

## ЛИТОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ АКВАТОРИАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЛИСТОВ R-56–60

Рябчук Д.В., Прищепенко Д.В., Ковалева О.А., Жамойда В.А., Григорьев А.Г., Сергеев А.Ю., Буданов Л.М., Нестерова Е.Н., Дронь О.В.

ФГБУ «ВСЕГЕИ», Санкт-Петербург, Россия

Новые данные о литологии поверхностных отложений прибрежных районов Восточно-Сибирского моря, полученные специалистами ФГБУ «ВСЕГЕИ» в рамках работ по составлению авторского варианта листов R-56–60 Гостгеолкарты-1000/3, позволили существенно уточнить информацию о распределении гранулометрических типов и минеральном составе донных осадков. Рассмотрены основные источники осадочного материала и закономерности осадконакопления Западного (листы R-56–57) и Восточного (листы R-58–60) секторов Восточно-Сибирского моря. Установлено, что важным фактором перераспределения осадочного материала на морском дне, нарушающим закономерности механической дифференциации вещества, является выпаживание дрейфующими льдами поверхности дна до глубин 50 м.

Ключевые слова: *Восточно-Сибирское море, литология донных отложений, ледовое воздействие*

**Введение.** Восточно-Сибирское море относится к самым слабоизученным акваториям Российской Арктики. Отбор проб поверхностных осадков в пределах рассматриваемых листов выполнялся экспедициями НИИГА-ВНИИОкеангеология с 1934 г. по конец 1980х гг. В доступных для анализа отчетных материалах содержится информация о результатах 172 гранулометрических анализов по 139 станциям донного пробоотбора и о 123 станциях, для которых имеется информация о минеральном составе легкой и тяжелой фракций [Семенов, 1961; Кошелева, Яшин, 1999; Яшин, 2000 и др.], исследования минерального состава донных отложений выполнялись ДВО РАН [Дударев и др., 2005; Николаева и др., 2011; 2013 и др.]. Кроме того, в исследуемом районе работали экспедиции ИО РАН. Три пробы поверхностных осадков, отобранные в 69-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (22 августа – 03 октября 2017 г.) были любезно предоставлены ВСЕГЕИ сотрудниками ИО РАН для аналитических исследований. Пять проб были отобраны в пределах листов в 2019 г. в ходе экспедиции «Трансарктика». Задачей данного исследования было создание литологической карты дна акватории и изучение седиментационных процессов прибрежных районов Восточно-Сибирского моря на основе комплексного анализа новых материалов, полученных в 2018–2020 гг. и имеющихся опубликованных и архивных данных.

**Методика исследований.** В 2018 г. в рамках работ по составлению авторского варианта листов R-56–60 Гостгеолкарты-1000/3 ФГБУ «ВСЕГЕИ» проведены морские экспедиционные геолого-геофизические работы на НИС «Иван Киреев» по изучению акватории Восточно-Сибирского моря. Для составления литологической карты дна акватории были использованы результаты гидролокации бокового обзора, многолучевого эхолотирования, донного пробоотбора и подводных видеонаблюдений (на 110 станций). Для отобранных проб были выполнены гранулометрический, минералогический и геохимический анализы. Ситовой анализ 80 проб песчаных отложений и миктитов заключался в просеивании пробы песчаного осадка через набор сит аналитаторной просеивающей машины AS 200 с управлением «g» фирмы Retsch. В ходе анализа (в процессе отмучивания) фракция <0,01 мм собиралась в пластиковые емкости с последующим анализом методом лазерной дифракции. Для 55 образцов поверхностных илов был выполнен гранулометрический анализ с использованием лазерного анализатора

частиц «Микросайзер 201А» (производства «ВА Инстал») методом лазерной дифракции. Минералогический анализ тяжелой фракции шлихов 40 образцов, отобранных в ходе экспедиции 2018 г., выполнен в Центральной лаборатории ФГБУ «ВСЕГЕИ» согласно методическим указаниям МУ №162-2012 НСОММИ ВИМС. Проведен полный полуколичественный минералогический анализ (гранулометрические фракции <0,16 мм, 0,16-0,315 мм и 0,315-0,5 мм) тяжелых фракций неравномернозернистых шлихов рыхлых пород с приближенным определением содержания минералов в %, включая предварительное фракционирование.

Получение максимально детальной батиметрической модели дна имеет принципиально важное значение при литологическом картировании. Для создания точной и детальной батиметрической карты были использованы морские навигационные карты масштаба 1:500 000 с регулярной сетью промеров глубин (организация-составитель карт - «Управление навигации и океанографии министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург». Система координат – Пулково 1942). Навигационные карты (номера 11146, 11148, 11154, 11149, 11153, 11150) покрывают всю акваторию Восточно-Сибирского моря от полуострова Лопатка до пролива Лонга. Прибрежная часть акватории обеспечена картами масштаба 1:200 000; для наиболее глубоководной юго-восточной части листа оцифровка рельефа проводилась с использованием карт масштаба 1:500 000, на которых показаны разряженные изобаты и отметки глубин с шагом около 20 км. В программе ArcGIS оцифрованы точки промеров глубин – 28 558 (7451 точек для карт масштаба 1: 500 000 и 21 107 и точек для карт масштаба 1: 200 000) и изобаты, на основе которых создана база данных для дальнейшей работы с рельефом морского дна. Примеры карт рельефа листов R-59 и R-60 приведены на рис. 1. Для получения дополнительной информации о характере поверхностных донных отложений с батиметрических карт были также оцифрованы данные о типах грунтов (1703 точки).

**Результаты и их обсуждение.** Основными закономерностями осадконакопления западного сектора Восточно-Сибирского моря (листы R-56–57) являются: преобладание в области сноса рыхлых четвертичных отложений, интенсивная абразия и термоабразия берегов, значительное количество поступающего в бассейн седиментации песчано-алевритового и глинистого материала, равнинный и мелководный характер дна, доминирование в гидрологическом режиме ветровых течений, интенсивное переотложение тонкозернистых частиц с выносом их за пределы мелководного шельфа. Значительную роль в формировании поверхностного покрова донных осадков играют алевритовые фракции (среднее содержание фракции 0.01–0.1 мм – 57.3% и 70.9% для листов R56 и R57 соответственно). Основным источником осадочного материала является абразия и термоабразия берегов, а также речной сток р. Индигирка и р. Колыма.

Поверхностный осадочный покров в пределах листа R-56 достаточно однообразен – от береговой линии в сторону моря последовательно развиты поля песчаных алевритов, алевритов и пелитовых алевритов. Поверхность локальных подводных поднятий также сложена алевритовыми отложениями. Отложения, слагающие реликтовые подводные бары (преимущественно слабо дифференцированные миктиты) на поверхности дна, судя по имеющимся данным, не обнажаются, поверхность их полностью перекрыта пелитовыми алевритами. Отложения ложбин характеризуются более высоким содержанием пелитовой фракции и с некоторой долей условности обозначены на карте как поля алевритовых пелитов.

В пределах листа R-57 доминирующее положение также занимают пелитовые алевриты (в северной части листа) и алевриты (Колымский залив, акваториальная периферия Медвежьих островов). Отложения устьевой части и конуса выноса р. Колымы представлены песками. Мористее выделяется широкая полоса алеврито-песчано-пелитовых и песчано-пелито-алевритовых миктитов. Понижение рельефа в палеодолине р. Колымы заполняют пелитовые алевриты и алевритовые пелиты. На площади листа R-57 выявлены локальные поля развития железомарганцевых конкреций.

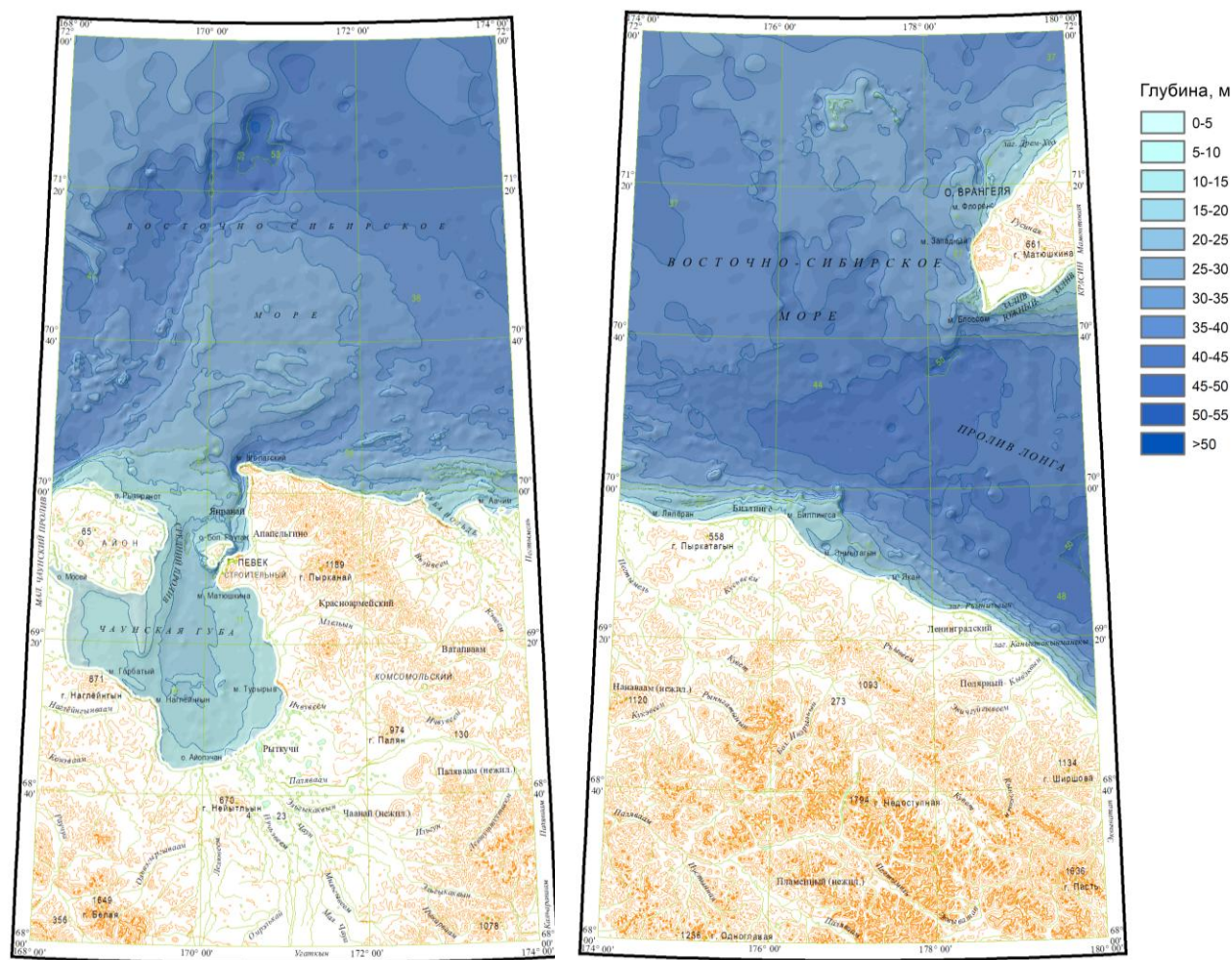


Рис. 1. Модель рельефа дна Восточно-Сибирского моря (лист R-59 и R-60).

Дно акватории Восточно-Сибирского моря в пределах листов R-58–60 относится к его восточному сектору, характерными чертами которого является неоднородность геологического строения областей сноса и достаточно контрастный рельеф дна, что определяет значительно большее разнообразие гранулометрических типов донных отложений и мозаичность их распределения. Основными источниками поступления осадочного материала в акваторию является абразия берегов и размыв дна, а также речной сток. Наличие в пределах приморской суши эоловых образований позволяет предположить, что эоловые процессы также вносят свой вклад в общий баланс осадочного вещества. Особенностью восточного сектора Восточно-Сибирского моря является воздействие на седиментационные процессы теплых тихоокеанских вод, поступающих через Берингов пролив и вод атлантического происхождения, поступающих из Северного Ледовитого океана. В связи с этим в пределах листа выделяются зоны слабокремнистых осадков, картируемые по наличию аутигенной кремнекислоты (до 5–10%), что является весьма высоким показателем для арктических морей.

Преобладающим типом поверхностных отложений дна в пределах листа R-58 являются илы пелитово-алевритового и алевро-пелитового состава. В то же время, выделенные при картировании на относительно поднятых участках дна осадки, обогащенные песчаными частицами (песчаные алевриты, миктиты, пески) свидетельствуют о наличии локальных зон неустойчивого осадконакопления и (по периферии Медвежьих островов) подводного размыва, где на поверхности дна развиты песчаные и алевро-песчаные отложения. Распределение наиболее тонкозернистых

(алеврито-пелитовых и пелитовых) илов контролируются рельефом дна и приурочены к палеодолине р. Колымы, ложбинам, разделяющим реликтовые подводные бары в западной части листа и понижению рельефа дна в западной части листа. Локальные зоны размыва выделяются на прибрежных мелководьях к западу от м. Большой Баранов и по периферии м. Бараниха. На площади листа установлены отдельные находки железистых конкреций, не образующие крупных полей.

В пределах листа R-59 наблюдается четкий батиметрический контроль залегания алеврито-пелитовых и пелитовых илов, приуроченных к палеодолине р. Колымы и вытянутому понижению рельефа в восточной части листа. Эти осадки характеризуются крайне незначительной мощностью (2–3 см), представлены разжиженным окисленным наилком. Наибольшие площади дна акватории (на относительно батиметрически приподнятых участках дна) занимают поля пелитовых алевритов. Кроме того, локальные поля алевро-пелитовых илов по данным гранулометрического анализа покрывают поверхность дна локальных понижений рельефа морских аккумулятивных равнин на выходе из Чаунской губы. Зоны подводного размыва картируются локально вдоль материкового берега. Пелитовые пески и миктиты пространственно связаны с зонами преобладания процессов волнового и криогенного выветривания абразионно-денудационных берегов, либо с вытаиванием материала в результате ледового разноса. В Чаунской губе прибрежные осадки представлены грубообломочными отложениями и песками, далее в сторону центральной части губы они последовательно сменяются песчаными алевритами, алевритами и пелитовыми алевритами. По периферии острова Айон поверхность дна покрыта преимущественно песчаными алевритами. Осадочный покров прибрежных участков дна характеризуется наиболее мозаичным строением. Во вдольбереговой полосе выделяются поля грубообломочных и песчаных отложений. Мористее развиты миктиты различного гранулометрического состава, пелитовые пески, алевриты. Донные отложения губы Нольде представлены песками и песчаными пелитами.

Определенный батиметрический контроль наблюдается и в распределении типов поверхностных осадков в пределах листа R-60 – от грубообломочных и песчаных по периферии материкового побережья и берегов о-ва Врангеля до преимущественно алевритовых (на основной части листа) и алеврито-пелитовых в депрессиях рельефа дна. Песчаные отложения (мелко- и среднезернистые пески) встречаются локально и приурочены к высокоэнергетическим условиям придонной среды (в пределах листа – в зонах волновой сепарации частиц на подводном береговом склоне). Достаточно широким распространением пользуются поля алевропелитовых и пелитовых илов, приуроченные к наиболее глубокой центральной части впадины донного рельефа, пространственно связанной с прогибом Лонга и ложбиной СЗ-ЮВ направления (западная часть листа R-60). Кроме того, локальные поля алевро-пелитовых илов покрывают поверхность дна локальных понижений рельефа морских аккумулятивных равнин у подножия подводного берегового склона к западу от м. Биллингса. Пелитовые алевриты являются преобладающим типом донных отложений северной части листа. Исключительным разнообразием характеризуется поверхностный осадочный покров подводного берегового склона к востоку от м. Биллингса. Распределение донных отложений здесь весьма мозаично, выделяются осадки широкого гранулометрического спектра (от гравийно-галечных отложений до пелитовых песков) (Рис. 2). Для подводных склонов материка и острова Врангеля характерен фациальный переход от грубообломочных отложений к пескам и миктитам.

Породообразующими минералами алевритовой фракции на всей исследуемой площади являются кварц и полевые шпаты. Рентгенофазовый анализ алевропелитового ила показал, что глинистые минералы (смешанослойные-хлорит-иллит) составляют 33.4%, кварц – 32.4%, полевые шпаты – 29%. Песчано-алевритовые гранулометрические разности отнесены к полевошпат-кварцевому вещественному типу, преимущественно алевро-пелитовые – к кварц-полевошпатовому. В пределах палеодолины р. Колымы выделяются

локальные зоны монтмориллонит-хлорит-иллитовых илов, в пределах палеодолин (локально) – монтмориллонит-хлорит-иллитовые, по периферии м. Шелагский – кварцевые граувакки [Кошелева, Яшин, 1999].

По результатам районирования поверхностных донных осадков по содержанию глинистых минералов, выполненного ТОИ ДВО РАН [Дударев и др., 2005] площадь листа R56-57 отнесена к Оягосско-Колымскому участку, где содержание иллита варьирует от 53 до 64%, хлорита – от 22 до 58%, смектита – от 1 до 24%. Площадь листа R-58 относится к Колымско-Чаунской зоне, характеризующейся наибольшей изменчивостью соотношений глинистых минералов. Содержание как иллита, так и хлорита в донных отложениях варьирует от 22 до 58%, смектита – от 1 до 24%.

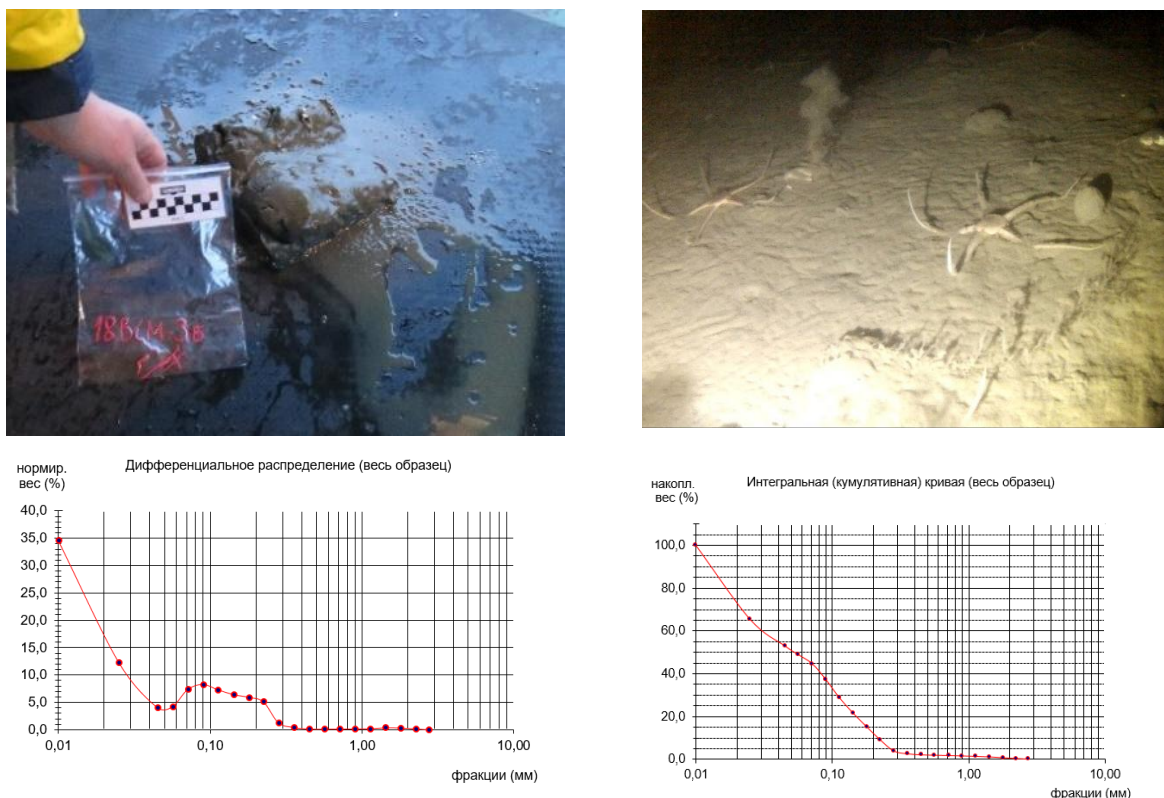


Рис. 2. Фото образца, подводное фото грунта и гранулометрические параметры песчано-пелитово-алевритовых миктитов станции 18-ВСМ-3.

Выход тяжелой фракции шлиха в осадках в открытой части акватории изменяется в интервале от 0.4 до 8%. Высокий выход тяжелой фракции от 15% до 28% характерен для прибрежных мелководий восточной части исследуемой площади, на расстоянии от берега менее 8–15 км и глубинами не более 10–25 м. Доминирующими минералами тяжелой фракции являются эпидот-цоизит, амфиболы, черные рудные (ильменит, магнетит), обыкновенная роговая обманка (составляющие от 62,8% в западной части исследуемой площади до 67.5% в восточной). Встречаются также моноклинные пироксены, апатит, циркон, лейкоксен, хлорит, гранат, титаносодержащие минералы, гидроокислы железа (рис. 3). Наиболее разнообразным минеральным составом характеризуются прибрежные фации отложений на участке от о-ва Айон до м. Якан (рис. 4). К северо-западу от о-ва Айон в составе тяжелой фракции доминируют ильменит (29%), эпидот (23.8%), ортопироксен (21.7%), алмадин (5.9%). Присутствуют магнетит, циркон, моноклинные амфиболы, диопсид, пирит, апатит, сфен, лейкоксен, гематит.

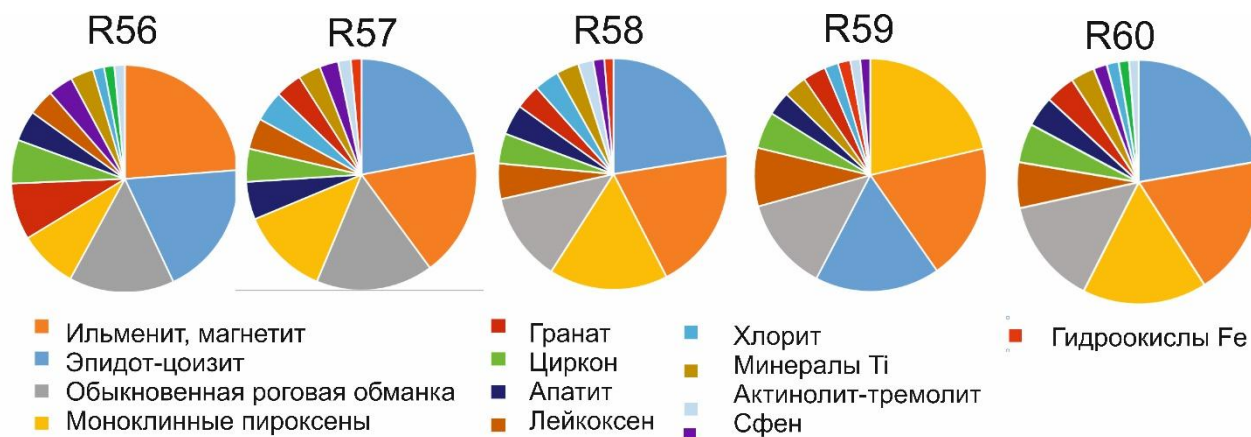


Рис. 3. Средние содержания минералов тяжелой фракции в поверхностных отложениях Восточно-Сибирского моря (листы R-56–60).

Пелитовые пески, отобранные на входе в Чаунскую губу (к северу от о-ва Б. Роутан, напротив устья р. Апапельгын), характеризуются преобладанием в составе тяжелой фракции моноклинных амфиболов (46.1%), апатита (28.7%), циркона (9.3%) и ильменита (6.5%). Турмалин присутствует в количестве 3%, ортопироксен – 2.3%, циркон и диопсид – 1.4 и 1.3% соответственно, в количестве менее 1% установлены алмадин, касситерит, магнетит, биотит. В образцах, отобранных по периферии м. Шелагский доминирует биотит (53.3–75.3%), в количествах от 5 до 10% установлены моноклинные амфиболы, авгит, ильменит, сидерит; от 1 до 5% - ромбические пироксены, алмадин, эпидот, гематит, турмалин; менее 1% - пирит, диопсид, сфен, магнетит, циркон.

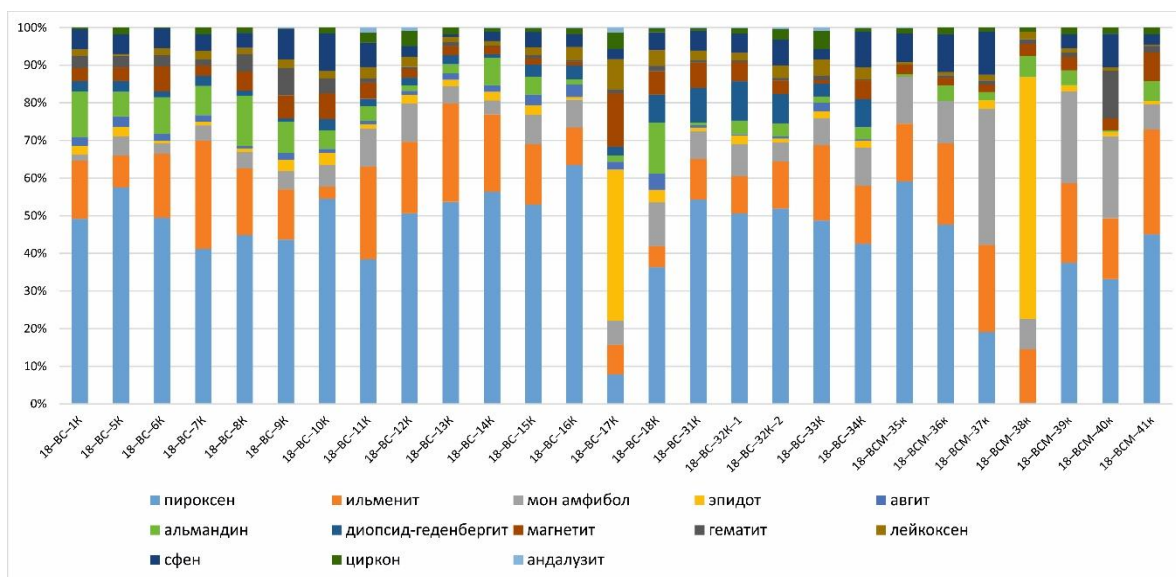


Рис. 4. Содержание минералов тяжелой фракции в образцах прибрежных отложений листа R-60

Отложения, отобранные на подводном береговом склоне к востоку от м. Шелагский характеризуются наличием ортопироксенов, моноклинных амфиболов и ильменита в количестве от 13 до 25%, эпидота, биотита и диопсида – от 8 до 13%. Содержание обломков пород, турмалина, гематита, алмадина варьирует в пределах от 5 до 8%; апатита, сфена, магнетита, циркона, известняка, лейкоксена – 1-3%. В прибрежной зоне исключительно высокие концентрации минералов тяжелой фракции отмечаются на двух участках. Первый расположен восточнее мыса Якан, где содержание тяжелой фракции распределено крайне неравномерно и колеблется в интервале от 1 % до 28%. Второй участок расположен в западной части площади, к западу от м. Биллингса до устья р. Пегтымель.

Важным фактором перераспределения осадочного материала на морском дне, нарушающим закономерности механической дифференциации вещества, является выпахивание дрейфующими льдами (торосы, ледовые плотины). Проведенные ВСЕГЕИ в 2018 г. профильные исследования с использованием гидролокации бокового обзора (ГЛБО) и многолучевого эхолотирования показали высокую частоту следов проявления экзарации морского дна. На некоторых участках вся поверхность дна была изборождена бороздами. В среднем, встречаемость борозд составила 5–6 на 1 км. Ширина единичных борозд варьируют в широких пределах: от первых метров до 100 м и более (Рис. 5).

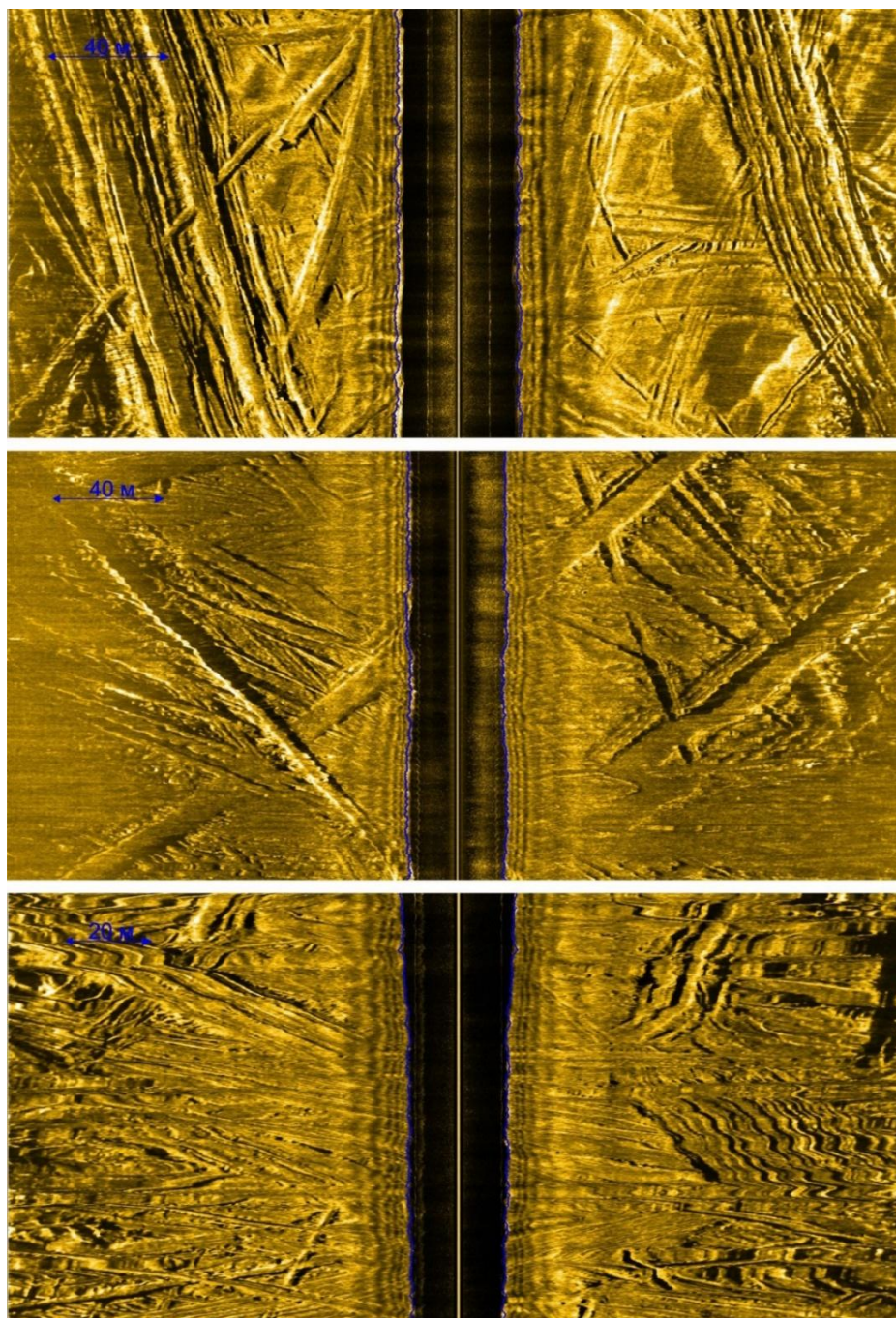


Рис. 5. Следы ледового воздействия на поверхности дна по данным ГЛБО.

Глубина борозд по данным многолучевого эхолотирования и НСАП достигает 3 м, хотя обычно не превышает 1–1.5 м (Рис. 6, 7). Некоторые борозды имеют «свежий» облик с хорошо проявленными бортиками обваловки. Иногда они практически занесены донными осадками. Наиболее часто встречаются относительно широкие борозды или

даже их серии, образуемые как результат перемещения торосов. Существенно реже фиксируется множественный след тонких борозд («царапин»), которые являются результатом воздействия на дно ледяной плотины под напорным воздействием.

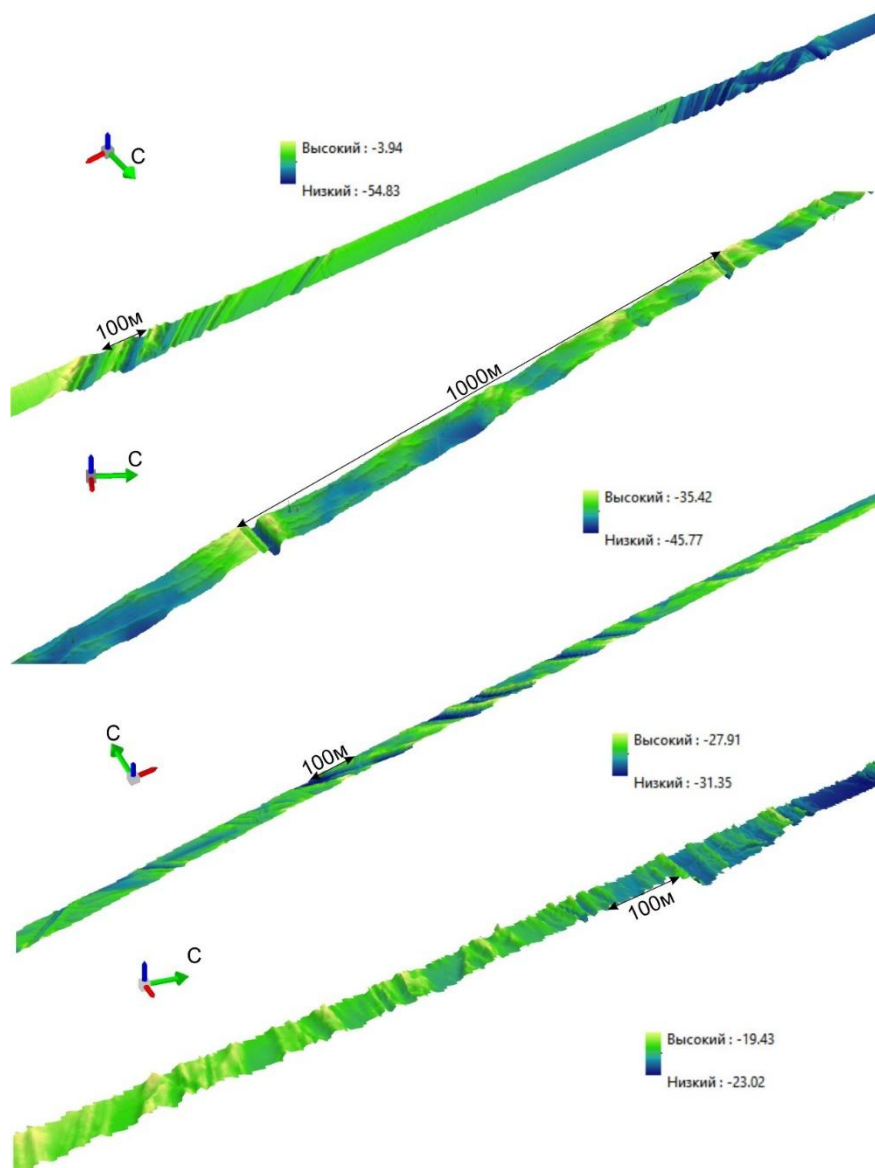


Рис. 6. Следы ледового воздействия на поверхности дна по данным многолучевого эхолотирования

Исключительно высокая степень переработки поверхности дна льдом, выявленная в ходе проведенных исследований, позволяет предположить, что в условиях Восточно-Сибирского моря ледовое выпаживание, по крайней мере на протяжении всего голоцена, было одним из ведущих геологических процессов, перемещающих гигантские объемы осадочного вещества на глубину по разрезу иногда до 3.5 м. Важно отметить, что на записях профилографа осадки, переработанные льдом, выявлены до 12 м глубины по разрезу. Следы ледовых борозд выявлены до глубин моря 50 м, а по данным Огородова [Огородов, 2014] они могут встречаться в Восточно-Сибирском море до 60 м изобаты. Хотя в этом случае нельзя исключать, что это реликтовые борозды, выработанные на более ранних стадиях голоценовой трансгрессии.

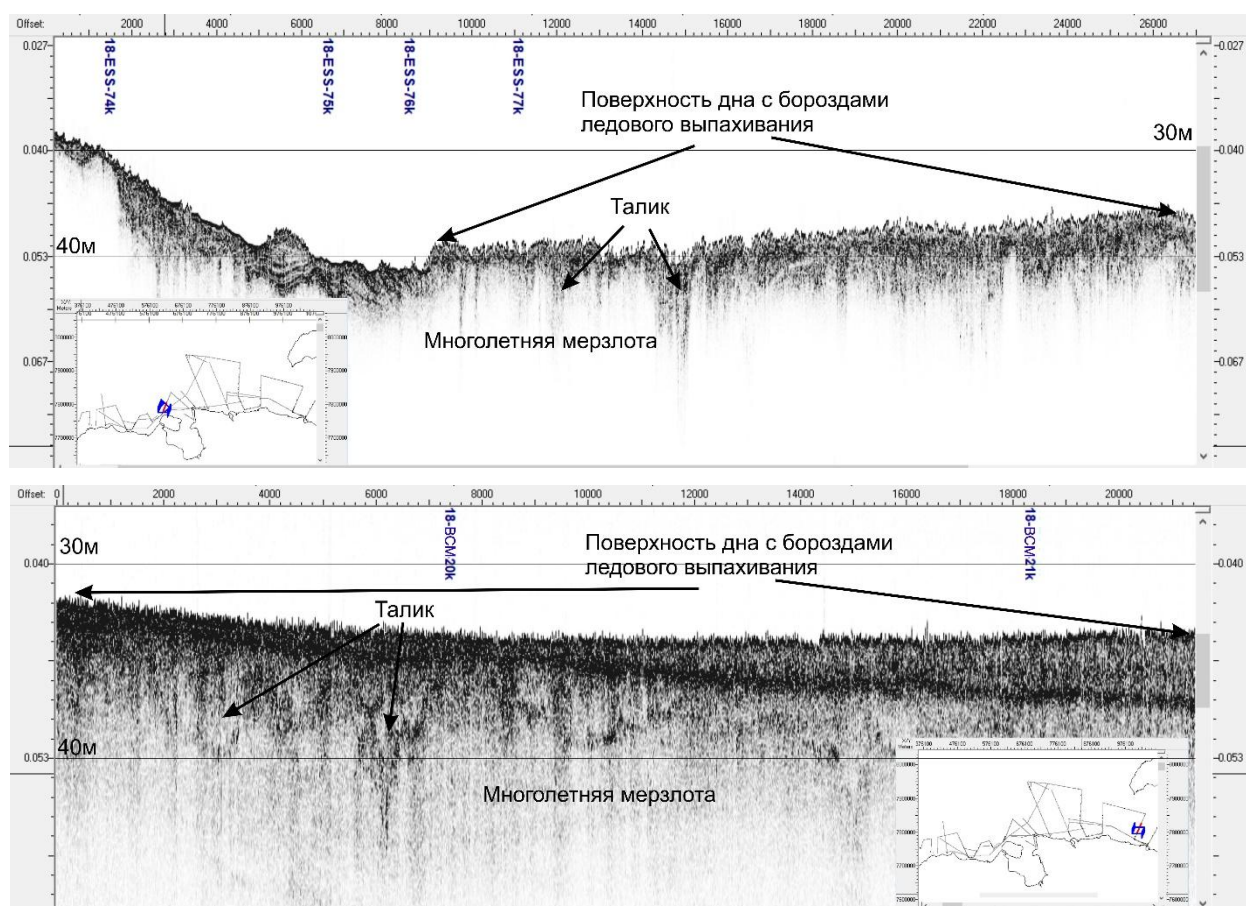


Рис. 7. Профили высокочастотного НСАП 0042-2\_08 (лист R-59) и НСАП 1-03 (R-60) со значительным нарушением поверхности дна ледовым выпахиванием

Таким образом, выполненные исследования позволили существенно уточнить информацию о распределении гранулометрических типов и минеральном составе донных осадков.

## ЛИТЕРАТУРА

Дударев О.В. и др. Новые данные о распределении глинистых минералов в донных осадках шельфа Восточно-Сибирского моря // Международная конференция "Полезные ископаемые континентальных шельфов" и V (заключительная) конференция по проекту IGC-R464 "Континентальные шельфы во время последнего гляциального цикла". Санкт-Петербург, 2005. С. 119-122.

Кошелева В.А., Яшин Д.С. Донные осадки Арктических морей России. СПб.: ВНИИОкеанология, 1999. 286 с.

Николаева Н.А., Деркачев А.Н. К минералогии осадков восточной части моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря // Геология морей и океанов. Материалы XIX Междун. научн. конф. (школы) по морской геологии. Москва, 2011. Т.2. С. 260-264.

Николаева Н.А., Деркачев А.Н., Дударев О.В. Особенности минерального состава осадков шельфа восточной части моря Лаптевых и Восточно-Сибирского // Океанология. 2013. Т.53, № 4. С. 529-538. doi: 10.7868/S0030157413040084

Огородов С.А. Рельефообразующая роль морских льдов. Автореф. диссертации на соиск.уч. ст. докт. геогр.наук, М., 2014, 44 с.

Яшин Д.С. Голоценовый седиментогенез Арктических морей России // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2000, вып. 3. С. 57-67.

**LITHOLOGY OF THE EAST-SIBERIAN SEA SURFICIAL SEDIMENTS BASED ON RESULTS OF 1:1M SCALE GEOLOGICAL MAPPING (SHEETS R56-60 OF STATE GEOLOGICAL MAP)**

*Ryabchuk D.V., Prishchepenko D.V., Kovaleva O.A., Zhamoida V.A., Grigoriev A.G., Sergeev A.Yu., Budanov L.M., Nesterova E.N., Dron' O.V.*

A.P.Karpinsky Russian Research Geological Institute, St. Petersburg, Russia,

New data about surface seabed sediments of the East-Siberian Sea, received by VSEGEI in frame of state geological mapping (scale 1:1M, sheets R56-69 of State Geological Map) allowed to specify different mineralogical and grain-size sediment types' distribution. The main sources of sediment material and major trends of sedimentation processes of Western (sheets R56-57) and Eastern (sheets R58-60) sectors of East-Siberian Sea are revealed. It was found that ice plough impacted sea bottom by water depth of 50 m, so the ice impact plays an important role in sediment transport and mechanical differentiation.

Key-words: *East-Siberian Sea, surface sediment lithology, ice impact*