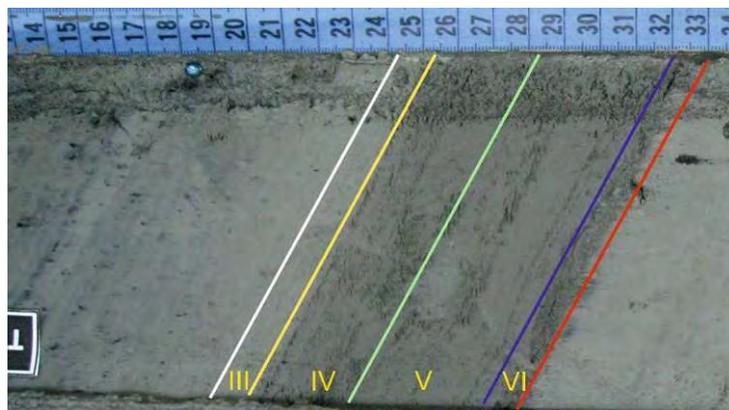


Рисунок 6. Строение турбидитового цикла на примере разреза станции TTR-BL-17-290G

Наблюдается интересная особенность: в слое алевро-глинистых илов, выделяется обводненный канал, который «прорывает» линзу маслянистых глин, расположенную в интервале 20-22 см (Рисунок 7). А в интервале 30-40 см наблюдается слой таких же маслянистых глин, выше которого разрез насыщен гидротроилитом.



Рисунок 7. Глины маслянистые в верхней части разреза станции TTR-BL17-290G

В нижней части разреза станции также наблюдаются текстуры выходов газа.

Станции TTR-BL17-284G – TTR-BL17-289G, расположенные на одной прямой линии, были запланированы с целью охарактеризовать южную возвышенность грязевого вулкана, от вершины структуры к ее подножью (Рисунок 8).

В станциях TTR-BL17-284G и TTR-BL-17-285G, расположенных в привершинной части, наблюдаются следующие закономерности: в кровле обеих станций встречаются глинисто-диатомовые илы, содержащие в разном количестве алевритовую и песчаную примесь, которые в нижней части сменяются маслянистыми глинами, содержащими турбидиты. Турбидиты в верхней части колонки преимущественно тонкие, их максимальная толщина не превышает 4 мм; однако ближе к подошве вскрытого разреза их толщина увеличивается.

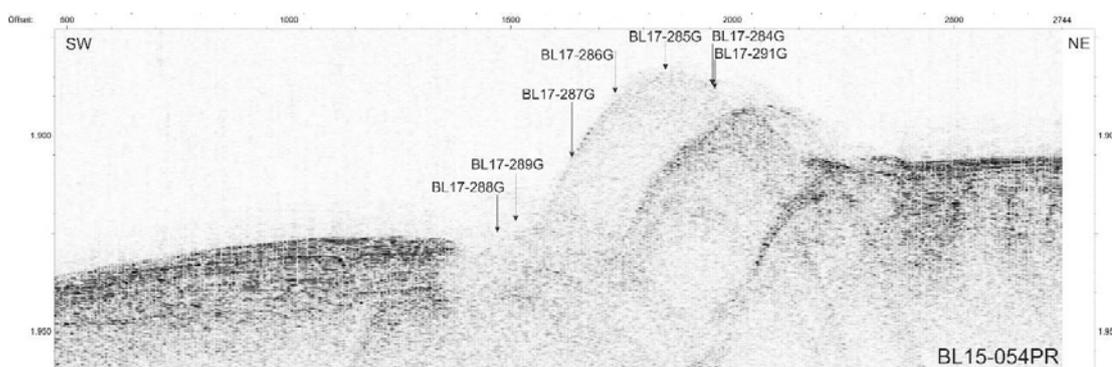


Рисунок 8. Фрагмент профиля BL15_054PR с указанием положения станций TTR-BL17-284G, TTR-BL17-285G, TTR-BL17-286G, TTR-BL17-287G, TTR-BL17-288G, TTR-BL17-289G

В обеих станциях в нижней части вскрытого разреза встречены текстуры выходов газа, наблюдается большое количество обводненных каналов.

В станции TTR-BL17-284G отмечаются следующие особенности: в нижней части разреза наблюдаются разрывные нарушения, связанные, вероятно, с оползанием. Амплитуда нарушений 3-5 см (Рисунок 9).

В подошвенной части разреза выделяется слой, состоящий из плотных фрагментов глины размером 0,5-0,7 см. Эти фрагменты «помещены» в сильно обводненный глинистый ил (Рисунок).

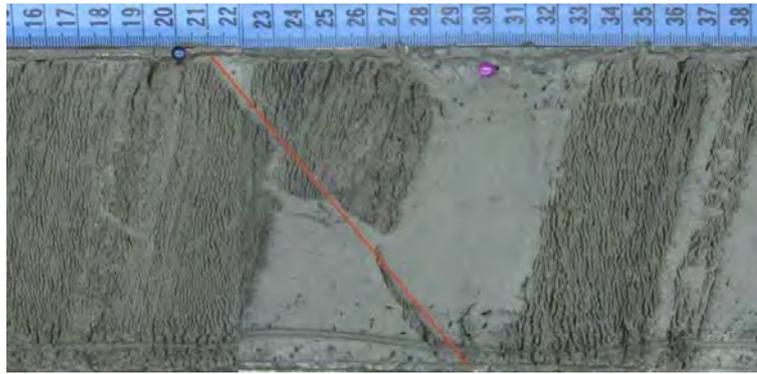


Рисунок 9. Разрывные нарушения в керне станции TTR-BL17-294G



Рисунок 10. Плотные фрагменты глины в нижней части разреза станции TTR-BL17-284G

Особенностью разреза станции TTR-BL17-285G является наличие большого количества песчаных линз и прослоев.

В разрезе станции TTR-BL17-286G, расположенной в верхней части склона южной вершины грязевого вулкана Большой, были обнаружены глинистые фрагменты размером от 0,5x0,7 см до 3x5 см (Рисунок11), вероятно, представляющие собой обломки из грязевулканической брекчии находящиеся в глинисто-алевритовом матриксе. В интервале 20-40 см обнаружены газовые гидраты (Рисунок12).



Рисунок 11. Обломки пород из грязевулканических отложений. Станция TTR-BL17-286G



Рисунок 12. Газовые гидраты в керне станции TTR-BL17-286G

Станция TTR-BL17-287G выполнена в средней части склона южной возвышенности грязевого вулкана Большой (Рисунок 8). При извлечении керна из гравитационной трубки наблюдалось активное шипение, на эхолоте отмечались обильные газовые факелы, осадок первые несколько секунд интенсивно дегазировался. Разрез станции на $\frac{3}{4}$ состоит из песка, средне-мелкозернистого.

Станция TTR-BL17-288G расположена у подножья грязевого вулкана Большой, вблизи станции TTR-BL15-074G, в которой в рамках экспедиции Class@Baikal-2015 были отобраны первые газовые гидраты, обнаруженные Class@Baikal в данном районе. В 2017 году станция вскрыла разрез мощностью 1 метр, представленный грязевулканическими отложениями, обломки и матрикс которых состоят из алевритовой глины, плотной и пластичной. Секция без вскрытия была упакована для транспортировки в г. Москву с целью проведения КТ-исследований. В кернорвателе отмечались включения газовых гидратов размером 2-3 мм.

Станция TTR-BL17-289G расположена почти у подножья склона, но немного выше по склону, чем станция TTR-BL17-288G (Рисунок 8). Разрез станции TTR-BL17-289G в верхней части сложен диатомово-глинистым илом, который сверху-вниз по разрезу сменяется на алевро-пелит, насыщенный гидротроилитом в интервале 55-70 см. Большая часть вскрытого разреза представлена маслянистыми глинами, с множеством обводненных каналов в интервале 73-178 см, а также с многочисленными прослоями мощных турбидитов. В нижней части вскрытого разреза наблюдаются многочисленные песчаные линзы. Отмечаются текстуры выхода газа в интервалах 230-284 см и 178-284 см (Рисунок13).

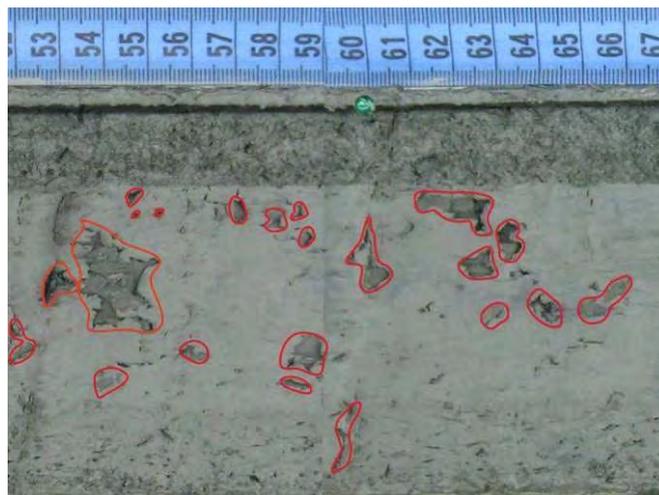


Рисунок 13. Текстуры выхода газа в керне станции TTR-BL17-289G

Станции TTR-BL17-286G, TTR-BL17-287G, TTR-BL17-288G содержат прямые либо косвенные признаки наличия газовых гидратов. На карте района грязевого вулкана Большой все более отчетливо выделяется зона существования газовых гидратов в стабильном состоянии. Для керна всех станций, выполненных в экспедиции Class@Baikal-2017, характерно наличие каналов миграции

флюида. В керне станций ТТR-BL17-283G, ТТR-BL17-289G, ТТR-BL17-290G видимая длина каналов достигала 10 см и более. В нижней части разрезов станций ТТR-BL17-283G, ТТR-BL17-284G, ТТR-BL17-295G наблюдается наличие турбидитовых прослоев.

EasyXTF: новая программа просмотра и обработки файлов ГБО в формате XTF

Безрукин А.Г.

Необходимость в разработке программы возникла из-за ситуации среди бесплатного ПО для работы с файлами формата XTF. Применение коммерческих многофункциональных средств для обработки данных гидролокаторов бокового обзора не всегда возможно, а свободно распространяемые версии имеют ограниченную функциональность, не позволяющую выполнять над данными минимально необходимый набор операций.

Программа EasyXTF написана в среде VisualStudio. Интерфейс представлен на рисунке 1.

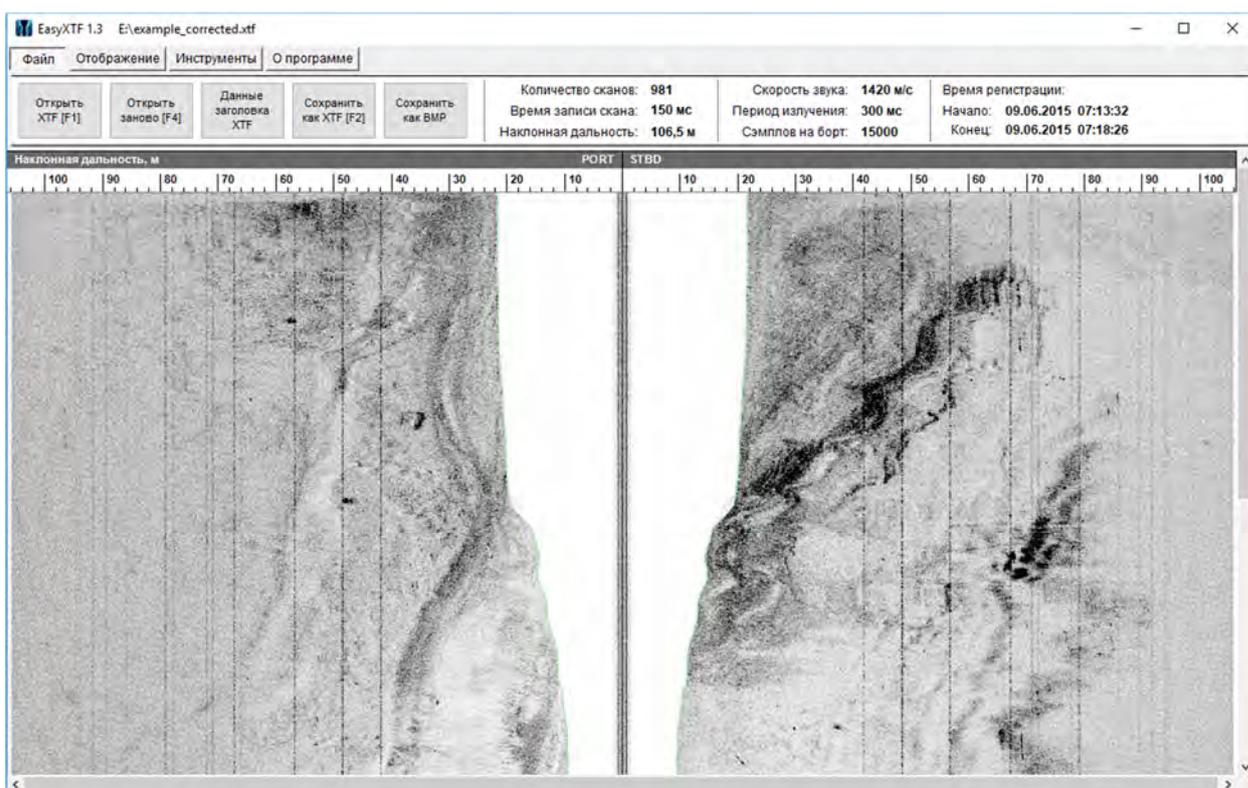


Рисунок 1. Интерфейс программы EasyXTF.

Основываясь на заголовках в файле XTF, программа считывает данные левого и правого бортов ГБО, а также необходимую сопутствующую информацию о времени, координатах, параметрах проведения измерений.

Из считанных данных формируется растровое изображение. Есть возможность изменять параметры визуализации, такие как:

- масштабирование по курсу движения и по наклонной дальности;
- палитра оттенков (несколько видов цветной и монохромной шкалы с настраиваемыми уровнями яркости/контрастности).

Построенное с выбранными параметрами изображение можно сохранить в формат BMP.

При просмотре файла можно получить информацию о конкретном участке данных (время и координаты его регистрации, положение на треке), измерить глубину и наклонную дальность, расстояние в плоскости дна по продольному и поперечному направлениям, высоту объекта на дне по размеру его акустической тени.

В отдельном окне можно вывести кривую траектории маршрута с указанием масштаба, длины пути и средней скорости движения сонара.

Для обработки данных в программе предусмотрены следующие возможности:

1. Обрезка сканов с начала и конца данных для удаления ненужных фрагментов.
2. Автопоиск расстояния до дна с настраиваемыми параметрами для улучшения работы алгоритма. В зашумленных участках данных со слабым сигналом возможна ручная коррекция значений глубины.
3. Интерполяция и сглаживание координат для случаев, когда период регистрации акустического сигнала меньше периода поступления навигационных данных.
4. Коррекция изменения уровня сигнала по наклонной дальности с помощью программной временной авторегулировки усиления (ВАРУ).
5. Сшивание данных левого и правого борта с удалением слоя воды между ними.
6. Построение в выбранной палитре картографической проекции данных для составления мозаики исследуемого района. Результат сохраняется в графический файл с указанием в нём (или в отдельном текстовом файле) сведений о треке и координат привязки изображения на карте.

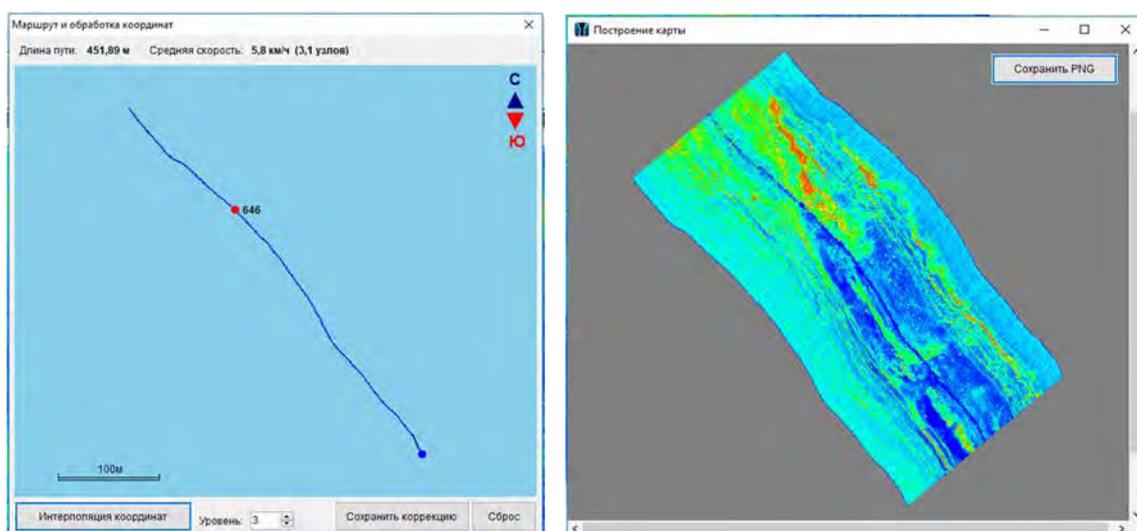


Рисунок 2. Траектория пути (слева) и построенный фрагмент мозаики (справа)

После выполнения операций в пунктах 1-4 из списка выше возможно сохранение файла в формат XTF с учетом внесенных изменений.

Таким образом, разработанная программа обеспечивает не только возможность гибкого просмотра данных гидролокатора бокового обзора, но и возможность их базовой обработки, достаточной для практического применения результатов.

Состав и происхождение углеводородных флюидов в донных осадках озера Байкал

Видищева О.Н., Карамова Г.Ф., Кислицына Е.В., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М.

Озеро Байкал - ценнейший объект природного наследия и пример района современной генерации углеводородов (УВ). Выходы нефти и газа на дне Байкала – уникальная характеристика озера. Изучение нефте-, газо- и битумопроявлений в этом регионе и их увязка с геологическим строением имеют важное значение для понимания процессов нефте- и газообразования в осадках внутриконтинентальных пресноводных бассейнов.

В 2014, 2015, 2016 и 2017 гг. на НИС «Г.Ю. Верещагин» были организованы научно-исследовательские экспедиции в акватории озера Байкал по проекту Class@Baikal (<http://class->). Одной из задач экспедиций было проведение газо-геохимических исследований донных илов. Был выполнен отбор образцов донных осадков и УВ газов в центральной части озера Байкал. Изучен молекулярный состав УВ газов и изотопный состав углерода метана и его гомологов методами газовой хроматографии и изотопной масс-спектрометрии. Всего было отобрано более 1600 проб из 12 структур/районов (Рисунок 1).

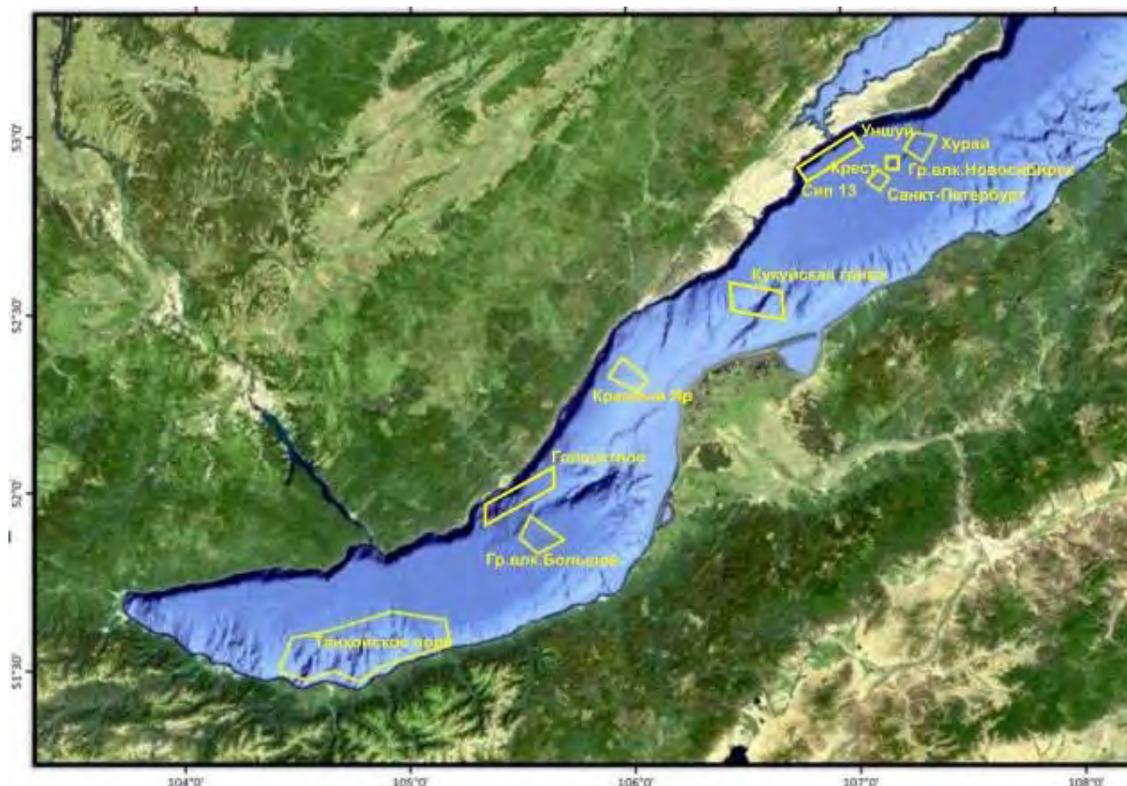


Рисунок 1. Полигоны работ экспедиций Class@Baikal в 2014-2017 гг.

Изучение молекулярного состава углеводородных газов показало, что основным компонентом газовой смеси является метан. Его концентрации достигают 42 734 мкл/л осадка (станция TTR-BL14-046G, структура Уншуй). Среди гомологов в основном присутствует этан. Концентрация этана достигает 306,97 мкл/л осадка в районе Посольской банки (станция TTR-BL16-198G). Также из гомологов встречается пропан, изобутан и н-бутан в районе структуры Красный Яр и на южном борту южной котловины. В целом осадки озера Байкал сильно газонасыщены.

Было выполнено 270 анализов изотопного состава углерода метана и его гомологов. Значения $\delta^{13}\text{C}$ (CH_4) могут быть отнесены к трем группам. Большинство значений $\delta^{13}\text{C}$ (CH_4) находятся в диапазоне от -60 ‰ до -50‰. Также выделяется группа с более легким изотопным составом от -60 ‰ до -84 ‰ и группа с более тяжелым от -50 ‰ до -42 ‰. Значения $\delta^{13}\text{C}$ (CH_4) для большинства изученных станций свидетельствуют о смешении газов различного происхождения, то есть, позволяет предполагать наличие нескольких источников генерации.

В ходе комплексной интерпретации данных геохимических исследований на территории озера Байкал, а также литературного материала были сделаны следующие выводы:

1. Донные осадки озера Байкал сильно газонасыщены УВ газами. В пределах озера Байкал можно найти многочисленные проявления разгрузки газа на дне. Это проявляется в виде активности газовых факелов, высокой газонасыщенности придонных осадков, наличия газовых гидратов;

2. По результатам молекулярных и изотопных исследований было выяснено, что углеводородные газы придонных осадков озера Байкал в пределах изучаемых структур подразделяются на три типа по происхождению:

- газы *бактериального происхождения*, в больших объемах генерирующиеся в придонном слое осадков. Для них характерны высокие показатели сухости (99-100%) и лёгкий изотопный состав углерода метана. Данный тип газа был зафиксирован во всех структурах.

- газы *термогенного происхождения* были зафиксированы в следующих структурах: Посольская банка, Красный Яр, Кукуйская грива. Такие газы характеризуются наличием гомологов метана и имеют изотопный состав от -50 ‰ до -42 ‰.

- газы *смешанного происхождения*, обнаруженные в структурах: грязевой вулкан Новосибирск, сип Крест и сип «13», грязевой вулкан Большой, сип Голоустное, сип Санкт-Петербург, сип Уншуй, район Еловский. Здесь обнаружены свидетельства разбавления биогенного газа метаном термического происхождения, поступающего со значительных глубин. Это явление широко распространено в районах активных тектонических движений, с которыми связана миграция глубинных флюидов, в составе которых преобладают углеводородные газы, особенно метан.

3. Наличие значительных объёмов метана в придонных осадках совместно с невысокими температурами и благоприятным давлением приводят к формированию газовых гидратов, газ которых характеризуется лёгким изотопным составом и преобладанием метана. Но, помимо гидратов, состоящих из метана бактериального происхождения, присутствуют газовые гидраты с тяжёлым изотопным составом и гомологами метана вплоть до пропана. Такие гидраты могли образоваться вблизи поверхности осадка из поступающей с больших глубин метаново-флюидной смеси.

4. С зонами фокусированной разгрузки газов на дне связано явление грязевого вулканизма.

5. Отобранные УВ газы характеризуются наличием примеси гомологов метана и утяжелённым составом углерода. Это может свидетельствовать о работающих нефтяных системах и наличии газовых залежей.

Результаты геолого-геофизических работ Class@Baikal-2016 на южном борту южной котловины озера Байкал

Воробьев Р. В., Корост С. Р., Ахманов, Г. Г., Хлыстов, О.М.

Благодаря совместным усилиям Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова и Лимнологического института Сибирского отделения Российской академии наук, в июле 2016 года была организована научно-исследовательская экспедиция с целью изучения процессов, протекающих на дне озера. Одним из полигонов работ стало субаквальное продолжение т.н. «Танхойского поля», обнажающегося на берегу (Рисунок 1).

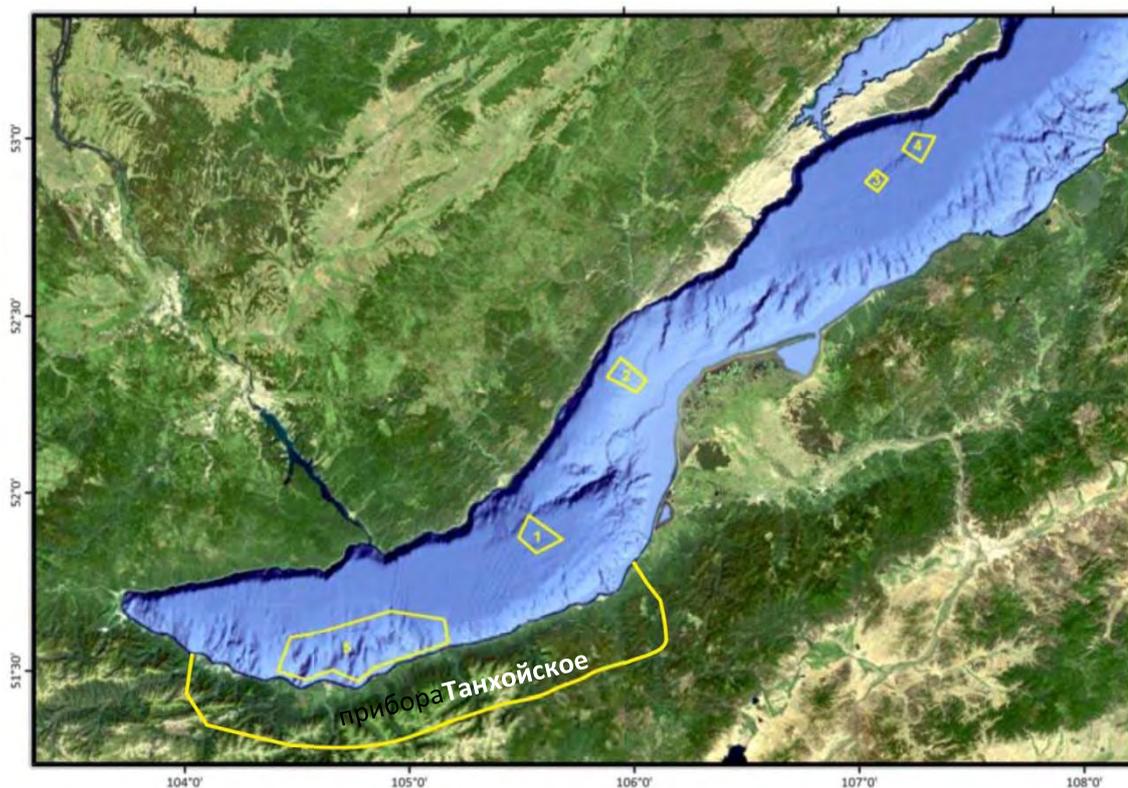


Рисунок 1. Полигоны работ экспедиции Class@Baikal-2016

На данных батиметрической съемки (Рисунок 2) отчетливо видно, что рельеф подводных склонов борта озера изрезан многочисленными глубокими каньонами сложной формы. Всё это указывает на неоднократное изменение уровня базиса эрозии южной котловины Байкала и связано с её сложной геологической историей. В данном районе работ были опробованы 3 структуры: западная, центральная и восточная. Донный пробоотбор производился как в поднятых частях, так и в каньонах для более полного изучения условий осадконакопления. Особой интерес представляли станции TTR-BL16-218G и TTR-BL16-221G, которые были отобраны на восточной структуре. Осадочный разрез в этих станциях представлен в основном алевро-глинистым илом. Верхний интервал, первые 25-30 см, сильно обводнен, содержит очень тонкие и редкие прослои гидротроилита. Далее следует слой более плотных алевро-глинистых илов, характеризующихся высоким газонасыщением. При вскрытии колонки эти илы интенсивно дегазировались, и в результате образовалась специфическая текстура выходов газа (Рисунок).

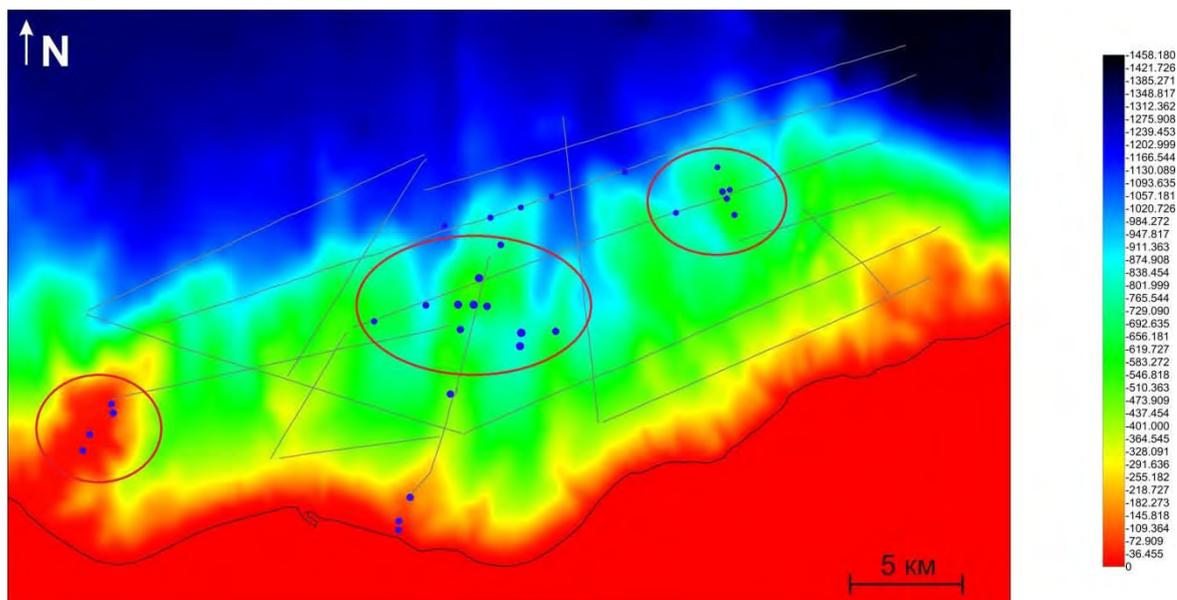


Рисунок 2. Батиметрическая карта полигона работ «Танхойское поле» (De Batist M., Canals M., Sherstyankin P., Alekseev S. & the INTAS Project 99-1669 Team, 2002. A new bathymetric map of Lake Baikal) с нанесенными точками пробоотбора, выполненными в экспедиции Class@Baikal-2016



Рисунок 3. Газовые гидраты и газонасыщенные слои грязевулканических отложений, отобранных в станции в TTR-BL16-221G

Вскрытый ударными трубками разрез характеризовался необычно высоким содержанием интракластов - обломков литифицированных пород крупно-песчаной и гравийно-дресвянной размерности. Такой состав и строение типично для грязевулканических отложений, которые состоит из матрикса и фрагментов пород прорываемого вулканами разреза. Обломки отмечены по всей длине колонки, а в интервале 50-60 см их концентрация максимальна.

Гранулометрический анализ проб матрикса грязевулканических отложений показал, что в каждой станции в той или иной мере присутствуют глинистая, алевритовая и песчаная компоненты. В станции TTR-BL16-218G отмечается сильное преобладание алевритовой компоненты (70.7%) и незначительная примесь песчаной (1.5%). Глинистая компонента не превышает 27.8%. В станции TTR-BL16-221G песчаная компонента преобладает (63.8%), глинистая и алевритовая составляют 12.7% и 23.7%, соответственно (Рисунок).

Определение минерального состава пелитовой компоненты выполнялось рентгенофазовым методом. В составе выявлено 5 основных минералов: каолинит, смектит, гидрослюды, хлорит, цеолит. Их процентное соотношение показано в Таблица 1. Можно отметить, что преобладают минералы группы смектита и гидрослюды.

Обломки пород из грязевулканических отложений были разделены на несколько групп характерного состава (Таблица 2). Первичное описание обломков каждой группы выполнено с использованием бинокля. Для более точного определения литотипа обломков пород были изготовлены и изучены петрографические шлифы.

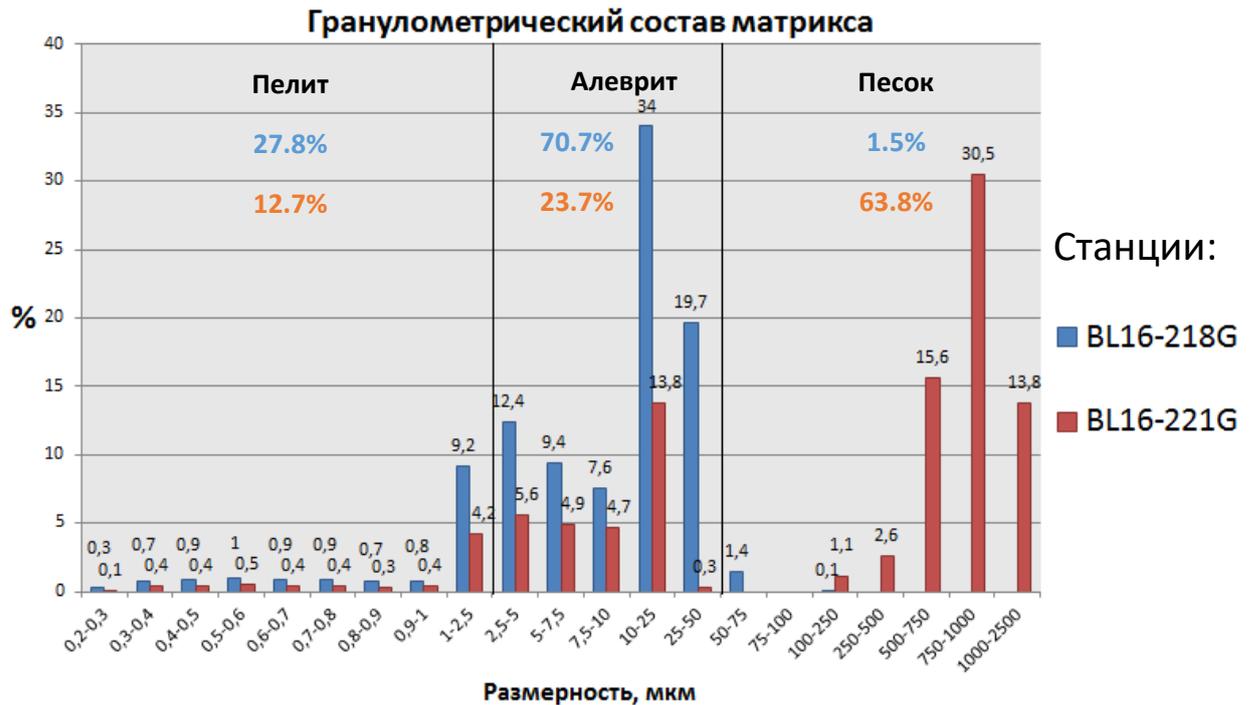


Рисунок 4. Гранулометрический состав матрикса грязевулканических отложений

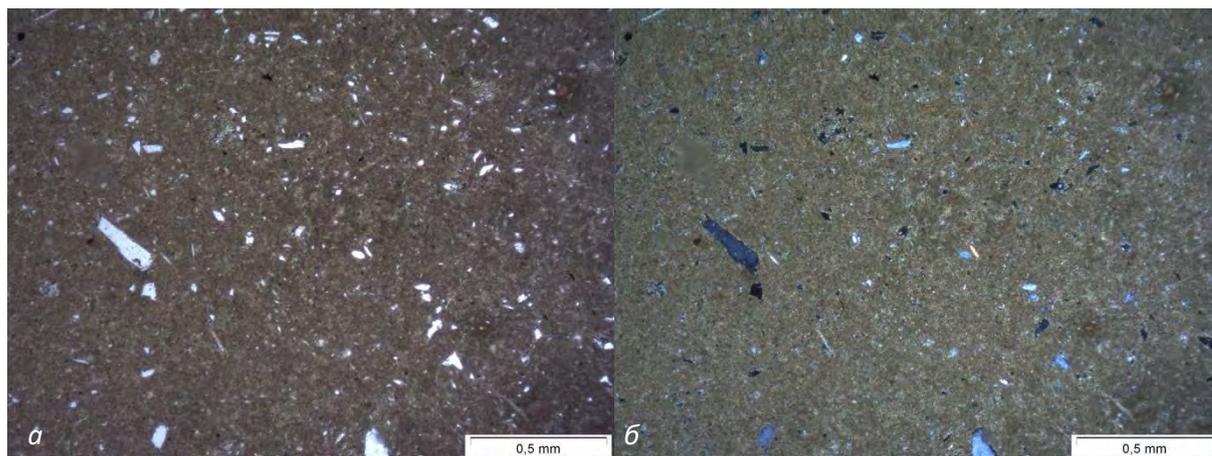
Таблица 1. Минеральный состав пелитовой компоненты матрикса

| Глинистые минералы | Станция BL16-218G | Станция BL16-221G |
|--------------------|-------------------|-------------------|
| Каолинит | 12 | 26 |
| Гидрослюда | 53 | 37 |
| Смектит | 30 | 30 |
| Хлорит | - | 7 |
| Цеолит | 5 | - |

Таблица 2. Породы, встреченные в обломках грязевулканических отложений

| № Станции | Порода: |
|---------------|---|
| TTR-BL16-218G | Песчаник тонко-мелкозернистый с карбонатно-глинистым цементом |
| | Глина алевритистая |
| TTR-BL16-221G | Песчанистая алевритовая глина |
| | Глина алевритовая с карбонатной примесью |

Шлиф BL16-218G-C2



Шлиф BL16-218G-C2: а-параллельные, б-скрещенные николи

Глина, алевритистая гидрослюда-каолинитовая с песчаной примесью, интенсивно сидеритезированная

В шлифе порода преимущественно бежево-зеленого (90%) цвета, встречаются зерна бесцветные (>5 %), с плеохроизмом от светло-бежевого до бурого цвета (<5 %). Также присутствуют черные непрозрачные зерна (>1%).

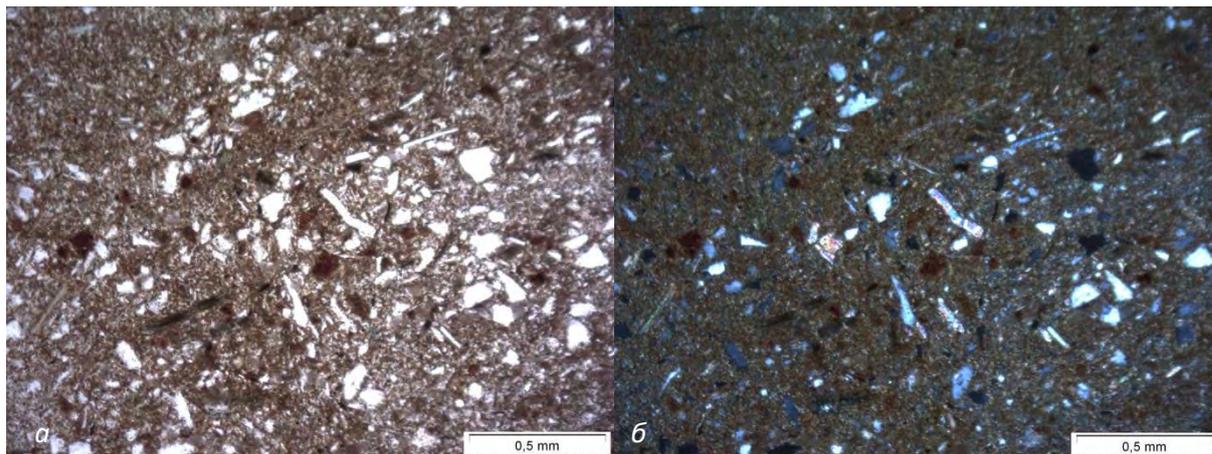
Текстура массивная, неслоистая.

Структура: (1) – алевро-пелитовая, первично обломочная. Песчано-алевролитовая примесь представлена зернами угловатыми, плохо окатанными субизометричной и удлиненной (1:2, 1:3, 1:4) формы, размерность алевролитовой составляющей от 0.005 до 0.05 мм (средний 0.02 мм), песчаной от 0.05 до 0.25 мм (средний 0.1 мм). (2) – интенсивное развитие, вероятно, вторичного, аутигенного сидерита формирует «наложенную» микритутовую структуру породы.

Минеральный состав породы:

- До 50% объема современной породы составляет вторичный сидерит. Микрористаллы бесцветные и бурого цвета. Интерференционные окраски высокие, показатель преломления $n=1.6-1.8$. Сидерит равномерно распределен по всему образцу.
- Чешуйки глинистых минералов пелитовой размерности (85%), характерны низкие цвета интерференции, редко встречаются умеренные и высокие $n=1.55-1.58$. Вероятно, глинистые минералы представлены гидрослюдой (25%) и каолинитом (75%).
- Кварц (10%) представлен бесцветными изометричными и удлиненными (1:2, 1:3) зернами. Низкие интерференционные окраски. Погасание преимущественно мономинеральное (90%), волнистое (10%). Трещеноватость не наблюдается.
- Слюды (>5%) представлены зернами мусковита и биотита, бесцветными и с плеохроирующими в бежево-бурых тонах, преимущественно удлиненной (1:2, 1:4) формы. Интерференционные окраски, относительно, высокие, показатель преломления 1.55-1.61, погасание прямое.
- Зерна черного цвета (>1%) не прозрачны, изотропны, предположительно, представлены углистым растительным детритом (УРД).

Шлиф BL16-218G-C3



Шлиф BL16-218G-C3: а-параллельные, б-скрещенные николи

Глина песчанистая алевритовая гидрослюдо-каолинитовая, с линзовиднослоистой текстурой, интенсивно сидеритезированная.

В шлифе цвет породы преимущественно бежево-землисто-бурого (65%), встречаются зерна бесцветные (25 %), с плеохроизмом от светло-бежевого до бурого цвета (10%). Также присутствуют черные непрозрачные, изотропные зерна (>1%).

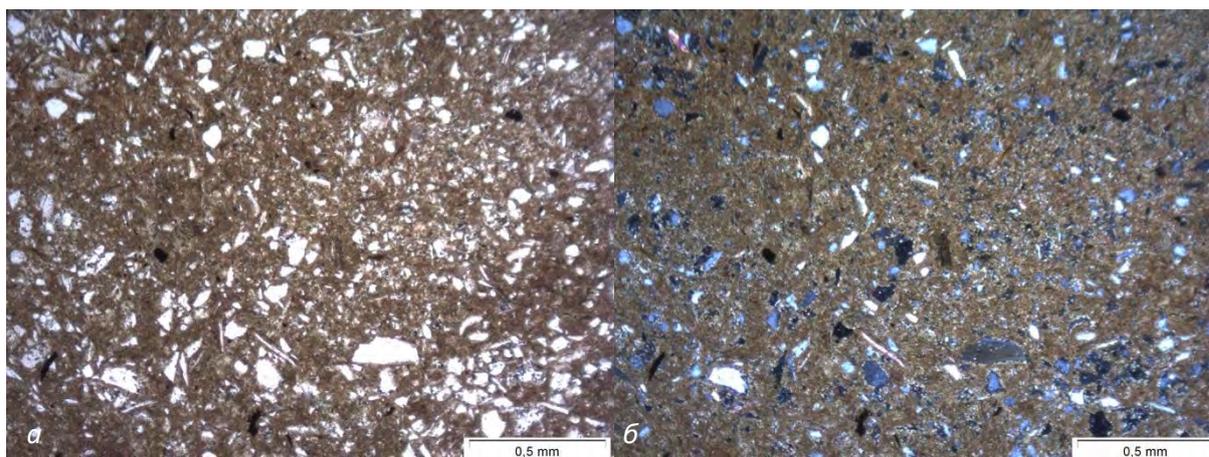
Текстура линзовиднослоистая. Отдельные линзы, 15x3 мм размером, содержат повышенное количество зерен песчаной и алевритовой размерности. Граница линз имеют градационный переход.

Структура: (1) – алевро-пелитовая первично обломочная. Песчано-алевритовая примесь представлена зернами угловатыми, плохо окатонными субизометричной и удлинённой (1:2, 1:3, 1:4) формы, размерность алевролитовой составляющей от 0.005 до 0.05мм (средний 0.025 мм), песчаной от 0.05 до 0.3 мм (средний 0.15 мм). (2) – интенсивное развитие, вероятно, вторичного, аутигенного сидерита формирует «наложенную» микритовую структуру породы.

Минеральный состав:

- До 30% объема современной породы составляет вторичный сидерит. Микрористаллы бесцветные и бурого цвета. Интерференционные окраски высокие, показатель преломления $n=1.6-1.8$. Сидерит равномерно распределен по всему образцу.
- Чешуйки глинистых минералов пелитовой размерности (65%), характерны низкие цвета интерференции, редко встречаются умеренные и высокие $n=1.54-1.58$. Вероятно, глинистые минералы представлены гидрослюдой (35%) и каолинитом (65%).
- Кварц (25%) представлен бесцветными изометричными и удлинёнными (1:2, 1:3, 1:4) зернами. Низкие интерференционные окраски. Погасание преимущественно мономинеральное (85%), волнистое (15%). Трещеноватость не наблюдается.
- Слюды (10%) представлены зернами мусковита и биотита, бесцветными и с плеохроирующими в бежево-бурых тонах, преимущественно удлинённой (1:2, 1:3 и 1:4) формы. Интерференционные окраски, относительно, высокие, показатель преломления 1.55-1.61, погасание прямое.
- Зерна черного цвета (>1%) не прозрачны, изотропны, предположительно, представлены углистым растительным детритом (УРД).

Шлиф VL16-221G-C2



Шлиф VL16-221G-C2: а-параллельные, б-скрещенные николи

Глина песчанистая алевритовая гидрослюдо-каолинитовая, интенсивно сидеритезированная.

В шлифе порода преимущественно зеленовато-бурого (65%) цвета, присутствуют зерна бесцветные (30%), с плеохроизмом от светло-бежевого до бурого цвета (>5%). Также присутствуют черные непрозрачные зерна (>1%).

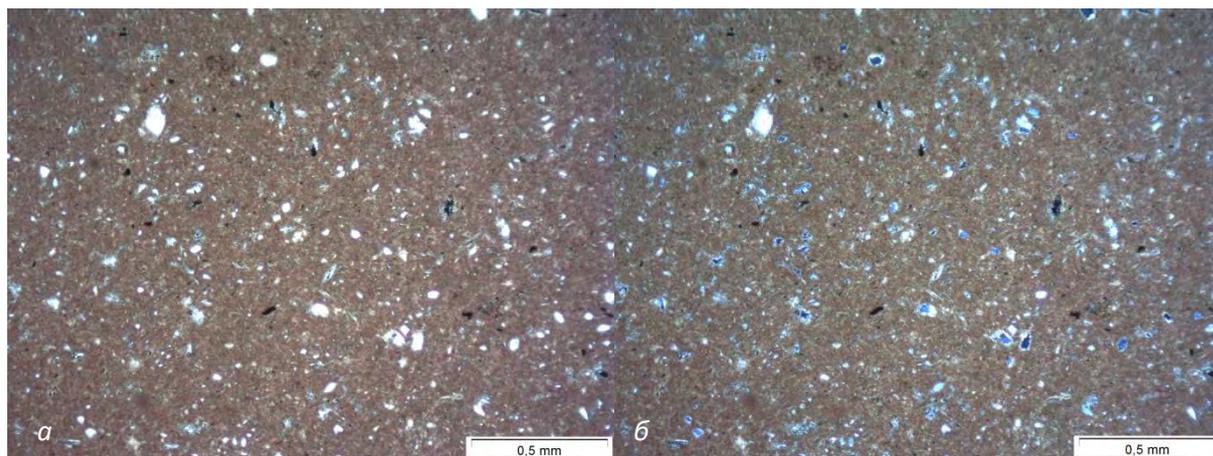
Текстура массивная, неслоистая.

Структура: 1 – алевро-пелитовая первично обломочная. Песчано-алевритовая примесь представлена зернами угловатыми, плохо окатонными субизометричной и удлиненной (1:2, 1:3, 1:4) формы, размерность алевролитовой составляющей от 0.005 до 0.05 мм (средний 0.03 мм), песчаной от 0.05 до 0,25 мм (средний 0,15 мм). 2 – интенсивное развитие, вероятно, вторичного, аутигенного сидерита формирует «наложенную» микритовую структуру породы.

Минеральный состав:

- До 40% объема современной породы составляет вторичный сидерит. Микрористаллы бесцветные и бурого цвета. Интерференционные окраски высокие, показатель преломления $n=1.6-1.8$. Сидерит равномерно распределен по всему образцу.
- Чешуйки глинистых минералов пелитовой размерности (65%), характерны низкие цвета интерференции, редко встречаются умеренные и высокие $n=1.55-1.58$. Вероятно, глинистые минералы представлены гидрослюдой (30%) и каолинитом (70%).
- Кварц (>20%) представлен бесцветными изометричными и удлиненными (1:2, 1:3) зернами. Низкие интерференционные окраски. Погасание преимущественно мономинеральное (85%), волнистое (15%). Трещеноватость не наблюдается.
- Слюды (15%) представлены зернами мусковита и биотита, бесцветными и с плеохроирующими в бежево-бурых тонах преимущественно удлиненной (1:2, 1:4) формы. Интерференционные окраски, относительно, высокие, показатель преломления 1.55-1.61, погасание прямое.
- Зерна черного цвета (>1%) не прозрачны, изотропны, предположительно, представлены углистым растительным детритом (УРД).

Шлиф VL16-221G-C3



Шлиф VL16-221G-C3: а-параллельные, б-скрещенные николи.

Сидерит микрокристаллический, глинистый, алевритистый с песчаной примесью.

В шлифе порода преимущественно светло-бурого (90%) цвета, встречаются зерна бесцветные (5%), с плеохроизмом от светло-бежевого до бурого цвета (5%). Также присутствуют черные непрозрачные зерна (>1%).

Текстура: массивная.

Структура: микрокристаллическая, реликтивно обломочная, пелитовая с алевритовой (75%) и песчаной примесью (25%). Зерна алеврита – 0.005 – 0.05 мм., угловатые, изометричные. Зерна песка 0.05 – 0.1 мм., угловатые, полукатанные, субизометричные.

Минеральный состав:

- Сидерит (60%) – вероятно, вторичный, аутигенный, микритовый, темно-бурого цвета, показатель преломления $n=1.6-1.8$. Распределение в породе равномерное.
- Глинистые минералы (35%) – слабо идентифицируемые в смеси со вторичным сидеритом. Бесцветные, с низкими и средними интерференционными окрасками, пелитовой размерности. Вероятно – гидрослюда (30% от смеси) и каолинит (70% от смеси).
- Кварц (>5%) представлен бесцветными изометричными и удлиненными (1:2,) зернами. Низкие интерференционные окраски. Погасание преимущественно мономинеральное. Трещиноватость не наблюдается.
- Слюды (<5%) представлены зернами мусковита и биотита, бесцветными и с плеохроирующими в бежево-бурых тонах преимущественно удлиненной (1:2, 1:4) формы. Интерференционные окраски, относительно, высокие, показатель преломления 1.55-1.61, погасание прямое.
- Зерна черного цвета (>1%) не прозрачны, изотропны, предположительно, представлены углистым растительным детритом (УРД).

Комментарий: порода, вероятно, первично была представлена песчано-алевритовой, гидрослюдо-каолиновой глиной. Затем интенсивно сидеритизированная, вторично.

Таблица 3. Результаты петрографического анализа

| № Станции | Название породы |
|-----------|---|
| BL16-218G | Глина, алевритистая гидрослюда-каолининовая с песчаной примесью, интенсивно сидеритезированная. |
| BL16-218G | Глина песчанистая алевритовая гидрослюда-каолининовая, с линзовиднослоистой текстурой, интенсивно сидеритезированная. |
| BL16-221G | Глина песчанистая алевритовая гидрослюда-каолининовая, интенсивно сидеритезированная. |
| BL16-221G | Сидерит микрокристаллический, глинистый, алевритистый с песчаной примесью |

Все породы подвержены вторичным изменениям, а именно карбонатизации, в той или иной мере. В шлифе BL16-221G-C3 вторичному изменению подверглось больше 50% породы, что повлияло на названия пород. Вторичные изменения, вероятно, развивались после извержений и вытеканий грязевулканической брекчии на дно озеро в зону агрессивного гипергенеза.

Танхойская свита имеет достаточно широкое площадное распространение (Рис. 5). Западнее южной котловины озера располагается Тункинская впадина, в которой находится Ахалинское угольное месторождение. Здесь отложения танхойской свиты представлены серыми, темно-серыми полимиктовыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами с прослоями бурых углей. Мощность свиты на месторождении варьирует от 50 до 400 м, это объясняется эрозией и размывом отложений. Пласты угля выдержанные, их количество достигает 9, а мощность варьирует в пределах 3,5-7,3 м. Угленосные отложения осложнены вторичной складчатостью субширотного направления с углами падения 5-6°, в отдельных случаях достигают 30°. Угли гумусового состава. Марочный состав углей соответствует маркам 1Б и переходным значениям 1Б-2Б.

Так называемое «Танхойское поле» сложено тонко-мелкозернистыми озерными, озерно-болотными песчано-глинисто-алевролитовыми отложениями с прослоями бурых углей. Частое переслаивание песчаных, алевритовых и глинистых слоев разделяется достаточно мощными пластами угля, которые достигают 2,6 м и могут служить маркирующими горизонтами. Все слои сильно обогащены слюдястыми минералами, особенно биотитом и мусковитом. Слои, состоящие только из глинистой компоненты, отсутствуют. Что касается минералов глинистой компоненты, то они представлены каолинитом, гидрослюдами, смектитом, хлоритом. К нижней части свиты тяготеет каолинит, а в верхней преобладают смектит и гидрослюды. Для хлорита свойственно подчиненное значение. Залегание свиты здесь моноклиальное с малыми углами наклона. Но в прибрежной части наблюдается резкое погружение толщи в северо-западном направлении, в сторону озера, углы падения достигают 45° (Риб).

Предположение, что обломки пород из грязевулканической брекчии могут быть представлены фрагментами танхойских пластов, продолжающих в котловину Байкала, было сделано еще на судне, в ходе экспедиции. Для проверки этого предположения мы сравнили характеристики (гранулометрический состав, минеральный состав глинистой компоненты и петрографические характеристики) пород танхойской свиты из обнажений на суше и пород, представленных в обломках из субаквальных грязевулканических отложений, отобранных в экспедиции. Результаты сравнения позволяют с достаточно высокой долей вероятности утверждать, что изученные грязевые вулканы, действительно, прорывают субаквальные отложения танхойской свиты.



Рисунок 5. Распространение отложений танхойской свиты (1 - ахалинское угольное месторождение, 2 – «Танхойское поле», 3 – Бодонское угольное месторождение)

Таблица 4. Минеральный состав глинистой компоненты танхойской свиты (Мац и др. 2001)

| Минералы, % | Нижняя часть свиты | Верхняя часть свиты |
|-------------|--------------------|---------------------|
| Каолинит | 75 | 35 |
| Гидроглины | 15 | 45 |
| Смектит | 10 | 15 |
| Хлорит | - | 5 |

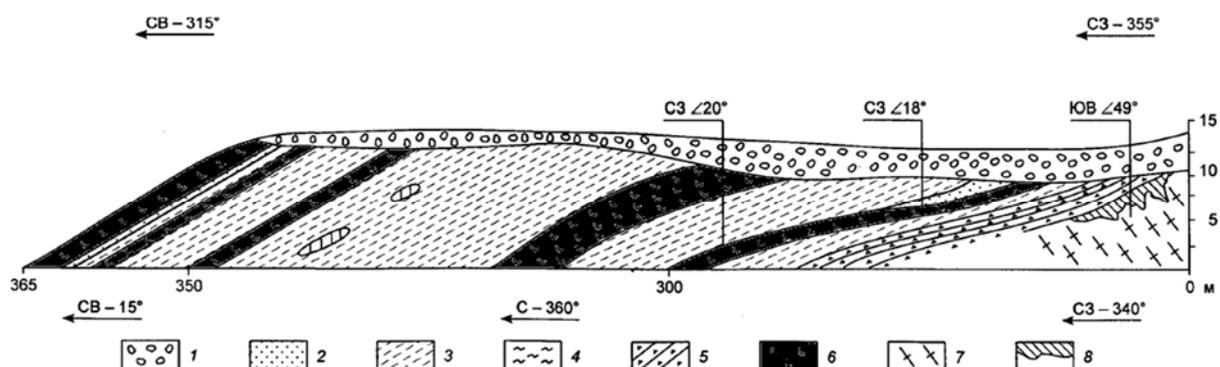


Рисунок 6. Залегание танхойской свиты на территории «Танхойского поля». 1-террасовые валунники, 2-пески, слабо цементированный песчаник, 3- алевролиты, 4-глины, 5- дресвянистые глины, 6-бурые угли, 7-гнейсы, 8-коры выветривания (Мац и др.,2011)

Танхойские отложения являются основными и единственными кайнозойскими угленосными толщами для данного региона. Мощные пласты бурых углей в процессе более глубоко преобразования способны генерировать углеводороды. Гумусовый состав исходного ОВ подтверждает склонность к образованию газовых флюидов. Мощность танхойских отложений

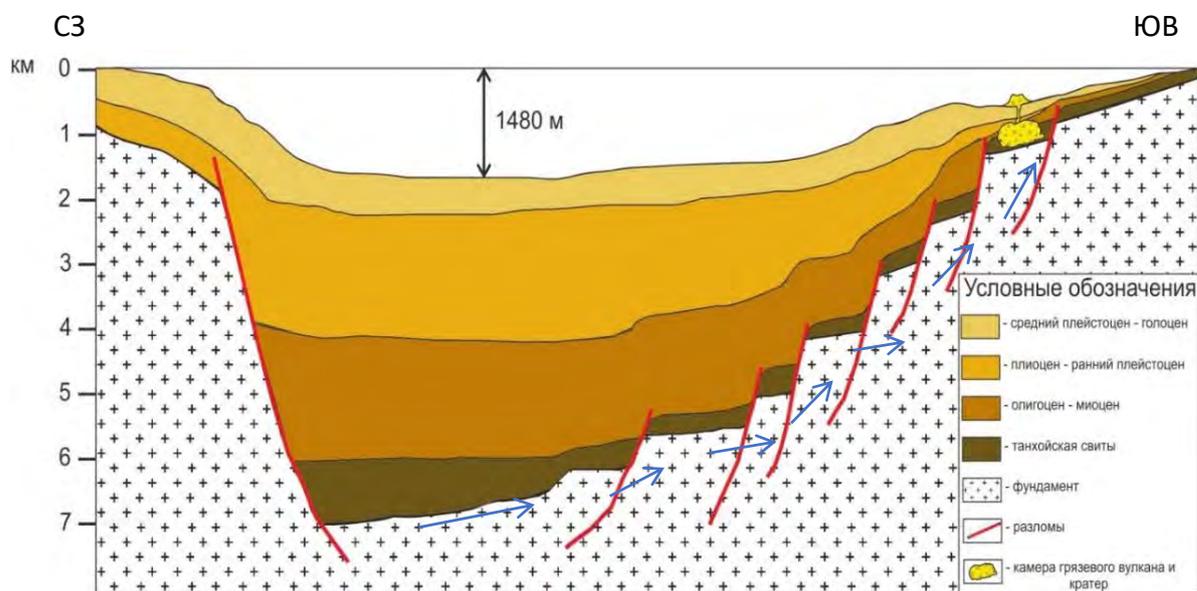
может достигать 1000 м (Мац и др. 2001). По некоторым данным, свита залегает также на «дне» рифтовой впадины Байкала и перекрыта не меньше 5-6 км осадочных накоплений.

Восточный борт котловины Байкала имеет блоковое строение с постепенным погружением в более глубокую часть озера. Западный борт напротив представлен более крутым плечом рифта.

Отложения танхойской свиты пластинами залегают на блоковом основании рифтовой впадины, и находятся на разных глубинах. Учитывая мощность осадочного чехла и геотермический градиент впадины, можно говорить, что наиболее погруженные отложения танхойской свиты находятся в зоне высоких давлений и температур. Учитывая блоковое строение восточного борта, интересующая нас толща, может находиться во всех главных зонах образования углеводородных флюидов.

Генерация углеводородов происходит в более глубоких частях впадины, что подтверждается изотопным и молекулярным составом проб газа, отобраным из грязевых вулканов. Образовавшийся флюид начинает мигрировать в пределах материнских отложений как в латеральном направлении, так и в горизонтальном. Перемещение в вышележащие толщи происходит по средствам проводимых разрывных нарушений, разломов.

По мере миграции углеводородных флюидов в верхние части разреза, происходит понижение температуры и давления. По данным сейсмической съемки на глубине 300 м выделяется граница BSR. Это граница (BSR - Bottom Simulating Reflector), субпараллельная рельефу дна и расположенной в нижней части зоны гидратообразования (Левашев и др., 2014). Гидратообразование происходит в условиях низких температур и высоких давлений. Ниже данной границы газ находится в свободном состоянии, а выше заключен в кристаллическую решетку газогидрата. Толща газогидратов может служить крышкой для углеводородных флюидов.



Предлагаемая модель грязевого вулканизма южного борта южной котловины Байкала

Байкальская впадина является современным рифтом, на ее территории отмечается повышенная тектоническая активность. Даже самые незначительные тектонические подвижки способны изменить термобарические условия залегания газовых гидратов.

В результате газогидрат начинает интенсивно разлагаться и высвобождать огромные объемы газа. Локально создаются высокие давления и большие объемы флюидов, которые

приводят к образованию камер грязевых вулканов. После превышения давлением критических значений, происходит разгрузка в виде грязевого вулканизма на поверхности дна озера.

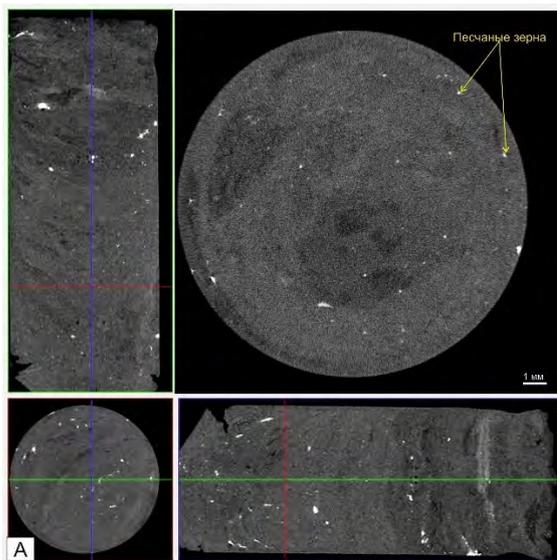
Предварительные результаты микротомографических исследований колонок донных отложений, отобранных в рейсах Class@Baikal: типизация осадков озера Байкал

Гафурова Д.Р., Кудаев А.А., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М.

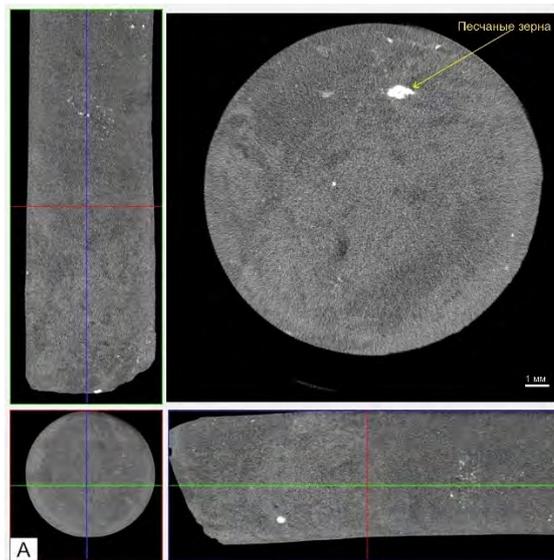
Озеро Байкал является уникальным природным объектом для геологических исследований. Современные донные накопления представлены здесь широким спектром различных вещественно-структурных и генетических типов отложений. Новый подход к типизации современных донных илов предложен и реализован на образцах, отобранных в ходе геолого-геофизических экспедиций по программе TTR-Class@Baikal, организованных МГУ имени М.В. Ломоносова и ЛИН СО РАН в 2014-2017 годах.

Детали строения (текстурно-структурные характеристики) современных отложений определялись методами рентгеновской компьютерной томографии, на приборе Skyscan 1172. Для съемки проба донных осадков в ненарушенном виде отбиралась в шприцы объемом 5 мл и сканировалась на томографе. В результате изучения 61 пробы выделено и охарактеризовано 5 литологических типов отложений.

Отложения **литотипа А**, обычно темно-серого цвета (5Y 4/1), характеризуются чаще всего песчано-алевро-пелитовой структурой, редко чередованием чистых алевритовых и пелитовых разностей. Текстура такого типа осадков напоминает «творожок», за счет высокой насыщенности диатомовыми водорослями. Данные компьютерной микротомографии наглядно демонстрируют внутреннее строение осадка такого типа. Осадок характеризуется достаточно неоднородным строением. На рентгеновском срезе выделяются яркие песчаные зерна, распределенные неравномерно в объеме осадка. Данные отложения являются самыми молодыми и, как правило, залегают в верхней части разреза.



Результаты рентгеновской компьютерной микротомографии осадка **литотипа А**. Рентгеновские плотностные срезы



Результаты рентгеновской компьютерной микротомографии осадка **литотипа Б**. Рентгеновские плотностные срезы

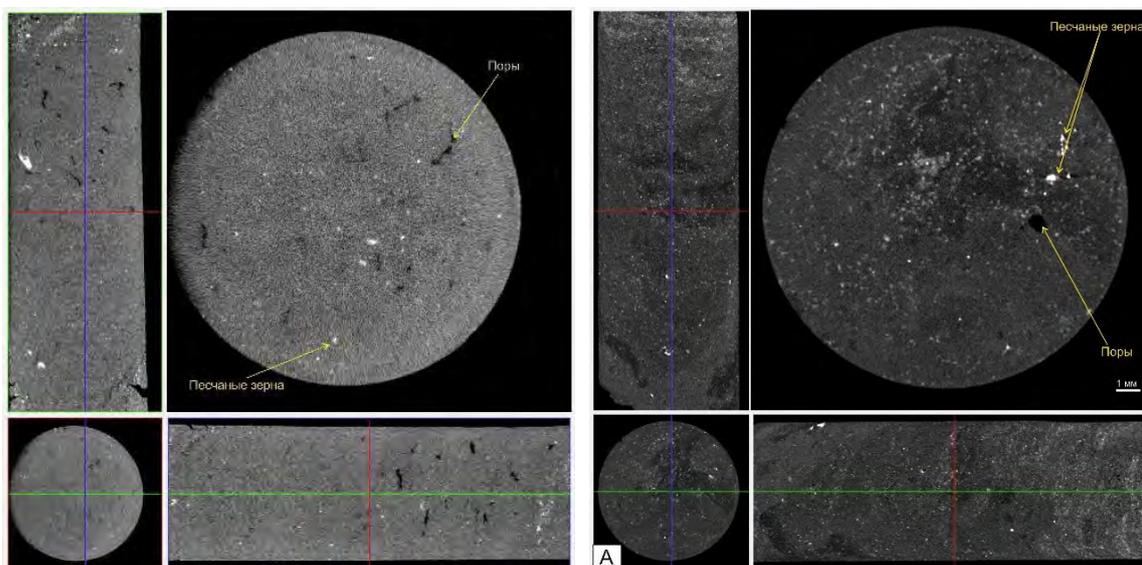
Литотип Б отличается от предыдущего типа отложений массивной текстурой и маслянистым блеском. Цвет осадков - оливково серый (10Y 4/1). На рентгеновских томографических

срезах осадок выглядит однородным по строению. Также ярко выделяется песчаная примесь, обладающая высоким рентгеновским поглощением относительно вмещающей массы осадка.

Помимо отложений литотипа Б в озере также были найдены осадки аналогичного строения, но отличающиеся газонасыщением. Они были выделены в отдельный **литотип В**. В разрезе выделялись следы выхода газов – локальные нарушения структуры осадка, изометричной формы, размерами до 1 см. В осадке отмечаются крупные пустоты, хорошо выделяющиеся на рентгеновских томографических срезах черным цветом, вероятно, связанные с разгрузкой газа в ходе поднятия гравитационной трубки на поверхность. Пустоты распределены неравномерно по объему осадка, по расчетным томографическим данным их объем не превышает 0.5%.

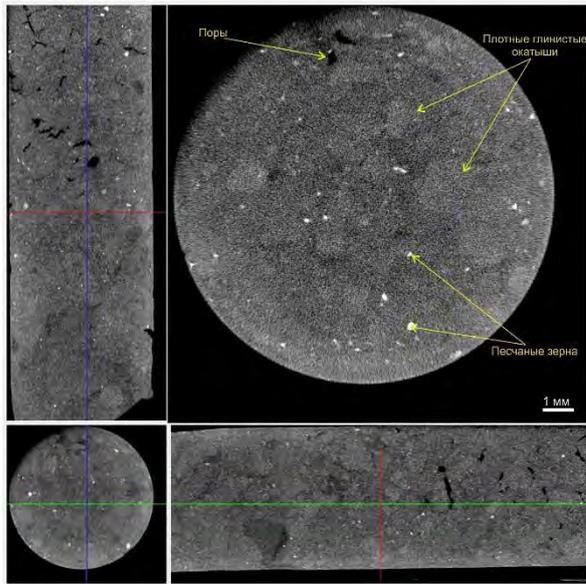
Осадки **литотипа Г** также сильно газонасыщены. Текстура осадков такого типа за счет высокой газонасыщенности материала является рыхлой, порфировидной. В отложениях встречается большое количество текстур выхода газа. В объеме осадка отмечается относительно большое количество песчаной примеси, выделяющейся яркими белыми зернами на рентгеновских томографических срезах.

Литотип Д (грязевулканические отложения) характеризуется также порфировидной текстурой. В пределах осадка выделяются песчаные зерна, распределенные равномерно в объеме и отдельные пустоты неправильной угловатой формой. На рентгеновских томографических срезах в пределах основной песчано-алевро-глинистой массы осадка выделяются слабовыраженные уплотненные сгустки, обладающие повышенным рентгеновским поглощением. Данные сгустки, по-видимому, являются уплотненными глинистыми окатышами, идентификация которых в полевых условиях была затруднительна. Окатыши имеют размеры до 2 мм и преимущественно округлые формы. В объеме осадка глинистые включения распределены относительно равномерно.



Рентгеновские плотностные срезы осадка **литотипа В**

Результаты рентгеновской компьютерной микротомографии осадка **литотипа Г**. Рентгеновские плотностные срезы



*Рентгеновские плотностные срезы осадка
литотипа Д*



*Стереологические модели распределения
глинистых окатышей в объеме осадка
литотипа Д*

Сейсмоакустические исследования на акватории озера Байкал: методы и аппаратура экспедиции Class@Baikal-2017

Ефремов В.Н., Росляков А.Г., Соловьева М.А., Буланова И.А., Лёвочкин А.А.,
Василевская Я.А.

Аппаратура для проведения сейсмоакустического профилирования состоит из двух функциональных комплексов:

- аппаратный комплекс для возбуждения акустических сигналов (Рисунок 0);
- аппаратно-программный комплекс для регистрации сейсмоакустических данных, построенный на базе ноутбука.



| | |
|--|------------------|
| максимальное напряжение заряда конденсаторов | 7 кВ |
| емкость накопительных конденсаторов | 50 мкФ |
| тип разрядника | тиристорный |
| напряжение питания | 220 В, 50 Гц |
| потребляемая мощность | 3 кВт |
| излучатель | многоэлектродный |

Рисунок 0. Аппаратурный комплекс для возбуждения акустических сигналов и его технические характеристики. Звездочкой (*) обозначен накопитель энергии, предназначенный для накопления энергии и возбуждения в воде акустического сигнала.

Аппаратурно-программный комплекс представлен несколькими узлами:

1. Приемная система (пьезокерамическая коса) - предназначена для преобразования акустических отраженных сигналов в электрические, характеризуется следующими параметрами:

- тип сейсмокосы - маслонаполненная;
- диаметр сейсмокосы - 40 мм;
- распределение чувствительности - прямоугольное;
- количество датчиков давления:
 - 40 штук через 1 м, 20 дифференциальных точек,
 - 14 штук через 0,3 м, 7 дифференциальных точек.

2. Блок аналоговой обработки сигнала – предназначен для предварительного усиления, фильтрации, синхронизации и сопряжения регистрируемого сигнала с конвертером AD/DA E-440 L-CARD (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**, Б) и характеризуется следующими параметрами:

- коэффициент усиления - 10000 раз;
- подавление синфазной составляющей - 1000;
- фильтры высокой частоты (ФВЧ)- 60, 100, 120, 150, 200, 250 Гц;
- фильтры низкой частоты (ФНЧ)- 1200, 2000, 4000, 6000, 10000 Гц;
- частота импульса запуска таймера – от 0.5с до 10с (с шагом 0.5с).

3. Конвертер AD/DA E-440 L-CARD - преобразует аналоговый сигнал в цифровой и характеризуется следующими параметрами:

- разрядность аналого-цифрового преобразователя - 14 бит;
- максимальная частота дискретизации, приведенная к одному каналу - 250 кГц;
- обмен данными осуществляется в режиме прямого доступа в память.

4. Система сбора и регистрации – осуществляет запись сейсмоакустических данных в международном формате SEG-Y. Одновременно с сейсмоакустическими данными в заголовки файлов записываются географические координаты, дата, время, шаг дискретизации, номер записываемой трассы, номер профиля.

Синхронизация осуществляется от таймера.

Графический интерфейс отображает минимально необходимую информацию: имя файла, горячие кнопки управления записью и визуализацией, а также контроль координат, сквозной номер записанной сейсмотрассы (FFID), дата, время.

Визуализация записываемых данных осуществляется в двух режимах – амплитудном и плотностном.

Амплитудный режим визуализации служит для контроля записываемых данных по амплитуде (Рисунок 2).

Ось X – временное окно вывода сигнала в амплитудном виде;

Ось Y – амплитуда сигнала (максимальный сигнал 2^{13} (разрядность АЦП)=8192).

Регулировкой параметров вывода на экран в этом режиме можно просматривать импульс в любом месте окна записи сейсмотрассы. Т.е. растягивать или сжимать картинку в желаемом интервале окна записи.

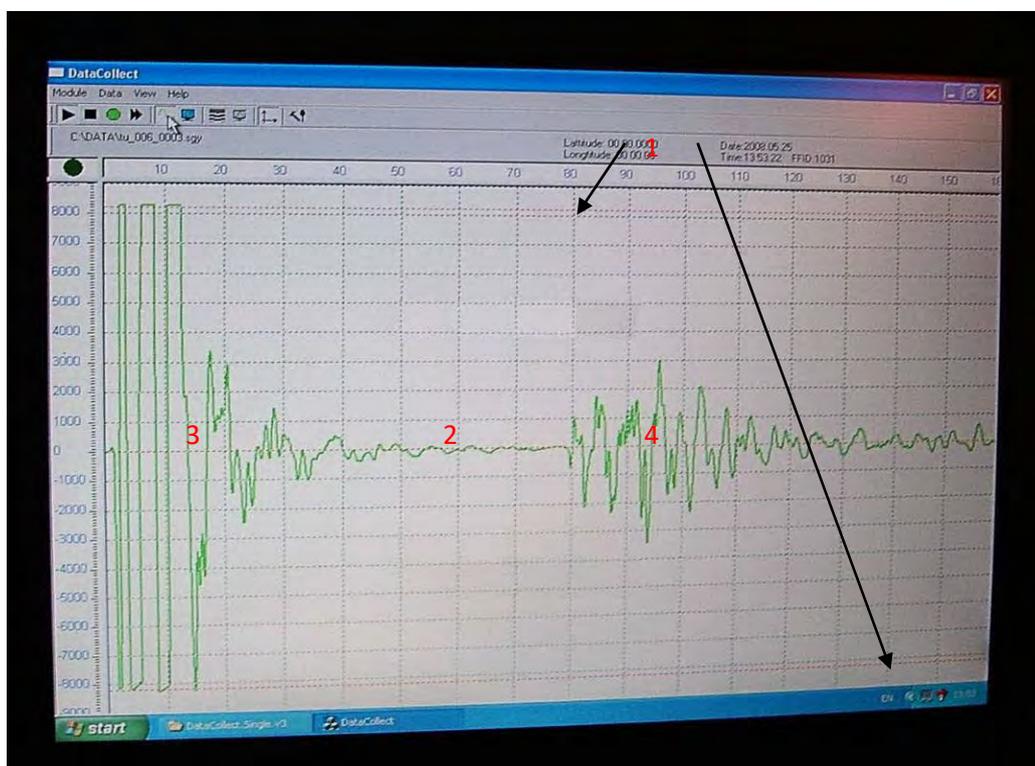


Рисунок 2. Амплитудный режим визуализации записываемых данных. 1 - линия (ограничения) контроля амплитуды сигнала; 2 - сейсмоакустическая трасса в амплитудном виде; 3 - прямой сигнал; 4 - донный сигнал.

Второй режим (плотностной) служит для контроля регистрируемой геофизической информации (Рисунок 3):

Ось X – выводится каждая записанная трасса последовательно;

Ось Y- временное окно вывода.

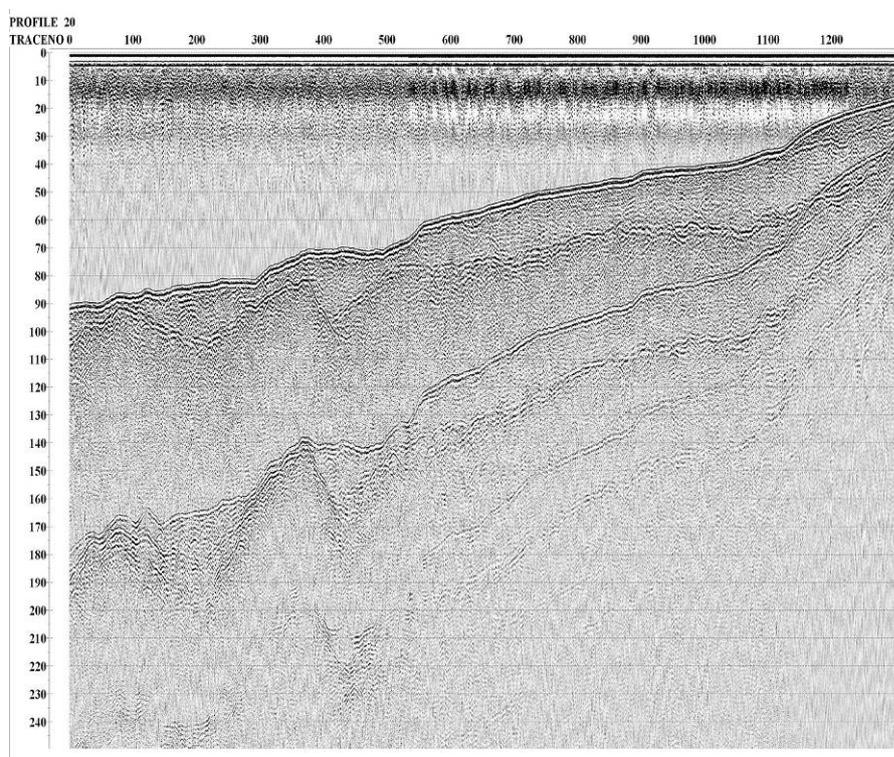


Рисунок 3. Режим контроля регистрируемой геофизической информации.

В каждом режиме имеется возможность регулировки параметров экрана. Изменения параметров визуализации (усиление, изменение уровня нуля, изменение окна просмотра данных) независимы от параметров записи на диск.

Методика проведения сейсмоакустического профилирования

Целью проводимого акустического профилирования является получение информации о геологическом строении донных осадков.

Как известно, сейсмоакустические работы проводятся в движении. Уверенная корреляция отражающих границ обеспечивается параметрами излучения и приема, а также правильностью выбора между частотой посылок излучающего сигнала и скоростью движения приемоизлучающей системы.

Сейсмоакустические работы проводились при скорости судна около 8,1 км/час (4,5 узла). При выполнении работ использовалась методика непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП), в которой предполагается совмещенность источника и приемника в одной точке (то есть расстояние между приемной и излучающей системами много меньше глубины до дна).

Приемоизлучающая система буксировалась за кормой судна с использованием боковых выносов для уменьшения влияния турбулентности кильватерной струи (Рисунок). Заглубление всей системы составило примерно 70-100 см от поверхности воды, что обеспечило оптимальное согласование. Оптимальным согласованием является такое положение приёмника и источника от поверхности воды, при котором волны-спутники приходят последовательно со сдвигом в половину

периода и складываются синфазно, усиливая полезный сигнал на фоне несинфазно суммируемого шума. Это достигается при заглублении на четверть длины волны.

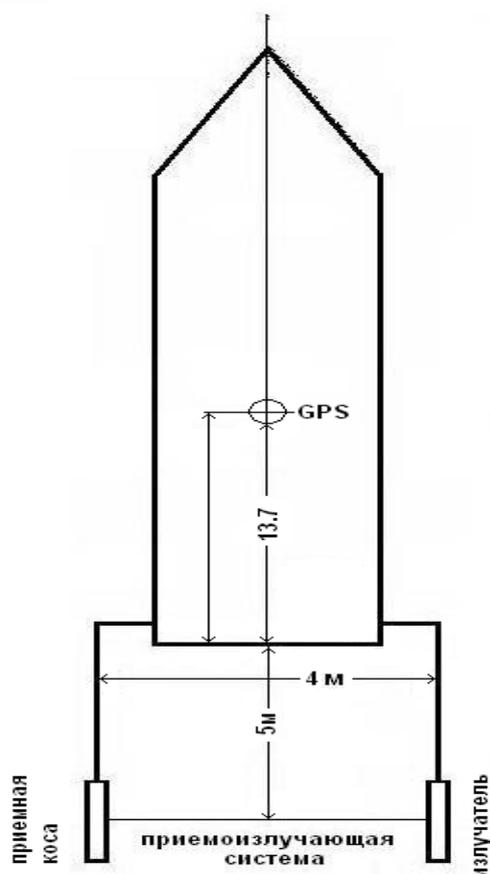


Рисунок 4. Схемы буксировки приемноизлучающей системы.

Профили rg_0002-rg_0039 получены при работе с накопителем энергии на угольном разряднике. Энергия излучения = $(60\text{мкФ} \cdot (7\text{кВ})^2) / 2 = 1470$ Дж.

Профили rg_0040-rg_0056 получены при работе с накопителем энергии на тиристорном разряднике. Энергия излучения = $(50\text{мкФ} \cdot (3.5\text{кВ})^2) / 2 = 306$ Дж.

Выбранные параметры аппаратуры при работе с излучателем на угольном разряднике:

- Энергия источника сигнала..... 1470 Дж;
- Рабочее напряжение 7 кВ;
- Период возбуждения сигнала 3.5 с;
- Тип излучателя электроискровой в контейнере;
- Центральная частота излучения 350 Гц;
- ФВЧ 150 Гц;
- ФНЧ 2000 Гц
- Коэффициент усиления 5000
- Интервал дискретизации 200 мкс;
- Длина записи 2800 мс;
- Приемная коса 20 дифф. пар на базе 20м

Выбранные параметры аппаратуры при работе с излучателем на тиристорном разряднике:

- Энергия источника сигнала..... 306 Дж;
- Рабочее напряжение 3.5 кВ;

- Период возбуждения сигнала 4.0 с;
- Тип излучателя электроискровой в контейнере;
- Центральная частота излучения 500 Гц;
- ФВЧ 150 Гц;
- ФНЧ 2000 Гц
- Коэффициент усиления 5000
- Интервал дискретизации 200 мкс;
- Длина записи 3000 мс;
- Приемная коса 20 дифф. пар на базе 20м

Сейсмоакустические работы проводились методом площадной съёмке по заранее запланированной сетке профилей. При планировании сетки профилей были поставлены следующие цели:

- 1) Исследование глубинного строения изучаемых полигонов для восстановления истории геологического развития;
- 2) Детализация имеющейся сетки профилей;
- 3) Уточнение геологическое строение и происхождение некоторых объектов, регистрируемых на данных профилографа;
- 4) Расширение границ района работ

На рисунке (Рисунок 5) представлена схема фактического материала.

В рамках экспедиции TTR-Class@Baikal-2017 было сделано 43 профиля с суммарной длиной сейсмической записи около 410 км, не считая опытно-методические работы.

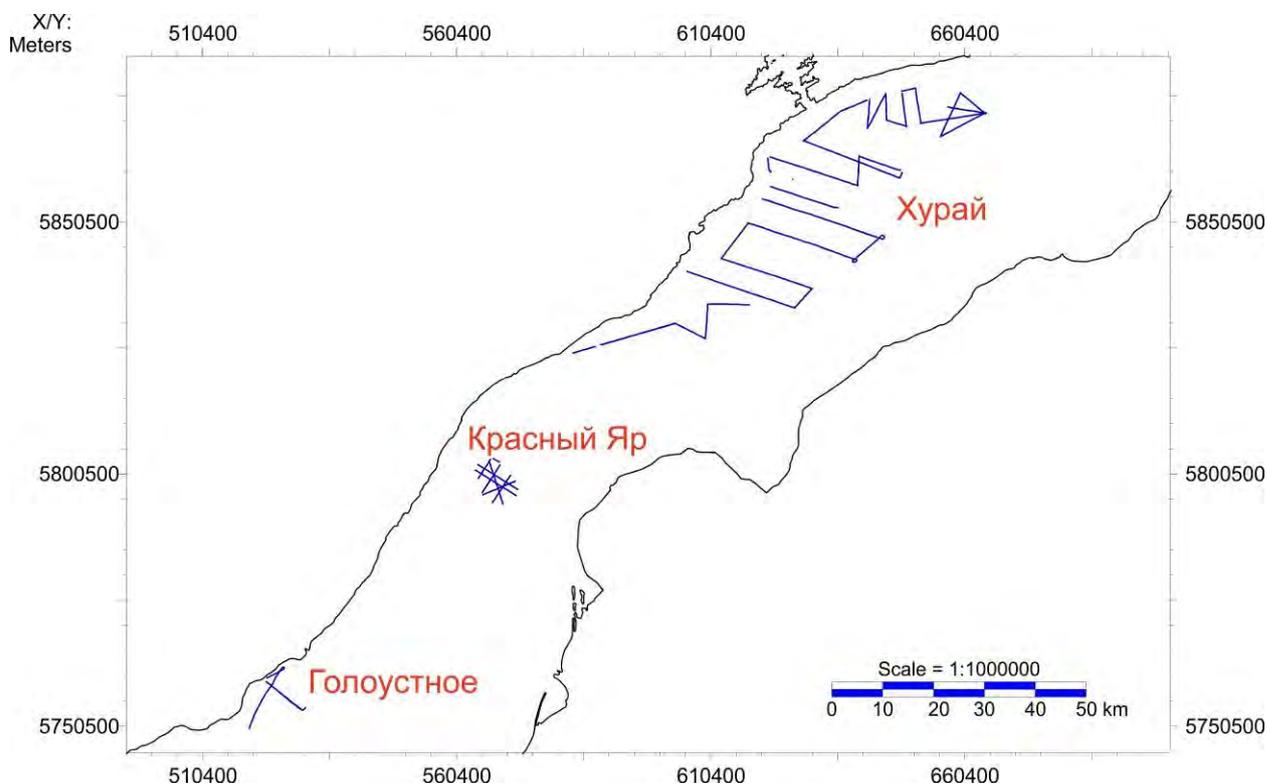


Рисунок 5. Схема фактического материала сейсмоакустических работ в рамках экспедиции TTR-BL17.

Состав и происхождение газов в донных отложениях центральной и южной котловин озера Байкал

Карамова Г.Ф., Видищева О.Н, Кислицына Е.В, Ахманов Г.Г, Хлыстов О.М.

Многие исследователи рассматривают озеро Байкал, как пример района современной генерации углеводородов. Выходы нефти и газа на озере известны с давних времен. Наиболее активно изучение углеводородов на Байкале проводилось в 30-х, 50-х и в 90-х годах 20-го столетия, преимущественно, с целью поиска скоплений нефти и газа.

В период с 8 по 29 июля 2015 года проходила Вторая научно-исследовательская экспедиция в акватории озера Байкал на НИС «Г.Ю. Верещагин», организованная Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова и Лимнологическим институтом Сибирского отделения Российской академии наук. Целью экспедиции было изучение природных процессов на дне озера Байкал, а также проведение газогеохимической съемки донных осадков. При исследовании нефтегазоносности Байкала, газогеохимическая съемка является одним из основных геохимических методов поиска скоплений углеводородов. Её принцип заключается в том, что углеводородные газы (УВ) мигрируют из глубинных скоплений к поверхности, в результате которых образуются газовые аномалии.

Целью работы было геохимическое изучение состава и происхождения УВ газов, описание геологического строения и нефтегазоносности оз. Байкал, интерпретация данных газогеохимической съемки. В ходе работы было проанализировано 708 проб УВ газов из донных осадков озера Байкал. Дополнительно были изучены пробы битума, отобранные с помощью глубоководного аппарата «Мир».

Результаты геохимических исследований позволили сделать следующие заключения: УВ газы осадков озера Байкал по происхождению делятся на три типа: биогенный, термогенный и смешанный. Биогенный тип газа был обнаружен на всех полигонах, кроме структуры «Кукуйской гривы» и участка «Голоустное». Данный тип газа формируется в придонном слое осадка мощностью первые метры. Для него характерны высокие показатели сухости, а также легкий изотопный состав углерода метана. Термогенный тип газа был обнаружен всего лишь на полигоне «Красный Яр». Для данного типа газа характерен тяжелый изотопный состав. Термогенный тип газа может свидетельствовать о миграции флюидов из глубоких горизонтов осадочной толщи. Большая часть изученного газа имеет смешанное происхождение, он был обнаружен во всех изученных участках, кроме полигона «Хурай». Смешанный тип газа образуется путем разбавления биогенного газа метаном термического происхождения, поступающих со значительных глубин.

По результатам молекулярного анализа было выяснено, что распределение концентрации УВ газов в донных илах зависит от литологии осадков. Например, увеличение концентрации соответствовало прослоям с песчаным материалом, которые могут быть хорошей вмещающей толщей для УВ газов (станции TTR-BL15-70G, TTR-BL15-65G). Также увеличение концентрации наблюдалось в гидротроилитовых прослоях (станции TTR-BL15-62G, TTR-BL15-65G, TTR-BL15-138G, TTR-BL15-120G) и в диатомовых прослоях (станции TTR-BL15-93G, TTR-BL15-120G). Во всех станциях (кроме TTR-BL15-74G, TTR-BL15-106G, TTR-BL15-108G, TTR-BL15-125G, TTR-BL15-145G) наблюдались пониженные концентрации в верхней части колонки, что может быть связано с рассеиванием газа в толще воды.

Также было изучено 7 проб УВ газа из газовых гидратов, газ которых характеризуется легким изотопным составом (от -55,44‰ до -58,9‰).

Геохимическое изучение группового состава пробы битума показало, что образец состоит на 87,5% из масел, спирто-бензольные смолы составляют 6,3%, бензольные смолы - 3,2% и асфальтены - 3%. Также в состав масел входят твердые парафины, состоящие из нормальных алканов с длиной цепи более C₁₅.

Результаты изотопного анализа, который проводился для пяти фракций, показали, что все образцы обогащены тяжелым углеродом изотопного состава. Стоит отметить, что изотопный состав углерода всех пяти фракций идентичен составу байкальской нефти $\delta^{13}\text{C} = -27,16\text{‰} \dots -26,60\text{‰}$.

| Фракция | $\delta^{13}\text{C}$, ‰VPDB |
|-------------------------|--|
| Мальтены | -27,1 |
| Масла | -26,7 |
| Бензольные смолы | -25,9 |
| Спирто-бензольные смолы | -25,7 |
| Асфальтены | -25,9 |

Проведенные исследования позволили определить состав и происхождение УВ газов озера Байкал, а также сопоставить результаты исследований пробы битума с литературными данными Байкальских нефтей.

В ходе интерпретации молекулярного и изотопного состава УВ газов озера Байкал было выяснено, что в составе газа в основном преобладает метан, в небольших количествах был найден этан. Также было замечено, что большая часть изученного газа имеет смешанное происхождение, что может свидетельствовать о наличии работающих нефтяных систем и скоплений газообразных и, возможно, жидких углеводородов.

Наборные газо-геохимические работы экспедиции TTR-Class@Baikal-2017

Кислицына Е.В., Владимиров А.А.

В ходе экспедиции Class@Baikal-2017 на борту научно-исследовательского судна Г.Ю. Верещагин в акватории озера Байкал проводилась газо-геохимическая съемка по донным осадкам. Этот комплексный метод проводится с целью выявления на поверхности морского дна аномалий газообразных и жидких углеводородов, мигрирующих из залежей нефти, газа и газоконденсата.

Отбор проб для газо-геохимической съемки проводился через каждые 20-30 см. Проба осадка, отобранная шприцом, объемом 40 мл, помещалась в банки емкостью 120 мл, предварительно заполненные водой на 50 мл (Рисунок 0). Затем банка плотно закрывалась крышкой с резиновым вкладышем, переворачивалась и подвергалась механической тряске с целью дезинтеграции осадка и выхода газа из пор.



Рисунок 0. Банка для отбора осадка. Емкость банки 120 мл.

Через 6-8 часов выполнялась дегазация отобранных проб методом «Head-Space» (Рисунок 2). Выделяющийся из банки газ помещался в ёмкости объемом 20 мл, заполненные концентрированным раствором NaCl.

Собранный таким образом газ из донных осадков отправляется в Москву для его дальнейшего изучения в лабораториях МГУ им. М.В. Ломоносова на газовом хроматографе и изотопном масс-спектрометре. С помощью этих исследований определяется молекулярный состав газа и изотопный состав углерода метана.

Помимо обычной газо-геохимической съемки на борту НИС Г.Ю.Верещагин проводился экспериментальный отбор проб. Его цель состояла в выявлении процессов, происходящих с газами донных отложений в процессе заморозки осадков, а также в проверке формулы пересчета концентрации газа в осадке.

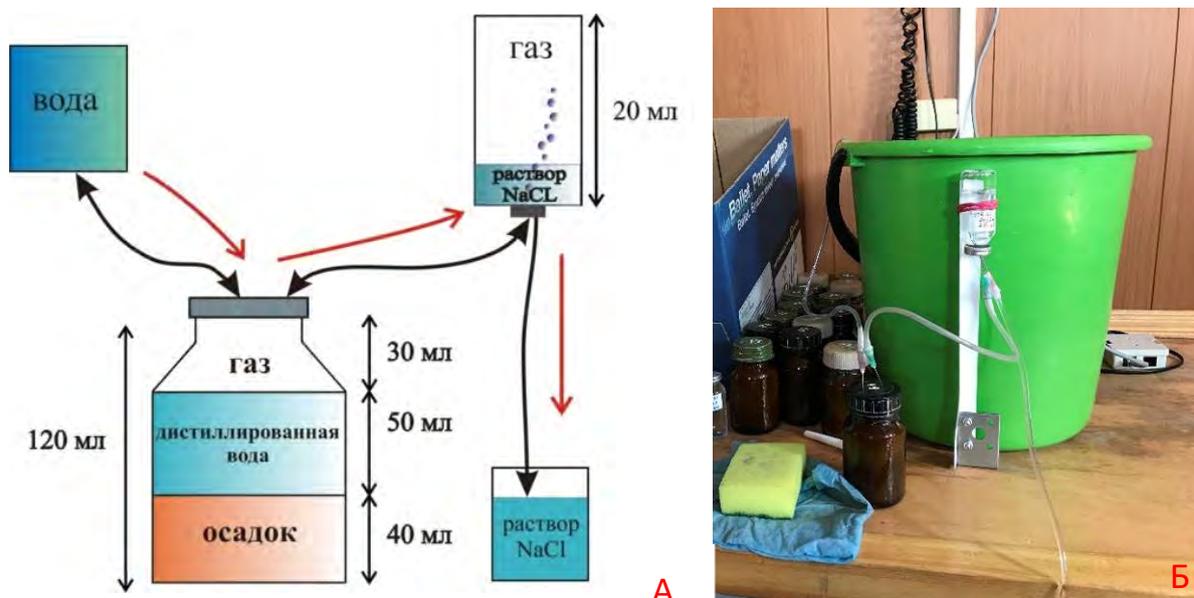


Рисунок 2. А - Схема дегазации и консервации газа методом «Head-Space», Б – Дегазация на борту НИС «Г.Ю. Верещагин»

Для достижения наибольшей точности каждый день эксперимента сопровождался отбором проб газа из воздуха и из водно-воздушной смеси.

Отбор проб на газ производился из одного интервала, но из двух половинок колонки. Осадок помещался в три типа емкостей, с объемом 120 мл, 314 мл, 1000 мл. Для каждого сосуда необходимое количество осадка высчитывалось пропорционально стандартной методике. Рассчитанный таким образом объем осадков для трех емкостей приведен в таблице (Таблица 0.):

Таблица 0. Объемы осадка, воды и свободного пространства при эксперименте

| Общий объем, мл | Осадок, мл | Вода, мл | Head space», мл |
|-----------------|------------|----------|-----------------|
| 120 | | | |
| | | | |
| | | | |

Отбор и дегазация образцов осадка, известного объема, из секции I проходил по стандартной методике. Образцы осадка из секции II после отбора сразу замораживались в морозильной камере холодильника. Их дегазация методом «head space» происходила через два дня.

Типы отложений глубоководной осадочной системы Хурай по результатам донного пробоотбора в экспедиции Class@Baikal-2017

Корост С.Р., Внучков Д.А., Беляева А.А., Соловьева М.А., Ахманов Г.Г.

В рамках экспедиции Class@Baikal-2017 в пределах района глубоководной осадочной системы Хурай было отобрано 12 станций донного пробоотбора (Рисунок.11). Общая длина керна составила 12,73 м. Керн станций TTR-BL17-271G, TTR-BL17-272G, TTR-BL17-278G и TTR-BL17-279G без вскрытия на борту был упакован для транспортировки в Москву в лаборатории МГУ имени М.В. Ломоносова для проведения последующих исследований, в т.ч. для изучения методом компьютерной томографии.

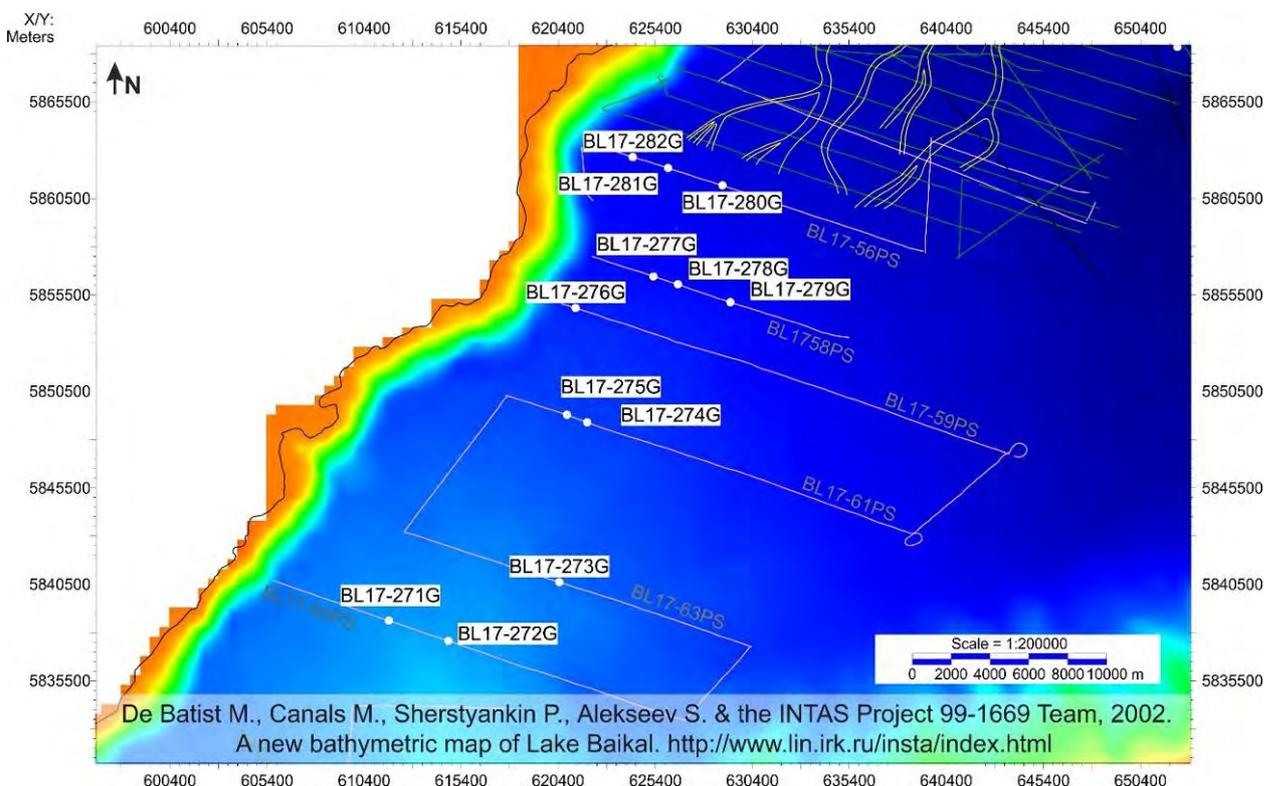


Рисунок.1. Батиметрическая карта расположения станций донного пробоотбора экспедиции Class@Baikal-2017 на полигоне Хурай с нанесенными на нее каналами и руслами, выделенными по результатам работ экспедиций Class@Baikal-2015 и Class@Baikal-2016

В самом общем виде разрез в верхней части представлен глинисто-диатомовым илом, который ниже сменяется диатомово-глинистым илом, а в основании вскрытого разреза отмечаются прослои алеврита. В большинстве станций в самой кровле присутствует плотная железистая корка. Вдоль всего разреза отмечаются многочисленные каналы миграции флюида, как обводненные, так и закупоренные осадком. Количество прослоев и пятен гидротроилита увеличивается с глубиной. Выход керна составил от 43 см до 284 см.

В станциях TTR-BL17-271G, TTR-BL17-273G, TTR-BL17-279G и TTR-BL17-281G отмечены турбидитовые прослои (Рисунок 2). В строении каждого турбидитового цикла сверху вниз выделяются следующие элементы: диатомовый ил, глинистый ил, алеврит и песок, а также их переходные разновидности.

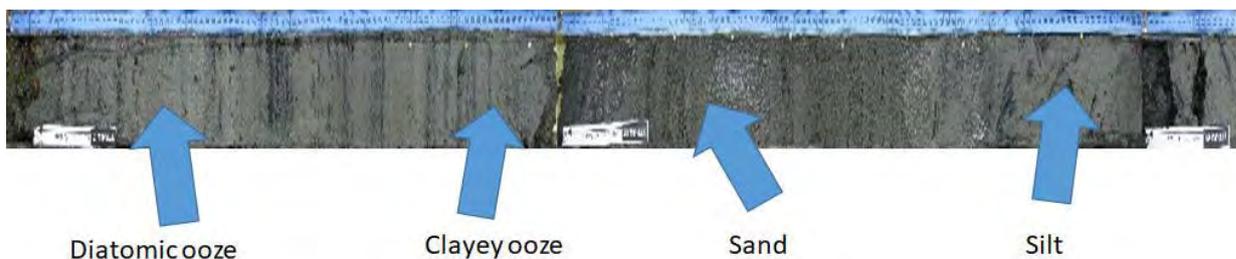


Рисунок 2. Диатомовые и глинистые илы, а также тонкие турбидитовые прослой в разрезе станции TTR-BL17-279G

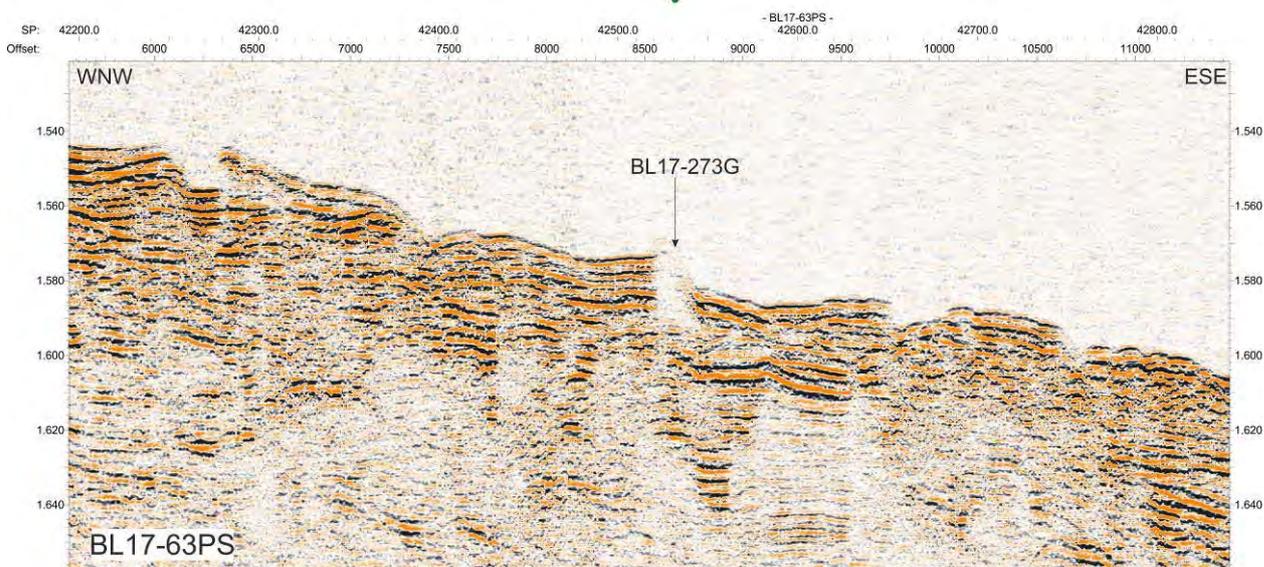


Рисунок.3. Фрагмент профиля BL17-63PS с указанием положения станции TTR-BL17-273G

Станция TTR-BL17-273G была отобрана в районе структуры, характеризующейся с «прозрачной» сейсмической записью на профиле BL17-63PS (Рисунок.3). Выход керна составил 284 см. Верхняя часть разреза представлена глинисто-алевро-диатомовым илом, переходящим в диатомово-алевро-глинистый. Ниже по неровной границе залегают отложения турбидитов, представленные переслаиванием алеврита и песка. Границы слоя неровные, эрозионные. Далее следует чередование алевро-глинистого ила и глинистого алеврита. Весь разрез станции содержит захоронённые каналы миграции флюида. Ниже интервала 206 см характерны крупные пятна и линзы гидротроилита, а с интервала 140 см наблюдаются многочисленные текстуры выхода газа. По всей колонке отмечаются наклонные границы. Таким образом, возможно, что «прозрачная» запись на сейсмопрофиле обусловлена высоким газонасыщением осадка.

Станция TTR-BL17-277G так же, как и станция TTR-BL17-273G была выбрана из-за прозрачной сейсмической записи (Рисунок 4). Разрез в верхней части представлен глинисто-диатомовым илом с мелкими пятнами гидротроилита, в самой кровле присутствует плотная окисленная корка. Далее залегают слои диатомово-глинистого ила с примесью гидротроилита, а в подошве отмечается прослой чистого диатомового ила. Далее, до конца разреза переслаивание алевро-глинистого ила с пятнами и линзами гидротроилита и алеврита. В последнем слое алеврита присутствуют редкие пятна гидротроилита.

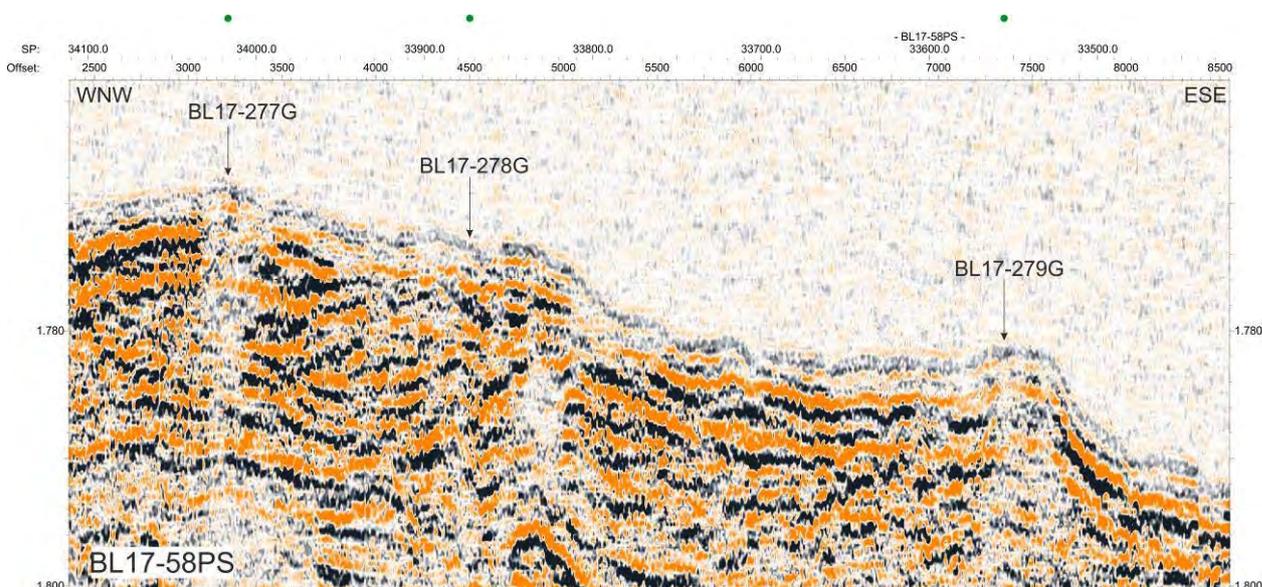


Рисунок 4. Фрагмент профиля BL17-58PS с указанием положения станции TTR-BL17-277G, TTR-BL17-278G и TTR-BL17-279G

Выбор положения станции TTR-BL17-278G был также обусловлен характером сейсмической записи (Рисунок 4). В кровле разреза станции присутствует твёрдая окисленная корка, ниже которой залегает алевро-глинисто-диатомовый ил с прослоями гидротроилита. Так же здесь берёт своё начало большой обводнённый канал протяжённостью около 60 см. Ниже залегает диатомово-алевро-глинистый ил с пятнами гидротроилита. Далее до самого конца залегает слой алевролита с пятнами гидротроилита и обводнённым каналом, который характеризуется развитием крепкой ожелезнённой корки на стенках. Во всем слое есть большое количество захоронённых каналов миграции флюида, также присутствуют прослои гидротроилита и линзы песка.

Станцией TTR-BL17-279G была опробована положительная структура на сейсмическом профиле (Рисунок 4). В самой кровле разреза твёрдая окисленная корка, под которой залегает глинисто-диатомовый ил с линзами гидротроилита. Ниже залегает серия турбидитовых циклов представленная переслаиванием диатомового ила, глинистого ила, алевролита и песка, и их разновидностей. При этом вниз по разрезу мощность циклов меняется: толщина слоя диатомово-глинистого ила сокращается, а толщина песка наоборот увеличивается. В интервале 92-112 см серия турбидитовых циклов расслоена прослоем песка средне-мелкозернистого. Далее турбидиты сменяются глинисто-алевровитовым илом с прослоями и линзами песка. В самом основании вскрытой части разреза залегает оползневое тело, состоящее из диатомово-алевро-глинистого ила с пятнами гидротроилита.

Станция TTR-BL17-281G была отобрана на относительно выровненном участке дна (Рисунок.5) для того, чтобы охарактеризовать разрез и получить представление о характере осадконакопления в межрусловой зоне. Разрез в данной точке в самой кровле представлен глинисто-алевро-диатомовым илом с пятнами гидротроилита. Ниже залегает алевро-глинистый ил с прослоями гидротроилита и линзами диатомового ила. В данной колонке в интервалах 19-34 см и 56-65 см находятся турбидитовые циклы в строении которых присутствуют диатомовый ил, алевро-глинистый ил и алевролит.

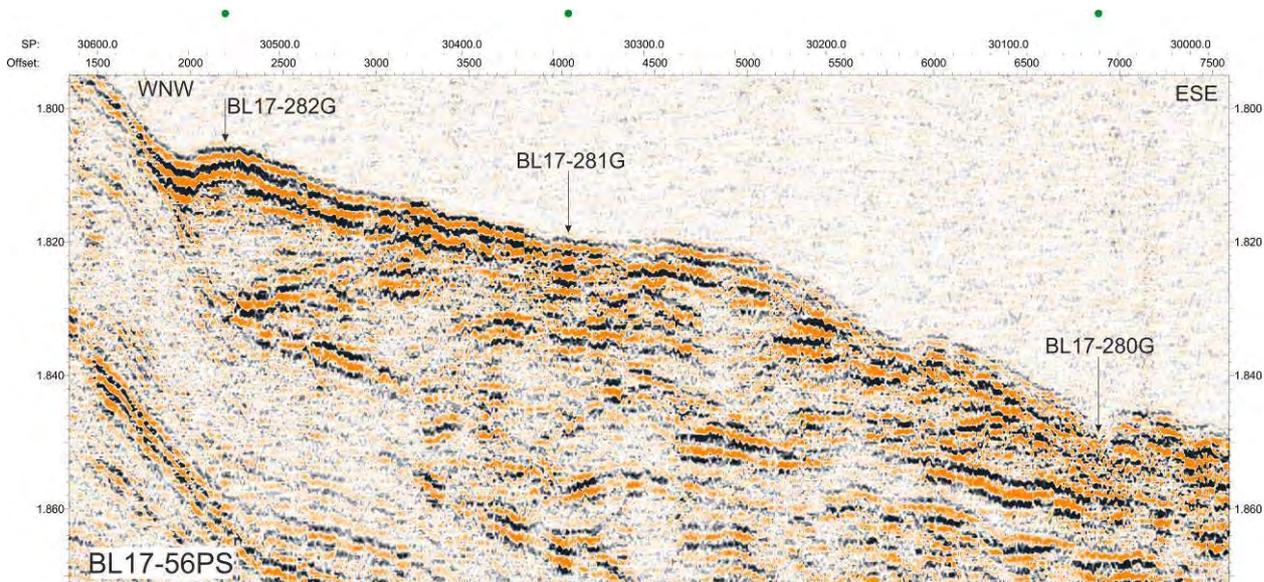


Рисунок.5. Фрагмент профиля BL17-56PS с указанием положения станции TTR-BL17-280G, TTR-BL17-281G и TTR-BL17-282G

Станциями TTR-BL17-271G, TTR-BL17-272G, TTR-BL17-274G, TTR-BL17-275G, TTR-BL17-276G и TTR-BL17-280G было проведено опробование структур, выделенных как русла на сейсмических профилях (Рисунок.5, 6, 7 и 8). В всех этих точках, кроме TTR-BL17-272G, разрез представлен алевроглинисто-диатовым илом с высоким содержанием гидротроилита. Мощность вскрытого разреза колеблется в пределах 43-92 см. Это обусловлено тем, что гравитационная труба не могла пробить, упиралась в мощные песчаные слои. Образцы песка были отобраны со стенок кернорвателя для изучения в лаборатории в г. Москве.

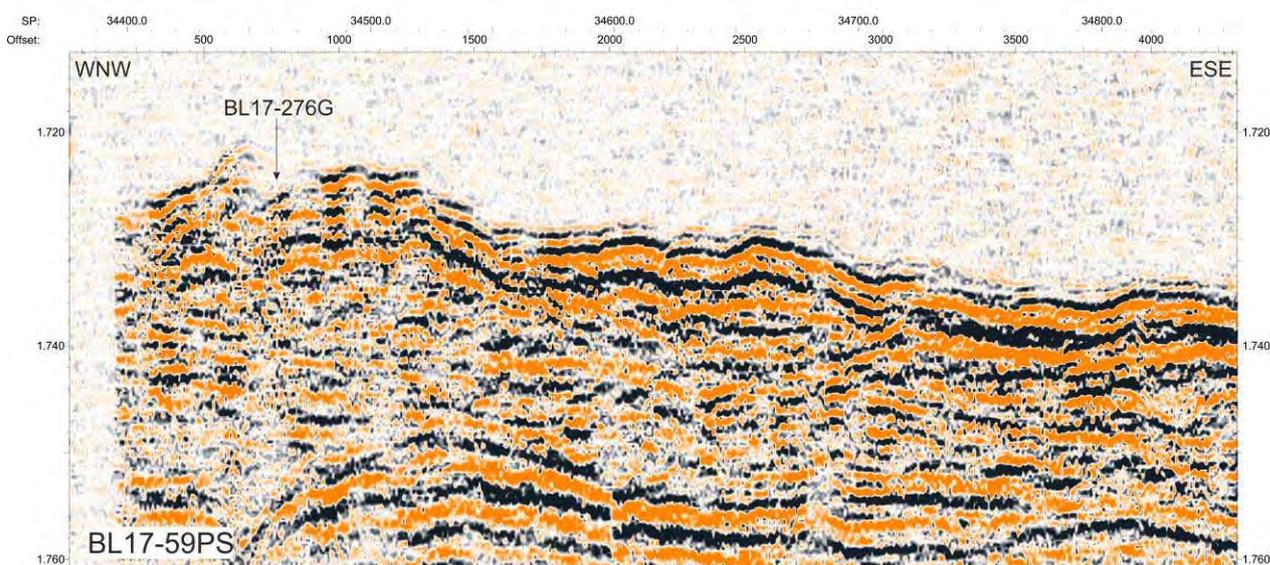


Рисунок 6. Фрагмент профиля BL17-59PS с указанием положения станции TTR-BL17-276G

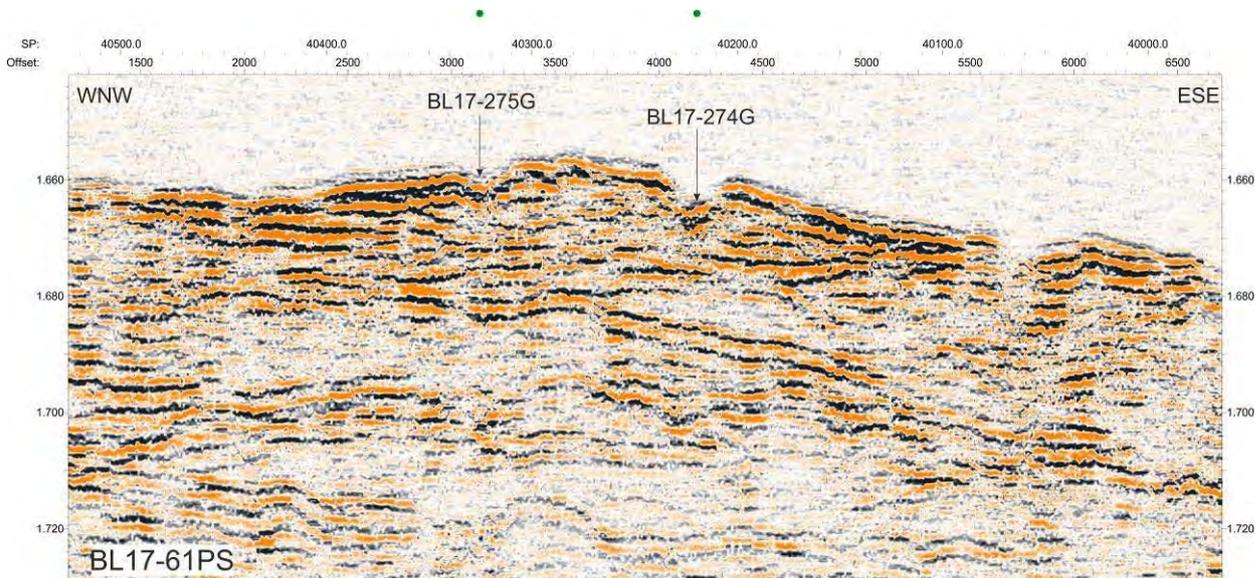


Рисунок 7. Фрагмент профиля BL17-61PS с указанием положения станции TTR-BL17-275G и TTR-BL17-274G

Разрез станции TTR-BL17-271G в верхней части представлен алевро-глинисто-диатомовым илом с пятнами гидротроилита и окисленной коркой в самой кровле. Ниже залегает диатомово-алевро-глинистый ил с большим количеством текстур выхода газа. На глубинах 13-14 см и 32-33 см находятся прослои песка разнозернистого. А в интервале 15-20 см отмечается чередование разнозернистого песка и алеврита. На глубине 44-58 см находится линза песка мелкозернистого. Содержание гидротроилита увеличивается с глубиной.

В керне станции TTR-BL17-272G в кровле присутствует слой песка мощностью 18 см. Ниже залегают алевриты с многочисленными линзами песка, с чешуйками слюды и кварцевым гравием. Такое строение разреза позволяет сделать предположение, что большинство станций отобрано пределах отмерших, погребенных русел, тогда как в станции TTR-BL17-272G вскрыт разрез современного действующего русла.

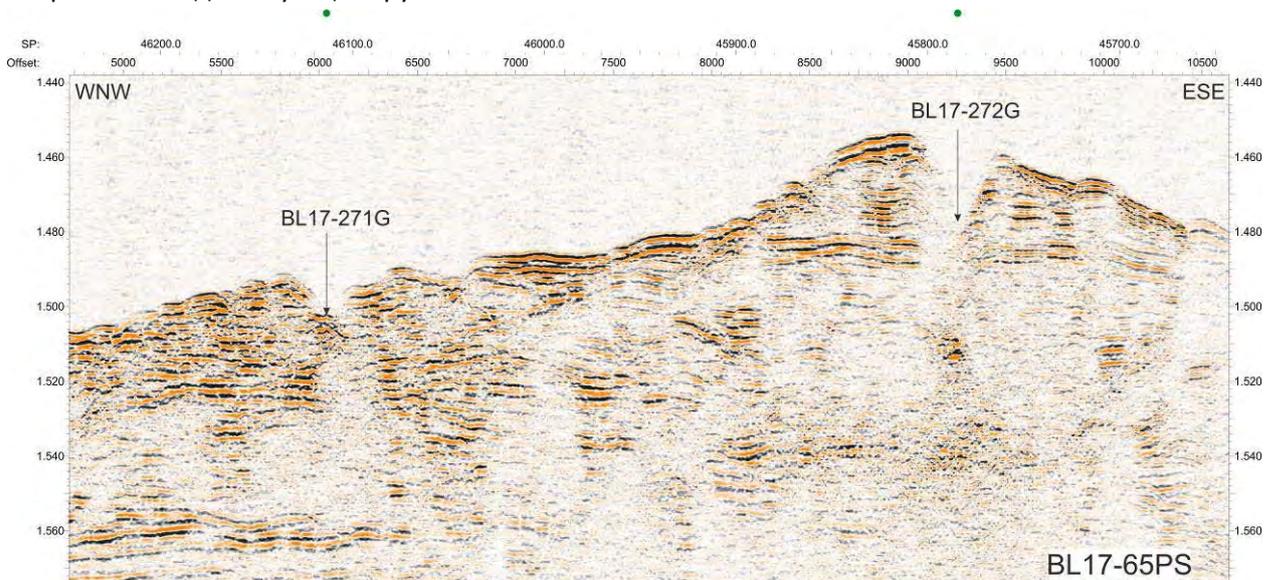


Рисунок 8. Фрагмент профиля BL17-65PS с указанием положения станции TTR-BL17-271G и TTR-BL17-272G

Особенности строения приповерхностных донных отложений озера Байкал и их влияние на стабильность склонов: на примере Красноярского субаквального оползня

Кудаев А.А., Корост С.Р., Беляева А.А., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М.

Обнаруженная на данных многолучевого эхолота структура на склоне над сипом «Красный Яр» впервые была опробована в 2015 году в экспедиции Class@Baikal-2015. Отобранные в пределах оконченного тела осадки характеризовались текстурами оползания, линзами песчаного и алевритового материала, что подтвердило первоначальное предположение об оползневой природе изучаемой структуры на дне озера.

В 2017 году изучение оползня продолжилось проведением геофизической съемки, донного пробоотбора, а также выполнением замеров геотехнических параметров. По геофизическим данным строение оползневой массы было уточнено. Предварительные результаты интерпретации сейсмоакустического профилирования показали, что нижняя граница оползневой массы приурочена к тектоническому нарушению (Рисунок 1). Нарушение сформировало уступ в виде протяженного «вала», диагонально пересекающего склон. Оползневые массы задерживаются этим «валом» и не доходят, большей частью, до подножья склона. Лишь часть перемещенного материала устремляется ниже по склону, в «горловину» прорывающую «вал» на локальном участке.

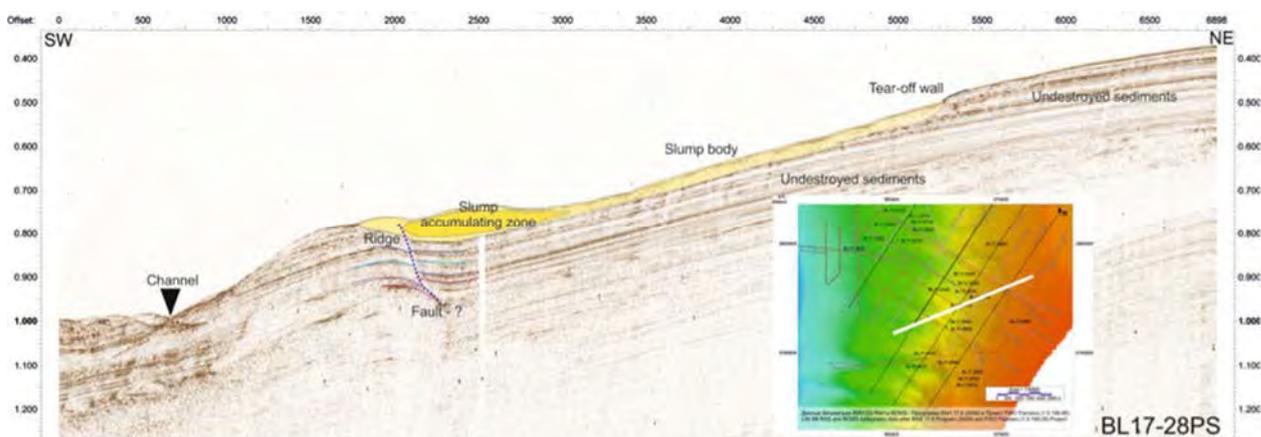


Рисунок 1. Оползневое тело и тектоническое нарушение, формирующее «вал» у которого собирается оползающий со склона осадочный материал. Сейсмоакустический профиль BL17-28PS

Всего в экспедиции Class@Baikal-2017 в районе Красноярского оползня было выполнено 24 станции донного опробования. Общий выход керна составил 80,58 метра. Керна 4-х станций (TTR-BL17-254G, TTR-BL17-260G, TTR-BL17-261G, TTR-BL17-264G) был герметично упакован в цилиндрические трубы для дальнейшего изучения в стационарных лабораториях МГУ.

С целью детального изучения оползневой массы были опробованы различные части оползня. Точки пробоотбора устанавливались таким образом, чтобы наиболее полно охарактеризовать его строение. Станции TTR-BL17-250G, TTR-BL17-251G, TTR-BL17-252G, TTR-BL17-253G, TTR-BL17-255G отобраны вдоль опорного сейсмического профиля, проходящего, в том числе, через «горловину», куда, обтекая тектонический «вал», сползает перемещенный осадочный материал. Разрез станций TTR-BL17-251G, TTR-BL17-252G, TTR-BL17-253G, TTR-BL17-255G

представлен классическим байкальским типом разреза, с многочисленными примазками и прослоями гидротроилита. В каждой станции отмечаются обводненные каналы миграции флюидов. В станциях TTR-BL17-252G, TTR-BL17-253G, TTR-BL17-255G отмечаются текстуры оползания (Рисунок2), подчеркнутые нарушенными прослоями гидротроилита, микроскладками глин различного цвета (5GY 4/1 и 10G 4/2). В нижней части разреза в слое плотных маслянистых глин наблюдаются многочисленные текстуры выхода газа.

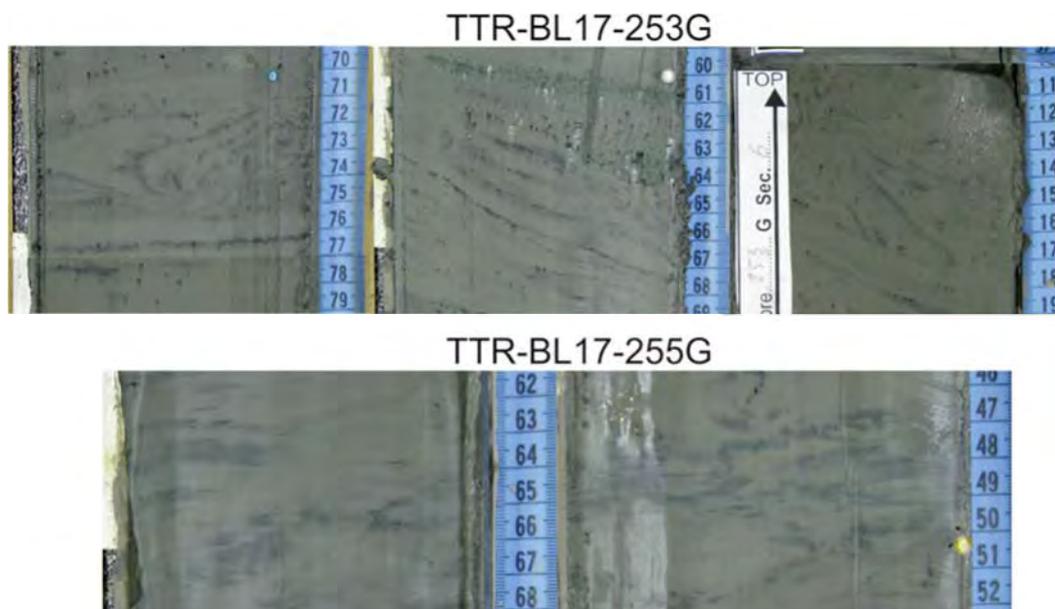


Рисунок 2. Текстуры оползания на примере разрезов станций TTR-BL17-253G и TTR-BL17-255G

В керне станции TTR-BL17-251G присутствует прослой песков, крупнозернистых, содержащих растительный детрит, в интервале 18 см.

Станция TTR-BL17-250G характеризуется отличным от прочих строением: ниже слоя маслянистых глин залегает слой алевро-глинистого материала. Учитывая расположение станции TTR-BL17-250G выше по склону, ближе к стенке отрыва оползня (Рисунок 33), можно предположить «внедрение» прослоя глин вследствие оползания.

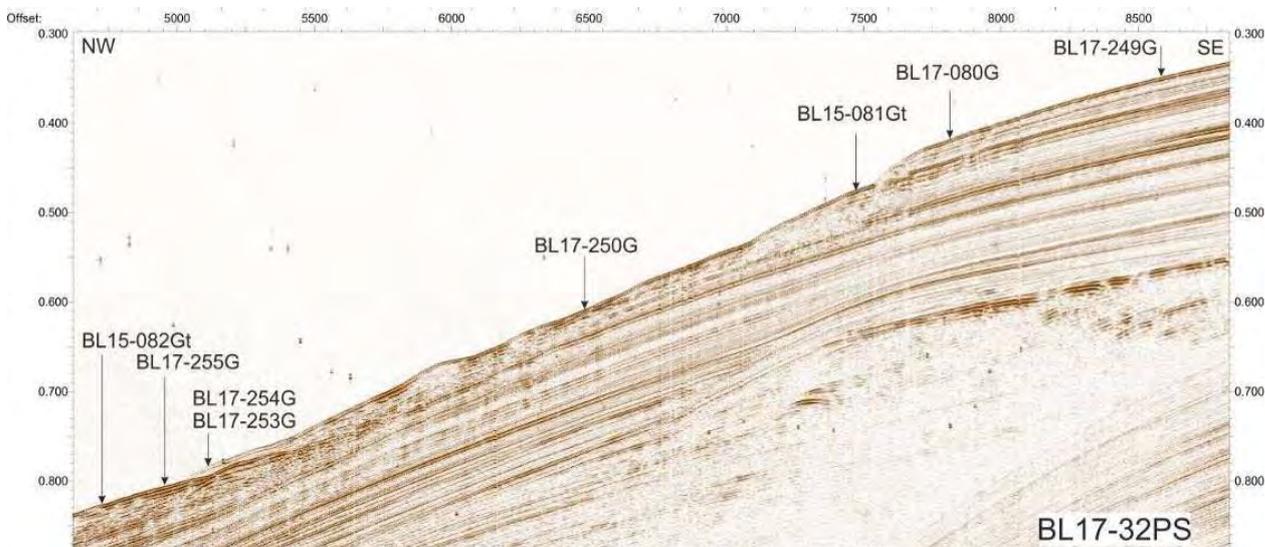


Рисунок 3. Фрагмент профиля BL17_32PS с указанием положения станций донного пробоотбора 2015 и 2017 года

Нижняя часть склона, ниже «вала», прорезана небольшими палео-каньонами, разделенными небольшими хребтами. Вероятно, они сформированы в до-голоценовое время, когда уровень Байкала был на десятки метров ниже, а сейчас неактивны и засыпаются современными отложениями. Вероятно, «горловина» наследует морфологически один из таких палео-каньонов.

Чтобы сравнить современные, возможно оползневые, накопления «горловины», через которую осуществляется вынос материала оползня, с осадками в каньонах, отделенных от оползневых масс «валом», в каньоне были выполнены станции TTR-BL17-257G и TTR-BL17-259G. Разрез станции TTR-BL17-257G сложен глинами маслянистыми, плотными (Рисунок4), с двумя окисленными прослоями. Встречена конкреция с ореолом ожелезнения, бурно реагирующая с HCl (возможно, сидерит). Отсутствие в разрезе глинисто-диатомового ила свидетельствует о положении станции в зоне транзита материала. В разрезе станции TTR-BL17-259G отмечаются относительно маломощные слои глинисто-диатомового и диатомово-глинистого ила (41 см). В этом же слое отмечаются текстуры нарушенные оползанием и окисленный прослой на глубине 8 см.



Рисунок 4. Пример строения разреза станции TTR-BL17-257G

Станция TTR-BL17-262G отобрана на одном из хребтов между палео-каньонами. Было получено 403 см осадков, до интервала 284 см представленных «классическим» байкальским типом разреза, который далее залегает на глинах алевритистых.

Станция TTR-BL17-258G и дублирующие её станции TTR-BL17-260G и TTR-BL17-261G расположены в верхней части хребта, начинающегося ниже «вала, в который упирается оползневое тело. Разрез здесь сложен глинисто-диатомовым илом и слоем глин маслянистых, в которых присутствуют текстуры, нарушенные оползанием. Отмечается большее количество грубозернистого материала с включениями растительного детрита, в отличие от отложений, вскрытых выше по склону.

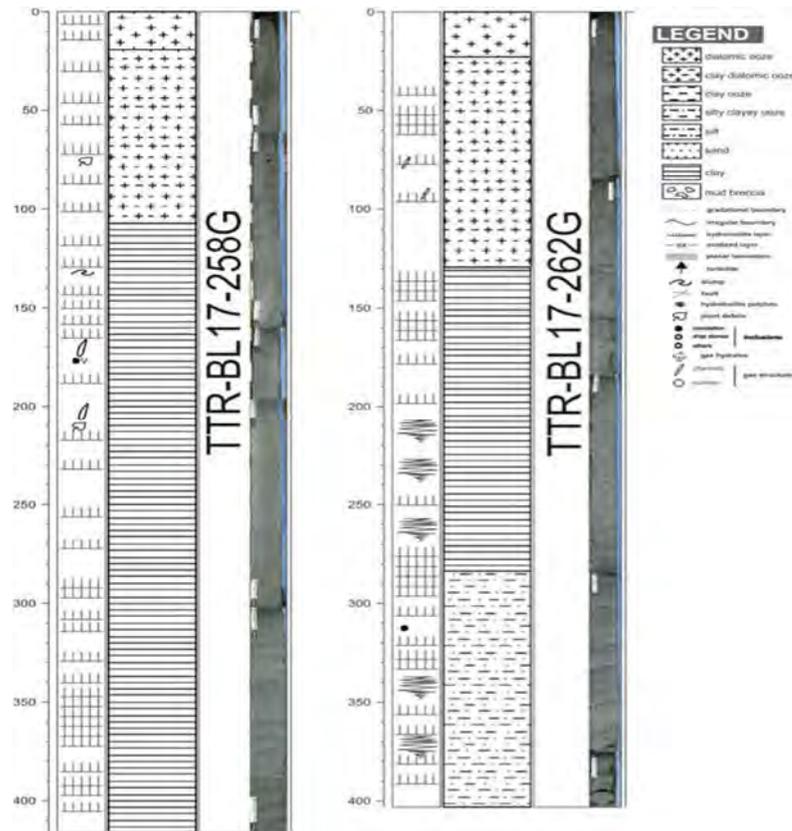


Рисунок 5. Станции TTR-BL17-258G и TTR-BL17-262G

Помимо изучения непосредственно тела оползня и прилегающих к нему участков дна, в ходе экспедиции была опробована область дна, удалённая от тела оползня. Станция TTR-BL17-265G была отобрана ниже «горловины» на предполагаемом пути переноса оползневой массы к подножию склона. Место опробования характеризуется хаотичной картиной на профиле профилографа (Рисунок 6). Разрез станции, мощностью 461 см, состоит из нескольких оползневых тел, разграниченных прослоем среднезернистого песка. Текстуры нарушены оползанием, отмечаются опрокинутые складки прослоев глин различного цвета, подчеркиваются нарушениями слоёв гидротроилита (Рисунок 7). В разрезе присутствуют многочисленные алевритовые линзы толщиной в первые миллиметры.

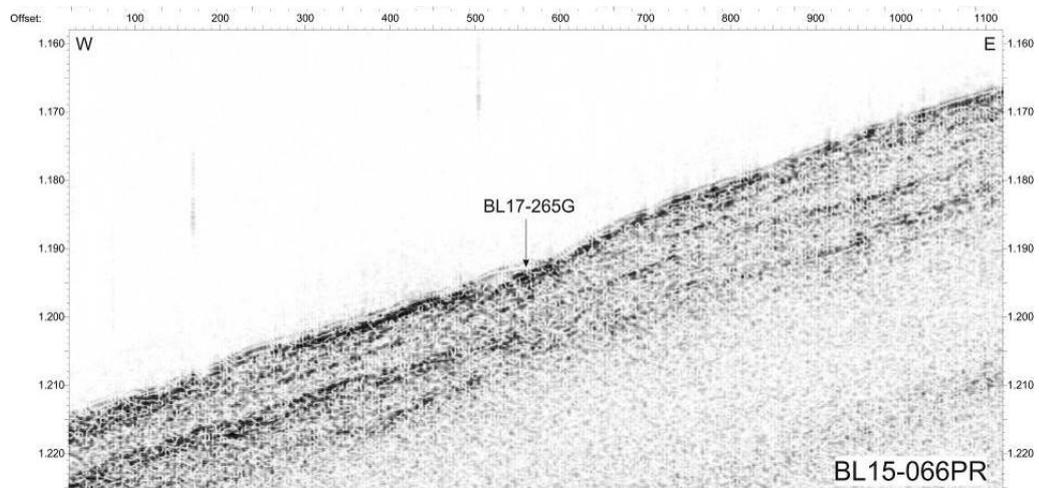


Рисунок 6. Профиль профилографа, проходящий через дистальную часть оползня, с положением станции проботбора

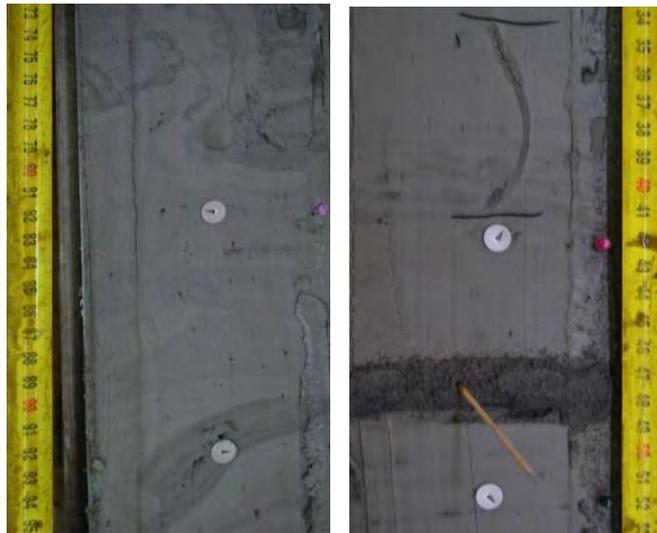


Рисунок 7. Фотография текстур оползания и песчаного прослая в станции TTR-BL17-265G

Для большинства станций в пределах оползневого тела и на склонах, прилегающих к нему характерны вертикальные каналы миграции флюидов. Во многих станциях отмечаются текстуры выхода газа (дегазации осадка).

Станции TTR-BL17-249G и TTR-BL17-256G отобраны вне тела оползня для изучения характеристик «фоновых» отложений, не подвергнутых и не нарушенных оползанием. Разрез, вскрытый в этих станциях, представлен байкальским типом разреза, для которого сверху вниз характерны слои: глинисто-диатомовый ил, диатомово-глинистый ил, глины маслянистые с прослоями и примазками гидротроилита. В разрезе станции TTR-BL17-249G отмечается тонкий прослой крупнозернистого песка в интервале 29 см. В разрезе станции TTR-BL17-256G отмечаются текстуры оползания и каналы миграции флюида (Рисунок8).

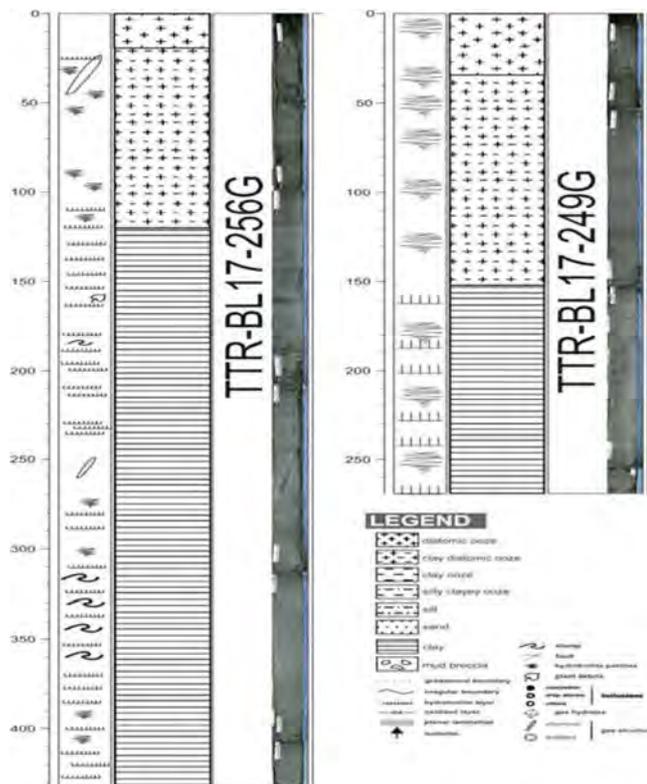


Рисунок 8. Разрез станций TTR-BL17-249G и TTR-BL17-256G

Результаты судовых геотехнических лабораторных работ экспедиции Class@Baikal-2017

Локтев А.С., Кудяев А.А., Мятчин О.М., Ахманов Г.Г.

В экспедиции Class@Baikal-2017 пробы донного грунта отбирались ударной трубкой. Для эффективности (т.е. для получения максимального количества данных на объекте с каждой единичной трубки) было решено выполнять одновременную работу для различных целей без повторного заброса грунтоноса. Часть керна (осадка) направлялось на литологическое описание, фотографирование, отбор проб осадка и газов. Оставшийся керн использовался для отбора образцов и замеров физико-механических свойств и инженерно-технического описания. При необходимости отбора большого количества ненарушенного керна производился заброс отдельной трубки и ее полная консервация отбор без вскрытия. Трубки герметизировались с торцов в пластиковых стаканах для дальнейшей отправки в стационарную лабораторию в г. Москва для дальнейших более сложных измерений и исследований.

Основной объем работ был произведен на полигоне «Красный Яр» в районе авандельты р. Селенга. Здесь на геотехнические свойства было опробовано 15 станций и выполнено специальное описание. Также опробовано 6 станций в районе грязевого вулкана «Большой» и 4 станции на полигоне «Голоустная». Донный пробоотбор осуществлялся ударными гравитационными трубками длиной 3 м и 5 м. Диаметр внешний/внутренний -110/100 мм. Одна из 3-х метровых трубок была оснащена датчиками температуры, все трубки также оснащались подводной камерой для фиксации процесса спуска, пенетрации и извлечения грунтоноса. Так как большая часть осадков представлена слабыми связными грунтами, то предполагалось, что выход керна составит около 100%. По факту выход керна 3-х метровыми трубками составил 2-2,5 м, 5-ти метровой - 3-3,5 м. При пенетрации трубок (3м) в районе распространения придонных скоплений газогидратов фактический средний выход керна не превысил 1 м.

Сброс трубок осуществлялся при помощи судовой лебедки и выносной стрелы, свободным падением с высоты 5-20 м над дном. Увеличить ход падения не получалось, хотя попытки предпринимались, из-за большого веса троса и его опережающем опускании на дно, что приводило к его запутыванию и переворачиванию грунтоноса. Использовали технологию с коротким «разбегом», которая отработана многократно в Лимнологическом институте и на судне «Г.Ю. Верещагин». Глубина воды при отборе трубок варьировала от 400 м до более, чем 1300 м.

Инженерно-геологическое описание и замеры геотехнических свойств выполнялись в судовой лаборатории после геохимического опробования. При этом производилось описание керна в соответствии с принятой в морских изысканиях практике и выделение соответствующих разновидностей грунтов. Описание грунтов соответствовало номенклатуре по ГОСТ 25100-2011 (Грунты. Классификация). После выделения слоев выполнялось определение прочностных свойств глинистых грунтов при помощи микрокрыльчатки (tv -torvane) и микропенетromетра (pp -pocket penetrometer) (Рисунок 1 и 2). Показания заносились в специальный журнал. При недостаточности нагрузки использовались сменные зонды крыльчатки и пенетromетра. Данные измерения позволили определить сопротивление недренированному сдвигу (S_u), прочностную характеристику связного грунта (ASTM). Отмечено, что микропенетromетр обычно показывал пониженные значения параметра, за исключением существенно пылеватого алевроитового грунта. Т.о. данные микрокрыльчатки являются, на наш взгляд, более достоверными.

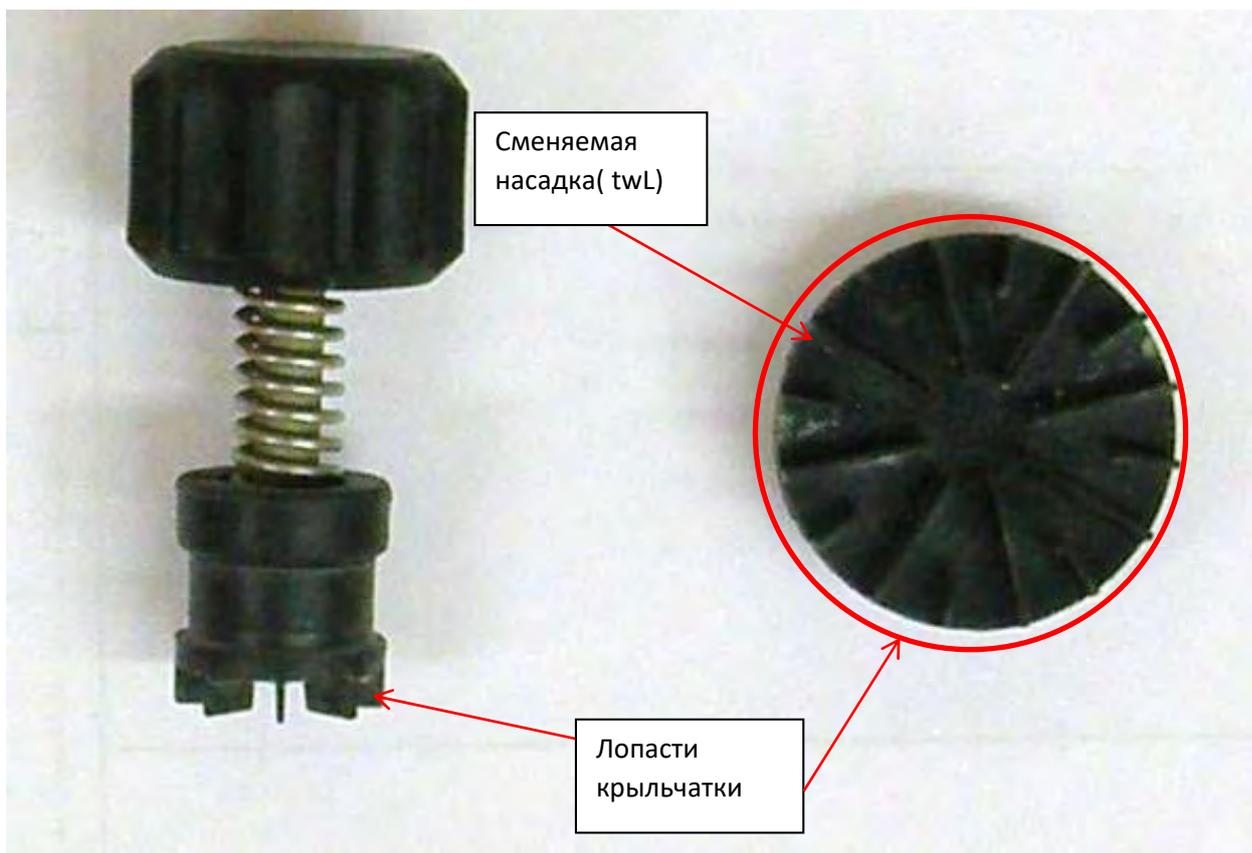


Рисунок 1. Крыльчатка (вид сбоку)



Рисунок 2. Пенетрометр

Измерения практически выполнялись однократно. Методически требуется делать 2 замера, однако для этого не хватало ненарушенного керна. После определения прочностной характеристики выполнялся отбор колец в соответствии с ГОСТ 5184. Отбор колец с известным объемом и весом позволяет определять природные плотность и влажность грунта. Использовались весы OHAUS в морском исполнении. Так как на судне отсутствует сушильный шкаф, влажные пробы отбирались в п\э пакеты для их дальнейшей транспортировки в грунтовую лабораторию и дальнейших измерений уже на суше.

После определения основных параметров отбирались пробы нарушенного сложения в большие п\э пакеты (навеска не менее 0.5кг) для определения в стационарных условиях таких

показателей, как пределы пластичности глинистых грунтов (влажность на границе текучести и раскатывания, показатель текучести, консистенция), гранулометрический и минеральный состав, удельный вес, содержание Сорг, легко и среднерастворимых солей, плотности песков при максимальном и минимальном уплотнении и последующего расчета пористости, коэффициента пористости, плотности сухого грунта, степени водонасыщения. Это основные физические параметры, характеризующие дисперсные грунты. Кроме этого из монолитов (трубок) возможен отбор проб ненарушенного сложения для определения прочностных и деформационных свойств (сцепление, угол внутреннего трения, модули деформации и пр.).

По каждой описанной станции подготовлен обобщенный разрез (описание в терминах ГОСТ 25100-2011), принятой в инженерной геологии, с измеренными параметрами и построенными графиками изменения таких параметров.

В результате выполненных работ были вскрыты в подавляющем большинстве глинистые (связные) грунты, песок представлен в единичных станциях. Большая часть колонок имеет постепенно уплотняющийся к низу разрез (за счет естественной литификации под весом перекрывающих отложений). Это выражается в увеличении вниз по разрезу природной плотности, уменьшении естественной влажности и росте сопротивления недренированному сдвигу. В кровле колонок обычно залегают илы (суглинистые и глинистые, возможно редко и супесчаные). Большая часть илов в силу содержания алевритового (пылеватого) вещества (диатомовые осадки) имеет землистую текстуру, неслоистая, не отличается высокой липкостью и, вероятно, не обладает высокими пластическими свойствами. В отличие от илов, подстилающие их глины (иногда суглинки) различаются по консистенции (от текучей до тугопластичной), составу, степени сложения, текстурным особенностям (могут быть массивными или иметь ярко выраженную слоистость, подчеркиваемую гидротроилитовыми прослоями и линзами).

Обобщенно можно охарактеризовать описанные грунтовые разрезы следующими измеренными характеристиками:

Полигон «Красный Яр». Сверху вниз в разрезе выделяются:

Ил суглинистый, серый, алевритистый, неслоистый, сильно обводненный, мощность 0,1-1,5 м, естественная плотность – 1,30-1,40 г/см³, сопротивление недренированному сдвигу 1-10 кПа.

Глина светло-серая, слоистая (за счет прослоев, обогащенных гидротроилитом), мощностью 1-10 см, липкая, жирная, с редкими прослоями и присыпками алеврита, консистенция от текучей до тугопластичной, естественная плотность 1,5-1,9 г/см³, сопротивление недренированному сдвигу 5-25 кПа. Вскрытая мощность 1-2,5 м.

Станция TTR-BL17-257G, расположенная в каньоне у подножия оползневого тела имеет отличное строение, здесь весь разрез сложен плотной глиной (мягко-тугопластичной консистенции), а верхний слой ила фактически отсутствует.

Грязевой вулкан Большой. Сверху вниз в составе разреза выделяются:

Ил суглинистый, плотность – 1,3-1,4 г/см³, сопротивление недренированному сдвигу – 1-10 кПа, мощность 0,1-1,0 м.

Глина светло-серая, текучая-мягкопластичная, плотность – 1,5-1,8 г/см³, сопротивление сдвигу – 5-25 кПа. Вскрытая мощность 1-2 м.

В станции TTR-BL17-287G весь разрез представлен песком пылевато-мелким (0,7 м).

Район сипов «Голоустное». Сверху вниз в составе разреза выделяются:

Ил суглинистый, алевритистый, неслоистый. Плотность 1,29-1,35 г/см³, сопротивление сдвигу – 1-5 кПа, мощность 0,1-0,5 м.

Глина светло-серая, слоистая, текучепластичная-мягкопластичная. Вскрытая мощность 1-2 м плотность – 1,55-1,85 гсм³, сопротивление сдвигу – 12-25 Кпа.

Более детальная характеристика участков и выделяющихся слоев будет выполнена после проведения дополнительных лабораторных исследований.

New equipment and preliminary results of the first underwater video survey run during the Class@Baikal expeditions

Mazzini A., Akhmanov G.G., Myatchin O.M., Khlystov O.M.

During the Training-through-Research Class@Baikal-2017 cruise, for the first time, an underwater video system was installed onboard RV "G.Yu. Vereshchagin" and operated.

The camera system included a GoPro Hero4 camera inside a Gobenthic2 housing, and a powerful led torch (Nautilux Standard 2000 lumens) housed inside the GPH-1750M rugged canister. A total of two complete sets were onboard during the operations.

The GoPro Hero4 camera was selected due to its fast f/2.4 aperture in the characteristic low-light underwater settings. The footage was obtained using the 2.7K quality at 48fps for the whole footage to fit on the 32Gb memory card. The camera was inserted into the Gobenthic2 housing designed and produced by GroupBinc, and rated for depths up to 2600 m (243 ATM, 24.6 MP, 3500 PSI, 250 kg/cm²).

The housing was rinsed using fresh water, wiped, and opened after each recovery to download the data, free space on the memory card, and charge the batteries. The camera was turned on using a dedicated Go-Pro remote control.

The led torch was inserted into the housing canister GPH- 1750M, rated for a depth of up to 1750 m. The light housing is also designed and manufactured by GroupBinc. The led torch had to be turned on immediately before deployment, inserted into its housing, and secured on the gravity corer inside its dedicated bracket.

A system to host the underwater camera kit was designed. A reinforced bracket was used as a removable frame to weld both the GoPro and led torch housings. This allowed to simply unlock the underwater camera housing and clamp it to e.g. another gravity corer of the video-frame.

The camera and light system was either used combined with (1) a video frame connected to a small winch, or (2) to directly clamped to the gravity corer. Every coring station was equipped with the camera system to obtain images from the lake bottom at the sampling site. Two profiles with the video frame were also completed. The video system is simple, solid, quickly mounted, affordable, and easy to transport. It provides acceptable video quality for video profiles and for quality control of coring operations. Snapshots can be enlarged and digitally treated to obtain reasonable image quality.

At the Goloustnoe locality the echo sounder indicated the presence of a gas flare in the water column and gas hydrates had been sampled. Two video lines were completed to obtain visual evidences of the seepage locality at the bottom of the lake. The direction of the drift was calculated and, in order to acquire the images with the lowest possible speed, the ship was left drifting for the whole profile intersecting the inferred seepage site. The video frame was deployed 3 m above the lake floor.

The obtained images showed flat morphology of the lake floor with occasional fish and shrimps approaching the torch light. When touched on the surface, the upper lake floor layer reveals a jelly-like consistency and sheet-like veneer floating in the water. Whitish subrounded patches (few centimetres in diameter) with a central circular cavity were observed. These could represent either gas hydrate portions exposed on the lake floor or micro-seepage sites. At one locality irregular white patches were also observed distributed on the lake floor. In all cases the images are inconclusive for a more defined interpretation.

The video run also intersects the locality where a previous coring was performed and where the gravity corer was drag on the bottom before recovery. At this site it was possible to observe the colour difference between the top 1-2 cm of oxidized clay and the lower grey clay unit. The freshly ploughed lake

floor appeared to attract large quantities of shrimps and fish. No obvious evidence of gas bubbling was observed at the floor during the video runs.

This work was supported by the Russian-French Bilateral Project SHY@Baikal RFBR №16-55-150005/ PRC CNRS 1072

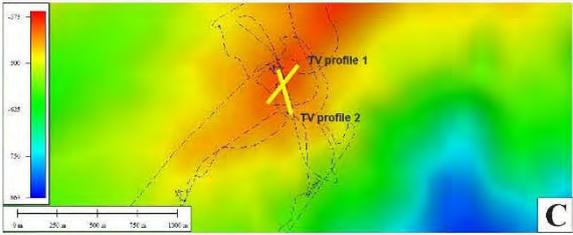
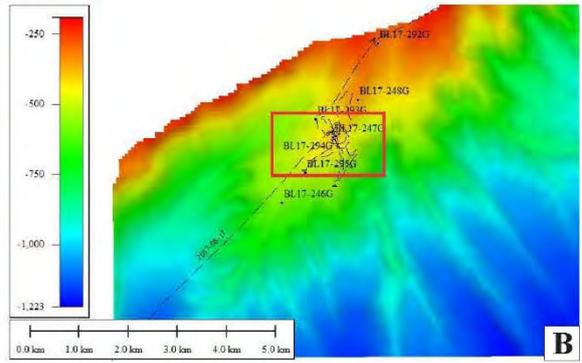


Figure captions:

The Class@Baikal-2017 underwater camera survey. (A) Lake Baikal with framed in yellow Goloustnoe survey area. (B) Bathymetry map of the Goloustnoe survey area with marked coring stations and ship track. (C) Zoom of the area framed in red in image B. Marked are the two video-profiles through a gas flare observed on the echo sounder. (D) Underwater camera kit weld on reinforced bracket removable frame. Go-Pro and the led torch are fixed inside the respective housings. (E) Example of enlarged and colour enhanced snap shot extracted from the recorded video. (F) Snap shot imaging the upper lake floor layer. When touched reveals a jelly-like consistency and sheet-like veneer floating in the water. (G) Snap shot showing lighter coloured sub-circular features with darker central part (arrowed in red). (H) White irregular flakes distributed in one area of the lake floor (arrowed in red). (I) Image of the ploughing induced during the previous sampling station. The ploughed bottom sediments are exceptionally populated by shrimps and fish. Note the different colour between the top reddish oxidised sediments and the lower darker sediments.

Хроника Class@Baikal: новые подходы, реализуемые в новом проекте Международной Программы ЮНЕСКО-МГУ «Обучение-через-исследование (Плавучий Университет)»

Несмеянова Е.М., Бубнова С.Ю., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М.

и команда проекта Class@Baikal

Летом 2014 года стартовал проект Class@Baikal [<http://www.class-baikal.ru/>]. Проект родился «в недрах» многолетней международной научно-образовательной программы «Обучение-через-исследования (Плавучий Университет)» (Training-through-Research (Floating University)) [<http://floatinguniversity.ru/>], базируется на её принципах и осуществляется силами преданных энтузиастов этой программы.

Проект Class@Baikal также привнес в систему «Обучение-через-исследования», отработанную более чем за 25 чрезвычайно успешных лет, и собственные новые подходы, которые реализуются уже три года и получили весьма положительные отклики.

Особенностью экспедиций Class@Baikal стало то, что впервые в рейсах Плавучего Университета организовано ежедневное освещение хода работ экспедиции в интернете. Ежедневно участники рейса готовят и выкладывают на специальную страницу подробные и хорошо иллюстрированные отчеты о проведенных экспедиционных работах и об особенностях полевой жизни. Ежедневные странички дневника экспедиции подкрепляются освещением экспедиции в социальных сетях [<https://www.facebook.com/class.baikal>; <https://vk.com/class.baikal>]. Новая интерактивная методика привлечения внимания широкой общественности к научно-экспедиционным мероприятиям, которые по своей специфике полевых работ изначально имеют ограничения по количеству непосредственных участников, опробована и прижилась в Class@Baikal. Методика показала свою жизнеспособность и востребованность, особенно в студенческой среде.

Другой «изюминкой» Class@Baikal стали ежедневные видео-зарисовки с борта научно-исследовательского судна. В конце экспедиции монтируются короткометражные фильмы и видеоматериал расширенного формата, представляющие научные цели и задачи экспедиции, участников и образовательную специфику проекта.

Работа медиа-группы Class@Baikal также привлекает внимание к проекту региональных и национальных СМИ. Идее проведения студенческой экспедиции «Байкальского плавучего университета», её ходу и некоторым результатам были посвящены несколько репортажей на телевидении, в т.ч. на центральном российском канале:

<http://vesti.irk.ru/news/science/229558/>

Mud volcano formation dynamics: an overview

Mazzini A., Etiope G.

The main engine driving the formation of mud volcanoes is generally a combination of gravitative instability of shales and fluid overpressures. Gravitative instability is due to the overall low density of clay-bearing strata that can be buoyant in the surrounding units. This is generally due to rapid sedimentation rates in subsiding basins. Such instability is a prerequisite for mud volcano initiation: the shale can start uprising (mobilised shale) autonomously by buoyancy (shale diapirism), often supported by hydro-fracturing, combined with fluid overpressures that can accelerate and sustain the motion of fluid-rich sediments up to the surface.

Fluid overpressures can develop in the same “instable” (mobile) shale or in surrounding sedimentary rocks, other shales, reservoir rocks or fractures. Overpressure in shales may be due to volumetric expansion due to generation of hydrocarbons from kerogens, or additional cracking of heavy hydrocarbons into lighter ones. Additional mechanisms may include the thermal effect in pore fluids as temperature gradient increases, dehydration reactions (e.g. volume increase by opal A/CT quartz, or illitization of clay minerals) and to disequilibrium compaction, i.e. imbalance between pressure build-up due to lithostatic loading or compressive tectonic stresses and pressure dissipation by fluid flow. Indeed, mechanical compaction during gradual burial or sudden events (slides, slumps, thick turbidite deposits) increases intra-granular overpressure. At locations with high rates of basin sedimentation and/or subsidence, a large amount of seawater is trapped in the inter-granular spaces inducing exponentially higher overpressure during the burial of the under-compacted units.

If the mobilised shale, ascending by buoyancy, meets pressurised fluids in reservoirs and fractures, its motion upwards can be accelerated and sustained up to the Earth's surface. Input of allochthonous fluids, external to the sedimentary system, such as deeper geothermal or volcanic fluids, may also contribute to overpressure build-up. In submarine environments, dissociation of gas hydrates can also induce gas liberation and pressure increases.

In any case, overpressured sediments must be initially isolated by impermeable barriers (i.e., must be pressurised compartments). Hydro-fracturing, i.e. the opening of the impermeable barriers, allows for the pressurised gas-water-sediment motion towards the surface and the brecciation of sedimentary units. Hydro-fracturing can be just due to the increase of fluid pressure creating fractures, which may connect the pressurised fluid system to pre-existing permeable pathways (faults). Fracturing may also be due to tectonic stresses, fault reactivation and seismicity as described below.

In practice, the mud volcano formation should foresee the following processes:

- (1) Gravitative instability (shale buoyancy);
- (2) Fluid overpressure;
- (3) Hydro-fracturing
- (4) Fluid flow along permeable fractures/faults

This combination of factors must be seen as a specific petroleum seepage system

The final stage of mud volcano growth is its manifestation to the surface. This may happen in a gradual manner with progressive and slow release of mud and fluids, or in violent and paroxysmic forms (eruption). In the second case, a mud volcano birth scenario envisages that when overburden weight is not sufficient to contrast the pressure of the migrating fluids and the growth of the piercement towards the surface, a critical depth is reached. At this threshold depth fracturing and breaching of the uppermost units occur, sometimes facilitated by external factors (e.g. earthquakes).

Another peculiarity of mud volcanism is the transport to the surface of breccia. The brecciated sediments present throughout the feeder channel have a reduced cohesion. As the breaching to the surface occurs, the accumulated pressure suddenly drops and the low cohesion media are easily fluidised and ultimately vacuumed to the surface. It is well known that some of the clasts erupted at mud volcano sites originate from several kilometres in depth and that they can reach the size of some meters. Is it likely that during the eruptions, mud volcanos have an open conduit of several kilometres?

The mechanisms described above do not necessarily imply significant subsurface movements of the brecciated sediments prior to the eruption, nor during the growth of the emerging diapir. One possible scenario is that the large clasts reach the surface after several eruptive cycles. In other words each eruption contributes to the rise of the oldest sediments. We envisage that the youngest eruptions have a larger amount of old rocks.

Few attempts have been made to model the dynamics of piercement structures and mud volcanism suggested a simple scenario describing the birth of a mud volcano beginning from the initial growth at its roots where an initial fluid overpressure is present. Revil (2002) stressed the importance of hydro-fracturing and hydro-mechanical non-linear shock waves. Nermoen et al. (2010) attempted some sand box experiments to investigate the processes controlling the fluidisation prior to the eruption. Conversely Lance et al. (1998) and Murton and Biggs (2003) completed some analogue experiments and numerical modelling to understand the morphology of some offshore mud volcanoes based on expelled mud rheology and isostatic parameters. In any case, all models are limited in dimension and resolution, and require much better constraints on the parameters of the erupting systems.

It is well known that gas migration, seepage and, in particular, eruptions of mud volcanoes, can be stimulated by earthquakes, i.e. by the passage of seismic waves or by co-post-seismic changes in crustal stress and permeability. Many mud volcanoes and piercement systems erupted within a few days or months after earthquakes, but it is sometimes difficult to distinguish a true seismic trigger from a mere coincidence. While reports of correlations between earthquakes and mud volcano eruptions are widespread, little is known about the processes triggered by passing seismic waves and whether delayed triggering is possible.

Manga et al. (2009) suggest a relationship between earthquake magnitude and the distance over which a variety of responses can be documented, such as increases of stream flows, liquefaction effects, changes in geysering activity, alterations at magmatic and mud volcanoes.

Despite the many uncertainties, it is clear that seismicity affects shale liquefaction, fluidisation and loss of strength, fracture opening, increased hydraulic permeability, removing of hydraulic barriers, and bubble nucleation and growth are possible specific mechanisms of eruption triggering. Obviously reactivated faults represent an ideal pathway to release fluids from greater depth. Laboratory experiments showed that strike-slip movement (shearing) is an efficient mechanism (Mazzini et al., 2009). Strike-slip faulting can significantly reduce the critical fluid pressure, in turn inducing sediment deformation and fluidisation. Given a fluid overpressure at depth, localisation of tectonic stresses may induce fluidisation in situation that would otherwise be stable.

**Seeps and mud volcanoes of the Lake Baikal:
the Class@Baikal-2017 preliminary results of thermal gradient measurements**

Poort J., Khlystov O.M., Akhmanov G.G.

In the Class@Baikal-2017 expedition the corer with the THP outriggered temperature sensors was applied for a total of 13 coring sites. With 9 it turned out successful: 5 in the Goloustnoe seep area and 4 in the Krasniy Yar seep area (see table, figure 1). Only at one station where hydrates were recovered (TTR-BL17-267Gt), a thermal gradient was obtained (THP197)

| THP | Cruise | Site | Area | Depth (m) | L-core (m) | S-in-sed (amount) | L-thermal (m) | Tilt (°) | Th-Grad (m°C/m) | Remark |
|--------|----------|---------|-------------|-----------|------------|-------------------|---------------|----------|-----------------|---------------------|
| THP193 | TTR-BL17 | 246Gt | Goloustnoe | 600 | 3 | 4 | 1.5 | 18 | 55 | |
| THP194 | TTR-BL17 | 247Gt | Goloustnoe | 413 | 3 | 1 | 0 | 72 | | hydrates |
| THP195 | TTR-BL17 | 248Gt | Goloustnoe | 365 | 3 | 5 | 2 | 11 | 42 | |
| THP196 | TTR-BL17 | 266Gt | Krasniy Yar | 800 | 3 | 5 | 2 | 37 | 74 | |
| THP197 | TTR-BL17 | 267Gt | Krasniy Yar | 785 | 3 | 5 | 2 | 29 | 84 | hydrates |
| THP198 | TTR-BL17 | 268Gt | Krasniy Yar | 765 | 3 | 5 | 2 | 29 | 50 | |
| THP199 | TTR-BL17 | 269Gt | Krasniy Yar | 825 | 3 | 5 | 2 | 8 | 78 | |
| THP200 | TTR-BL17 | 292Gt | Goloustnoe | 304 | 3 | 5 | 2 | 13 | 40 | |
| THP201 | TTR-BL17 | 293Gt | Goloustnoe | 500 | 3 | 5 | 2 | 8 | 66 | |
| THP202 | TTR-BL17 | 294Gt | Goloustnoe | 414 | 3 | 1 | 0 | 90 | | hydrates, S1 broken |
| THP203 | TTR-BL17 | St4GC7t | Goloustnoe | 512 | 3 | 0 | 0 | 26 | | empty core |
| THP204 | TTR-BL17 | St4GC8t | Goloustnoe | 575 | 3 | 0 | 0 | 17 | | empty core |
| THP205 | TTR-BL17 | 295Gt | Goloustnoe | 517 | 3 | 4 | 2 | 55 | 35 | |

The corer was often tilted inside the sediments with angles of 8° to 55° from the vertical. Corrections were applied to the measured thermal gradients. Out of the 5 sensors mounted on the corer, only three were used here to calculate the preliminary thermal gradient. The two others need a calibration

test before we can incorporate their temperatures. At the station TTR-BL17-296Gt, the deepest sensor S1 was damaged upon recovery. For the following station it was replaced with sensor S4.

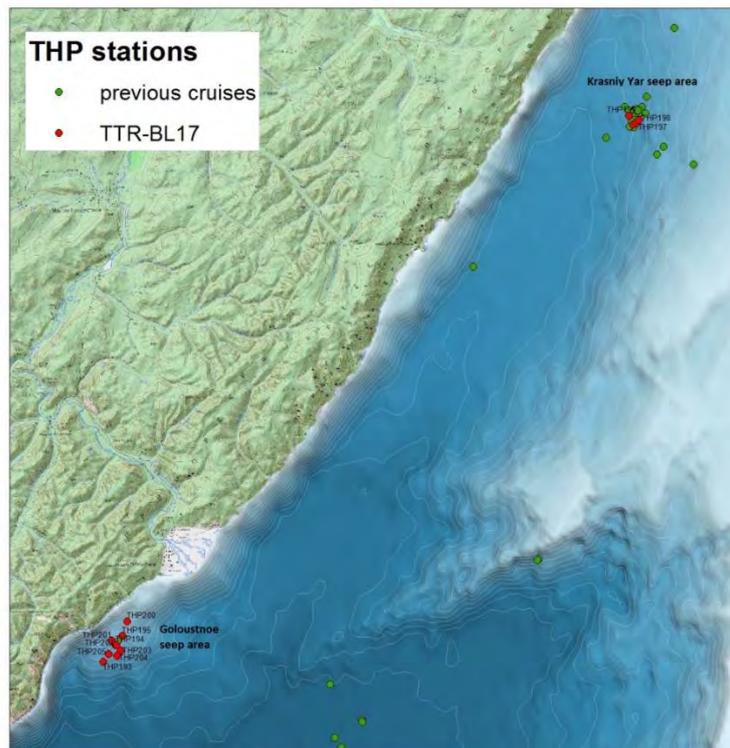


Figure 1. Coring stations with THP thermal gradient measurements performed during TTR-BL17. Relief: model by A. Kazakov based on SRTM and INTAS data

Goloustnoe seep site. For the first time, an attempt was made to map the potential thermal anomaly associated with the Goloustnoe seep area. Only one station was measured before and returned a value within the Lake Baikal background range (50-70 m°C/m). The new stations were performed along the new sparker seismic lines obtained during the Leg 1 of the TTR-Class@Baikal-2017 cruise (figure 2). Majority of the new stations were measured within or near the sites where active gas flares were observed.

The preliminar thermal gradients are estimated between 35 and 66 m°C/m (see table, figure 2). So, no enhanced thermal gradient (>80 m°C/m) was measured, which confirmed the only previous measurement made before in this seep. This is rather untypical for the Baikal seep sites. The overall thermal gradient is, on the opposite, anomalously low compared to background values.

These preliminary results suggest that in the Goloustnoe seepage no warm (and, thus, deep) fluids are involved and that the seepage is probably due purely to gas migration. The location of the seep at the pinch out of the hydrate stability zone may indicate that it is the result of gas migration from the hydrate zone. It is also the zone that is most sensible to the dissociation of hydrates. At the station TTR-BL17-200Gt, we noticed that despite a nearly linear increasing thermal gradient in the sediments, the upper sediment temperatures are colder than bottom water temperature. This points out that temperature at the water-interface has not been stable. As the site is at 400 m water depth and seasonal turn-over is only expected up to 250 m water depth, bottom water temperature variations are not primarily expected. Another more probable explanation is that the anomalous temperatures result from active hydrate formation or dissociation, processes that are known to be very exothermic and endothermic respectively. Slumping processes and cold surface layer water intrusion cannot be excluded to also have played a role in creating the thermal anomalies.

Krasniy Yar seep site. The Krasniy Yar seep area has already been studied in detail by thermal measurement during the last two TTR-Class@Baikal cruises. This year we added four more station in and near the seep #2 and the seep #3 where previous successful measurements were limited.

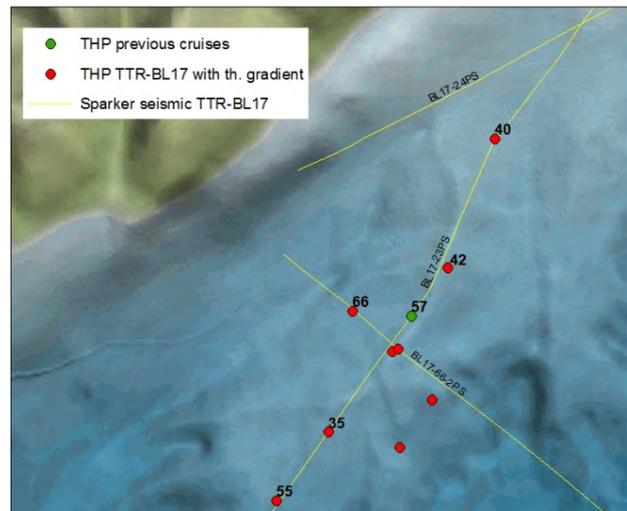


Figure 2. Preliminary calculated thermal gradient values at the successful THP stations of TTR-BL17.
Relief: model by A. Kazakov based on multibeam data

Measured thermal gradients are preliminary calculated and range between 50 and 84 m°C/m. The highest value was measured in the seep #2 (THP197). In the same core gas hydrates have been recovered. In the seep #3 and in the two stations outside the high reflectivity zones, gradient values measured are rather background values. Together with the previous measurements, these new values allow to contour the warm zones within the seeps.

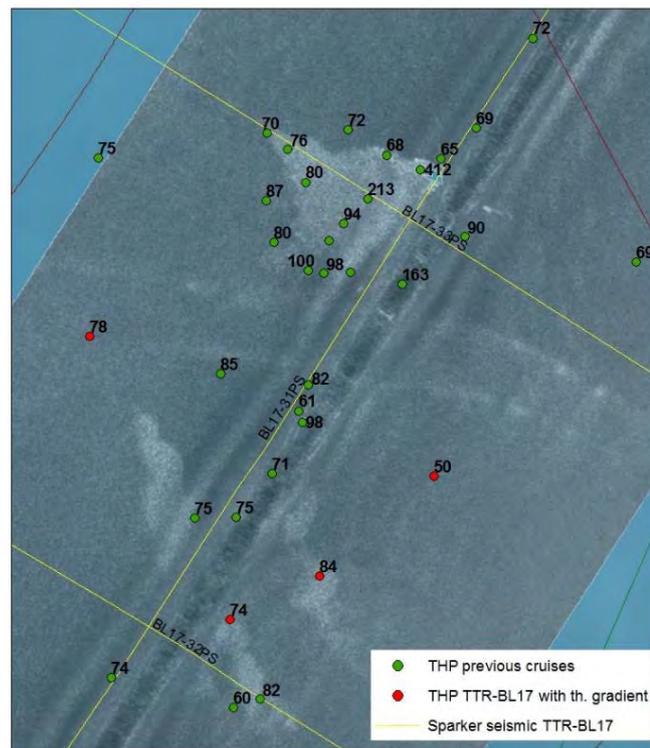


Figure 3. Preliminary calculated thermal gradients at the 4 successful THP stations of TTR-BL17 and comparison with previously obtained thermal gradients. Sonar image from 2007 by LIN

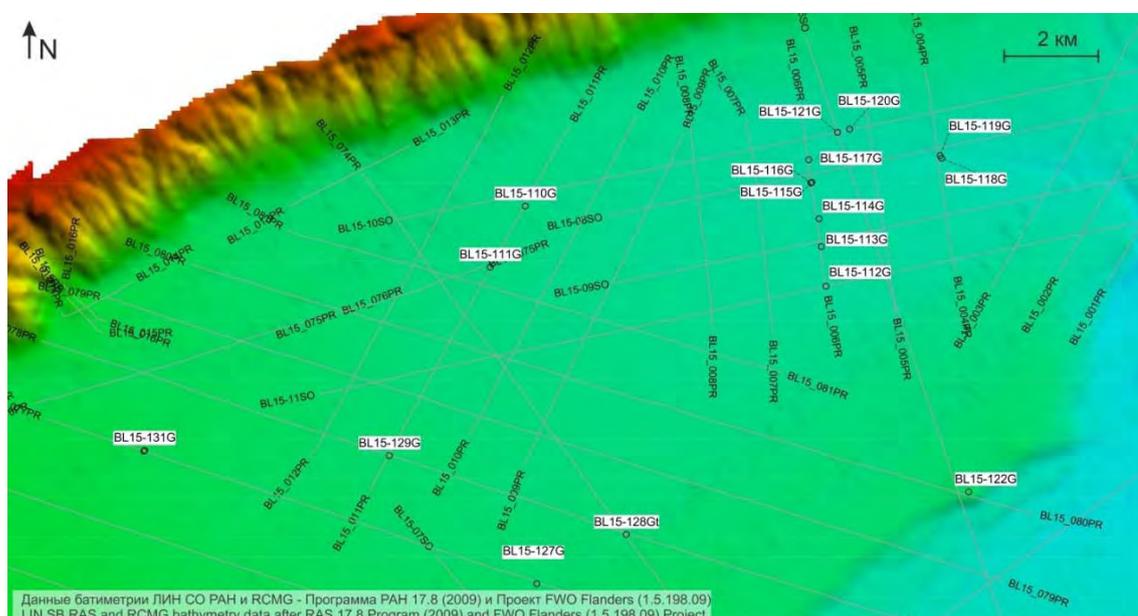
It suggests that all three seep sites at the Krasniy Yar area have a migration of warm fluids involved, but the intensity is very moderated at the seep #2 and #3, and the sites of fluid expulsion are limited to one side of the high reflectivity spots recognized on the sonar images. The idea of infiltration of cold lake water at the seep #3 is not supported. This suggests that the infiltration show by geochemical data in seep #1 is probably only a small scale and shallow phenomena.

This work was supported by the Russian-French Bilateral Project SHY@Baikal RFBR №16-55-150005/ PRC CNRS 1072

Современные отложения конуса выноса Хурай озера Байкал по данным донного пробоотбора в экспедиции Class@Baikal-2015

Почевалова А.В., Кудяев А.А., Ахманов Г.Г.

С 7 по 29 июля 2015 года на НИС «Г.Ю.Верещагин» в акватории озера Байкал проходила Вторая Международная экспедиция проекта Class@Baikal. Одним из полигонов изучения стала глубоководная осадочная система, располагающаяся южнее острова Ольхон, получившая название «Хурай». Ее изучение началось в экспедиции Class@Baikal-2014 с исследований в ее дистальной части. Было предположено, что источником поступления терригенного материала является падь Хурай. В ходе работ экспедиции Class@Baikal-2015 выяснилось более сложное строение системы, чем это предполагалось ранее. Было обнаружено, что комплекс в своей центральной части не имеет единого русла, а состоит из нескольких.



Полигон работ «Хурай» в экспедиции Class@Baikal-2015 с положением точек донного пробоотбора

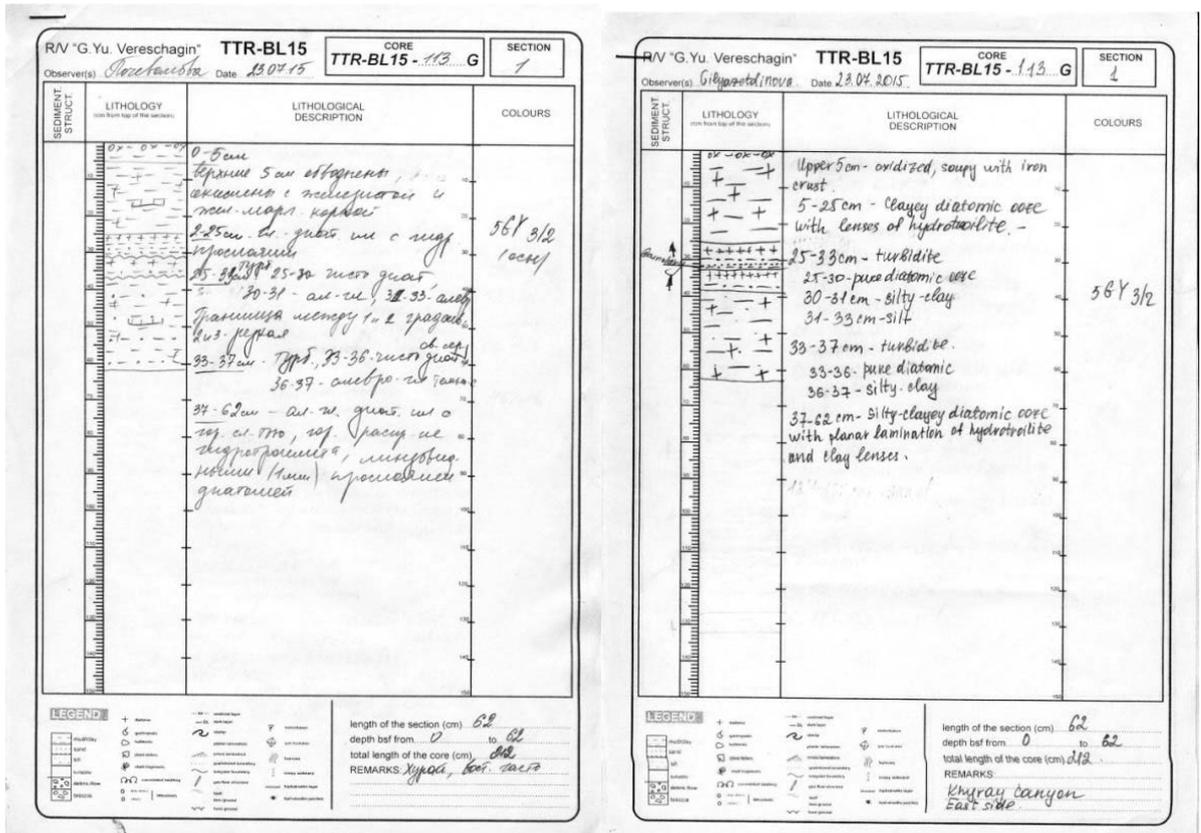
На основании данных акустической съемки были определены точки отбора проб с использованием ударной трубок. Полученный керн описывался на двух языках – русском и английском, как и положено в Международной экспедиции. Первичные описания генерализировались и переводились в электронный вид.

По окончании экспедиции были выполнены исследования керна в лабораториях Московского университета. Была проведена рентген-томографическая съемка на сканере «PKT-180». В программе DataViewr проводился анализ томографических срезов, детально выделялись прослои и линзы, внутренние микроразрывные нарушения, каналы.

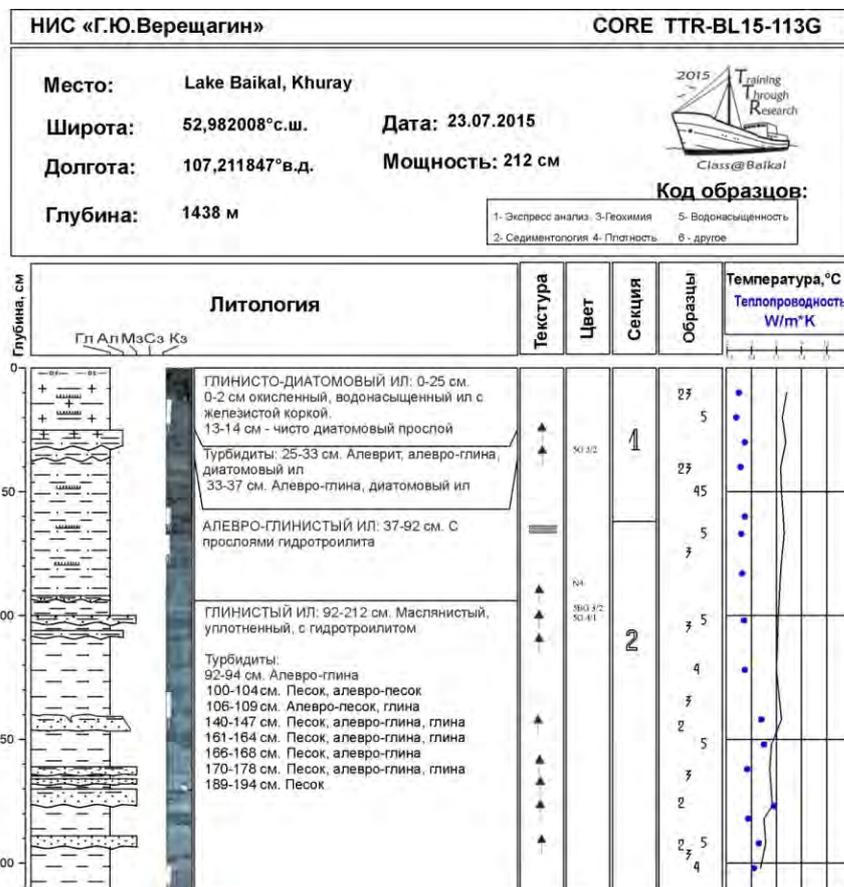
Был выполнен гранулометрический анализ проб отобранных осадков, на лазерном дифракционном анализаторе ANALYSETTE 22 MicroTec plus.

Для изучения минерального состава отложений были изготовлены мазковые препараты – «смерслайды», - выполнено их микропическое описание и сделаны фотографии при одном и скрещенных николях на микроскопе OLIMPUS BX50.

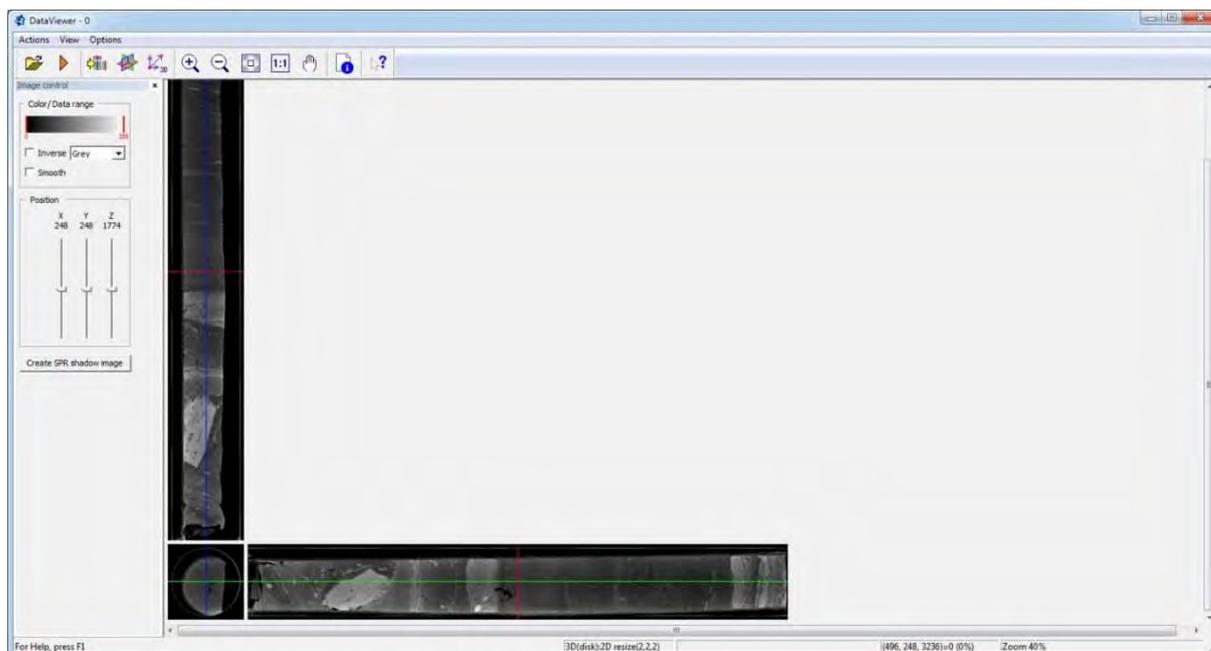
Были выделены интервалы турбидитовых прослоев во всех изученных разрезах.



Пример планшетов первичного описания колонки. Описание секции 1 колонки TTR-BL15-113G на русском и английском языках



Пример планшета генерализованного описания колонки



*Пример визуализации рентген-томографического среза колонки в программе DataViewer.
Керн станции TTR-BL15-111G, секция 2, нижняя часть*

Для турбидитов характерны градационная слоистость, более крупнозернистый гранулометрический состав и темный цвет по сравнению с вмещающими отложениями. Чередование пелагических илов и турбидитов в разрезах свидетельствует о том, что спокойные условия осадконакопления периодически прерывались сходами мутьевых потоков. Был выполнен гранулометрический анализ 423 проб, отобранных с шагом 0,5-1 см во всех интервалах, предполагаемых турбидитов и, выборочно, в интервалах отложений фоновой седиментации. Для целей исследования границы фракций были определены следующим образом: песок - 50-2000 мкм, алевроит - 5-50 мкм, пелит - 0,1-5 мкм.

Для изучения вещественного состава было изготовлено 63 смесляйда из подошвенных частей турбидитовых прослоев. В составе турбидитовых прослоев были определены следующие минералы: кварц, плагиоклаз, КПШ, мусковит, апатит, рудные, биотит, циркон, турмалин, сидерит, роговая обманка, авгит, хлорит, силлиманит.

Выполненные аналитические исследования позволили провести типизацию изученных осадков и выделить следующие основные литотипы:

Литотип 1. Глинисто-алевритовые диатомовые голоценовые илы. При визуальном описании определяются по цвету 5GY 3/2, часто имеют «творожистую» структуру. Слагают верхнюю часть разреза. Характеризуются следующим гранулометрическим составом:

| Фракция | Содержание, % | | |
|---------|---------------|-------------|--------------|
| | Среднее | Минимальное | Максимальное |
| Пелит | 48 | 23 | 64 |
| Алеврит | 51 | 36 | 71 |
| Песок | 0,8 | 0 | 1 |

На рентген-томографических срезах характеризуются тонкой слоистостью и низкой рентген-плотностью.

Литотип 2. Глинистые верхне-плейстоценовые илы. При визуальном описании от литотипа 1 отличаются более светлым цветом (N4), маслянистые на ощупь, более плотные. На рентген-томографических срезах – более плотные. Характеризуются следующим гранулометрическим составом:

| Фракция | Содержание, % | | |
|---------|---------------|-------------|--------------|
| | Среднее | Минимальное | Максимальное |
| Пелит | 63 | 52 | 80 |
| Алеврит | 37 | 20 | 57 |
| Песок | 0,15 | 0 | 0,4 |

Литотип 3. Песчаные и алевритовые прослои с градационной слоистостью. При визуальном описании имеют более темную окраску по сравнению с вмещающими осадками (5G 3/2), на ощупь определяются отдельные зерна, в рентген-томографических срезах соответствуют светло-серым и белым прослоям высокой рентген-плотности. Имеют мощности от 1 до 30 см. Характеризуются следующим гранулометрическим составом и градационной слоистостью.

| Фракция | Содержание, % | | |
|---------|---------------|-------------|--------------|
| | Среднее | Минимальное | Максимальное |
| Пелит | 30 | 8 | 43 |
| Алеврит | 10 | 15 | 72 |
| Песок | 11 | 3 | 87 |

Литотип 4. Линзы песка и алеврита. По признакам, определяемым при визуальном описании, рентген-томографическом изучении и по гранулометрическому составу аналогичны литотипу 3, но имеют значительно меньшую мощность (1-5 мм) и линзовидны.

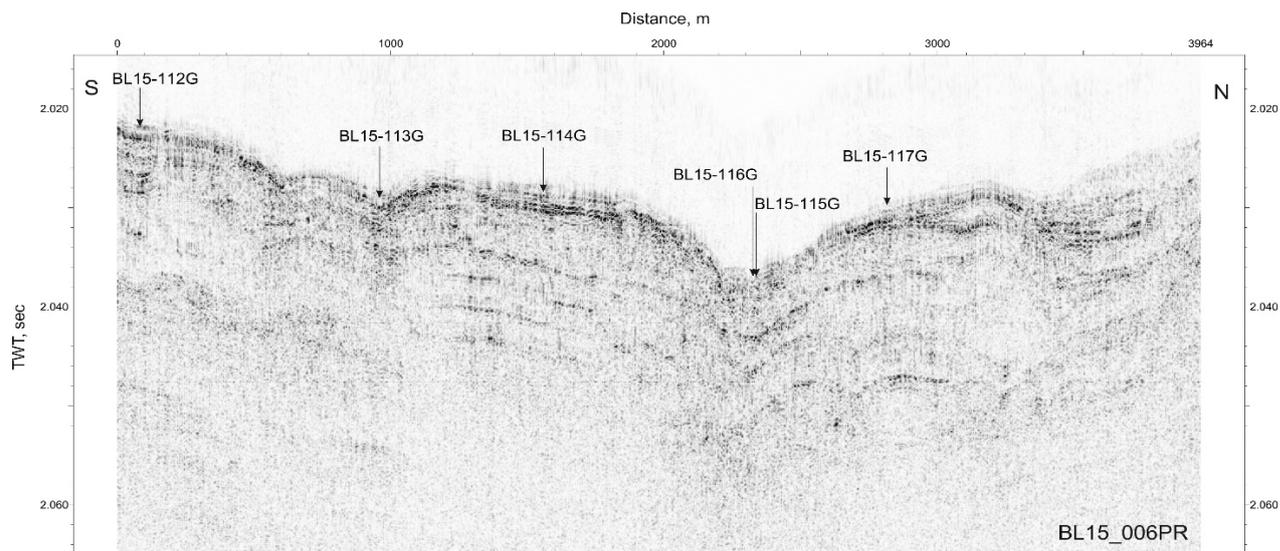
Литотип 5. Глинисто-алевро-песчаные отложения. При визуальном описании выделяются оползневыми текстурами, негоризонтальными границами. В томографических срезах также характеризуются оползневыми текстурами. Гранулометрический состав:

| Фракция | Содержание, % | | |
|---------|---------------|-------------|--------------|
| | Среднее | Минимальное | Максимальное |
| Пелит | 23 | 5 | 44 |
| Алеврит | 42 | 36 | 69 |
| Песок | 29 | 12 | 52 |

Основные литотипы были соотнесены с генотипами, характеризующими способ образования отложений:

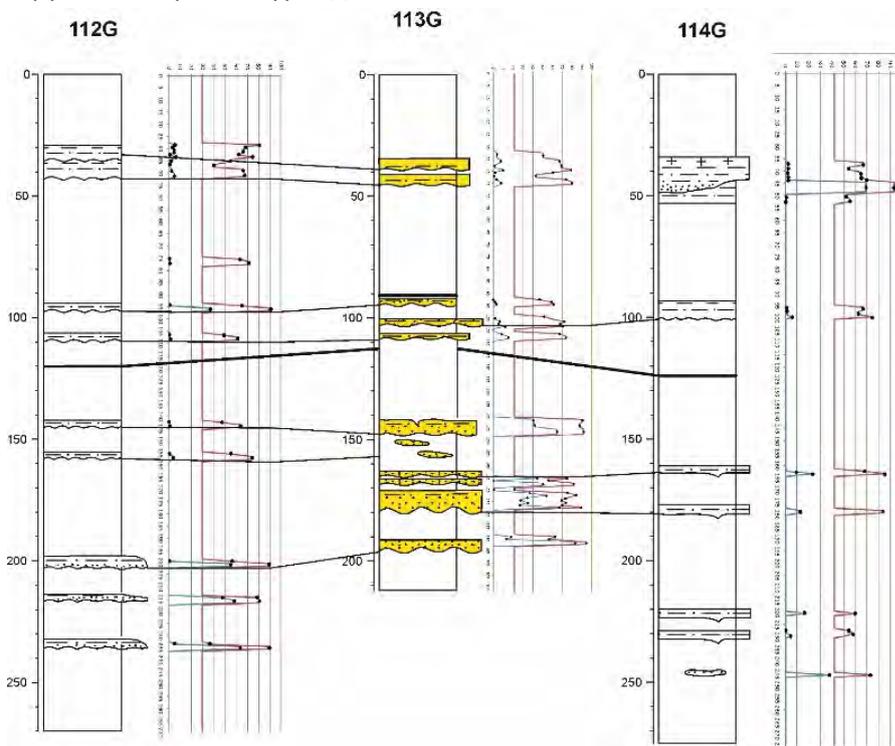
| Литотипы | Генотипы |
|--|--|
| 1. Глинисто-алевро-песчаные голоценовые илы | Пелагические отложения |
| 2. Глинистые верхне-плейстоценовые илы | |
| 3. Песчаные и алевритовые прослои с градационной слоистостью | Турбидиты |
| 4. Линзы песка и алеврита | Эродированные турбидиты (?) Локальные оползни (?) |
| 5. Глинисто-алевро-песчаные отложения | Оползни |

После анализа полученных данных была проведена корреляция разрезов вскрытых трубками.



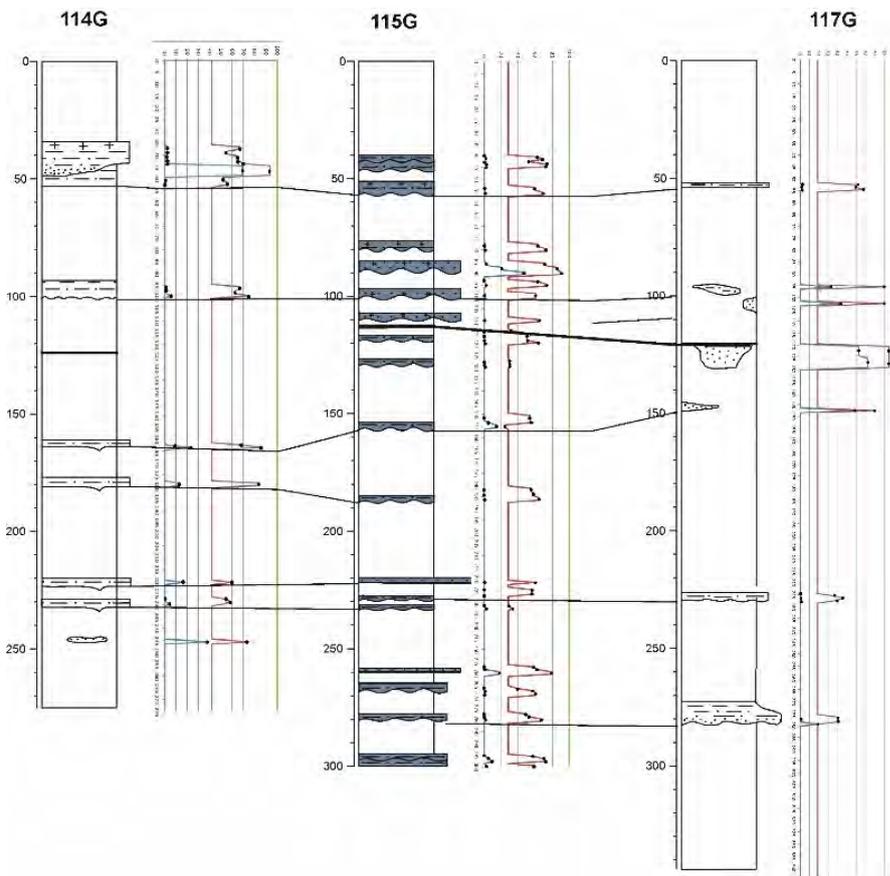
Положение точек донного пробоотбора на профиле профилографа BL15_006PR

На основании геофизических данных станции BL15-113G и BL15-115G (116G) были отобраны в руслах системы, а станции BL15-112G, BL15-114G и BL15-117G – на прирусловых валах. Все турбидитовые прослои, отмеченные в керне станций, отобранных на прирусловых валах (BL15-112G и BL15-114G) коррелируются с более грубозернистыми прослоями в разрезе станции из русловой части (BL15-113G). Кроме этого в колонке BL15-113G, взятой из русла, интервалы турбидитов более многочисленны.



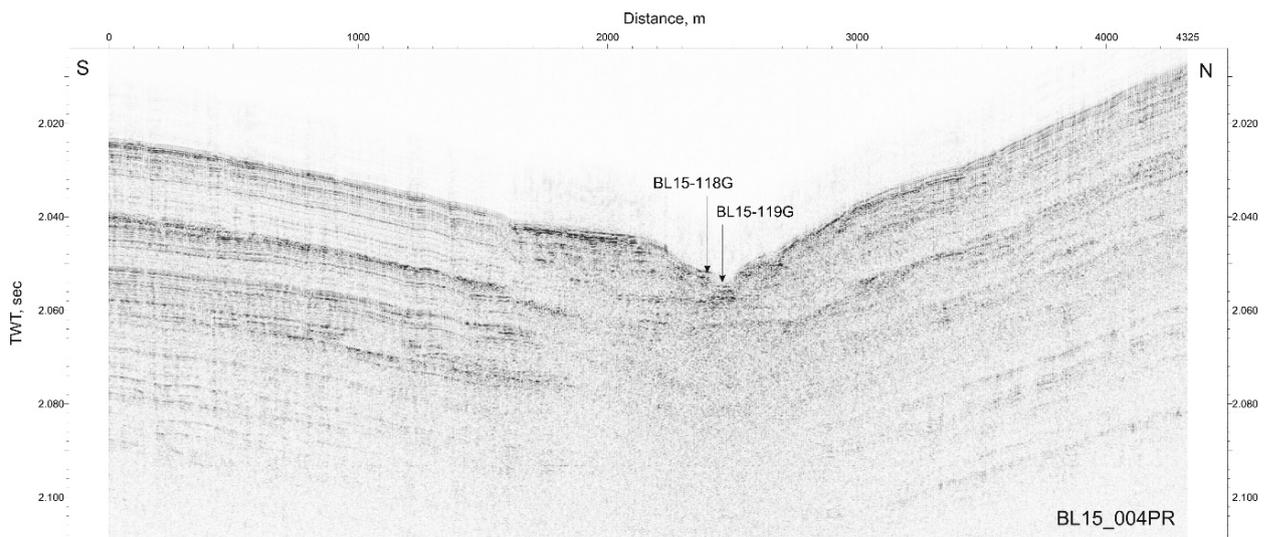
Корреляция колонок BL15-112G, BL15-113G и BL15-114G

Аналогичные закономерности наблюдаются для разрезов BL15-115G (русло) и BL15-117G, BL15-114G (прирусловые вала).

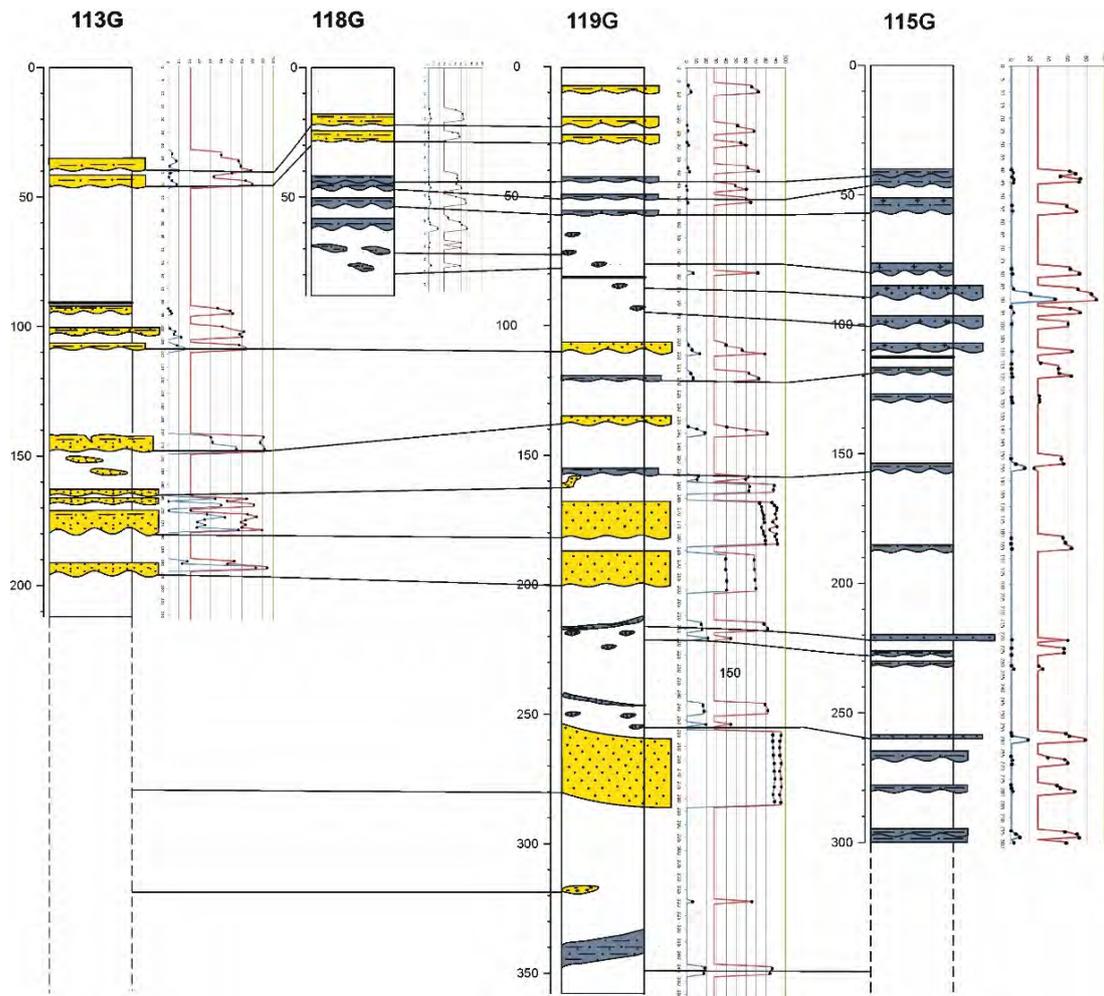


Корреляция колонок BL15-114G, BL15-115G и BL15-117G

В восточном направлении, русла, узученные станциями BL15-113G и BL15-115G, сходятся в единый канал. Интересно провенсти корреляцию отложений, накопившихся выше и после слияния русел. Для этого из единого русла были отобраны станции BL15-118G и BL15-119G. Анализ разрезов показал, что мутьевые потоки могли сходить, попеременно используя то одну, то другую систему.

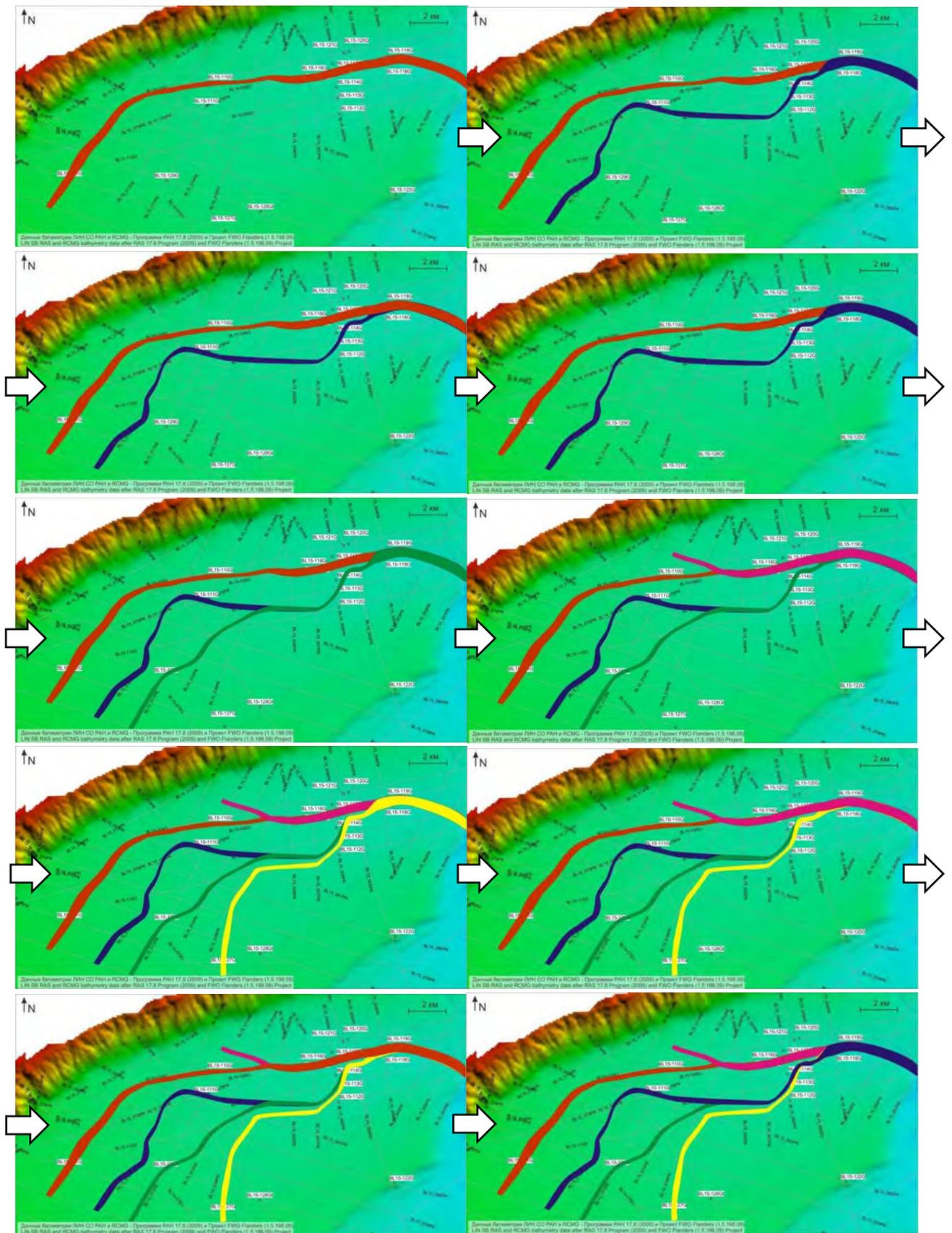


Положение точек донного пробоотбора на профиле BL15_004PR



Корреляция колонок BL15-113G, BL15-115G, BL15-118G и BL15-119G

В результате выполненной корреляции можно сделать вывод о том, что к каньону Хурай материал поступает из нескольких источников. Непосредственно перед каньоном наблюдается слияние двух основных русел в одно, центр долины становится более выраженным, нет мелких сопутствующих каналов. Эти русла являются, безусловно, основными поставщиками терригенного материала системы на этом участке. Одно из русел пролегает в тальвеговой части долины и сильно смещено в сторону уступа. Второе русло почти прижато к склонам котловины и располагается на полого наклонённом склоне долины. Так как русла располагаются на разных гипсометрических уровнях, не исключено, что по отдельным каналам может осуществляться «переброска» части материала между руслами. Материал к этим руслам приходит из проксимальной части системы, которая характеризуется пологим однонаправленным уклоном дна в сторону центральной части котловины. На этом участке развивается система многочисленных, но весьма скромных в размер. После анализа всех данных построена карта современных каналов системы Хурай озера Байкал и выполнена реконструкция последовательности активности русел в системе на основании результатов корреляции турбидитовых прослоев в отобранных колонках.



Активность русел системы Хурай с течением времени

Неотектонические движения и субаквальное оползание в Белом море: их результат и отражение в строении современных донных накоплений и в геофизических полях

Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю., Корост Д.В.

Изучение современных геодинамических движений эндогенной и экзогенной природы на дне шельфовых морей имеет большое значение в связи с большими планами по строительству буровых платформ, трубопроводов, прокладке кабелей и пр. Эта проблема актуальна не только для зон с известным активным неотектоническим режимом, но и для платформенных или внутренних морей европейской части России. Изыскания вдоль трасс линейных инженерных сооружений свидетельствуют о нарушенном залегании донных осадков. Проявления малоамплитудных движений различного знака фиксируются и на данных высокоразрешающих гравиметрических исследований. Одним из методов изучения строения рыхлого покрова шельфовых морей является сейсмоакустическое профилирование, различные модификации которого давно стали одним из основных методов инженерно-геологических изысканий на шельфе. При проведении Государственного мониторинга состояния шельфа в Белом море использовались две системы сейсмоакустической аппаратуры: профилограф с магнитострикционным излучателем и сейсмоакустическая станция с излучателями «Спаркер» и «Буммер». Возможности аппаратуры позволяют выполнять:

- стратификацию осадочных слоев с разрешающей способностью до 15 см при глубине зондирования грунта до 340-40 м и глубине места до 400 м;
- послойное определение коэффициента отражения и других акустических характеристик донных осадков; измерение текущей глубины места;
- формирование массивов измеренных глубин слоев с указанием типа грунта и привязкой к текущим координатам, поступающим от индикатора GPS, необходимых для составления карт и разрезов донного грунта;
- архивирование и воспроизведение первичной информации рабочих галсов.

Использованная сейсмоакустическая аппаратура позволяет в условиях Белого моря изучать практически весь разрез четвертичных отложений, до кристаллического фундамента. Работы выполнялись в Кандалакшском заливе, с базы ББС МГУ, частично в рамках практики студентов-геофизиков, которые работали непосредственно с аппаратурой и принимали участие в обработке полученных данных. Профилирование проводилось на 2-х основных полигонах: кутовая часть Кандалакшского залива (т.н. Кандалакшские шхеры) и в проливе Великая Салма, отделяющем остров Великий от материка. Использование двух типов сейсмоакустической аппаратуры позволило получить качественно новый объем информации о строении четвертичного покрова, а также проявлениях геодинамических движений на морском дне.

Новые данные были получены в проливе Великая Салма. Глубины здесь варьируют от 0 до 120 м. Вдоль северного берега (южное побережье острова Великий) протягивается узкая пологая поверхность подводного берегового склона, сменяющаяся крутым склоном. Южная часть пролива сформирована цепочками островов и подводных банок с крутыми склонами. На сейсмограммах четко выражен ступенчатый склон. Ступени имеют ширину до 100-200 м, а высота уступов достигает 30 м. Полученные данные свидетельствуют о гравитационной природе этих блоков. Информация о характере распределения донных отложений была получена с помощью профилографа. На геоэхограммах отчетливо видно, что на всех выровненных площадках лежит достаточно мощный (до 10 и более метров) слой последниковых (видимо большей частью голоценовых осадков). При

этом классическая «морена», опознаваемая по хаотическому типу записи и резко проявленному отражающему горизонту, часто отсутствует. Характер залегания осадков четко свидетельствует о том, что накопление донных отложений происходило после формирования выровненных поверхностей. При этом интересно, что собственно в тальвеге ложбины, которую и занимает современный пролив, практически отсутствует сколь-либо выраженный слой голоценовых осадков, а морское дно выполнено грядами хаотически сложенных донных осадков. Практически лишенными донных отложений оказались и верхние части обоих склонов. Большая часть выделенных образований представлена, вероятно, оползневыми телами. Формирование оползней происходило на разных этапах позднего неоплейстоцена-голоцена. При этом сам процесс перемещения оползневых тел был вызван, по-видимому, сейсмическими толчками. В данном регионе известны многочисленные сейсмодислокации, выявленные на берегах, причем в них часто присутствует совершенно свежий щебнистый и дресвяный материал, сформировавшийся при дроблении пород во время сейсмического толчка.

Проведенные сейсмоакустические работы в 2010 году в вершине Кандалакшского залива позволили выделить узкие грабенообразные линейные депрессии с глубинами более 60 м (на фоне средних глубин в 12-15 м). Был сделан вывод о тектонической природе этих ложбин, тем более, что многие из них продолжались на островах в виде депрессий, а на субвертикальных скалистых обрывах часто фиксировались тектонические зеркала скольжения, сопровождаемые зонами ожелезнения. Важно, что по данным сейсмоакустического профилирования удалось установить, как на склонах вышеупомянутых глубоких тектонических депрессий, так и в более мелководных и широких впадинах небольшие оползневые тела.

Очень важная информация была получена при анализе геоэхограмм профилографа. В проливе Великая Салма удалось установить, что на всех субгоризонтальных поверхностях (верхних площадках оползневых тел) отмечены достаточно мощные толщи относительно молодых (по крайней мере, голоценовых) осадков. Они выделяются на геоэхограммах полупрозрачным рисунком с тонкой субгоризонтальной слоистостью. При этом в тальвеге долины, т.е. батиметрически наиболее низкой части донного рельефа, какой-либо покров молодых осадков отсутствует. У подножья крупных ступенчатых тел часто фиксируется волнистость, которая может быть интерпретирована как складки нагнетания, возникающие в фронтальной части оползневых тел. Не менее интересными оказались и материалы геопрофилирования в кутовой части Кандалакшского залива. Здесь при пересечении узких депрессий часто фиксировался мощный выход газов. Проведенные геохимические исследования показали, что, во-первых, во вмещающих осадках действительно содержится большое количество газов метановой природы. А, во-вторых, в донных осадках часто содержится повышенные концентрации таких тяжелых металлов, как медь и свинец, а также ПАУ (полиароматические углеводороды). По нашему мнению, все эти факторы могут указывать только на эндогенную природу как самих впадин, так и газофлюидов, проникающих через открытые тектонические трещины. Таким образом, геодинамические современные движения привели к активизации древних разломов, прежде всего, северо-западного простирания, а также трещин оперения, азимуты которых имеют достаточно широкий разброс. Они не только обусловили возникновение грядового рельефа в описываемом участке Кандалакшского залива, морфологическим отражением которого и являются Кандалакшские шхеры, но и привели к активизации гравитационное перемещение осадочных масс в виде оползней и, возможно, суспензионных потоков малой плотности, которые описаны ранее в глубоководной части Кандалакшской впадины. Оползание столь огромных масс осадочного материала под водой привело к появлению еще одного мощного экзогенного фактора: а именно, взмучиванию илистых частиц. Оно происходило как при входе оползня в поле осадков, так и сопровождало движение самих гравитационных масс. После завершения гравитационного процесса (или активной

неотектонической фазы, состоящей из серии сейсмических толчков и, соответственно, формирования серии оползневых образований) начиналось постепенное осаждение взвешенного материала, который и сформировал те локальные, но мощные осадочные тела, которые видны на геоэхограммах.

Полученные данные имеют большое практическое и теоретическое значение: доказано, что даже в платформенных условиях имеет место достаточно активное развитие современных геодинамические движения, которые существенно влияют на современный морфолитогенез. Особенно важно, что существует, по крайней мере, два фактора, которые, несомненно, можно отнести к геологическим опасным явлениям: неотектонические колебания поверхности дна и сопряженное с ними гравитационное перемещение осадков вниз по склону. Оба эти фактора могут существенно влиять на прочность построенных на дне моря инженерных сооружений, что следует учитывать при их проектировании.

Строение глубоководной осадочной системы Хурай (оз. Байкал) по данным сейсмоакустического профилирования

Соловьева М.А., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М.

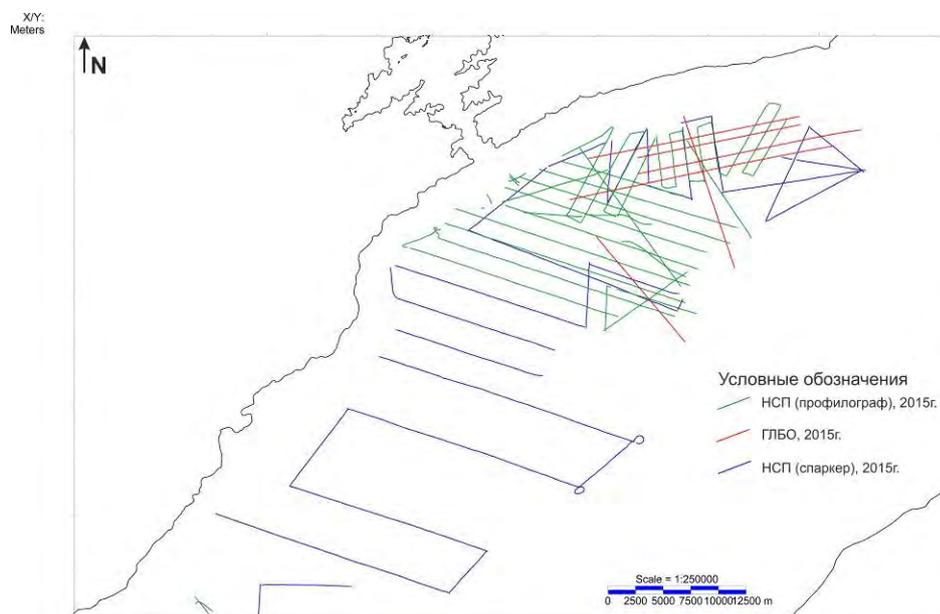


Рисунок 1. Схема фактического материала. Цветными линиями обозначены сейсмоакустические профили с указанием методики исследований различных лет

В 2017 году, в экспедиции Class@Baikal-2017 на полигоне «Хурай» было сделано 27 профилей суммарной длиной сейсмической записи около 285 км. Полученные материалы можно разделить на 3 блока, согласно задачам исследований на разных участках осадочной системы.

1. Первый блок. В первую очередь были проведены работы в дистальной части системы, целью которых являлось изучение лопастей конуса выноса. Здесь было сделано 5 профилей различного направления. Основной задачей при интерпретации данного материала является обнаружение захороненных лопастей на различных глубинах и восстановление истории развития дистальной части осадочной системы.

На полученных сейсмоакустических данных наблюдается чрезвычайно сложное строение разреза. Оси синфазности сильно варьируют по амплитуде, волновая картина на коротких расстояниях меняется от параллельно-слоистой до волнообразной и хаотической. Во многих местах наблюдаются расходящиеся оси синфазности, образующие линзовидные тела с хаотической волновой картиной, характеризующиеся очень низкой амплитудой отражений от внутренних рефлекторов. Геометрия таких линзовидных тел практически одинаковая: подошва относительно ровная, чаще всего горизонтальная или антиформная. Кровля сильновыпуклая вверх, иногда неровная. Обнаружение таких тел в зоне развития дистальной части глубоководной осадочной системы позволяет предположительно назвать их погребёнными лопастями конуса выноса (Рисунок2).

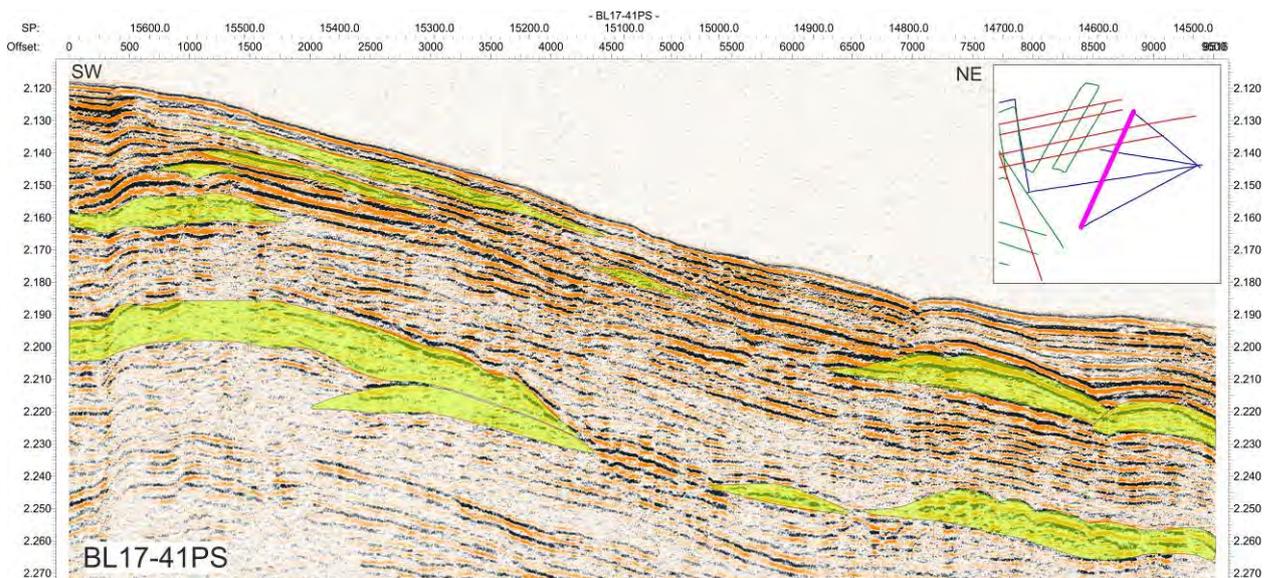


Рисунок 2. Фрагмент профиля BL17-41PS с выделенными линзовидными телами, предположительно являющимися древними лопастями конусов выноса

Вверх по разрезу количество и размерность линзовидных тел уменьшается, что свидетельствует о разной активности системы в прошлом и в настоящее время (Рисунок3). Отсутствие аналогичных отложений на поверхности дна позволяет предположить, что в настоящее время осадочная система не активна. Эти же предположения подтверждаются результатами донного пробоотбора, так как во всех колонках отсутствуют современные турбидиты.

В продольном направлении (относительно положения каньона) наблюдаются маломощные, полого наклонные тела, залегающие непосредственно друг на друге и смещающиеся в сторону каньона. Их картирование позволит восстановить историю развития системы и сделать предварительный вывод о постепенном уменьшении количества переносимого вещества.

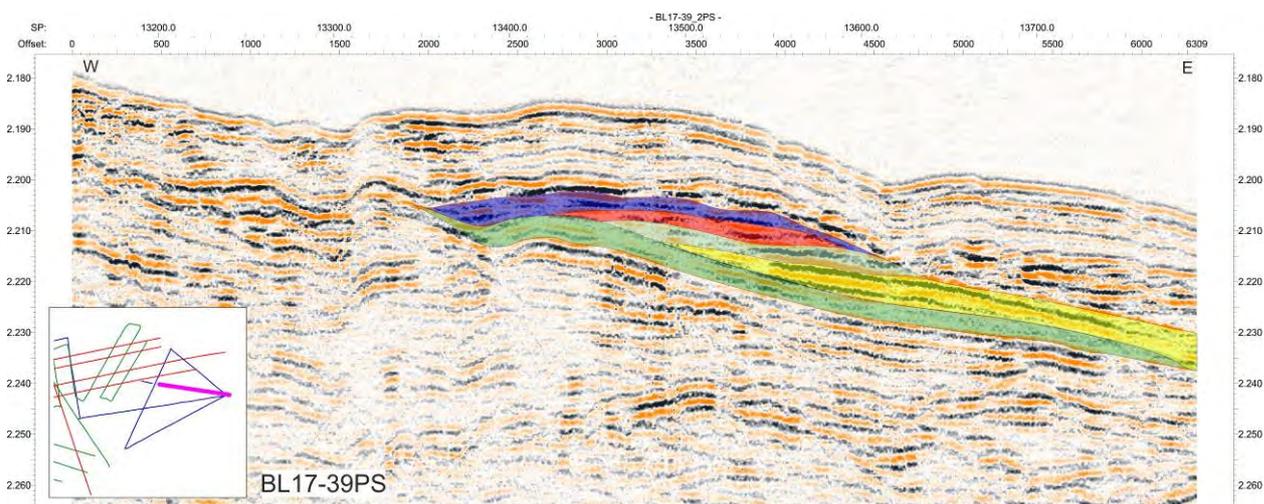


Рисунок 3. Фрагмент профиля BL17-39PS с указанием последовательно формировавшихся лопастей конусов выноса

2. Второй блок профилей расположен в центральной части осадочной системы, где во время предыдущих экспедиций был получен и проанализирован значительный объем сейсмоакустического материала. На наиболее интересных и неясных участках были повторены профили с использованием более глубокой и низкочастотной методики.

Объектами исследований являлись обнаруженные на данных профилографа палео-каналы, русла с поддонной границей типа HARP, предположительные разломы, акустически прозрачные тела на дне неясного происхождения и слабовыраженные в рельефе дна предположительные каналы (Рисунок4). Полученные материалы в дальнейшем будут подвергнуты детальному анализу.

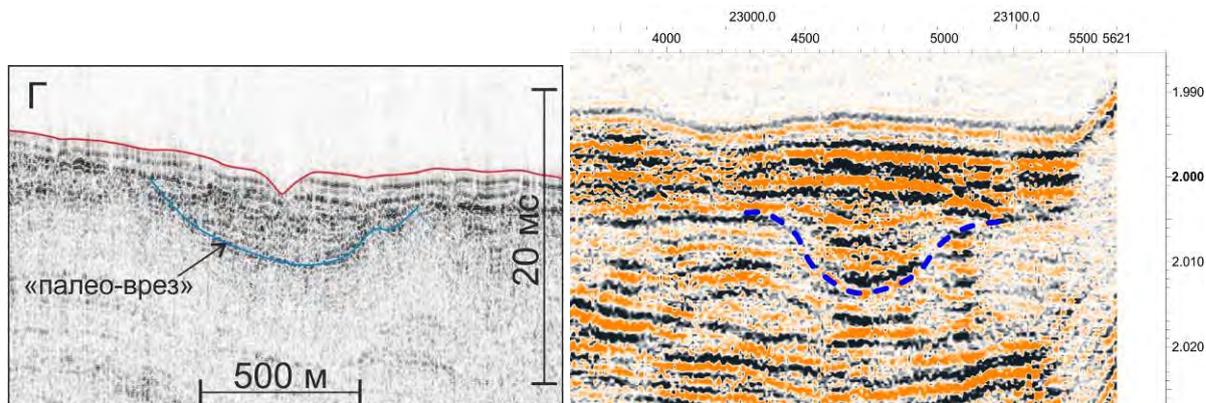


Рисунок 4. Погребённые палео-каналы на данных профилографа (слева) и спаркера (справа). Расстояние между профилями 500 м

Экспресс-интерпретация сейсмоакустических разрезов позволила обнаружить значительное количество погребённых палео-каналов, которые намного крупнее современных. Они прослеживаются на глубинах до 70 м, что также свидетельствует о длительном и активном развитии осадочной системы.

3. Третий блок профилей располагается в проксимальной части осадочной системы. На этом участке не имеется никакой априорной геофизической информации, поэтому планирование профилей основывалось на батиметрических данных и представлениях о генеральном направлении массопереноса. Полигон исследований 2014-2016 годов был значительно расширен на юго-восток параллельными профилями, увеличившись по площади почти вдвое.

На полученных сейсмоакустических профилях можно выделить каналы различной глубины и ширины. Часть из них удастся проследить по батиметрической карте, однако геофизические данные позволяют обнаружить каналы, практически не выраженные в рельефе дна и не определяемые по батиметрической карте. Однако для уверенного картирования таких небольших каналов надо существенно уплотнить сетку профилей.

Батиметрические данные позволяют проследить крупный канал, спускающийся с Кукуйской гривы и сразу разветвляющийся на несколько более мелких у её подножия. Наиболее крупные каналы уходят в восточном и северо-восточном направлении, оказываясь на опущенном крыле тектонической ступени. Однако часть каналов простирается в северном направлении и, вероятно, соединяется с закартированной нами осадочной системой Хурай.

Пробоотбор в обнаруженных каналах показал наличие турбидитовых прослоев и песков, свидетельствующих о том же генетическом происхождении, что и система Хурай. Кроме того, прослой турбидитов в кернах перекрыт голоценовыми отложениями, что свидетельствует об отсутствии современного массопереноса по данным руслам. Аналогичными характеристиками обладает система Хурай. Таким образом, можно предположить, что каналы, выходящие из Кукуйского каньона, и долинно-русловой комплекс Хурай являются частями единой осадочной системы, главным источником материала в которой является река Селенга (Рисунок5).

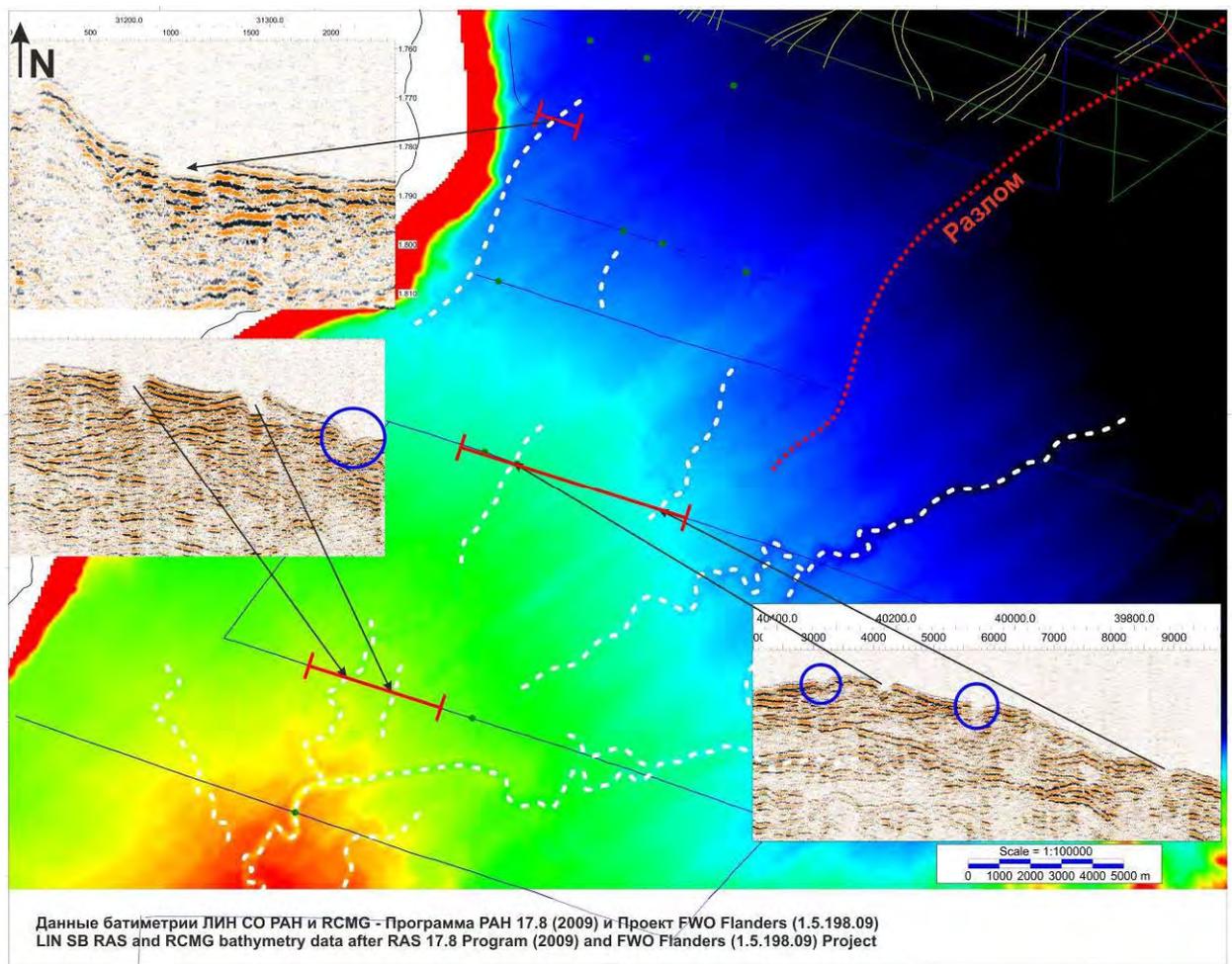


Рисунок 5. Положение каналов (белые пунктирные линии), прослеживаемых на батиметрической карте, и их отображение на сейсмоакустических разрезах. Синими кругами указаны каналы, не диагностируемые по батиметрическим данным.

Clathrated dissociation and shallow mud volcanism: examples from Lake Baikal

Khlystov O.M., Poort J., Minami H., Hachikubo A., Yamashita S., Mazzini A., Khabuev A.V., Vorobeva S.S., De Batist M., Naudts L., Akhmanov G.G., Chenskiy A.G., Gubin N.A.

Baikal is the only, so far known, freshwater basin with sediments that contain gas hydrate accumulations, some of which are associated with mud volcano activity. More than 15 mud volcanoes have already been identified in different areas of Lake Baikal, but the formation process and source depth are still disputed due to a lack of conclusive evidences. We discuss a set of geological and geophysical data from the recently discovered hydrate-bearing Akadem mud volcano complex on the Academician Ridge. Results allowed for the first time a concrete estimate of the source depth of the mobilized fluids. Analysis of diatom skeletons in the mud breccia revealed that the oldest present diatom is *Cyclotella Iris*, a diatom species that was previously detected in the borehole section of the nearby BDP-98 and is characteristic for a small age interval of 4.8-5.6 Ma. Using biostratigraphic correlation and seismostratigraphy, we estimate that this layer is located at the subbottom depth interval of 210-290 m below the mud volcano area. Calculations using the high heat flow measurements at mud volcano sites indicate that the original background gas hydrate stability zone was shifted upwards to between 123-140 m bsf. These findings emphasize the hypothesis of a genetic association between the expulsion of mud volcanic breccia and gas hydrate dissociation. Indeed, higher heat flow in the mud volcano province proves the existence of rising warm fluid that were able to destabilize the hydrates in the hydrate stability zone. This mechanism is rather atypical for mud volcano formation, but it does explain some of the particular features of Baikal mud volcanoes, such as the absence of lithified mud breccia clasts.

We report the discovery of a new mud volcano field on the Academician Ridge in Lake Baikal. We named this field the “Akadem mud volcano complex”. Combining a multidisciplinary approach, we estimate the roots depth of the mud volcanoes populating the field. Further we propose a formation model that is consistent with the acquired data.

The common mud volcano characteristics observed at the Akadem mud volcano complex are similar to other mud volcanoes of Lake Baikal (e.g. type of mud breccia and heat flow values) suggesting that our scenario of “hydrate destabilization trigger” can be expanded to the other mud volcano areas in the lake.

This work was supported by the Russian-French Bilateral Project SHY@Baikal RFBR №16-55-150005/ PRC CNRS 1072

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----------|
| Аннотация | 1 |
| ПРОГРАММА | 4 |
| Результаты геолого-геофизических исследований Class@Baikal в районе грязевого вулкана Большой (озеро Байкал) | 9 |
| Балакин И.С., Ахманов Г.Г., Корост С.Р., Мятчин О.М., Хлыстов О.М..... | 9 |
| EasyXTF: новая программа просмотра и обработки файлов ГБО в формате XTF | 16 |
| Безрукин А.Г. | 16 |
| Состав и происхождение углеводородных флюидов в донных осадках озера Байкал | 18 |
| Видищева О.Н., Карамова Г.Ф., Кислицына Е.В., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М. | 18 |
| Результаты геолого-геофизических работ Class@Baikal-2016 на южном борту южной котловины озера Байкал | 20 |
| Воробьев Р. В., Корост С. Р., Ахманов, Г. Г., Хлыстов, О.М. | 20 |
| Предварительные результаты микротомографических исследований колонок донных отложений, отобранных в рейсах Class@Baikal: типизация осадков озера Байкал | 31 |
| Гафурова Д.Р., Кудяев А.А., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М. | 31 |
| Сейсмоакустические исследования на акватории озера Байкал: методы и аппаратура экспедиции Class@Baikal-2017 | 34 |
| Ефремов В.Н., Росляков А.Г., Соловьева М.А., Буланова И.А., Лёвочкин А.А.,..... | 34 |
| Состав и происхождение газов в донных отложениях центральной и южной котловин озера Байкал | 39 |
| Карамова Г.Ф., Видищева О.Н, Кислицына Е.В, Ахманов Г.Г, Хлыстов О.М. | 39 |
| Набортные газо-геохимические работы экспедиции TTR-Class@Baikal-2017 | 41 |
| Кислицына Е.В., Владимиров А.А. | 41 |
| Типы отложений глубоководной осадочной системы Хурай по результатам донного пробоотбора в экспедиции Class@Baikal-2017 | 43 |
| Корост С.Р., Внучков Д.А., Беляева А.А., Соловьева М.А., Ахманов Г.Г..... | 43 |

| | |
|---|-----------|
| Особенности строения приповерхностных донных отложений озера Байкал и их влияние на стабильность склонов: на примере Красноярского субаквального оползня | 48 |
| Кудаев А.А., Корост С.Р., Беляева А.А., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М. | 48 |
| Результаты судовых геотехнических лабораторных работ экспедиции Class@Baikal-2017 | 53 |
| Локтев А.С., Кудаев А.А., Мятчин О.М., Ахманов Г.Г. | 53 |
| New equipment and preliminary results of the first underwater video survey run during the Class@Baikal expeditions | 57 |
| Mazzini A., Akhmanov G.G., Myatchin O.M., Khlystov O.M. | 57 |
| Хроника Class@Baikal: новые подходы, реализуемые в новом проекте Международной Программы ЮНЕСКО-МГУ «Обучение-через-исследование (Плавучий Университет)» | 61 |
| Несмеянова Е.М., Бубнова С.Ю., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М. | 61 |
| и команда проекта Class@Baikal | 61 |
| Mud volcano formation dynamics: an overview | 62 |
| Mazzini A., Etiope G. | 62 |
| Seeps and mud volcanoes of the Lake Baikal: | 64 |
| Poort J., Khlystov O.M., Akhmanov G.G. | 64 |
| Современные отложения конуса выноса Хурай озера Байкал по данным донного пробоотбора в экспедиции Class@Baikal-2015 | 68 |
| Почевалова А.В., Кудаев А.А., Ахманов Г.Г. | 68 |
| Неотектонические движения и субаквальное оползание в Белом море: их результат и отражение в строении современных донных накоплений и в геофизических полях | 76 |
| Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю., Корост Д.В. | 76 |
| Строение глубоководной осадочной системы Хурай (оз. Байкал) по данным сейсмоакустического профилирования..... | 79 |
| Соловьева М.А., Ахманов Г.Г., Хлыстов О.М. | 79 |
| Clathrated dissociation and shallow mud volcanism: examples from Lake Baikal..... | 83 |
| Khlystov O.M., Poort J., Minami H., Hachikubo A., Yamashita S., Mazzini A., Khabuev A.V., Vorobeva S.S., De Batist M., Naudts L., Akhmanov G.G., Chenskiy A.G., Gubin N.A. | 83 |

ДЛЯ ЗАМЕТОК